

Treibstoffpreissicherung in der Luftfahrtindustrie – Ein Modell zur Analyse, Planung und Gestaltung von Treibstoffpreissicherungsstrategien

Alexander Helmut Wolter

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Luftverkehr
Hamburg



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Forschungsbericht 2024-27

Treibstoffpreissicherung in der Luftfahrtindustrie – Ein Modell zur Analyse, Planung und Gestaltung von Treibstoffpreissicherungsstrategien

Alexander Helmut Wolter

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Luftverkehr
Hamburg

434 Seiten
97 Bilder
100 Tabellen
221 Literaturstellen



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt



Herausgeber:

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e. V.
Wissenschaftliche Information
Linder Höhe
D-51147 Köln

ISSN 1434-8454
ISRN DLR-FB-2024-27
Erscheinungsjahr 2025
DOI: [10.57676/yvfs-tr95](https://doi.org/10.57676/yvfs-tr95)

Erklärung des Herausgebers

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International, abrufbar über <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode> , zur Nutzung überlassen.

Lizenz



Creative Commons Attribution 4.0 International

Treibstoffpreissicherung, Luftfahrtindustrie, Verkehrsluftfahrt, Finanzrisikomanagement, Risikominimierung, Unternehmenswertmaximierung, Finanzderivate, stochastische Optimierung, asiatische Optionen, Preissicherungsstrategien

Alexander Helmut WOLTER
DLR, Institut für Luftverkehr, Hamburg

Treibstoffpreissicherung in der Luftfahrtindustrie – Ein Modell zur Analyse, Planung und Gestaltung von Treibstoffpreissicherungsstrategien

Dissertation, Technische Universität Hamburg

Die unsichere Entwicklung des exogenen Treibstoffmarktpreises stellt für Fluggesellschaften weltweit eines der größten wirtschaftlichen Risiken dar. Um diesem Risiko zu begegnen, setzen Fluggesellschaften in der Praxis Treibstoffpreissicherungen ein.

In dieser Arbeit wird ein stochastisches Optimierungsmodell zur ex-ante Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen aufgestellt. Anschließend wird eine Simulationsstudie unter Rückgriff auf das Modell durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wird gezeigt, dass über das Modell identifizierte Treibstoffpreissicherungen den Unternehmenswert in Phasen ausgeprägten Wettbewerbs im Durchschnitt um etwa 1% und situativ gar um mehr als 30% erhöhen können.

Fuel price hedging, aviation industry, commercial aviation, financial risk management, risk minimization, maximization of entity value, financial derivatives, stochastic optimization, asian options, hedging strategies

(Published in German)

Alexander Helmut WOLTER
German Aerospace Center (DLR), Institute of Air Transport, Hamburg

Fuel Price Hedging in the Aviation Industry – A Model for Analyzing, Planning, and Designing Fuel Price Hedging Strategies

Doctoral Thesis, Hamburg University of Technology

For airlines worldwide, the uncertain development of exogenous fuel market prices is a major economic risk. To address this risk, real-world airlines apply fuel hedging.

In order to identify optimal fuel hedges for airlines already from an ex-ante perspective, a stochastic optimization model is developed in this thesis. In a subsequent step, the optimization model is used to conduct a simulation study. It can be shown within this study that in a competitive environment, fuel hedges identified by the optimization model lead to an increase in entity value of approximately 1% on average. In individual testing points, identified hedges may even lead to an increase in entity value of more than 30%.

**Treibstoffpreissicherung in der Luftfahrtindustrie –
Ein Modell zur Analyse, Planung und Gestaltung von
Treibstoffpreissicherungsstrategien**

**Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg**

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.)

genehmigte Dissertation (Monografie)

von
Alexander Helmut Wolter

aus
Karlsruhe

2025

Übersicht der Gutachter

1. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick
2. Gutachter:	Prof. Dr. oec. publ. habil. Matthias Meyer
Vorsitzender des Prüfungsausschusses:	Prof. Dr. rer. pol. Thomas Wrona
Tag der mündlichen Prüfung:	02. September 2024

Vorwort

Diese Arbeit entstand in den Jahren 2017 bis 2023 während meiner Zeit als externer Doktorand am Institut für Lufttransportsysteme an der Technischen Universität Hamburg. Mein Dank gilt all denen, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick, dem Leiter des Instituts, danke ich herzlich für das entgegengebrachte Vertrauen und insbesondere dafür, dass er mit mir gemeinsam – trotz einer räumlichen Entfernung von mehr als 500 Kilometern – das Projekt der externen Promotion gewagt und mich hierbei jederzeit und mit vollen Kräften unterstützt hat. Bei Herrn Prof. Dr. oec. publ. habil. Matthias Meyer, dem Leiter des Instituts für Controlling und Simulation, möchte ich mich für seine Tätigkeit als Gutachter bedanken. Herrn Prof. Dr. rer. pol. Thomas Wrona, dem Leiter des Instituts für Strategisches und Internationales Management, gilt mein Dank für die Übernahme des Vorsitzes des Prüfungsausschusses.

Zudem möchte ich mich herzlich bei allen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Lufttransportsysteme der TUHH sowie den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Luftverkehr des DLR bedanken. Auch wenn ich lediglich externer Doktorand war, hatte ich immer das Gefühl, willkommen zu sein, und konnte mich stets auf Eure volle Unterstützung verlassen. Mein besonderer Dank gilt Dipl.-Vw. Klaus Lütjens. Seine fachliche Expertise und seine jederzeitige Unterstützung haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Darüber hinaus möchte ich mich herzlich bei allen Kolleginnen und Kollegen der Deutschen Lufthansa AG bedanken, die mir während des Schreibens dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen und mir dabei halfen, meine Gedanken und Ideen in geordnete Bahnen zu lenken. Mein besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang allen voran Bärbel Schwarzer, die es mir nicht nur ermöglicht hat, diese Dissertation parallel zu meiner Tätigkeit bei der Deutschen Lufthansa AG zu verfassen, sondern die mich auch entscheidend darin bestärkt hat, dieses Projekt überhaupt erst in Angriff zu nehmen.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei Christiane und Wolfgang Widmann bedanken, auf die ich mich jederzeit verlassen konnte, auch wenn sie aufgrund meiner Zeichensetzung sicher das ein oder andere Mal der Verzweiflung nahe waren.

An meine Freundin Lili: Danke für Deinen liebevollen Rückhalt und Dein Verständnis während mehr als sechs intensiver Jahre nahezu ohne Wochenenden. Ohne Deine jederzeitige Unterstützung und Deine Fähigkeit, meine dissertationsbedingten Stimmungsschwankungen ins Positive zu drehen, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Abschließend gilt mein größter Dank meiner Familie und insbesondere meinen Eltern. Sie haben mich mein ganzes Leben und während meiner gesamten Ausbildung immer und uneingeschränkt unterstützt und mir den Weg zur Promotion überhaupt erst ermöglicht.

Kurzfassung

In zahlreichen Regionen der Welt agieren Fluggesellschaften in der Verkehrsluftfahrt auf umkämpften Wettbewerbsmärkten. Um sich in einem solchen Umfeld langfristig erfolgreich zu positionieren, ist es als Fluggesellschaft unumgänglich, existierende wirtschaftliche Risiken zu identifizieren, zu analysieren und bestmöglich zu begrenzen.

Die zukünftige Entwicklung des exogenen Treibstoffmarktpreises, welche ex-ante unbekannt ist, stellt in diesem Kontext für Fluggesellschaften eines der größten wirtschaftlichen Risiken dar. Allerdings besteht für Fluggesellschaften in der Praxis die Möglichkeit, den individuell zu zahlenden Nettotreibstoffpreis durch den Einsatz von Finanzderivaten auf dem Kapitalmarkt vorab bereits so zu beeinflussen, dass dieser in der kurzen und mittleren Frist zu einer besser planbaren Größe wird.

Gemäß aktuellen Studien machen zahlreiche Fluggesellschaften weltweit von dieser Möglichkeit zur aktiven Risikobegrenzung Gebrauch. Analysen in dieser Arbeit zeigen jedoch, dass real implementierte Treibstoffpreissicherungsstrategien von Fluggesellschaften sehr heterogen ausgestaltet sind und daher unterschiedlich auf den ökonomischen Erfolg von Fluggesellschaften einwirken. Herausforderungen beim Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie ergeben sich für Fluggesellschaften insbesondere deshalb, weil hierbei (1) die Güte des Schutzes vor einem Treibstoffpreisanstieg, (2) die Höhe der Zahlungen für (Versicherungs-) Prämien und (3) mögliche Limitierungen der Partizipation in Preisverfalls-szenarien gegeneinander abgewogen werden müssen. Zudem sollte (4) die individuelle Fähigkeit, Treibstoffpreisänderungen in die eigenen Ticketpreise weiterzugeben, ebenfalls bei der Ausgestaltung einer Treibstoffpreissicherungsstrategie Berücksichtigung finden.

Vor dem Hintergrund dieser Praxisbeobachtungen ist es das Ziel der Arbeit, ein aus der Finanztheorie abgeleitetes quantitatives Modell zur ex-ante Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen für Fluggesellschaften aufzustellen. Da in einem solchen Modell optimale Treibstoffpreissicherungen unter Berücksichtigung ex-ante unsicherer zukünftiger Treibstoffpreise sowie ex-ante unsicherer zukünftiger Ticketeinzahlungen identifiziert werden, ist hierfür der Rückgriff auf Methoden der stochastischen Optimierung notwendig. Beim Aufstellen des Modells in dieser Arbeit wird zudem berücksichtigt, dass identifizierte Treibstoffpreissicherungen für die Praxis relevant sind und auf diese übertragen werden können.

Nach der theoretischen Modellerstellung wird zur Verifikation und Validierung des aufgestellten Modells eine Simulationsstudie durchgeführt. Mittels dieser kann allgemein gezeigt werden, dass das aufgestellte Modell praktisch nutzbare Treibstoffpreissicherungen identifiziert und dass aus diesen Sicherungen mit hoher Glaubwürdigkeit auch in der Praxis ökonomisch relevante Vorteile für Fluggesellschaften resultieren. Konkret lässt sich zeigen, dass es für Fluggesellschaften grundsätzlich möglich ist, durch den Abschluss von Treibstoffpreissicherungen den Unternehmenswert zu steigern. Die Ergebnisse der Analyse deuten darauf hin, dass Treibstoffpreissicherungen in Phasen ausgeprägten Wettbewerbs den Unternehmenswert im Durchschnitt um etwa 1% verbessern. Die erzeugten Ergebnisse legen zudem dar, dass Treibstoffpreissicherungen theoretisch den Unternehmenswert in einzelnen Zeitpunkten relativ gar um mehr als 30% oder absolut um mehr als 2,5 Milliarden US-Dollar erhöhen können.

Darüber hinaus zeigt sich in der Simulationsstudie allerdings auch, dass in Abhängigkeit von den jeweiligen Rahmenbedingungen situativ die Entscheidung zur Nicht-Sicherung optimal sein kann. Für die Jahre 2015 bis 2019 identifiziert das Modell vielfach bereits ex-ante die Entscheidung zur Nicht-Sicherung als quantitatives Optimum. Diese vom Modell vorgeschlagene Strategie korrespondiert mit dem realen Verhalten der Fluggesellschaften *American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines*, welche ebenfalls um das Jahr 2015 ihre Treibstoffpreissicherungsaktivitäten einstellten. Es ist in dieser Arbeit somit möglich, die realen Entscheidungen der drei Fluggesellschaften über ein aus der Theorie abgeleitetes Optimierungsmodell quantitativ fundiert zu begründen.

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur.....	IX
Abkürzungen	IX
Variablen: Zeitpunkte und Zeiträume	XI
Variablen: Rohwaren, Derivate und Derivatebewertung	XI
Variablen: Grundlagen der Unternehmensbewertung	XII
Variablen: Sicherungsstruktur	XIII
Variablen: Herleitung der Zielfunktion	XIV
Variablen: Deadweight-Costs-Funktion.....	XV
Variablen: Allgemeine Modellerstellung, Nebenbedingungen und Restriktionen....	XVI
Variablen: Herleitung von PUOF und Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2.....	XVIII
Variablen: Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion.....	XIX
Variablen: Experimente und Ergebnisse in Kapitel 7.1	XX
Variablen: Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3.....	XXI
Variablen: Experimente und Ergebnisse in Kapitel 7.2	XXII
Vektoren und Matrizen.....	XXIII
Verteilungs- und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen	XXIII
Weitere Indizes und Indexmengen	XXIV
Sonstige mathematische Ausdrücke	XXV
 1 Einleitung	 1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung, Methodik und zentrale Forschungsfragen	4
1.3 Aufbau der Arbeit	6
 2 Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften	 7
2.1 Definitionen und Einordnung	7
2.1.1 Marktrisiko, Risiko und Unsicherheit.....	7
2.1.2 Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften	8
2.1.3 Treibstoffpreissicherung im strategischen Planungsprozess	9
2.2 Kapitalmärkte und Instrumente	10
2.2.1 Derivate.....	10
2.2.2 Handel und Märkte	11
2.2.2.1 Börsenmärkte	11

2.2.2.2	Over-the-Counter Märkte	12
2.2.3	Derivative Finanzinstrumente: Einführung der Derivatearten.....	12
2.2.3.1	Forwards und Futures.....	12
2.2.3.2	Rohwarenswaps.....	13
2.2.3.3	Plain-Vanilla-Optionen	15
2.2.3.4	Asiatische Optionen	15
2.3	Die physische Risikokomponente	17
2.3.1	Rohöl.....	17
2.3.1.1	Grundlagen und Benchmark-Rohöle.....	17
2.3.1.2	Spot- und Terminpreise auf dem Rohölmarkt.....	17
2.3.2	Kerosin.....	18
2.3.2.1	Spezifikationen.....	19
2.3.2.2	Preisnotierungen.....	19
2.3.2.3	Preisbildung.....	19
2.3.2.4	Into-Plane-Differentials.....	20
3	Stand der Wissenschaft	21
3.1	Risikomanagement – Theorie, Empirie und Umsetzung	21
3.1.1	Theorie des Risikomanagements	21
3.1.1.1	Einführung in die quantitative Unternehmensbewertung.....	21
3.1.1.2	Die theoretische Begründung der Vorteilhaftigkeit von Hedging.....	23
3.1.2	Empirische Arbeiten zum Risikomanagement in Unternehmen.....	27
3.1.2.1	Empirische Arbeiten zu Hedging in der Praxis	27
3.1.2.2	Hedging und Unternehmenswert.....	28
3.1.3	Risikomanagement im Modell	29
3.1.3.1	Optimierung über Erwartungsnutzenfunktionen	30
3.1.3.2	Alternative Optimierungsansätze	31
3.2	Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften	33
3.3	Die Bewertung von Finanzderivaten.....	38
3.3.1	Grundlagen der Derivatebewertung	39
3.3.1.1	Arbitragepreistheorie.....	39
3.3.1.2	Terminpreise und die Terminpreiskurve	40
3.3.1.3	Bewertung von unbedingten Termingeschäften.....	41
3.3.2	Bewertung von Optionen	41
3.3.2.1	Das Black-Modell für Plain-Vanilla-Optionen auf Futures	42
3.3.2.2	Das Turnbull-Wakeman-Modell für asiatische Optionen auf Futures	44
4	Der Prozess der Treibstoffpreissicherung	46
4.1	Input der Sicherungsstrategie.....	47
4.1.1	Interne Entscheidungen.....	47

4.1.1.1	Identifikation der zu adressierenden Risiken	48
4.1.1.2	Sicherungsziele	49
4.1.1.3	Determinieren der Risikobereitschaft	51
4.1.1.4	Verfügbares Budget und Nettoprämie	53
4.1.2	Exogene Faktoren und Rahmenbedingungen	53
4.1.2.1	Bilanzielle Rahmenbedingungen	53
4.1.2.2	Marktpreise und Bewertungsmodelle	56
4.1.2.3	Finanzielle Situation.....	56
4.1.2.4	Wettbewerbssituation und Weiterreichen von Treibstoffpreisänderungen...	57
4.2	Entscheidungen im Rahmen der Sicherung	59
4.2.1	Die übergeordnete Sicherungsstruktur.....	59
4.2.1.1	Maximaler Sicherungshorizont	61
4.2.1.2	Zielsicherungsgrad	62
4.2.1.3	Sicherungsende	62
4.2.1.4	Sicherungsfrequenz und Sicherungsmenge.....	63
4.2.1.5	Sicherungszeitpunkte	64
4.2.2	Das Referenzprodukt	64
4.2.3	Derivateart, Derivatetyp und Derivatekombination.....	66
4.2.3.1	Bestimmung der verfügbaren Derivatearten	66
4.2.3.2	Wahl des Derivatetyps und der Derivatekombination	67
5	Modellformulierung I: Das Optimierungsmodell.....	72
5.1	Optimierungsverfahren und Zielfunktion	72
5.1.1	Qualitative Erläuterungen zu Optimierungsverfahren und Zielfunktion	72
5.1.2	Basis der Zielfunktion: Der Free-Cash-Flow.....	74
5.1.2.1	Grundlage: EBIT als Gewinn nach Gewinn- und Verlustrechnung.....	75
5.1.2.2	Deterministische Treibstoffmengen	75
5.1.2.3	Treibstoffpreis, Treibstoffaufwand und Sicherungsergebnis	76
5.1.2.4	Sonstige Aufwendungen als deterministische Größe.....	78
5.1.2.5	Sonstige Erlöse als deterministische Größe	78
5.1.2.6	Erlöse und Einzahlungen aus Ticketverkäufen	78
5.1.2.7	Einführen der normierten Ticketeinzahlungsvariable PUOF.....	79
5.1.2.8	Der Free-Cash-Flow inklusive Steuern.....	80
5.1.3	Zielfunktion OPTA: Der erwartete Deadweight-Cost-Cash-Flow	81
5.2	Deadweight-Costs und der Deadweight-Cost-Cash-Flow	81
5.2.1	Modellierung der Deadweight-Costs in der bisherigen Forschung	82
5.2.2	Modellierung der relevanten Deadweight-Costs-Funktion.....	83
5.2.2.1	DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage	83
5.2.2.2	DWC aus Finanzierungsstruktur	84

5.2.2.3	DWC für konvexe Steuertabellen.....	86
5.2.2.4	Modellierung der aggregierten DWC im Modell OPTA.....	87
5.3	Zielfunktion und Entscheidungsvariable des Modells.....	89
5.3.1	Die Zielfunktion im zweistufigen Optimierungsmodell	89
5.3.2	Wahl der Strikes als Entscheidungsvariable	90
5.3.3	Optimierung in OPTA: Maximierung des erwarteten DWCCF	91
6	Modellformulierung II: Das Gesamtmodell.....	93
6.1	Wahl der Beobachtungsobjekte und Beschreibung genutzter Daten	93
6.1.1	Wahl eines Marktes sowie der erfassten Fluggesellschaften	93
6.1.2	Fluggesellschaftsspezifische Daten.....	95
6.1.2.1	Finanz- und Verkehrsdaten	96
6.1.2.2	Zusammenfassung und Herleitung normierter Monatsdaten	98
6.1.2.3	Kapitalstruktur und Ausfallwahrscheinlichkeiten	98
6.1.3	Allgemeine Marktdaten zu Rohwarenpreisen und -volatilitäten	99
6.1.3.1	Rohwaren Spot- und Terminpreise.....	100
6.1.3.2	Volatilitäten der Rohwarenfutures	101
6.2	Aufstellen der Verteilungsfunktionen.....	102
6.2.1	Randverteilung der Rohwarenpreise	102
6.2.1.1	Aufstellen der Randverteilung für Rohwarenpreise	102
6.2.1.2	Randverteilung der Rohwarenpreise im Simulationsmodell.....	103
6.2.2	Randverteilung von PUOF.....	104
6.2.2.1	Das in-sample Regressionsmodell.....	105
6.2.2.2	Prüfung der Gauss-Markov-Annahmen	109
6.2.2.3	Erwartungswert und Varianz der out-of-sample Prognose	112
6.2.2.4	Die Verteilungsfunktion der out-of-sample Prognose.....	113
6.2.2.5	Input in das Simulationsmodell und Beispiel zur Umsetzung	116
6.2.3	Multivariate Verteilung: Rohwarenpreise und PUOF	118
6.2.3.1	Die bivariate Verteilung	118
6.2.3.2	Der Korrelationskoeffizient der bivariaten Verteilung	120
6.3	Nebenbedingungen und Einschränkungen der Optimierung	120
6.3.1	Nebenbedingungen aus exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen.....	121
6.3.1.1	Rechtliche und bilanzielle Rahmenbedingungen	121
6.3.1.2	Finanzielle Situation.....	122
6.3.1.3	Wettbewerb und Weiterreichen von Treibstoffpreisänderungen	123
6.3.2	Nebenbedingungen aus internen Entscheidungen.....	124
6.3.2.1	Budgetbedingung.....	125
6.3.2.2	Risikobereitschaft.....	125
6.3.2.3	Sicherungsziele.....	127
6.3.2.4	Governance.....	127

6.3.3	Weitere allgemeine Nebenbedingungen	128
6.4	Weitere Restriktionen im Rahmen von Simulationen	129
6.4.1	Restriktionen aus exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen	129
6.4.1.1	Rechtliche und bilanzielle Rahmenbedingungen	129
6.4.1.2	Finanzielle Situation.....	130
6.4.2	Restriktionen aus internen Entscheidungen	131
6.4.2.1	Budgetbedingung	131
6.4.2.2	Risikobereitschaft.....	131
6.4.2.3	Sicherungsziele	132
6.5	Sonderfälle und ergänzende Informationen	132
6.5.1	Ausweichlösung und Fall-Back-Lösung.....	132
6.5.2	Wolfram Mathematica und das Lösen des Optimierungsproblems.....	133
7	Simulationsstudien – Experimente und Ergebnisse	134
7.1	OPTA in der Praxis (Statische DWC-Funktionen).....	134
7.1.1	Ex-ante Analyse optimaler Sicherungsstrategien	135
7.1.1.1	Interne Entscheidungen und die Auswahl betrachteter Fälle	135
7.1.1.2	Simulationsvorgehen und Erfassung der Sicherungen eines Simulationslaufs.....	136
7.1.1.3	Beispiel zum Durchführen einer Simulation.....	137
7.1.1.4	Deskriptive Beschreibung der erzeugten Sicherungsgeschäfte.....	142
7.1.1.5	Analyse der ex-ante erwarteten DWCCF für den gesamten Zeitraum ...	146
7.1.1.6	Analyse der ex-ante erwarteten DWCCF mit Periodentrennung	149
7.1.2	Ex-post Analyse optimaler Sicherungsstrategien	154
7.1.2.1	Beschreibung des ex-post Analysevorgehens	155
7.1.2.2	Analyse der ex-post realisierten Ergebnisse auf Clusterebene	157
7.1.2.3	Analyse der ex-post realisierten Ergebnisse auf Einzelfallebene	161
7.1.3	Übergeordnete Analyse erwarteter und realisierter DWCCF	164
7.2	Der Unternehmenswert (Dynamische DWC-Funktionen)	170
7.2.1	Methodik und die Berücksichtigung des Gesamtportfolios.....	171
7.2.2	Ausgewählte Fälle und betrachteter Zeitraum	173
7.2.3	Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse	174
7.2.3.1	Relative Unternehmenswertdifferenzen.....	175
7.2.3.2	Absolute Unternehmenswertdifferenzen.....	177
7.2.3.3	Diskussion der Ergebnisse und Literaturvergleich	180
8	Zusammenfassung und Ausblick	185
8.1	Zusammenfassung	185
8.2	Ausblick	188

Anhang.....	193
Anhang A Erläuterungen und Hintergründe.....	193
Anhang A I. Erläuterungen zu Kapitel 2.1	193
Anhang A II. Erläuterungen zu Kapitel 3.1	196
Anhang A III. Erläuterungen zu Kapitel 3.3	203
Anhang A IV. Erläuterungen zu Kapitel 4.1	206
Anhang A V. Erläuterungen zu Kapitel 4.2	209
Anhang A VI. Erläuterungen zu Kapitel 5.1	215
Anhang A VII. Erläuterungen zu Kapitel 5.2	234
Anhang A VIII. Erläuterungen zu Kapitel 5.3	238
Anhang A IX. Erläuterungen zu Kapitel 6.1	240
Anhang A X. Erläuterungen zu Kapitel 6.2	248
Anhang A XI. Erläuterungen zu Kapitel 6.3	278
Anhang A XII. Erläuterungen zu Kapitel 6.5	284
Anhang A XIII. Erläuterungen zu Kapitel 7.1	287
Anhang A XIV. Erläuterungen zu Kapitel 7.2	301
Anhang B Tabellen und Abbildungen	311
Anhang B I. Tabellen	311
Anhang B II. Abbildungen	372
Variablen, Vektoren, Matrizen und Funktionen im Anhang	402
Weitere Variablen im Anhang	402
Weitere Vektoren und Matrizen im Anhang	408
Weitere Verteilungs- und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen im Anhang	408
Abbildungsverzeichnis.....	409
Tabellenverzeichnis.....	413
Literaturverzeichnis.....	417
Lebenslauf.....	435

Nomenklatur

Abkürzungen

3CS	3-Way mit Call Spread (nur in Übersichtstabellen)
3PS	3-Way mit Put Spread (nur in Übersichtstabellen)
4W	4-Way (nur in Übersichtstabellen)
AA	American Airlines
API	American Petroleum Institute
ASC	Accounting Standards Codification
ASK	Available Seat Kilometers
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASU	Accounting Standards Update
bbl	Barrel
BOTS	Bureau of Transportation Statistics
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CF	Cash-Flow
CFO	Chief Financial Officer
CME	Chicago Mercantile Exchange
Col	Collar (nur in Übersichtstabellen)
CS	Call-Spread
DCF	Discounted Cash-Flow
DL	Delta Air Lines
DWC	Deadweight-Costs
DWCCF	Deadweight-Cost-Cash-Flow
EBIT	Earnings before Interest and Taxes
EK	Eigenkapital
Engl.	Englisch (englischsprachige Übersetzung)
FAS	Financial Accounting Standards
FCF	Free-Cash-Flow
FK	Fremdkapital
FNB	Finanzielle Nebenbedingung
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
IAG	International Airlines Group
IAS	International Accounting Standards
IATA	International Air Transportation Association
ICE	Intercontinental Exchange
IFRS	International Financial Reporting Standards
IPD	Into-Plane-Differential
Keine Sich.	Keine Sicherung (nur in Übersichtstabellen)
LC	Long Call
LP	Long Put
MMT	Modigliani-Miller-Theorem

NYH	New York Harbor
NYH ULS	New York Harbor Ultra Low Sulphur
NYH ULSD	New York Harbor Ultra Low Sulphur Diesel
NYMEX	New York Mercantile Exchange
OLS	Ordinary Least Squares
Opport.	Opportunistisch (für ein <i>opportunistisches</i> Sicherungsvorgehen - nur in Übersichtstabellen)
OPTA	Optimale Treibstoffpreissicherungen für Airlines
oS	Ohne Sicherung (nur in Übersichtstabellen)
OTC	Over-the-Counter
Plan	Schaffen von Planungssicherheit (<i>Sicherungsziel</i>)
PrS	Schutz vor Treibstoffpreisanstieg (<i>Sicherungsziel</i>)
PrV	Partizipation an Treibstoffpreisverfall (<i>Sicherungsziel</i>)
PS	Put-Spread
Regel.	Regelbasiert (für ein <i>regelbasiertes</i> Sicherungsvorgehen - nur in Übersichtstabellen)
SC	Short Call
SEC	Securities and Exchange Commission
SFAS	Statements of Financial Accounting Standards
SG	Sicherungsgrad (oder auch: Zielsicherungsgrad)
SP	Short Put
Sw	Swap (nur in Übersichtstabellen)
UA	United Airlines
US	United States
USD	US-Dollar
US-GAAP	United States Generally Accepted Accounting Principles
USGC	US Gulf Coast (Kerosinnotierung: <i>Jet US Gulf Coast</i>)
VaR	Value at Risk
vs.	Versus (für: <i>im Gegensatz zu</i>)
VV	Verringern von Volatilität (<i>Sicherungsziel</i>)
WACC	Weighted Average Cost of Capital
WN	Southwest Airlines
WTI	West Texas Intermediate

Variablen: Zeitpunkte und Zeiträume

Variable	Einheit	Beschreibung
$\bar{Q}$	[Jahre]	Ein Zeitraum (ein Quartal)
$\bar{S}$	[Jahre]	Allgemein ein Zeitraum (in der Regel ein Kalendermonat)
t	[Jahre]	Allgemein ein Zeitpunkt
T	[Jahre]	Allgemein ein Zeitpunkt
T_0	[Jahre]	Entscheidungszeitpunkt (teils auch bezeichnet als Vertragszeitpunkt)
$\bar{T}$	[Jahre]	Allgemein ein Zeitraum (in der Regel ein Kalendermonat)
$\bar{Y}$	[Jahre]	Ein Zeitraum (ein Jahr)
τ	[Jahre]	Allgemein ein Zeitpunkt

Variablen: Rohwaren, Derivate und Derivatebewertung

Variable	Einheit	Beschreibung
$Auszahlung_T$	[US-Dollar pro Barrel]	Auszahlung aus einem Derivat in Zeitpunkt T . Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ergänzt um Informationen zum Instrument (Beispiel: $Auszahlung_T^{Forward}$)
d_1	[-]	Zwischenergebnis bei der Optionspreisberechnung
d_2	[-]	Zwischenergebnis bei der Optionspreisberechnung
$Forward_{t,T}$	[US-Dollar pro Barrel]	Wert eines für den Zeitpunkt T gehandelten Forwards in Zeitpunkt t
$Fuel_t$	[US-Dollar pro Barrel]	Spotpreis einer Rohware in Zeitpunkt t
$Fuel_{\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Durchschnittlicher Spotpreis einer Rohware in Zeitraum $\bar{T}$
$Fuel_{t,T}$	[US-Dollar pro Barrel]	Terminpreis einer Rohware in Zeitpunkt t für Zeitpunkt T
$Fuel_{t,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Terminpreis einer Rohware in Zeitpunkt t für Zeitraum $\bar{T}$
K_{T_0}	[US-Dollar pro Barrel]	Strike eines Derivates mit Handelszeitpunkt T_0 . Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, teils nur durch K dargestellt oder ergänzt um Informationen zu Instrumentenkombination (Beispiel: K_{w,T_0}), Fälligkeit (Beispiel: $K_{w,T_0,T}$) und/oder Instrument (Beispiel: $K_{w,T_0,T}^{Put,Long}$)
P_{T_0}	[US-Dollar pro Barrel]	Wert eines Derivates beim Handel in Zeitpunkt T_0 . Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ergänzt um Informationen zu Instrumentenkombination (Beispiel: P_{w,T_0}), Fälligkeit (Beispiel: $P_{w,T_0,T}$) und/oder Instrument (Beispiel: $P_{w,T_0,T}^{Put,Long}$)

$Swap_{t,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Wert eines für den Zeitraum $\bar{T}$ gehandelten Swaps in Zeitpunkt t
μ_{Fuel}	[%]	Erwartete diskrete per annum Veränderung des Rohwarenpreises
σ	[-]	Allgemeine Darstellung einer Standardabweichung zur Optionspreisberechnung in Kapitel 3.3. Zur Berechnung des Preises von Optionen auf Rohwarenfutures entspricht σ der Größe σ_{Fuel}
σ_{Fuel}	[-]	Standardabweichung der Veränderung des Rohwarenpreises (Verteilung für Realisierungszeitpunkt)
σ_{TW}	[-]	Adjustierte und auf ein Jahr skalierte Standardabweichung der Veränderung des Rohwarenpreises (Verteilung für Realisierungszeitraum)
φ	[-]	Indikatorvariable für long Position oder short Position

Variablen: Grundlagen der Unternehmensbewertung

Variable	Einheit	Beschreibung
$CashFlow_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Cash-Flow des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$ (allgemeine Darstellung in Kapitel 3.1.1)
$CashFlowEK_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Anteil des Cash-Flows des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$, der den Eigenkapitalgebern zugeht
$CashFlowFK_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Anteil des Cash-Flows des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$, der den Fremdkapitalgebern zugeht
$EK_{i,t}$	[US-Dollar]	Wert des Eigenkapitals von Unternehmen i in Zeitpunkt t (<i>Eigenkapital</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i (Beispiel: EK_t)
$FK_{i,t}$	[US-Dollar]	Wert des Fremdkapitals von Unternehmen i in Zeitpunkt t (<i>Fremdkapital</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i (Beispiel: FK_t)
NPV_{i,T_0}	[US-Dollar]	Barwert zukünftiger Zahlungsströme des Unternehmens i in Zeitpunkt T_0 (<i>Net Present Value</i>)
r	[%]	Risikoloser Marktzins. Im Rahmen der Modellerstellung wird in dieser Arbeit angenommen: $r = 0$
$r_{i,t}$	[%]	Individueller Fremdkapitalzins des Unternehmens i in Zeitpunkt t . Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung des Zeitpunktes (Beispiel: r_i)
$Steuer$	[%]	Körperschaftsteuersatz
$V_{i,t}$	[US-Dollar]	Allgemein Wert des Unternehmens i in Zeitpunkt t . Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: V_t)
$V_{i,t}^{DWC}$	[US-Dollar]	Wert des Unternehmens i in Zeitpunkt t nach expliziter Berücksichtigung der erwarteten DWC

$WACC_{i,t}$	[%]	Durchschnittliche Kapitalkosten des Unternehmens i in Zeitpunkt t (<i>Weighted Average Cost of Capital</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: $WACC_t$)
$\mu_{i,t}$	[%]	Vom Kapitalmarkt von Unternehmen i in Zeitpunkt t geforderte Eigenkapitalrendite (allgemeine Darstellung). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung des Zeitpunktes im Index (Beispiel: μ_i)
$\mu_{i,t}^U$	[%]	Vom Kapitalmarkt von Unternehmen i geforderte Eigenkapitalrendite in Zeitpunkt t , sofern i nicht verschuldet ist (Modellwelt gemäß Modigliani und Miller). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung des Zeitpunktes im Index (Beispiel: μ_i^U)
$\mu_{i,t}^V$	[%]	Vom Kapitalmarkt von Unternehmen i geforderte Eigenkapitalrendite in Zeitpunkt t , sofern i verschuldet ist (Modellwelt gemäß Modigliani und Miller). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung des Zeitpunktes im Index (Beispiel: μ_i^V)

Variablen: Sicherungsstruktur

Variable	Einheit	Beschreibung
$Frequenz_i$	[Sicherungen pro Monat]	Gibt an, wie häufig Fluggesellschaft i Sicherungen handelt. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: $Frequenz$)
$Max.Horizont_i$	[Monate]	Gibt an, wie viele Monate vor dem physischen Treibstoffverbrauch Fluggesellschaft i erstmalig Treibstoffpreissicherungen abschließt. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: $Max.Horizont$)
$MengeRelativ_i$	[%]	Gibt an, welchen Anteil des geplanten Treibstoffbedarfs einer Periode Fluggesellschaft i durch eine Transaktion sichert. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: $MengeRelativ$)
SG_i	[%]	Gibt an, welchen Anteil des geplanten Treibstoffbedarfs einer Periode Fluggesellschaft i maximal durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen absichert (<i>Zielsicherungsgrad</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: SG)
$Sicherungsende_i$	[Monate]	Gibt an, wie viele Monate vor dem physischen Treibstoffverbrauch Fluggesellschaft i letztmalig Treibstoffpreissicherungen abschließt. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i im Index (Beispiel: $Sicherungsende$)

Variablen: Herleitung der Zielfunktion

Variable	Einheit	Beschreibung
A	[-]	Eine Sigma-Algebra über der Menge Ω (allgemeine Darstellung eines Wahrscheinlichkeitsraumes)
$Abschreibungen_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Abschreibungen des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$AufwandRest_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Skalierter sonstiger Aufwand des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absoluter sonstiger Aufwand des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$EBIT_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Ergebnis vor Zinsen und Steuern des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$ (<i>Earnings Before Interests and Taxes</i>)
$ErlösRest_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Skalierte sonstige Erlöse des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absolute sonstige Erlöse des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$FCF_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar & US-Dollar pro Barrel]	Free-Cash-Flow des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$ (<i>Free-Cash-Flow</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i und/oder $\bar{T}$ im Index (Beispiel: FCF)
$FuelCost_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absoluter Treibstoffaufwand aus physischem Treibstoffverbrauch des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$HedgeResult_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Skaliertes Treibstoffpreissicherungsergebnis des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absolutes Treibstoffpreissicherungsergebnis des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$Invest_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Zahlungswirksame Investitionen des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$PUOF_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Skalierte Ticketeinzahlungen (Cash-Flow) des Unternehmens i aus dem Verkauf von Tickets in Zeitraum $\bar{T}$ (alternativ: $\bar{Q}$) (<i>Payments per Unit of Fuel Burnt</i>)
$Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absolute Ticketeinzahlungen (Cash-Flow) des Unternehmens i aus dem Verkauf von Tickets in Zeitraum $\bar{T}$
$Ticketerlös_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Absolute Erlöse (Guv) des Unternehmens i aus dem Verkauf von Tickets für Zeitraum $\bar{T}$
$Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$	[Barrel]	Verbrauchte Treibstoffmenge des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$
$VerbFlug_{i,T}$	[US-Dollar]	Bilanzposition der nicht ausgeflogenen Flugdokumente des Unternehmens i in Zeitpunkt T
$\Delta WorkingCapital_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar]	Veränderung des Working Capitals des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$

Ω	[-]	Eine nichtleere Ergebnismenge (allgemeine Darstellung eines Wahrscheinlichkeitsraumes)
$\mathbb{P}$	[-]	Wahrscheinlichkeitsmaß oder auch Wahrscheinlichkeitsverteilung auf dem Ereignisraum $(\Omega, \mathcal{A})$ (allgemeine Darstellung eines Wahrscheinlichkeitsraumes)

Variablen: Deadweight-Costs-Funktion

Variable	Einheit	Beschreibung
$DWC_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar & US-Dollar pro Barrel]	Deadweight-Costs des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$ (<i>Deadweight-Costs</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i und/oder $\bar{T}$ im Index (Beispiel: DWC)
$DWCCF_{i,\bar{T}}$	[US-Dollar & US-Dollar pro Barrel]	Deadweight-Cost-Cash-Flow des Unternehmens i in Zeitraum $\bar{T}$ (<i>Deadweight-Cost-Cash-Flow</i>). Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i und/oder $\bar{T}$ im Index (Beispiel: $DWCCF$)
$Insotrigg_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: FCF, bei dem sich 99% der maximalen DWC der Insolvenz (<i>maxInso</i>) materialisieren. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$maxInso_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: Maximale DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$maxNegF_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: Maximale DWC aus Finanzierungsstruktur für FCF-Verfallsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$maxPosF_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Identisch zu $maxNegF_{i,T_0,\bar{T}}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF-Anstiegsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$SteigInso_{i,T_0,\bar{T}}$	[-]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: Geschwindigkeit der Zunahme der DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$SteigNegF_{i,T_0,\bar{T}}$	[-]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: Geschwindigkeit der Zunahme der DWC aus Finanzierungsstruktur in FCF-Verfallsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index

$SteigPosF_{i,T_0,\bar{T}}$	[-]	Identisch zu $SteigNegF_{i,T_0,\bar{T}}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF-Anstiegsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$TrigInso_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: FCF, bei dem sich 50% der maximalen DWC der Insolvenz ($maxInso$) materialisieren. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$TrigNegF_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 für Unternehmen i und Zeitraum $\bar{T}$: Auslöser für DWC aus Finanzierungsstruktur für FCF-Verfallsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
$TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Identisch zu $TrigNegF_{i,T_0,\bar{T}}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF-Anstiegsszenarien. Falls im Kontext der Darstellung sinnvoll, ohne Nennung von i , T_0 und/oder $\bar{T}$ im Index
γ	[-]	Parameter zur Adjustierung der Konvexität der DWC-Funktion aus Steuern
θ	[-]	Parameter zur Adjustierung der DWC-Funktion aus Steuern

Variablen: Allgemeine Modellerstellung, Nebenbedingungen und Restriktionen

Variable	Einheit	Beschreibung
$ASK_{i,\bar{T}}$	[Sitze * km]	Anzahl der in Periode $\bar{T}$ von Unternehmen i angebotenen Sitzplatzkilometer (<i>Available Seat Kilometers</i>)
$Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$	[%]	Wahrscheinlichkeit, dass Unternehmen i zwischen Zeitpunkt T_0 und dem Ende des Zeitraums $\bar{T}$ Insolvenz anmeldet
$Budget_{i,T_0,\bar{T}}$	[%]	Maximales Prämienbudget (in Prozent des Treibstoffmarktpreises), das Unternehmen i in Zeitpunkt T_0 zum Handel von Treibstoffpreissicherungen für Periode $\bar{T}$ zur Verfügung steht
CR_{4,T_0}	[%]	Wettbewerbssituation auf dem inneramerikanischen Markt für Fluggesellschaften in Zeitpunkt T_0 (<i>4-Firm Concentration Ratio</i>)
$Effizienz_{i,\bar{T}}$	[Liter pro 100 ASK]	Menge des von Unternehmen i in Periode $\bar{T}$ verbrauchten Treibstoffs pro 100 angebotener Sitzplatzkilometer
$FCF_{i,\bar{T},\alpha,VaR}^w$	[US-Dollar pro Barrel]	FCF, der sich für Unternehmen i beim Abschluss von Sicherungskombination w sowie beim Eintreten von x_{PUOF} und x_{Fuel} in Periode $\bar{T}$ realisiert
$govNB_1$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich des maximalen Strikes des Long Calls

$govNB_2$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich des minimalen Strikes des Short Calls
$govNB_3$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich der Call-Spread-Breite
$govNB_4$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich des maximalen Strikes des Short Puts
$govNB_5$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich des minimalen Strikes des Long Puts
$govNB_6$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich der Put-Spread-Breite
$govNB_7$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich der Breite des Spreads zwischen Long Call und Short Put
$govNB_8$	[US-Dollar pro Barrel]	Vorgaben aus Governance bezüglich der Cap-Spread-Breite
$KontRatio_{i,\bar{T}}$	[%]	Prozentualer Anteil der Passagiere auf inneramerikanischen Flügen im Verhältnis zu allen Passagieren von Fluggesellschaft i in Periode $\bar{T}$
$Passagiere_{i,\bar{T}}$	[Passagiere]	Anzahl der von Unternehmen i beförderten Passagiere in Periode $\bar{T}$
$Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Nettoprämie (in US-Dollar pro Barrel), die Unternehmen i in Zeitpunkt T_0 zum Handel von Sicherungskombination w für Periode $\bar{T}$ zahlt
$RSK_{i,\bar{T}}$	[Passagiere * km]	Anzahl der in Periode $\bar{T}$ von Unternehmen i beförderten Passagierkilometer (<i>Revenue Seat Kilometers</i>)
$Sitze_{i,\bar{T}}$	[Sitze]	Anzahl der von Unternehmen i angebotenen Sitze in Periode $\bar{T}$
$SLF_{i,\bar{T}}$	[%]	Durchschnittlicher Sitzladefaktor von Unternehmen i in Periode $\bar{T}$ (<i>Seat Load Factor</i>)
VSG_{i,T_0}	[%]	Verschuldungsgrad von Unternehmen i in Zeitpunkt T_0 (<i>Verschuldungsgrad</i>)
x_{Fuel}	[US-Dollar pro Barrel]	Relevanter Rohwarenpreis zur Bestimmung der Nebenbedingung aus Risikobereitschaft
x_{PUOF}	[US-Dollar pro Barrel]	Relevante PUOF-Ausprägung zur Bestimmung der Nebenbedingung aus Risikobereitschaft
$\alpha_{VaR,FCF}$	[%]	Konfidenzniveau bezüglich des FCF zur Bestimmung der Nebenbedingung aus Risikobereitschaft
$\alpha_{VaR,Fuel}$	[%]	Konfidenzniveau bezüglich des Rohwarenpreises zur Bestimmung der Nebenbedingung aus Risikobereitschaft

Variablen: Herleitung von PUOF und Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2

Variable	Einheit	Beschreibung
$\bar{Q}_0$	[Jahre]	Ein Zeitraum (ein Quartal). In Kapitel 6.2.2 jeweils das letzte Quartal des <i>in-sample</i> Zeitraumes
$QuartalDummy_{q,a}$ [-]		Binäre Dummy-Variable, die im Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2 anzeigt, ob die aus Quartal q stammende Beobachtung innerhalb des relevanten Quartals a liegt. Im Anhang teils verkürzt dargestellt als $Q_{d,q,a}$
$\bar{T}_0$	[Jahre]	Ein Zeitraum (ein Monat). In Kapitel 6.2.2 jeweils der Monat, in welchem der Entscheidungszeitpunkt liegt
$u_{i,\bar{Q}}$	[-]	Residuum im Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2 für Veränderungen zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$
$\beta_{0,i}, \dots, \beta_{6,i}$	[-]	Echte Regressionskoeffizienten im Regressionsmodell für Fluggesellschaft i in Kapitel 6.2.2. Allgemein auch dargestellt als $\beta_{j,i}$ (mit: $j = 1, \dots, 6$)
$\hat{\beta}_{0,i}, \dots, \hat{\beta}_{6,i}$	[-]	Errechnete Schätzer der echten Regressionskoeffizienten im Regressionsmodell für Fluggesellschaft i in Kapitel 6.2.2. Allgemein auch dargestellt als $\hat{\beta}_{j,i}$ (mit: $j = 1, \dots, 6$)
$\Delta ASK_{i,\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $ASK_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$)
$\Delta Effizienz_{i,\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $Effizienz_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$)
$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$). Im <i>out-of-sample</i> Modell teils ohne Darstellung von q im Index
$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$	[%]	Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und Periode $\bar{Q}_0 + N$ wobei N eine Anzahl an Quartalen erfasst (alternativ: $\bar{T}$)
$\Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}}$	[%]	Schätzer der Ein-Perioden Veränderung $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ (alternativ: $\bar{T}$). Im <i>out-of-sample</i> Modell teils ohne Darstellung von q im Index
$\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$	[%]	Schätzer für $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ (alternativ: $\bar{T}$)
$\Delta SLF_{i,\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $SLF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$)
$\varepsilon_{i,\bar{Q}}$	[-]	Nicht beobachtbare Störgröße im Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2 für Veränderungen zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$. Auch ohne Zeitkomponente als ε_i darstellbar
$\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$	[%]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell in Kapitel 6.2.2: Errechnete Punktprognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und $\bar{Q}_0 + N$ (entspricht: $\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$)

$\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$	[%]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell in Kapitel 6.2.2: Errechnete Punktprognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ zwischen $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ (entspricht: $\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{T}_0,\bar{T}}$)
$\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2$	[-]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell in Kapitel 6.2.2: Gesamtvarianz der Punktprognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und $\bar{Q}_0 + N$
$\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2$	[-]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell in Kapitel 6.2.2: Gesamtvarianz der Punktprognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ zwischen $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$
$\sigma_{\varepsilon,i}^2$	[-]	Konstante <i>in-sample</i> Varianz der Störgröße $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ gemäß Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2. Teils auch dargestellt als $Var(\varepsilon_{i,\bar{Q}})$ und $Var(\varepsilon_i)$
$\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2$	[-]	Schätzer von $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ im Rahmen der <i>out-of-sample</i> Analyse und unter Rückgriff auf das Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2

Variablen: Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion

Variable	Einheit	Beschreibung
z_1	[-]	Herleitung der Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Allgemeine Darstellung des Wertes einer logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable
z_2	[-]	Herleitung der Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Allgemeine Darstellung des Wertes einer logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable
μ_{y1}	[-]	Allgemeine Darstellung des Erwartungswertes einer normalverteilten Zufallsvariable
μ_{y2}	[-]	Allgemeine Darstellung des Erwartungswertes einer normalverteilten Zufallsvariable
ρ	[-]	Ein Korrelationskoeffizient (allgemeine Darstellung)
$\rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y2}}$	[-]	Allgemeine Darstellung des Pearson-Korrelationskoeffizienten eines bivariat normalverteilten Zufallsvariablenpaares
$\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$	[-]	Pearson-Korrelationskoeffizient des bivariat logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablenpaares
$\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))}$	[-]	Pearson-Korrelationskoeffizient des bivariat normalverteilten Zufallsvariablenpaares
σ_{y1}^2	[-]	Allgemeine Darstellung der Varianz einer normalverteilten Zufallsvariable

σ_{y2}^2	[-]	Allgemeine Darstellung der Varianz einer normalverteilten Zufallsvariable

Variablen: Experimente und Ergebnisse in Kapitel 7.1

Variable	Einheit	Beschreibung
$DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: In Fall h realisierter DWCCF in Zeitraum $\bar{T}_s$ unter Berücksichtigung von Sicherung w , die in Zeitpunkt $T_{0,n}$ gehandelt wurde sowie unter Berücksichtigung von Sicherungsgrad SG und der in $T_{0,n}$ aufgestellten DWC-Funktion
$DWCCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: In Fall h realisierter DWCCF in Zeitraum $\bar{T}_s$ ohne Sicherung unter Berücksichtigung der in $T_{0,n}$ aufgestellten DWC-Funktion
$E_{T_{0,n}}(DWCCF_{w,h,\bar{T}_s})$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-ante Analyse: In Zeitpunkt $T_{0,n}$ erwarteter DWCCF für Zeitraum $\bar{T}_s$ bei Abschluss von Sicherung w in Fall h
$E_{T_{0,n}}(DWCCF_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.})$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-ante Analyse: In Zeitpunkt $T_{0,n}$ erwarteter DWCCF für Zeitraum $\bar{T}_s$ beim Abschluss keiner Sicherung in Fall h
$\Delta DWC_{h,SG}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für DWC
$\Delta DWC_{h,SG,\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für DWC
$\Delta DWCCF_{h,SG}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ in Fall h mit Sicherungsgrad SG . In einzelnen Tabellen teils verkürzt dargestellt als $\Delta DWCCF$
$\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Arithmetischer Mittelwert der Deltas zwischen den realisierten DWCCF bei Abschluss von Sicherung w und Sicherungsgrad SG sowie beim Abschluss keiner Sicherung unter Berücksichtigung aller in Fall h für Zeitraum $\bar{T}_s$ gehandelten Sicherungen
$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-ante Analyse: Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ in Fall h . In einzelnen Tabellen teils verkürzt dargestellt als ΔE_{T_0}
$\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-ante Analyse: Arithmetischer Mittelwert der diskontierten Deltas zwischen erwartetem DWCCF bei Abschluss von Sicherung w und beim Abschluss keiner Sicherung unter Berücksichtigung aller in Fall h für Zeitraum $\bar{T}_s$ gehandelten Sicherungen

$\Delta FCF_{h,SG}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF
$\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_S}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_S}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF
$\Delta Fuel_{h,SG}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für Treibstoffpreise
$\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_S}$	[US-Dollar pro Barrel]	Ex-post Analyse: Inhaltsgleich zu $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_S}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für Treibstoffpreise

Variablen: Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3

Variable	Einheit	Beschreibung
AA_dummy_h	[-]	Binäre fluggesellschaftsspezifische Dummy-Variable für <i>American Airlines</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
$Budget_h$	[%]	Siehe: $Budget_{i,T_0,\bar{T}}$ (hier angepasste Darstellung für das Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3 und Fall h)
DL_dummy_h	[-]	Binäre fluggesellschaftsspezifische Dummy-Variable für <i>Delta Air Lines</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
$Plan\_dummy_h$	[-]	Binäre Dummy-Variable bezüglich des Sicherungsziels <i>Erhöhen der Planungssicherheit</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
PrS_dummy_h	[-]	Binäre Dummy-Variable bezüglich des Sicherungsziels <i>Schutz vor Preisanstieg</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
PrV_dummy_h	[-]	Binäre Dummy-Variable bezüglich des Sicherungsziels <i>Mitnahme Preisverfall</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
$Risiko_h$	[-]	Risikobereitschaft in Fall h gemäß vierstufiger Ordinalskala
$S.Ende_h$	[Monate]	Siehe: <i>Sicherungsende</i> (hier kurze Darstellung für das Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3 und Fall h)
$S.Horizont_h$	[Monate]	Siehe: <i>Max.Horizont</i> (hier kurze Darstellung für das Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3 und Fall h)
UA_dummy_h	[-]	Binäre fluggesellschaftsspezifische Dummy-Variable für <i>United Airlines</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
VV_dummy_h	[-]	Binäre Dummy-Variable bezüglich des Sicherungsziels <i>Verringern der Volatilität</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
WN_dummy_h	[-]	Binäre fluggesellschaftsspezifische Dummy-Variable für <i>Southwest Airlines</i> in Fall h im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3

$\beta_0, \dots, \beta_{13}$	[-]	Regressionskoeffizienten im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3
$\varepsilon_{h,SG}$	[-]	Störgröße im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3

Variablen: Experimente und Ergebnisse in Kapitel 7.2

Variable	Einheit	Beschreibung
$\Delta Vabs_{h,SG}$	[US-Dollar]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$	[US-Dollar]	Absoluter Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m
$\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$	[US-Dollar]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$	[US-Dollar]	Aus DWC resultierender absoluter Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m
$\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$	[US-Dollar]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$	[US-Dollar]	Aus FCF resultierender absoluter Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m
$\Delta Vrel_{h,SG}$	[%]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$	[%]	Relativer Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m
$\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$	[%]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$	[%]	Aus DWC resultierender relativer Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m
$\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$	[%]	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$ in Fall h mit Zielsicherungsgrad SG
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$	[%]	Aus FCF resultierender relativer Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller laufenden Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in Zeitpunkt T_m

Vektoren und Matrizen

Vektor / Matrix	Beschreibung
$\mathbf{k}_w$	Vektor der Strikes aller in Instrumentenkombination w enthaltenen Derivate
$\mathbf{R}_{Y,\bar{T}}$	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Korrelationsmatrix der beiden über $\mathbf{Y}$ erfassten normalverteilten Zufallsvariablen bezüglich der Werte der Zufallsvariablen in Zeitraum $\bar{T}$
$\mathbf{X}_i$	Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2: Matrix der erklärenden Variablen des gesamten <i>in-sample</i> Zeitraumes für Fluggesellschaft i
$\mathbf{X}_{i,\bar{Q}}$	Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2: Vektor der erklärenden Variablen in einer <i>in-sample</i> Periode $\bar{Q}$ für Fluggesellschaft i
$\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$	<i>Out-of-sample</i> Prognosemodell in Kapitel 6.2.2: Matrix der bereits in $\bar{Q}_0$ bekannten <i>out-of-sample</i> Ausprägungen der erklärenden Variablen in den Perioden $\bar{Q}_0 + 1$ bis $\bar{Q}_0 + N$ (mit $N \in [1, 12]$) für Fluggesellschaft i
$\mathbf{Y}$	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Allgemein ein zweidimensionaler Vektor normalverteilter Zufallsvariablen
$\mathbf{Z}$	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Allgemein ein zweidimensionaler Vektor logarithmisch normalverteilter Zufallsvariablen
$\boldsymbol{\mu}_{Y,\bar{T}}$	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Erwartungsvektor der beiden über $\mathbf{Y}$ erfassten normalverteilten Zufallsvariablen bezüglich der Werte der Zufallsvariablen in Zeitraum $\bar{T}$
$\boldsymbol{\Sigma}_{Y,\bar{T}}$	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Kovarianzmatrix der beiden über $\mathbf{Y}$ erfassten normalverteilten Zufallsvariablen bezüglich der Werte der Zufallsvariablen in Zeitraum $\bar{T}$

Verteilungs- und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen

Funktion	Beschreibung
f_{Fuel}	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bezüglich $Fuel_{\bar{T}}$
F_{Fuel}	Verteilungsfunktion bezüglich $Fuel_{\bar{T}}$
$f_{Fuel,t}$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bezüglich $Fuel_t$
$F_{Fuel,t}$	Verteilungsfunktion bezüglich $Fuel_t$
$g_{PUOF,i,\bar{T}}$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bezüglich $PUOF_{i,\bar{T}}$ (für Ausprägungen pro Quartal auch dargestellt als $g_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$)
$G_{PUOF,i,\bar{T}}$	Verteilungsfunktion bezüglich $PUOF_{i,\bar{T}}$ (für Ausprägungen pro Quartal auch dargestellt als $G_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$)
$h_{Fuel,PUOF,i,\bar{T}}$	Bivariate Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bezüglich $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$. Falls im Kontext der Darstellung inhaltlich sinnvoll, teils auch verkürzt dargestellt als $h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}})$

h_z	Herleitung der bivariaten Verteilungsfunktion in Kapitel 6.2.3: Allgemeine Darstellung der bivariaten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zweier logarithmisch normalverteilter Zufallsvariablen

Weitere Indizes und Indexmengen

Bezeichnung	Beschreibung
a	Hilfsvariable zur Zuordnung von Regressionskoeffizienten auf Quartale im Regressionsmodell in Kapitel 6.2.2
h	Ein Fall in der Analyse ab Kapitel 7
i	Eine Fluggesellschaft
j	Index zur allgemeinen Abgrenzung einer einzelnen Beobachtung in einer Reihe von Beobachtungen. Zumeist berücksichtigt zur eindeutigen Determinierung eines einzelnen Zeitpunktes oder Zeitraumes (Beispiel: t_j) in einer Reihe von Zeitpunkten oder Zeiträumen (Beispiel: $t_{j=1}, \dots, t_{j=J}$)
J	Index zur allgemeinen Abgrenzung einer einzelnen Beobachtung in einer Reihe von Beobachtungen, wobei die mit J gekennzeichnete Beobachtung stets die letzte Beobachtung innerhalb der relevanten Beobachtungen kennzeichnet
m	Index zur eindeutigen Determinierung eines einzelnen Stichtages (Beispiel: T_m) in einer Reihe von Stichtagen (Beispiel: $T_{m=1}, \dots, T_{m=M}$)
M	Index zur eindeutigen Determinierung des letzten relevanten Stichtages (Beispiel: T_M) innerhalb einer untersuchten Periode
n	Index zur allgemeinen Abgrenzung einer einzelnen Beobachtung in einer Reihe von Beobachtungen. Zumeist berücksichtigt zur eindeutigen Determinierung eines einzelnen Zeitpunktes oder Zeitraumes (Beispiel: $T_{0,n}$) in einer Reihe von Zeitpunkten oder Zeiträumen (Beispiel: $T_{0,n=1}, \dots, T_{0,n=N}$)
N	Index zur allgemeinen Abgrenzung einer einzelnen Beobachtung in einer Reihe von Beobachtungen, wobei die mit N gekennzeichnete Beobachtung stets die letzte Beobachtung innerhalb der relevanten Beobachtungen beschreibt (Beispiel: $T_{0,N}$)
p	Index zur Zuordnung eines einzelnen Zeitpunktes oder Zeitraumes zu einem Monat (Beispiel: $\bar{T}_p$)
q	Allgemeine Zuordnung einer Beobachtung zu einem Quartal ($q \in [1, 4]$)
s	Index zur eindeutigen Determinierung eines einzelnen Zeitraumes ($\bar{T}_s$) in einer Reihe von Zeiträumen ($\bar{T}_{s=1}, \dots, \bar{T}_{s=S}$), wobei Zeitpunkt T_s jeweils das Ende eines Zeitraumes $\bar{T}_s$ beschreibt
S	Index zur eindeutigen Determinierung des letzten relevanten Zeitraumes ($\bar{T}_S$) innerhalb der untersuchten Periode, wobei Zeitpunkt T_S das Ende des Zeitraumes $\bar{T}_S$ beschreibt

v	Index zur eindeutigen Determinierung eines einzelnen Zeitpunktes oder Zeitraumes (Beispiel: t_v) in einer Reihe von Zeitpunkten oder Zeiträumen (Beispiel: $t_{v=1}, \dots, t_{v=N}$)
w	Index zur Kennzeichnung einer einzelnen Derivatekombination. Eine Derivatekombination kann aus mehreren Instrumenten bestehen
W	Index zur Kennzeichnung einer einzelnen Derivatekombination, wobei W die letzte Derivatekombination innerhalb der im Rahmen einer Untersuchung relevanten Derivatekombinationen kennzeichnet

Sonstige mathematische Ausdrücke

Ausdruck	Beschreibung
$a b$	Allgemeine Darstellung für a bedingt auf b
$cov(a, b)$	Allgemeine Darstellung der Kovarianz von a und b
$E(a)$	Allgemeine Darstellung des Erwartungswertes von a
$\tilde{E}(a)$	Allgemeine Darstellung des Erwartungswertes von a unter dem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß
$LN(a, b^2)$	Allgemeine Darstellung einer logarithmischen Normalverteilung mit Erwartungswert a und Varianz b^2
$\log(a)$	Allgemeine Darstellung des natürlichen Logarithmus zur Basis e
$N(a, b^2)$	Allgemeine Darstellung einer Normalverteilung mit Erwartungswert a und Varianz b^2
$var(a)$	Allgemeine Darstellung der Varianz von a
$\Phi(a)$	Funktionswert der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung für a

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Um sich in einem umkämpften Markt ökonomisch erfolgreich zu positionieren, ist es als Fluggesellschaft unumgänglich, bestehende Chancen und Risiken im Detail zu analysieren und existierende Effizienzpotenziale zu realisieren. Im Rahmen der Risikoanalyse sollte der Fokus der Aufmerksamkeit dabei zuerst auf diejenigen Risiken gerichtet sein, deren Eintrittswahrscheinlichkeit als hoch einzuordnen ist und die gleichzeitig einen starken Einfluss auf den Unternehmenserfolg ausüben.¹ Mit einem durchschnittlichen jährlichen Anteil von mehr als 20% am operativen Gesamtaufwand weltweiter Fluggesellschaften in den Jahren 2016 bis 2019 liegt es nahe, bei einer solchen Analyse den Treibstoffaufwand² als eine der vorrangigen Positionen im Detail zu betrachten.³ Im Rahmen der Detailanalyse sollte dann bezüglich der Komponenten, welche Einfluss auf die Höhe des Treibstoffaufwands einer Fluggesellschaft ausüben, strikt zwischen zwei Faktoren unterschieden werden: (1) die benötigte Menge an Flugzeugtreibstoff sowie (2) der Preis für Flugzeugtreibstoff.

In diesem Kontext gilt, dass eine Verringerung der benötigten Treibstoffmenge *ceteris paribus* im Regelfall zu einer Verringerung des Treibstoffaufwands führt. Demnach verhalten sich die Ziele *Verringerung der benötigten Treibstoffmenge* und *Verringerung des Treibstoffaufwands* komplementär. Praktisch ist ein aktives Flottenmanagement hin zu effizienteren Flugzeugen mit neuen Triebwerken die geeignetste Möglichkeit, die benötigte Treibstoffmenge signifikant zu senken.⁴ Grundlegende Änderungen der Flotte sind in der Regel allerdings nur über mittel- bis langfristige Planungszyklen realisierbar, sodass zwischen der Investitionsentscheidung einer Fluggesellschaft und der aus dieser Entscheidung resultierenden Verringerung der benötigten Treibstoffmenge mehrere Jahre liegen können.⁵

Beim Blick auf den zu zahlenden Treibstoffpreis ergibt sich hingegen ein abweichendes Bild. Die Höhe des Marktpreises von Flugzeugtreibstoff ist für Fluggesellschaften eine exogene Größe, die starken Schwankungen ausgesetzt ist und als gegeben hingenommen werden muss (siehe: Abbildung 1).

Allerdings bestehen für Fluggesellschaften in der Praxis Möglichkeiten, die Risikokomponente Treibstoffpreis über Umwege so zu adressieren, dass diese in der kurzen und mittleren Frist zu einer planbareren Größe wird. Durch den Einsatz von Finanzderivaten auf dem Kapitalmarkt ist es möglich, bestehende Marktpreisrisiken zu begrenzen und so den Treibstoffaufwand zu beeinflussen. In einer aktuellen Studie von Merkert und Swidan (2019) machen Fluggesellschaften weltweit in etwa 85% der Beobachtungen von dieser Möglichkeit Gebrauch.⁶ Demnach greifen Fluggesellschaften in der Praxis auf Werkzeuge des Kapitalmarktes zurück, die es erlauben, den Treibstoffaufwand auch in der kurzen bis mittleren Frist zu einem kalkulierbaren Faktor werden zu lassen.

¹ Ein praktisches Beispiel für eine solche Analyse findet sich in: Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 67 f.

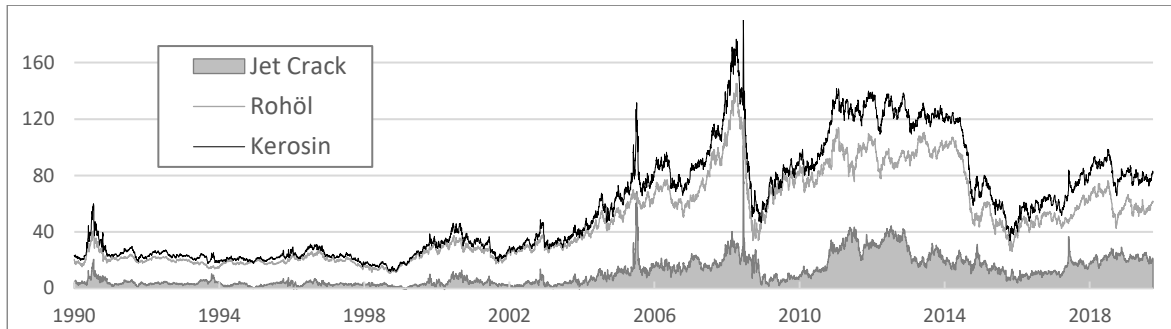
² In der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Literatur wird trennscharf zwischen Kosten (Fokus: internes Rechnungswesen) und Aufwand (Fokus: externes Rechnungswesen) unterschieden. Da der *Treibstoffaufwand* in dieser Arbeit gemäß Vorgaben des externen Rechnungswesens definiert ist (siehe: Kapitel 5.1.2), wird nachfolgend konsistent der Terminus *Treibstoffaufwand* (statt *Treibstoffkosten*) berücksichtigt. Vgl. Wöhe/Döring/Brösel (2016): S. 634 ff.

³ Vgl. IATA (2021): S. 1. Daten umfassen Fluggesellschaften weltweit gemäß IATA-Analyse.

⁴ Vgl. Zhao et al. (2010): S. 2 ff. Eine Übersicht zu konkreten Effizienzpotentialen moderner Flugzeugtypen findet sich beispielsweise in einer Arbeit von Rosskopf, Lehner und Gollnick (2014). Vgl. Rosskopf/Lehner/Gollnick (2014): S. 112.

⁵ Vgl. Rosskopf (2013): S. 12 ff. Siehe hierzu auch: Abbildung 5 in Kapitel 2.1.3 in der vorliegenden Arbeit.

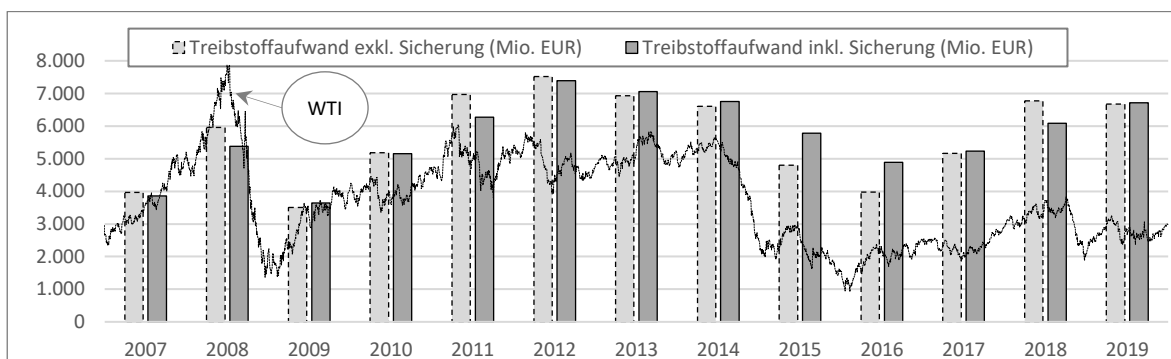
⁶ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 213. Die Autoren untersuchen weltweit 100 Fluggesellschaften.

Abbildung 1 – Preisverlauf Kerosin, Rohöl und Jet Crack

Die Abbildung zeigt den Spotpreisverlauf der Rohölsorte *West Texas Intermediate*, der Kerosinpreisnotierung *Jet US Gulf Coast* sowie den zugehörigen *Jet Crack* (entspricht der Preisdifferenz zwischen Rohöl- und Kerosinpreis; siehe: Kapitel 2.3) in US-Dollar pro Barrel von April 1990 bis Ende 2019. Umrechnung in US-Dollar pro Barrel gemäß Tabelle 54. Dargestellt sind Tagesschlusspreise.⁷

Den Schutz vor einem Treibstoffpreisanstieg stellt der Kapitalmarkt jedoch nicht ohne Gegenleistung zur Verfügung. Beispielsweise verlangt der Kapitalmarkt hierfür Gebühren in Form von Prämienzahlungen und/oder es müssen im Gegenzug Nachteile in Preisverfallszenarien in Kauf genommen werden. Die drei Ziele (1) Schutz vor Preisanstieg, (2) Partizipation am Preisverfall und (3) Minimierung von Prämienzahlungen verhalten sich somit konfliktär zueinander. Bei der Gestaltung einer Treibstoffpreissicherungsstrategie müssen diese drei Ziele demnach von einer Fluggesellschaft erkannt und auf Basis individueller Präferenzen gegeneinander abgewogen werden. Das Finden der unternehmensindividuellen Balance zwischen dem Minimieren von Risiken und dem gleichzeitigen Beibehalten von Chancen kann im Kontext der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften als Risikomanagement bezeichnet werden.⁸

Um zu veranschaulichen, welchen praktischen wirtschaftlichen Einfluss der Einsatz von Finanzderivaten zur Sicherung von Treibstoffpreisen auf den Erfolg einer Fluggesellschaft ausüben kann, wird dieser Einfluss nachfolgend am Beispiel von Praxisbeobachtungen für die Deutsche Lufthansa AG analysiert.

Abbildung 2 – Treibstoffaufwand Lufthansa Group (2007 bis 2019)

Die Abbildung zeigt den jährlichen Treibstoffaufwand der Lufthansa Group in Millionen Euro für die Kalenderjahre 2007 bis 2019. Dargestellt ist je Kalenderjahr der im Jahresabschluss bilanzierte Treibstoffaufwand inklusive Treibstoffpreissicherungsergebnis sowie der alternative Aufwand ohne Treibstoffpreissicherung. Zusätzlich ist der Rohölpreis für die Rohölsorte *West Texas Intermediate* (WTI) in US-Dollar pro Barrel (siehe: Abbildung 1 sowie die dortigen Anmerkungen) dargestellt.⁹

⁷ Öl- und Kerosinpreise gemäß *Bloomberg Professional Services* (Ticker für WTI: „CL1 Comdty“) und der *U.S. Energy Information Administration* unter: https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/ee_epjk_pf4_rgc_dpgD.htm (Stand: 27.08.2022). Der Jet Crack wird manuell errechnet. Zum Datenabruf siehe auch: Kapitel 6.1.3.

⁸ Beispielsweise Copeland, Weston und Shastri (2005) diskutieren, dass Risikomanagement auch als Risiko-Chancen-Management verstanden werden kann, welches sich mit dem Abwägen von Chancen und Risiken zur Erreichung des übergeordneten Ziels der Unternehmenswertmaximierung auseinandersetzt. Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 870 f.

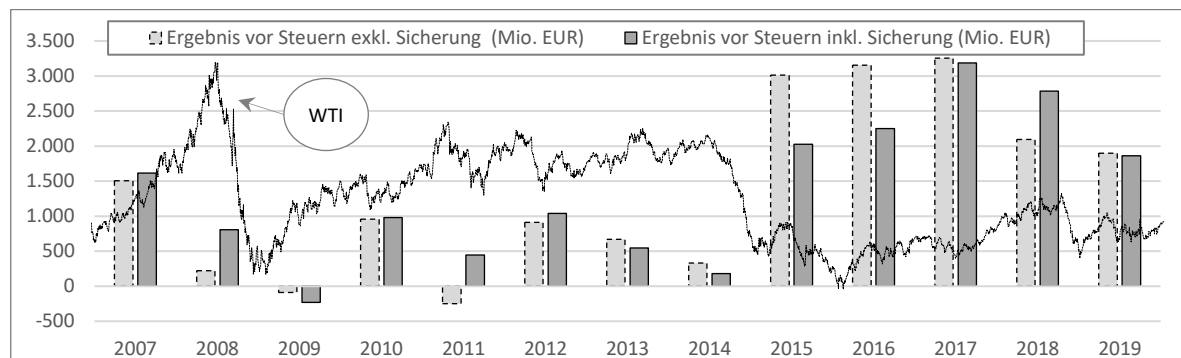
⁹ Vgl. Lufthansa Group (2007): S. 48; vgl. Lufthansa Group (2008): S. 53; vgl. Lufthansa Group (2009): S. 61; vgl. Lufthansa Group (2010): S. 64; vgl. Lufthansa Group (2011): S. 50; vgl. Lufthansa Group (2012): S. 48; vgl. Lufthansa Group (2013): S. 45 f.; vgl. Lufthansa Group (2014): S. 47 f.; vgl. Lufthansa Group (2015): S. 29 f.; vgl. Lufthansa Group (2016): S. 29; vgl. Lufthansa Group (2017): S. 33; vgl. Lufthansa Group (2018): S. 31; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 34 f.

Abbildung 2 zeigt hierfür zunächst den jährlichen Treibstoffaufwand der Lufthansa Group inklusive sowie exklusive realer Treibstoffpreissicherungen für die Jahre 2007 bis 2019. Mit Blick auf Abbildung 2 scheinen primär drei Beobachtungen erwähnenswert:

- (1) Es ist ersichtlich, dass durch die Treibstoffpreissicherungen in einzelnen Jahren ein Treibstoffaufwand realisiert wurde, welcher stark von dem Treibstoffaufwand abweicht, welcher ohne den Abschluss von Treibstoffpreissicherungen realisiert worden wäre. Extremwerte bezüglich der Unterschiede finden sich in den Jahren 2018 (Vorteil aus Sicherung: 689 Millionen Euro) sowie 2015 (Nachteil aus Sicherung: 988 Millionen Euro).
- (2) Für die im Beispiel erfassten 13 Jahre liegt die errechnete Varianz des Treibstoffaufwands inklusive Sicherungen um knapp 25% unter der Varianz des Treibstoffaufwands exklusive Sicherungen. Der Abschluss von Sicherungen scheint sowohl positiv als auch negativ dämpfenden Einfluss auf die absolute Ausprägung des Treibstoffaufwands auszuüben.
- (3) Das Eingehen von Sicherungen kann im Fall eines Treibstoffpreisanstiegs zu starken Vorteilen führen (Beispiele: 2008, 2011 und 2018). Demgegenüber kann das Eingehen von Sicherungen im Fall eines Preisverfalls nachteilig sein (Beispiele: 2015 und 2016). Ex-post besteht folglich ein Zusammenhang zwischen dem ökonomischen Effekt aus Sicherungen und der zugrundeliegenden exogenen Treibstoffpreisentwicklung.

Im Kontext des wirtschaftlichen Gesamterfolgs einer Fluggesellschaft ist allerdings zu berücksichtigen, dass die singuläre Betrachtung des Einflusses von Sicherungsmaßnahmen auf den Treibstoffaufwand nicht ausreichend zur Beurteilung des Vor- oder Nachteils solcher Maßnahmen ist. Stattdessen sollte zunächst zusätzlich untersucht werden, wie sich der Treibstoffaufwand inklusive und exklusive der Treibstoffpreissicherungen im Unternehmensergebnis niederschlägt. In Abbildung 3 finden sich daher beispielhaft die jährlichen Unternehmensergebnisse der Lufthansa Group inklusive sowie exklusive Treibstoffpreissicherungen für die Jahre 2007 bis 2019.

Abbildung 3 – Jahresergebnis Lufthansa Group (2007 bis 2019)



Die Abbildung zeigt das jährliche Ergebnis der Lufthansa Group vor Ertragsteuern in Millionen Euro für die Kalenderjahre 2007 bis 2019. Dargestellt ist je Kalenderjahr das im Jahresabschluss ausgewiesene Ergebnis vor Steuern inklusive Treibstoffpreissicherungsergebnis sowie das alternative Ergebnis ohne Treibstoffpreissicherung. Zusätzlich ist der Rohölpreis für die Rohölsorte *West Texas Intermediate* (WTI) in US-Dollar pro Barrel (siehe: Abbildung 1 sowie die dortigen Anmerkungen) dargestellt.¹⁰

Es ist ersichtlich, dass die drei zuvor für den Treibstoffaufwand beschriebenen Beobachtungen ((1) starker absoluter Einfluss¹¹, (2) Varianzverringerung¹² und (3) ex-post

¹⁰ Vgl. Lufthansa Group (2007): S. 113; vgl. Lufthansa Group (2008): S. 129; vgl. Lufthansa Group (2009): S. 144; vgl. Lufthansa Group (2010): S. 150; vgl. Lufthansa Group (2011): S. 140; vgl. Lufthansa Group (2012): S. 130; vgl. Lufthansa Group (2013): S. 133; vgl. Lufthansa Group (2014): S. 148; vgl. Lufthansa Group (2015): S. 112; vgl. Lufthansa Group (2016): S. 94; vgl. Lufthansa Group (2017): S. 103; vgl. Lufthansa Group (2018): S. 100; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 138.

¹¹ Da im Beispiel Steuern nicht von Relevanz sind, entsprechen die Unterschiede den zuvor genannten. Die Spanne beträgt somit ebenfalls zwischen 988 Mio. Euro Nachteil (2015) bis 689 Mio. Euro Vorteil (2018).

¹² Im Beispiel 29% Verringerung der Ergebnisvarianz durch das Eingehen der Treibstoffpreissicherungen.

Zusammenhang zwischen Sicherungserfolg und Treibstoffpreisentwicklung) ebenfalls beobachtet werden können. Darüber hinaus scheint jedoch allen voran eine neue Beobachtung von hoher Relevanz:

Starke exogene Treibstoffpreisanstiege führen ohne Sicherungen zu hohem Treibstoffaufwand, welcher das Unternehmensergebnis teils stark belastet. Da Sicherungen, wie zuvor dargestellt, allen voran in einem steigenden Preisumfeld ihre vorteilhafte Wirkung entfalten, können diese somit vor allem in solchen Jahren, in welchen das Unternehmensergebnis aufgrund von steigenden Treibstoffpreisen unter Druck steht, zu einer Stabilisierung der Unternehmensergebnisse beitragen (Beispiele: 2008 und 2011).

Demgegenüber führen Treibstoffpreisverringerungen bereits ohne Sicherungen zu einem geringeren Treibstoffaufwand, welcher sich vielfach in einem stark vorteilhaften Unternehmensergebnis niederschlägt. Da Sicherungen, wie zuvor dargestellt, in einem solchen Preisumfeld teils eine nachteilige Wirkung entfalten, führt die dämpfende Wirkung der Preissicherung in solchen Jahren im Beispiel primär dazu, dass ein (stark) vorteilhaftes Unternehmensergebnis etwas geringer – aber dennoch weiterhin vorteilhaft – ausfällt (Beispiele: 2015 und 2016). Exemplarisch resultiert aus einem Vorteil der Sicherung in Höhe von 584 Millionen Euro im Jahr 2008 eine Verbesserung des Unternehmensergebnisses um 265%. Demgegenüber führt ein absoluter Nachteil der Sicherung in Höhe von 905 Millionen Euro im Jahr 2016 lediglich zu einem um 29% schlechteren Unternehmensergebnis.

Das Beispiel der Deutschen Lufthansa AG zeigt somit anschaulich, dass Treibstoffpreissicherungen einen relevanten Einfluss auf den ökonomischen Erfolg einer Fluggesellschaft nehmen können und dazu in der Lage sind, das Unternehmensergebnis auch in wirtschaftlichen Extremsituationen entscheidend zu beeinflussen. Da Beobachtungen zudem zeigen, dass real implementierte Treibstoffpreissicherungsstrategien von Fluggesellschaften in der Praxis sehr heterogen ausgestaltet sind (siehe: Kapitel 4), ist die logische Folgefrage, die sich aus diesen Beobachtungen ergibt, wie Treibstoffpreissicherungen optimal ausgestaltet werden sollten. Allerdings existieren – soweit bekannt – in der wissenschaftlichen Literatur bislang keine fundierten Beiträge, die sich damit befassen, wie eine optimale und für die Praxis nutzbare Sicherungsstrategie theoretisch identifiziert und praktisch genutzt werden kann. Die aufgeworfene Fragestellung offenbart somit eine zu schließende Lücke in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung (siehe: Kapitel 3).

Aktuelle Forschungsrelevanz erhält die Fragestellung nach der optimalen Gestaltung von Treibstoffpreissicherungsstrategien zudem durch das Inkrafttreten des Bilanzierungsstandards IFRS 9 im Jahr 2018. Seither ist es Fluggesellschaften erlaubt, ein deutlich breiteres Spektrum an Instrumenten zu Sicherungszwecken einzusetzen (siehe: Kapitel 4.1.2.1).

1.2 Zielsetzung, Methodik und zentrale Forschungsfragen

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist das Aufstellen eines aus der Finanztheorie abgeleiteten quantitativen Modells zur ex-ante Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen für Fluggesellschaften. Beim Aufstellen dieses Modells wird zudem insbesondere berücksichtigt, dass erzeugte Ergebnisse für die Praxis relevant sind und auch auf diese übertragen werden können.

Zur Verifikation und Validierung des aufzustellenden Modells wird in dieser Arbeit eine Simulationsstudie durchgeführt. Diese methodische Herangehensweise bietet das formale Gerüst, welches es ermöglicht, den praktischen Nutzen des aufgestellten Modells im Rahmen von Experimenten darzulegen und zu zeigen, dass durch das aufgestellte Modell – in

simulierten Praxistests – mit ausreichender Glaubwürdigkeit Sicherungen identifiziert werden, welche ökonomische Vorteile für Fluggesellschaften generieren (siehe: Kapitel 7).

Die Arbeit orientiert sich dabei vereinfacht am *Life-Cycle-Schema* zur Erstellung einer Simulationsstudie gemäß Balci (1998) und beinhaltet die von diesem vorgestellten Prozessschritte (1) Problemformulierung, (2) Vorstellung von Lösungstechniken, (3) Systemuntersuchung, (4) Modellformulierung, (5) Modellprogrammierung, (6) Durchführen von Experimenten sowie (7) Analyse und Diskussion der Simulationsergebnisse.¹³

Während die Systemuntersuchung in dieser Arbeit zeigt, dass in der Praxis von Fluggesellschaften eine Vielzahl an heterogenen Sicherungsstrategien genutzt werden (siehe: Kapitel 4), wurde die Fragestellung, wie und auf Basis welcher Entscheidungskriterien Fluggesellschaften optimale Sicherungen identifizieren, in der Literatur – soweit bekannt – bislang nicht behandelt.

Als ersten Schritt zur Beantwortung dieser Frage erfasst diese Arbeit daher zunächst in strukturierter Form interne und externe Faktoren, die Einfluss auf die Ausgestaltung einer Sicherungsstrategie nehmen können (siehe: Kapitel 4.1). Anschließend identifiziert die Arbeit im Rahmen der Systemuntersuchung die vielfältigen Entscheidungen, die beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie getroffen werden müssen (siehe: Kapitel 4.2). Mit dem strukturierten Darstellen und transparenten Aufbereiten von internen und externen Einflussfaktoren sowie den relevanten Entscheidungen im Kontext der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften erweitert die Arbeit bereits die bestehende Literatur.

Im Anschluss daran wird im Rahmen der Modellformulierung das Modell *OPTA*¹⁴ aufgestellt (siehe: Kapitel 5 und 6). Da angenommen wird, dass es sich beim Abschluss einer Treibstoffpreissicherung um eine Entscheidung unter Unsicherheit handelt, wird hierbei auf Methoden der stochastischen Optimierung zurückgegriffen. Über diese Herangehensweise ist es mittels der programmierten Form von *OPTA* möglich, aus der ex-ante Perspektive optimale Treibstoffpreissicherungen für Fluggesellschaften zu identifizieren und deren relativen Vorteil zu quantifizieren. Durch das Nutzen von *OPTA* werden Ergebnisse erzielt, die einfach und direkt auf die Praxis übertragbar sind.

Der Rückgriff auf *OPTA* ermöglicht es zudem, in der Simulationsstudie im Rahmen von Experimenten komplette Portfolien von ex-ante optimalen Sicherungen zu erzeugen und zu analysieren (siehe: Kapitel 7). Hierbei wird auf reale Unternehmensdaten und Marktsituationen der Jahre 2007 bis 2019 zurückgegriffen und es wird der Abschluss praxisrelevanter Sicherungsstrategien für diesen Zeitraum simuliert. Dank der gewählten Methodik können verschiedene Sicherungsstrategien für unterschiedliche Fluggesellschaften über mehrere Simulationsjahre hinweg ausgewertet und miteinander verglichen werden.

Da aufgrund der gewählten Form der stochastischen Optimierung im Modell durch den Abschluss von Sicherungen ex-ante lediglich Erwartungswerte optimiert werden, ist es zudem notwendig, den Erfolg der erzeugten Sicherungsstrategien zusätzlich aus der ex-post Perspektive zu analysieren. Nur so ist es abschließend möglich, das aufgestellte Modell zu validieren und zu zeigen, dass aus errechneten ex-ante Vorteilen der Sicherung tatsächlich auch ex-post Vorteile resultieren (siehe: Kapitel 7.1).

Übergeordnet ist es im Rahmen der Simulationsstudie mittels *OPTA* möglich, verschiedene offene Forschungsfragen zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften zu beantworten. Konkret werden unter anderem die folgenden zentralen Themenkomplexe adressiert, die – soweit bekannt – zuvor in noch keiner wissenschaftlichen Arbeit behandelt wurden:

¹³ Vgl. Balci (1998): S. 335 ff.

¹⁴ Modellname als Abkürzung für: **Optimale Treibstoffpreissicherungen für Airlines**.

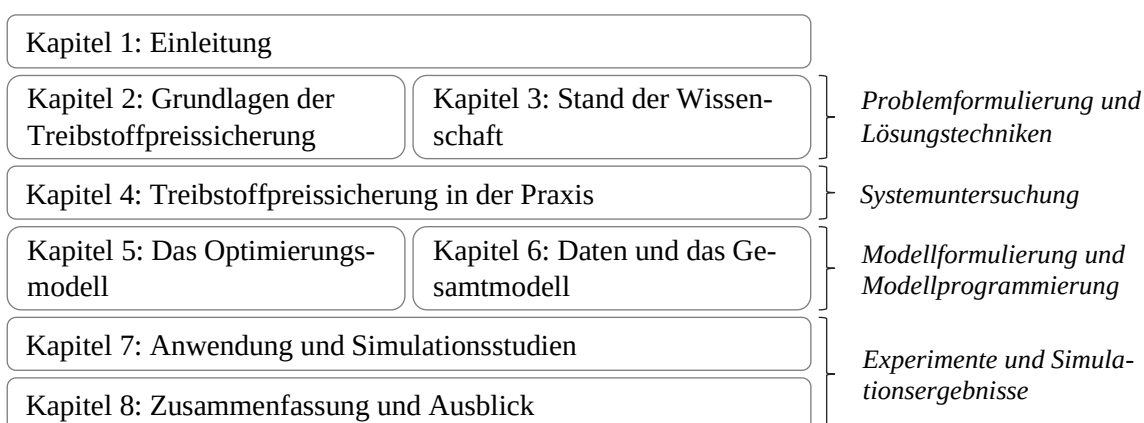
1. Es wird ein Modell aufgestellt, mittels welchem unter Berücksichtigung interner Entscheidungen sowie externer Einflüsse ex-ante optimale und praktisch relevante Treibstoffpreissicherungen für reale Fluggesellschaften identifiziert werden können (siehe: Kapitel 7.1).
2. Es wird eine Simulationsstudie durchgeführt, in welcher verschiedene praxisrelevante Treibstoffpreissicherungsstrategien vergleichend untersucht werden, sodass der Einfluss der Ausgestaltung zentraler Parameter auf den Erfolg einer Sicherungsstrategie ex-ante sowie ex-post analysiert werden kann (siehe: Kapitel 7.1).
3. Es wird eine Simulationsstudie durchgeführt, in welcher theoretische Unternehmenswertvorteile aus dem Abschluss von praxisrelevanten Treibstoffpreissicherungen für historische Stichtage quantifiziert und miteinander verglichen werden können (siehe: Kapitel 7.2).

Unter Berücksichtigung der behandelten Forschungsfragen und unter Verweis auf die in Kapitel 1.1 dargelegte ökonomische Relevanz von Treibstoffpreissicherungen in der Praxis wird angenommen, dass die Entwicklung des in dieser Arbeit aufgestellten Modells zur ex-ante Identifikation optimaler Sicherungen sowie das Durchführen der Simulationsstudien sowohl für die Praxis als auch für die Wissenschaft von hohem Interesse sind und einen relevanten Zuwachs an Wissen ermöglichen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Wie zuvor bereits skizziert, orientiert sich die Struktur der Arbeit am Schema zum Aufstellen einer Simulationsstudie gemäß Balci (1998). Vereinfacht können die von diesem im *Life-Cycle-Schema* genannten Prozessschritte wie folgt den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit zugeordnet werden: Problemformulierung und Vorstellung von Lösungstechniken (Kapitel 2 und 3), Systemuntersuchung (Kapitel 4), Modellformulierung und -programmierung (Kapitel 5 und 6) sowie Durchführen von Experimenten und Diskussion der Simulationsergebnisse (Kapitel 7). Darüber hinaus und leicht vom Schema in Balci (1998) abweichend, werden in Kapitel 2 zentrale und notwendige Grundlagen dieser Arbeit geschaffen. Kapitel 3 befasst sich zudem umfassend mit der bestehenden Literatur und identifiziert Lücken in der bestehenden Forschung. Abbildung 4 zeigt den Aufbau dieser Arbeit in strukturierter Form.

Abbildung 4 – Aufbau der Arbeit



Die Abbildung zeigt den Aufbau der vorliegenden Arbeit. Auf der rechten Seite der Abbildung findet sich zudem eine schematische Zuordnung aller Kapitel zu einem vereinfachten *Life-Cycle-Schema* für Simulationsstudien, welches sich an Balci (1998) orientiert.¹⁵

¹⁵ Vgl. Balci (1998): S. 335 ff.

2 Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften

Bevor sich diese Arbeit konkreten Forschungsfragen zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften widmet, stellt Kapitel 2 notwendige Grundlagen vor. In Kapitel 2.1 werden zunächst Definitionen vorgenommen und Einordnungen durchgeführt. Nachfolgend finden sich kurze Darstellungen zu Grundlagen des Kapitalmarktes (Kapitel 2.2) sowie zur physischen Risikokomponente Kerosin (Kapitel 2.3).

2.1 Definitionen und Einordnung

Kapitel 2.1 nimmt eine Einordnung und Definition von grundlegenden Zusammenhängen und Begrifflichkeiten dieser Arbeit vor. Zunächst wird in Kapitel 2.1.1 der Begriff des Risikos definiert und es werden unterschiedliche Risikoarten vorgestellt. Anschließend wird in Kapitel 2.1.2 die im Fokus dieser Arbeit stehende Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften definiert. In Kapitel 2.1.3 findet sich abschließend die Einordnung der Treibstoffpreissicherung in den strategischen Planungsprozess einer Fluggesellschaft.

2.1.1 Marktrisiko, Risiko und Unsicherheit

Nach Kendall (1998) lassen sich die für Unternehmen relevanten Risiken in vier Hauptrisikobereiche unterteilen: (1) Marktrisiko¹⁶, (2) Kreditrisiko, (3) Betriebsrisiko und (4) Rechtsrisiko.¹⁷

Die vorliegende Arbeit widmet sich primär dem Umgang mit einem dieser Risiken: dem Marktrisiko. Dieses definiert Kendall (1998) als die „*Gefahr ... Verluste durch ungünstige Preisänderungen der ... Kontrakte zu erleiden, die sich gerade im Besitz des Unternehmens befinden.*“¹⁸ Unter Berücksichtigung dieser Definition wird für den in dieser Arbeit untersuchten Anwendungsfall und mit Bezug auf Treibstoffpreise angenommen, dass Fluggesellschaften für geplante Flüge bereits ex-ante von der Existenz eines hinreichend sicheren Kontraktes ausgehen können, welcher eine Fluggesellschaft dazu verpflichtet, den im Moment des Fluges gültigen Marktpreis für das bezogene Kerosin zu bezahlen.¹⁹ Demnach besteht für die Fluggesellschaft ein Marktrisiko bezüglich zukünftiger Preise von Kerosin. Zur Beschreibung dieses Risiko findet sich in der Literatur teils auch der Begriff *Preisrisiko*.²⁰ Sofern nicht anders dargestellt, werden die beiden Begriffe in dieser Arbeit synonym zueinander verwendet. Die Treibstoffpreissicherung ist ein Risikomanagementansatz zur Adressierung dieses Markt- beziehungsweise Preisrisikos.

Eng verbunden mit dem Begriff des Risikos ist der Begriff der Unsicherheit. Die Begriffe Risiko und Unsicherheit werden für diese Arbeit wie folgt voneinander abgegrenzt: Unsicherheit mit Bezug auf eine zukünftige Entwicklung besteht in einer Situation, in der das Eintreten verschiedener Entwicklungsszenarien möglich ist. Der Begriff Risiko gibt zusätzlich Auskunft darüber, dass – auch ohne Kenntnis über quantifizierte Wahrscheinlichkeiten – die Entwicklung in mindestens einem Entwicklungsszenario vom relevanten Entscheider²¹

¹⁶ Auf eine Unterteilung des Marktrisikos in systematische und unsystematische Risiken wird an dieser Stelle zunächst verzichtet. Diese Unterscheidung wird inhaltlich passend in Kapitel 3.1 diskutiert.

¹⁷ Vgl. Kendall (1998): S. 11.

¹⁸ Kendall (1998): S. 85.

¹⁹ Für Hintergründe und eine Konkretisierung dieser Annahme siehe auch: Kapitel 2.1.3 und 5.1.2.2.

²⁰ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1283. Das Preisrisiko ist dort ein Komplement zum Mengenrisiko.

²¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit die Sprachform des generischen Maskulinums verwendet. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Verwendung geschlechtsunabhängig zu verstehen ist.

subjektiv als ökonomisch nachteilig bewertet wird und dass die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Entwicklung von diesem subjektiv als entscheidungsrelevant wahrgenommen wird.²² Der Begriff Risiko weist somit in der vorliegenden Arbeit eine verstärkt negative Konnotation auf.²³ Aus dieser Definition folgt, dass Entscheidungen unter Risiko stets auch Entscheidungen unter Unsicherheit sind.

2.1.2 Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften

Die Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften ist ein weicher und nicht absolut definierter Begriff, der sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis teils unterschiedlich verwendet wird. Aus diesem Grund wird nachfolgend eine grundlegende Definition des Begriffes für diese Arbeit vorgenommen.

In der englischsprachigen Literatur wird der Begriff *Hedging* als Äquivalent zum deutschen Begriff *Sicherung* genutzt.²⁴ Diese Äquivalenz wird auch in der vorliegenden Arbeit unterstellt. Zwei sehr allgemeine Definitionen von Hedging finden sich in Standardwerken zum Finanzrisikomanagement: Hull (2006) definiert die Sicherung als „*a trade to reduce risk*“.²⁵ Stulz (2003) definiert eine Sicherung sehr ähnlich als „*a financial position put on to reduce the impact of a risk one is exposed to*“.²⁶ Smith und Stulz (1985) konkretisieren diese Definitionen in ihrer Veröffentlichung zum Risikomanagement von Unternehmen, indem sie ergänzen, dass auch operative Entscheidungen Effekte nach sich ziehen können, die gleichartig zu denen sind, die durch Hedging mittels Finanzprodukten erzeugt werden.²⁷ Für die konkrete Anwendung der Sicherung von Treibstoffpreisen durch Fluggesellschaften definieren Morrell und Swan (2006) Hedging als „*locking in the cost of future fuel purchases, which protects against sudden cost increases from rising fuel prices, but .. also prevents savings from decreasing fuel prices*“.²⁸

Angelehnt an die vorgestellten Definitionen wird für die vorliegende Arbeit definiert:

Die Treibstoffpreissicherung einer Fluggesellschaft umfasst (1) alle Handlungen, die (2) unter Unsicherheit durchgeführt werden und (3) potenziell dazu führen können, dass (4) der in der Gewinn- und Verlustrechnung der Fluggesellschaft ausgewiesene Treibstoffaufwand (5) nicht dem Aufwand entspricht, der sich ergeben hätte, wenn (6) eine Abrechnung der beschafften Kerosinmenge zum Marktpreis stattgefunden hätte.

Diese Definition beinhaltet Aspekte der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften, die teilweise über die Definitionen der zuvor genannten Autoren hinausgehen:

- (1) Die Definition umfasst grundsätzlich sowohl, wie von Stulz (2003) definiert, das Eingehen finanzieller Transaktionen als auch, wie von Smith und Stulz (1985) definiert, das Durchführen operativer Maßnahmen. Es ist jedoch ebenfalls (6) zu berücksichtigen.
- (2) Zukünftige Entwicklungen sind ex-ante nicht determiniert, sondern es müssen verschiedene Entwicklungsszenarien möglich sein.
- (3) Es werden alle Handlungen berücksichtigt, die mit einer Wahrscheinlichkeit größer null in mindestens einem Entwicklungsszenario Einfluss auf eine festgelegte Kennziffer (hier: Treibstoffaufwand) ausüben.

²² Entgegen einzelnen Veröffentlichungen aus dem Fachgebiet der Entscheidungstheorie werden die Begriffe Risiko und Unsicherheit in dieser Arbeit unabhängig von der Quantifizierbarkeit der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Entwicklungsszenarien definiert. Siehe exemplarisch: Dörsam (2013): S. 12.

²³ Für eine ähnliche, aber verkürzte Definition von Risiko: Vgl. Embrechts/Frey/McNeil (2005): S. 1.

²⁴ Beispielsweise: Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 392; vgl. Stulz (2003): S. 5 ff.

²⁵ Hull (2006): S. 750.

²⁶ Stulz (2003): S. 5.

²⁷ Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 392.

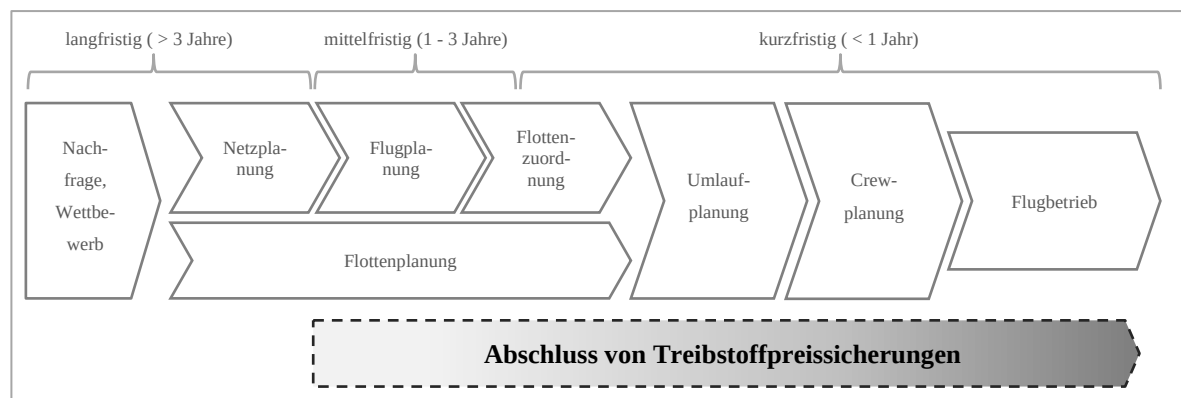
²⁸ Morrell/Swan (2006): S. 713.

- (4) Es werden nur solche Maßnahmen berücksichtigt, die auch auf Basis der für das Unternehmen relevanten Rechnungslegungsstandards Einfluss auf den Treibstoffaufwand in der Gewinn- und Verlustrechnung (im Folgenden: GuV) des Unternehmens ausüben.
- (5) Es wird zusätzlich festgelegt, dass sowohl aufwandsreduzierende als auch -erhöhende Handlungen als Sicherungsgeschäft unter diese Definition gefasst werden.
- (6) Als Referenzgröße zur Bewertung der Sicherungsaktivitäten wird, unter der Annahme einer fixen Verbrauchsmenge, der alternative Treibstoffaufwand definiert, welcher ohne Sicherungen realisiert worden wäre. In diesem Alternativszenario hätte der Treibstoff zum jeweiligen Marktpreis gekauft werden müssen. Dieser Teil der Definition grenzt ab, dass alle Maßnahmen, die den Treibstoffverbrauch reduzieren, aber keine Wirkung auf den zu zahlenden Preis je Einheit Kerosin ausüben, in dieser Arbeit nicht als Hedging berücksichtigt werden. Treibstoffsparende Maßnahmen, die beispielsweise Berghöfer und Lucey (2014) oder Merkert und Swidan (2019) unter dem Titel *operatives Hedging* behandeln, finden in der vorliegenden Arbeit demnach keine Berücksichtigung.²⁹

2.1.3 Treibstoffpreissicherung im strategischen Planungsprozess

Nach Rosskopf (2013) kann der komplexe Planungsprozess einer Fluggesellschaft schematisch anhand von Abbildung 5 veranschaulicht werden.

Abbildung 5 – Planungsprozess einer Fluggesellschaft



Die Abbildung zeigt schematisch den Planungsprozess einer Fluggesellschaft nach Rosskopf (2013) und ordnet den Einfluss von Treibstoffpreissicherungen in diesen Prozess neu ein. Dargestellt ist die Zeitspanne vor dem Durchführen eines Flugereignisses.³⁰

In Abbildung 5 wird die Darstellung des Planungsprozesses aus Rosskopf (2013) um den Einfluss der Treibstoffpreissicherung erweitert. Die Einschätzung, dass Treibstoffpreissicherungen ab etwa drei Jahren vor einem Flugereignis Einfluss auf den ökonomischen Erfolg des Flugereignisses nehmen können, basiert auf (1) existenten Finanzmarktgegebenheiten, (2) dem beobachteten Verhalten von Fluggesellschaften in der Praxis sowie (3) Überlegungen zur Planbarkeit von Treibstoffverbrauchsmengen. Diese drei Argumente lassen sich wie folgt begründen:

- (1) Es ist möglich, beispielsweise für die Rohölsorte West Texas Intermediate (im Folgenden: WTI) an der Warenterminbörse NYMEX vorab Sicherungen für alle zukünftigen Monate bis zum Ende der auf das aktuelle Jahr folgenden fünf Kalenderjahre zu handeln.³¹ Aus dieser praktischen Handelbarkeit ergibt sich eine Restriktion des Finanzmarktes bezüglich des maximal über Hedging adressierbaren Zeitraumes.

²⁹ Vgl. Berghöfer/Lucey (2014): S. 125; vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 207.

³⁰ Vgl. Rosskopf (2013): S. 13. Grafik in Rosskopf (2013) erarbeitet unter Rückgriff auf Clark (2007).

³¹ Vgl. Clark (2014): S. 161. Für Juni und Dezember werden Futures abweichend für neun Jahre gelistet.

(2) Berghöfer und Lucey (2014) zeigen, dass die von ihnen betrachteten 64 Fluggesellschaften in der Praxis im Durchschnitt Sicherungsgeschäfte mit einer maximalen Laufzeit von circa 20 Monaten im Bestand hatten.³² Auch eine für die vorliegende Arbeit durchgeführte Untersuchung von 14 Fluggesellschaften zeigt, dass lediglich eine Gesellschaft Sicherungen mit einer Laufzeit von mehr als drei Jahren im Bestand hatte.³³ Im Einklang mit diesen Beobachtungen weist Ryanair (2019a) darauf hin, dass Treibstoffpreissicherungen mittel- bis langfristig keinen dämpfenden Einfluss auf den Treibstoffaufwand nehmen.³⁴ Die erfassten Praxisbeobachtungen zeigen demnach, dass Treibstoffpreissicherungen von Fluggesellschaften in der Praxis primär kurz- bis mittelfristig dafür eingesetzt werden, um vom Marktpreis entkoppelte Treibstoffpreise nutzen zu können.

(3) Als Basis zur Sicherung von Treibstoffpreisen müssen zunächst zukünftige Produktions- und Treibstoffbedarfsmengen hinreichend genau determiniert werden. Ausgehend von Abbildung 5 wird angenommen, dass im strategischen Planungsprozess einer Fluggesellschaft zunächst grundlegende Entscheidungen über die Netz-, Flotten- und Flugplanung getroffen werden, bevor eine Abschätzung der zukünftigen Produktion sowie der Kerosinverbrauchsmengen (bis maximal circa drei Jahre in die Zukunft) möglich ist. Erst basierend auf verlässlichen Prognosen zur zukünftigen Produktion sowie zur zukünftigen Kerosinverbrauchsmenge kann ein aktives Risikomanagement mittels Treibstoffpreissicherungsgeschäften initiiert werden, welches es ermöglicht, Risiken aus Treibstoffpreisänderungen adäquat zu adressieren. Das erfolgreiche Umsetzen der Sicherungsstrategie kann dann entscheidend dazu beitragen, die kurz- bis mittelfristige Unternehmensplanung einzuhalten und den ökonomischen Erfolg sicherzustellen. Die Frage nach der optimalen Ausgestaltung einer Treibstoffpreissicherungsstrategie sollte daher wichtiger und integraler Bestandteil des Planungsprozesses einer Fluggesellschaft sein.

2.2 Kapitalmärkte und Instrumente

Um das mit Treibstoffpreisänderungen verbundene Risiko als Fluggesellschaft adäquat zu adressieren, ist es notwendig, ein fundiertes Verständnis für den Kapitalmarkt und die dort verfügbaren Instrumente zu besitzen. Die Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 erläutern daher zunächst grundlegende Begrifflichkeiten des Kapitalmarktes und führen in das Konzept der Sicherung von Risiken mittels Finanzinstrumenten ein. Kapitel 2.2.3 stellt konkret solche Finanzinstrumente vor, die für Fluggesellschaften von praktischer Relevanz sind.

2.2.1 Derivate

Das Wort Derivat stammt vom lateinischen Verb *derivare* ab, welches mit *ableiten* ins Deutsche übersetzt werden kann.³⁵ Im Kontext der Finanzmärkte definiert Hull (2006) in seinem Standardwerk ein Derivat als „*a financial instrument whose value depends on (or derives from) the values of other, more basic, underlying variables.*“³⁶ Als Übersetzung für den englischen Begriff *underlying variables* (vielfach auch nur: *underlying*) wird in dieser Arbeit der Terminus *Referenzprodukt* gewählt. Beispiele für praxisrelevante Referenzprodukte sind etwa Aktienkurse oder Rohwaren und die zugehörigen Preise.³⁷

³² Vgl. Berghöfer/Lucey (2014): S. 129.

³³ Gesellschaft: *Southwest Airlines*. Siehe: Tabelle 59, Kapitel 4.2.1.1 sowie Abbildung 44.

³⁴ Vgl. Ryanair (2019a): S. 138.

³⁵ Vgl. Menge (1963): S. 14.

³⁶ Hull (2006): S. 1.

³⁷ Vgl. Hull (2006): S. 1.

Auf Basis der allgemeinen Definition umfasst die Gruppe der Derivate eine Vielzahl heterogener Geschäftstypen. Die für diese Arbeit relevanten Derivate werden dadurch konkretisiert, dass für diese in einem Vertragszeitpunkt (T_0) eine Transaktion vertraglich vereinbart wird, deren Durchführung sich auf einen zukünftigen Erfüllungszeitpunkt (T) bezieht. Es gilt: $T_0 < T$. Für diese Arbeit wird zwischen zwei Derivatetypen unterschieden:

1. *Unbedingtes Geschäft*: Aus dem Abschluss eines solchen Geschäftes in T_0 folgt eine verpflichtende Transaktion im Erfüllungszeitpunkt T .
2. *Bedingtes Geschäft*: Dieses Geschäft hat für mindestens eine der Vertragsparteien optionalen Charakter, sodass diese Partei im Erfüllungszeitpunkt T wählen kann, ob die in T_0 vereinbarte Transaktion durchgeführt wird.

Sowohl bedingte als auch unbedingte Geschäfte können zusätzlich anhand der Art der Transaktion im Erfüllungszeitpunkt unterschieden werden. Grundsätzlich stehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Transaktionsdurchführung zur Wahl:

1. Physische Auslieferung (engl. *physical delivery*) des Referenzproduktes im Erfüllungszeitpunkt und Tausch gegen eine im Vertragszeitpunkt vereinbarte Menge Geld.
2. Zahlen einer Nettoausgleichszahlung (engl. *cash settlement*) im Erfüllungszeitpunkt. Lediglich ein Zahlungsstrom und kein physischer Transfer des Referenzproduktes.

Welche Transaktionsform genutzt wird, muss im Vertragszeitpunkt von den Vertragsparteien festgelegt werden. Da im Rahmen der Treibstoffpreissicherung *Cash Settlement*³⁸ üblich ist, liegt im Folgenden der Fokus der Ausführungen auf dieser Transaktionsart.³⁹

2.2.2 Handel und Märkte

Derivate zur Adressierung des Marktrisikos können von Fluggesellschaften in der Praxis auf zwei Arten von Märkten gehandelt werden: (1) An standardisierten Börsenmärkten (Kapitel 2.2.2.1) oder *Over-the-Counter* (Kapitel 2.2.2.2). Als Hintergrund findet sich im Anhang A I. a) außerdem ein Rückblick auf die historische Entwicklung dieser Märkte.

2.2.2.1 Börsenmärkte

An einer Börse zum Derivatehandel werden standardisierte Kontrakte zum Handel angeboten und über die Börse abgewickelt. Diese Kontrakte sind beispielsweise standardisiert in Bezug auf: Instrument, Referenzprodukt, Kontraktvolumen und Erfüllungszeitpunkt.⁴⁰

Ein wichtiges Merkmal von börsengehandelten Kontrakten ist, dass sich die Börse zwischen die Vertragsparteien schaltet, wodurch Erfüllungsrisiken für die Vertragsparteien minimiert werden. Um sich nicht selbst dem Ausfallrisiko der Parteien auszusetzen, verlangt die Börse allerdings von beiden Parteien Sicherheitsleistungen (auch: *Margin*). Führen Marktpreisschwankungen zu stark negativen Entwicklungen für eine Vertragspartei, müssen zusätzlich Zahlungen geleistet werden (auch: *Margin Call*). Marktpreisschwankungen können daher dazu führen, dass schwebende Verluste aus offenen Geschäften zu einem kurzfristigen und unkalkulierbaren Mittelabfluss bei einer Vertragspartei führen.⁴¹

Vorteile des Börsenhandels sind: Eine hohe Liquidität in Standardprodukten, das Eliminieren des Kredit- und Erfüllungsrisikos sowie die fortlaufende Preisfeststellung. Nachteile sind die starke Standardisierung sowie die hieraus resultierende Beschränkung der

³⁸ Der englischsprachige Begriff wird im Fließtext fortan als Eigenname verwendet und daher großgeschrieben.

³⁹ Vgl. Clark (2014): S. 290; vgl. Morrell/Swan (2006): S. 716. Letztere verweisen auf Daten der NYMEX, nach denen über 99% der dort gehandelten Öl-Futures keine physische Lieferung nach sich ziehen.

⁴⁰ Vgl. Hull (2006): S. 23 ff.

⁴¹ Vgl. Hull (2006): S. 21 ff. Für den bekannten Fall der Metallgesellschaft AG siehe: Culp/Miller (1995).

Individualisierbarkeit von Kontrakten, wodurch Instrumente gegebenenfalls nicht passgenau zur Adressierung der in Unternehmen vorliegenden Risiken geeignet sind. Weitere Nachteile sind das auf dem Margin-Konto gebundene Kapital sowie höhere Transaktionskosten.⁴²

2.2.2.2 Over-the-Counter Märkte

Als Alternative zur Börse werden Derivate auch direkt zwischen Parteien gehandelt und abgewickelt. Man spricht hierbei von *Over-the-Counter* (im Folgenden: OTC) Geschäften. In der Praxis werden solche Geschäfte primär bilateral zwischen institutionellen Händlern (auch: Kontrahenten) abgewickelt, wobei das auf dem OTC-Derivatemarkt gehandelte Nominalvolumen deutlich über dem der an Börsen gehandelten Derivate liegt.⁴³

Vorteile von OTC-Geschäften sind die Möglichkeit der individuellen Vertragsgestaltung und Preissetzung, die Nicht-Notwendigkeit des Hinterlegens einer Margin sowie potenziell geringere Transaktionskosten. Nachteile sind die geringere Preistransparenz, das Kreditrisiko sowie das damit einhergehende Kontrahentenausfall- und Erfüllungsrisiko.⁴⁴

Um das Erfüllungsrisiko bei OTC-Geschäften zu vermindern, einigen sich manche Vertragsparteien darauf, sogenannte *Collaterals* zu stellen. Das Nutzen von Collaterals kann als bilateraler Versuch des Kopierens des Marginsystems der Börsen verstanden werden, wobei auf das Hinzuziehen eines Intermediärs verzichtet wird. Bei Geschäften mit Collateral ist vorgesehen, dass die Vertragsparteien bereits während der Vertragslaufzeit Ausgleichszahlungen vornehmen, um Erfüllungsrisiken zu vermindern.⁴⁵

2.2.3 Derivative Finanzinstrumente: Einführung der Derivatearten

In diesem Kapitel werden die für diese Arbeit relevanten Derivatearten vorgestellt. Die Derivateart bezeichnet in dieser Arbeit eine abgrenzbare Gruppe von Derivaten. Erst mit dem Wissen über die Eigenschaften verschiedener Derivatearten ist es möglich, Sicherungsstrategien von Fluggesellschaften zu bewerten und Handlungsempfehlungen zu formulieren. Die Darstellung unterscheidet zwischen Derivatearten, die dem Derivatetyp des unbedingten Sicherungsgeschäftes zugeordnet sind (Kapitel 2.2.3.1 sowie 2.2.3.2) und solchen, die dem Typ des bedingten Geschäftes zugeordnet sind (Kapitel 2.2.3.3 und 2.2.3.4). Zur klaren Abgrenzung zwischen Derivatearten und -typen wird auf Tabelle 56 im Anhang B I verwiesen.

2.2.3.1 Forwards und Futures

Das am einfachsten strukturierte Derivat ist das *unbedingte Termingeschäft*. Dieses kann in seiner Art entweder OTC als *Forward* oder standardisiert an einer Börse als *Future* gehandelt werden. Sofern relevante Merkmale wie das Referenzprodukt, die Laufzeit und der Referenzpreis gleich gewählt werden, sind, unabhängig von der Wahl des Handelsplatzes, kumulierte Ein- und Auszahlungen beider Instrumente nach Auslaufen des Kontrakts identisch.⁴⁶ Aus diesem Grund wird in den Erläuterungen im Rahmen dieser Arbeit zumeist lediglich eine der beiden Derivatearten genannt. Erläuterungen sind – sofern nicht explizit anders dargestellt – inhaltsgleich für die andere Derivateart gültig.

⁴² Vgl. Hull (2006): S. 1 f., 40 f.

⁴³ Vgl. Hull (2006): S. 2 f. Daten in Hull (2006) nur bis ins Jahr 2004. Unter der in Hull (2006) zitierten Quelle sind allerdings auch aktuelle Daten verfügbar: Siehe: The Bank for International Settlements (2023).

⁴⁴ Vgl. Hull (2006): S. 2 f., 40 f.

⁴⁵ Vgl. Hull (2006): S. 31.

⁴⁶ Vgl. Hull (2006): S. 3 ff. Gemäß Black (1976) entspricht der Future einer Reihe von Forward-Kontrakten, welche täglich gesettelt und neu abgeschlossen werden müssen. Vgl. Black (1976): S. 169.

Beim unbedingten Termingeschäft verpflichten sich die Vertragsparteien im Vertragszeitpunkt T_0 dazu, im Erfüllungszeitpunkt T eine festgelegte Transaktion durchzuführen (hier: $T_0 < T$). Im Fall der physischen Lieferung wird im Erfüllungszeitpunkt T das Referenzprodukt gegen einen vorab festgelegten Geldbetrag getauscht. Im Fall von Cash Settlement wird im Erfüllungszeitpunkt T die Differenz zwischen einem im Vertragszeitpunkt festgelegten Preis und dem im Erfüllungszeitpunkt gültigen Marktpreis des Referenzproduktes bestimmt. Liegt der Marktpreis im Erfüllungszeitpunkt über (unter) dem vereinbarten Preis, erhält (leistet) der Käufer des unbedingten Termingeschäftes eine Ausgleichszahlung.⁴⁷ Der relevante Preis für das Referenzprodukt wird im Vertragszeitpunkt im Regelfall so bestimmt, dass der faire Wert des Derivates in T_0 null entspricht (siehe: Kapitel 3.3.1). Wenn dies der Fall ist, entspricht der vereinbarte Preis dem sogenannten *Terminpreis* des Referenzproduktes für den Erfüllungszeitpunkt. Im Rahmen dieser Arbeit wird angenommen, dass Terminpreise für Forwards und Futures identisch sind.⁴⁸

Mit Blick auf den Anwendungsfall wird definiert, dass $Fuel_{T_0}$ den *Spotpreis*⁴⁹ des Referenzproduktes im Zeitpunkt T_0 beschreibt. $Fuel_{T_0,T}$ entspricht dem Terminpreis für Zeitpunkt T aus Sicht von Zeitpunkt T_0 (mit: $T_0 < T$). Für $T_0 = T$ entspricht der Terminpreis dem Spotpreis und es gilt $Fuel_{T,T} = Fuel_T$. Basierend auf diesen Notationen ergeben sich die Auszahlungsprofile von Forwards im Erfüllungszeitpunkt T . Sofern für die Kaufposition (*long*) $\varphi = 1$ und für die Verkaufsposition (*short*) $\varphi = -1$ gilt, folgt allgemein:

Auszahlungsprofil eines Forwards

$$Auszahlung_T^{Forward} = \varphi(Fuel_T - Fuel_{T_0,T}), \quad T_0 < T \quad (2.1)$$

Eine grafische Darstellung der Auszahlungen des Forwards findet sich in Abbildung 7.

2.2.3.2 Rohwarenswaps

Eine weitere Art der unbedingten Sicherung sind *Swaps*. Allgemein wird als Swap ein Finanzgeschäft bezeichnet, bei dem in (mindestens) einem Zeitpunkt ein vorab determinierter gegen einen variablen – von einem Marktpreis abhängigen – Geldbetrag getauscht (engl. *to swap*) wird, wobei lediglich Cash Settlement stattfindet. Swaps werden im Regelfall OTC gehandelt.⁵⁰ Da für diese Arbeit lediglich Rohwarenswaps von Relevanz sind, wird der Begriff Swap nachfolgend als Synonym für Rohwarenswap genutzt.⁵¹

Der Aufbau des Swaps entspricht im Kern dem Aufbau eines Forwards mit Cash Settlement. Da aus der Abrechnung von Sicherungsgeschäften gegen einen einzelnen Marktpreis jedoch ein Abrechnungspreisrisiko resultiert, findet die Abrechnung des Swaps nicht gegen einen einzelnen Preis $Fuel_T$, sondern gegen den Durchschnitt einer Reihe von N konsekutiven Marktpreisen statt. Die Periode, innerhalb welcher Marktpreise zu berücksichtigen sind, wird als Durchschnittspreisperiode definiert und mit $\bar{T}$ gekennzeichnet. Der Beginn der Durchschnittspreisperiode wird durch τ markiert und das Ende der Periode entspricht dem Erfüllungszeitpunkt T . Es gilt: $T_0 < \tau < T$. Die einmalige Ausgleichszahlung erfolgt in

⁴⁷ Vgl. Hull (2006): S. 3 ff.

⁴⁸ Terminpreisgleichheit gilt unter der Annahme konstanter risikoloser Zinsen. Vgl. Clark (2014): S. 23; vgl. Shreve (2008): S. 247 f. Zu Diskussion und Quantifizierung von Terminpreisen siehe: Kapitel 3.3.1.2.

⁴⁹ *Spotgeschäft*: Ein mit umgehender (engl. *on the spot*) – beziehungsweise mit kurzfristig möglicher – Lieferung stattfindendes Geschäft. Der für dieses Geschäft geforderte Preis ist der *Spotpreis*. Deutsch auch: Kassapreis. Vgl. Black (1976): S. 167; vgl. Clark (2014): S. 17; vgl. Hull (2006): S. 756.

⁵⁰ Vgl. Clark (2014): S. 42; vgl. Hull (2006): S. 149 ff.

⁵¹ In der Praxis sind i.d.R. vor allem Zins- und auch Devisenswaps geläufig. Charakteristika solcher Swaps können von den vorgestellten Rohwarenswaps abweichen. Siehe hierzu: Hull (2006): S. 149 ff.

Zeitpunkt T .⁵² Die Abrechnung des Derivates findet gegen den Mittelwert der realisierten Preise ($Fuel_{\bar{T}}$) statt. Im diskreten Fall gilt für $Fuel_{\bar{T}}$:

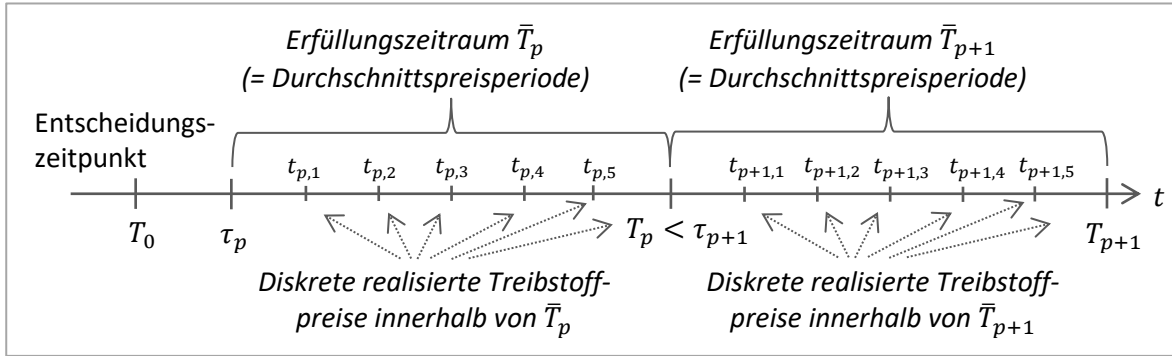
Abrechnungsrelevanter diskreter Mittelwert: Settlementpreis

$$Fuel_{\bar{T}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Fuel_{t_n}, \quad T_0 < \tau < t_n \leq T \quad (2.2)$$

Der Abrechnungspreis $Fuel_{\bar{T}}$ wird auch als *Settlementpreis* bezeichnet.

Im Anwendungsfall werden für die Abrechnungen des Swaps die konsekutiven werktäglichen Tagesschlusspreise des Referenzproduktes innerhalb eines Kalendermonats berücksichtigt. Greift man zusätzlich auf den Index p zur Unterscheidung zwischen Monaten zurück, entspricht Zeitpunkt τ_p der ersten logischen Sekunde des ersten Tages von Monat $\bar{T}_p$. Die erste Realisierung ($Fuel_{t_{p,1}}$) wird am Ende des ersten Werktages innerhalb von Monat $\bar{T}_p$ im Zeitpunkt $t_{p,1}$ festgestellt. Allgemein beträgt die zeitliche Differenz zwischen allen $t_{p,n}$ und $t_{p,n+1}$ jeweils mindestens einen Kalendertag.⁵³ Die letzte von N Realisierung in Periode $\bar{T}_p$ liegt im oder vor dem Zeitpunkt T_p ($t_{p,N} \leq T_p$).⁵⁴

Abbildung 6 – Wichtige Zeitpunkte und Zeiträume im Rahmen der Arbeit



Die Abbildung zeigt wichtige Zeitpunkte und Zeiträume im Rahmen dieser Arbeit. Es ist zu beachten, dass jeder Zeitraum $\bar{T}_p$ mit Zeitpunkt T_p endet, woraufhin in der nächsten logischen Sekunde $\bar{T}_{p+1}$ mit τ_{p+1} beginnt. Bei diskreter Erfassung von Treibstoffpreisen liegt der erste relevante Preis der Periode $\bar{T}_{p+1}$ in einem Zeitpunkt $t_{p+1,1} > \tau_{p+1}$. Des Weiteren gilt stets: $T_0 < \tau_p < T_p$.

Da im Anwendungsfall je Referenzprodukt nur ein Terminpreis pro Kalendermonat $\bar{T}$ existiert ($Fuel_{T_0, \bar{T}}$), wird angenommen, dass der im Vertragszeitpunkt T_0 (mit: $T_0 < \tau$) vereinbarte Referenzpreis dem in T_0 gültigen Terminpreis entspricht (siehe: Kapitel 2.3.1.2 und 6.1.3). In diesem Fall ergeben sich in T_0 keine Zahlungen. Des Weiteren wird angenommen, dass während der Durchschnittspreisperiode Spot- und Terminpreise identisch sind. Für $\tau \leq t \leq T$ gilt dann: $Fuel_{t, \bar{T}} = Fuel_t$ (siehe: Kapitel 2.3.1.2). Analog zu Forwards folgt:

Auszahlungsprofil eines Rohwarenswaps

$$Auszahlung_T^{swap} = \varphi(Fuel_{\bar{T}} - Fuel_{T_0, \bar{T}}), \quad T_0 < \tau < t \leq T \quad (2.3)$$

Es gilt ebenfalls $\varphi = 1$ (long) sowie $\varphi = -1$ (short). Die Auszahlungsprofile nach Abschluss der Durchschnittspreisperiode entsprechen denen normaler Forwards.

Im Fall des Handels mit unbedingten Termingeschäften zur Treibstoffpreissicherung greifen Fluggesellschaften in der Praxis nahezu ausschließlich auf Swaps zurück.⁵⁵ Des Weiteren ist

⁵² Im Modell wird die Zahlung im Zeitpunkt T unterstellt. In der Praxis erfolgt die Zahlung zumeist fünf Werktage nach T . Vgl. Clark (2014): S. 44.

⁵³ Durch Wochenenden oder Feiertage können mehrere Kalendertage zwischen zwei Zeitpunkten liegen.

⁵⁴ Falls Periode $\bar{T}_p$ nicht mit einem Werktag endet, gilt: $t_{p,N} < T_p$.

⁵⁵ Vgl. Clark (2014): S. 167. Siehe auch: Ergebnisse der Untersuchung für 14 Fluggesellschaften in Tabelle 59.

es in der Praxis üblich, dass mittels Swaps in einem Geschäft Sicherungen für mehrere aufeinanderfolgende Kalendermonate gehandelt werden. Die Abrechnung und Auszahlung finden auch in diesem Fall dennoch jeweils separat gegen den Durchschnittspreis jedes einzelnen Kalendermonats statt und es gelten die dargestellten Formeln.⁵⁶ Hintergründe zur Bewertung von Swaps sind in Kapitel 3.3.1 dargestellt.

2.2.3.3 Plain-Vanilla-Optionen

Bedingte Strukturen zur Sicherung zukünftiger Rohwarenpreise werden unter dem Oberbegriff *Optionen* zusammengefasst. Diese können sowohl OTC als auch standardisiert an Börsen gehandelt werden. Dieses Kapitel befasst sich mit Standardoptionen, die auch als *Plain-Vanilla-Optionen* bezeichnet werden.⁵⁷

Grundsätzlich muss zwischen Call- und Put-Optionen unterschieden werden:

1. Eine *Call-Option* ist ein Kontrakt, der im Vertragszeitpunkt geschlossen wird und dem Käufer (*long Position*) das Recht – aber nicht die Pflicht – gibt, in einem zukünftigen Erfüllungszeitpunkt vom Verkäufer (*short Position*) ein Referenzprodukt zu dem bei Vertragsabschluss festgelegten Basispreis zu erwerben.
2. Eine *Put-Option* ist ein Kontrakt, der im Vertragszeitpunkt geschlossen wird und dem Käufer (*long Position*) das Recht – aber nicht die Pflicht – gibt, in einem zukünftigen Erfüllungszeitpunkt dem Verkäufer (*short Position*) ein Referenzprodukt zu dem bei Vertragsabschluss festgelegten Basispreis zu verkaufen.

Statt Basispreis wird hier auch der geläufige englische Begriff *Strike* genutzt. Der im Vertragszeitpunkt T_0 vereinbarte Strike wird im Folgenden durch K_{T_0} dargestellt.

Darüber hinaus sind Optionen anhand der vereinbarten Ausübungs- und Erfüllungszeitpunkte zu unterscheiden. In der vorliegenden Arbeit werden nur sogenannte *europäische Optionen* betrachtet. Diese können nur am Laufzeitende ausgeübt werden, wodurch Erfüllungszeitpunkt und Laufzeitende der Option stets identisch sind.

Sowohl für Call- als auch Put-Optionen gilt: Um das einseitige Ausübungsrecht zu erhalten, muss der Käufer der Option eine Prämie zahlen, die entweder im Vertragszeitpunkt T_0 (*up-front* Zahlung) oder am Ende der Laufzeit in T (*deferred* Zahlung) zu leisten ist. Unabhängig vom Zahlzeitpunkt wird die Prämie stets bereits im Vertragszeitpunkt T_0 festgelegt. Die Prämie muss auf einem fairen Kapitalmarkt bei Vertragsabschluss dem fairen Wert der Option entsprechen (siehe: Kapitel 3.3.2). Im Fall der Ausübung einer Option ist im betrachteten Anwendungsfall lediglich das Cash Settlement relevant.⁵⁸ Als Hintergrund finden sich darüber hinaus Formeln zur Darstellung der Auszahlungsprofile europäischer Call- und Put-Optionen in den Formeln (A I.1) und (A I.2) im Anhang A I. b).

2.2.3.4 Asiatische Optionen

Auch im Fall der Sicherung mit bedingten Sicherungsgeschäften existiert bei Abrechnung gegen einen einzelnen Marktpreis ein Abrechnungspreissisiko. Aus diesem Grund schließen Unternehmen in der Praxis beim Handel mit Rohwaren auch für den Derivatetyp des bedingten Sicherungsgeschäfts vielfach pfadabhängige Derivate mit diskreter Abrechnung ab.⁵⁹

⁵⁶ Vgl. Clark (2014): S. 42 ff.; vgl. Hull (2006): S. 175.

⁵⁷ Vgl. Hull (2006): S. 6, 529 f.

⁵⁸ Vgl. Hull (2006): S. 3 ff., 181 ff.; vgl. Morrell/Swan (2006): S. 716.

⁵⁹ Vgl. Bodnar/Hayt/Marston (1998): S. 81 f.; vgl. Clark (2014): S. 54, 167; vgl. Gafir/Gajjala (2016): S. 96.

Solche nachfolgend vorgestellten pfadabhängigen Durchschnittspreisoptionen werden als *asiatische Optionen* bezeichnet.⁶⁰

Die betrachteten pfadabhängigen Optionen können nur bei Fälligkeit (hier: T) ausgeübt werden, wobei zur Bestimmung der Auszahlung des Derivates ebenfalls eine Abrechnung gegen einen durchschnittlichen Marktpreis stattfindet. Als Referenzpreis wird ebenfalls auf den Durchschnitt der Tagesschlusskurse eines Kalendermonats zurückgegriffen, sodass die Darstellung des Settlementpreises ($Fuel_{\bar{T}}$) gemäß (2.2) von Relevanz ist.

Als Notation zur Darstellung der im Vertragszeitpunkt (T_0) vereinbarten Prämienzahlung werden $P_{T_0}^{Call}$ für die Prämie von Calls und $P_{T_0}^{Put}$ für die Prämie von Puts eingeführt. Unter Berücksichtigung von (2.2) und mit $\varphi = 1$ (*long*) sowie $\varphi = -1$ (*short*) wird das Auszahlungsprofil von asiatischen Call- beziehungsweise Put-Optionen beschrieben durch:

Zahlungsprofile asiatischer Optionen

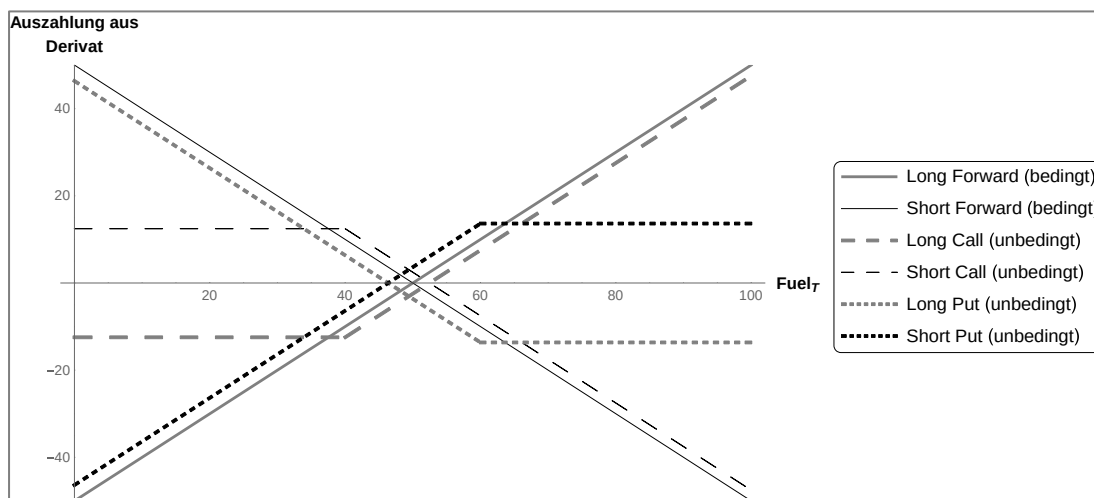
$$Auszahlung_T^{Call,asiat.} = \varphi(\max(Fuel_{\bar{T}} - K_{T_0}^{Call}, 0) - P_{T_0}^{Call}), \quad T_0 < \tau < t \leq T \quad (2.4)$$

$$Auszahlung_T^{Put,asiat.} = \varphi(\max(K_{T_0}^{Put} - Fuel_{\bar{T}}, 0) - P_{T_0}^{Put}), \quad T_0 < \tau < t \leq T \quad (2.5)$$

Auch für asiatische Optionen wird unterstellt, dass diese im Vertragszeitpunkt T_0 gehandelt werden und dass die Ausgleichszahlung nur in einem Zeitpunkt T stattfindet, wobei weiterhin gilt, dass das Zeitintervall $[\tau, T]$ die Durchschnittspreisperiode $\bar{T}$ umfasst.⁶¹

Nachdem hiermit die Grundform aller relevanten Derivate vorgestellt wurde, findet sich in Abbildung 7 eine Übersicht über deren jeweilige Auszahlungen am Laufzeitende.

Abbildung 7 – Auszahlungsprofil: Standard-Derivate im Erfüllungszeitpunkt



Die Abbildung zeigt schematisch die Auszahlungsprofile von *bedingten* und *unbedingten* Sicherungsgeschäften im Erfüllungszeitpunkt T aus Sicht der *long* und der *short* Position. Die Auszahlung erfolgt jeweils in Abhängigkeit vom Spotpreis $Fuel_T$.⁶²

Hintergründe zur Bewertung und Preisbildung von Optionen sind in Kapitel 3.3.2 dargestellt. Es sei außerdem darauf verwiesen, dass in dieser Arbeit keine anderen als die vorgestellten Optionen behandelt oder berücksichtigt werden. Als weiterführende Lektüre zu anderweitigen Optionen empfiehlt sich beispielsweise Hull (2006).⁶³

⁶⁰ Der Begriff *asiatisch* bezieht sich auf die Art der Ermittlung des Settlementpreises ($Fuel_{\bar{T}}$). Die Bezeichnung *europäisch* gibt demgegenüber Auskunft über den Ausübungszeitpunkt. In der Literatur werden als *asiatische Optionen* teils auch Optionen mit variablen Strikes erfasst. In dieser Arbeit bezieht sich *asiatisch* hingegen ausschließlich auf Optionen oder Swaps, denen ein starrer Strike zugrunde liegt, die aber gegen durchschnittliche Marktpreise einer Periode abgerechnet werden. Vgl. Haug (2007): S. 199.

⁶¹ Darüber hinaus besitzen alle Darstellungen zu Zeitpunkten und -räumen aus Kapitel 2.2.3.2 Gültigkeit.

⁶² Es ist unterstellt: $Fuel_{T_0,T} = 50$, $K_{T_0}^{Call} = 40$ und $K_{T_0}^{Put} = 60$. Zudem werden extreme Prämienzahlungen unterstellt.

⁶³ Vgl. Hull (2006): S. 529 ff.

2.3 Die physische Risikokomponente

Um effizientes Treibstoffpreisrisikomanagement zu betreiben, ist es für Fluggesellschaften unumgänglich, fundierte Kenntnisse über die Besonderheiten der physischen Risikokomponente Kerosin und deren Ausgangsprodukt Erdöl zu besitzen. Die für diese Arbeit notwendigen Hintergrundkenntnisse zu grundlegenden Zusammenhängen auf dem Rohölmarkt (Kapitel 2.3.1) und zum Mitteldestillat Kerosin (Kapitel 2.3.2) werden daher nachfolgend in kurzer Form vorgestellt.

2.3.1 Rohöl

Das Kapitel befasst sich zunächst kurz mit Grundlagen des Rohölmarktes (Kapitel 2.3.1.1) und im Anschluss mit relevanten Besonderheiten des Rohölmarktes (Kapitel 2.3.1.2).

2.3.1.1 Grundlagen und Benchmark-Rohöle

Weltweit existieren zahlreiche unterschiedliche Rohölsorten. Aus chemischer Sicht ist diesen allen gemein, dass es sich um flüssige Stoffgemische handelt, welche aus Kohlenwasserstoffen und verwandten Verbindungen bestehen.⁶⁴ Rohöl kann jedoch vom Energieverbraucher, beispielsweise einer Fluggesellschaft, im Regelfall nicht direkt verbraucht werden, sondern muss zuvor zu einem nutzbaren Endprodukt weiterverarbeitet werden. Dies geschieht in einer Raffinerie.⁶⁵ Heute werden vor allem die beiden Rohölsorten *Brent Blend*⁶⁶ und *WTI*⁶⁷ als weltweite *Benchmark-Rohöle* und ihre Preise als Referenzrohölpreise genutzt.⁶⁸ Aus dem Status als Benchmark folgt, dass die Preise anderer Rohölnotierungen teils als Differenz zu und in Abhängigkeit von diesen Benchmarks quotiert werden.⁶⁹ Darüber hinaus werden Futures an wichtigen Börsen auf die Preise dieser Benchmark-Rohölsorten gehandelt.⁷⁰ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird daher ausschließlich auf die Preise dieser beiden Benchmarks referenziert.

2.3.1.2 Spot- und Terminpreise auf dem Rohölmarkt

Wie zuvor bereits dargelegt, werden Geschäfte, bei denen eine sofortige oder die zeitlich nächste mögliche Lieferung eines Referenzproduktes vereinbart ist, allgemein als Spotgeschäfte bezeichnet. Im betrachteten Fall des Handels von Derivaten auf Rohöle oder Rohölestillate müssen bezüglich der Definition des Spotgeschäfts und des Spotpreises allerdings Besonderheiten berücksichtigt werden. Im Folgenden wird die angewandte Logik zur Definition von Spot- und Terminpreisen anhand der Rohölsorte WTI erläutert. Die Darstellungen sind schematisch auf andere Rohölsorten und -destillate zu übertragen.

Grundsätzlich ist es bei der Bestimmung von Spotpreisen für WTI eine Herausforderung, dass die sofortige Bereitstellung des Rohöls nach dem Abschluss eines Geschäftes schwer darstellbar ist. Während beispielsweise bei Währungstransaktionen ein sofortiger Tausch von Zahlungsströmen weltweit einfach möglich ist, steht der zeitnahen Lieferung von Rohöl

⁶⁴ Vgl. Clark (2014): S. 154 ff.; vgl. Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): S. 17 ff., 143 ff.

⁶⁵ Eine grafische Darstellung zur Verarbeitung in der Raffinerie findet sich in Abbildung 39 (Anhang B II).

⁶⁶ Rohölmix aus Ölfeldern der Nordsee/des Nordatlantiks. Eines der Felder ist das *Brent* Feld. Handelsort ist Sullom Voe, Schottland. Vgl. American Petroleum Institute (2014): S. 36; vgl. Clark (2014): S. 163 ff.

⁶⁷ Rohölmix aus verschiedenen Ölfeldern im Süden der USA und im Golf von Mexiko. Handelsort ist Cushing, Oklahoma. Vgl. American Petroleum Institute (2014): S. 36; vgl. Clark (2014): S. 158 ff.

⁶⁸ Auch: *Marker-Rohölsorten*. Vgl. American Petroleum Institute (2014): S. 36; vgl. Clark (2014): S. 157.

⁶⁹ Vgl. Maugeri (2006): S. 237 f.

⁷⁰ Futures auf Brent werden an der *Intercontinental Exchange* (im Folgenden: ICE) in London gehandelt. Futures auf WTI werden an der ICE sowie der NYMEX in New York City gehandelt. Vgl. American Petroleum Institute (2014): S. 32; vgl. Clark (2014): S. 157.

die Physik im Weg. Zur physischen Lieferung muss Rohöl zunächst transportiert werden. Hieraus folgt, dass zwischen Kauf und frühestmöglicher Lieferung eine zeitliche Lücke entsteht. Exemplarisch beziehen sich die an der NYMEX gehandelten WTI-Kontrakte, welche mit einer physischen Lieferung verbunden sind, standardisiert immer auf eine Lieferung des Rohöls am Umschlagplatz in Cushing, Oklahoma.⁷¹ Um die pünktliche Lieferung im Folgemonat zu gewährleisten, wird der Handel der monatlichen Kontrakte daher jeweils drei Werktage vor dem 25. Kalendertag des Vormonats beendet. Der Wechsel auf den Kontrakt des Folgemonats wird als *Rollen* des Kontraktes bezeichnet.⁷²

Da somit für WTI keine Geschäfte mit zeitlich unmittelbarer Lieferung handelbar sind, entspricht es der Verkehrssitte, als Näherung den Preis des Terminkontraktes mit der nächstmöglichen Lieferung als Spotpreis zu bezeichnen.⁷³ Beispielsweise wurde am 16.04.2012 der Preis des WTI-Kontraktes für die Lieferung im Mai 2012 als Spotpreis quotiert. Hieraus folgt, dass – sowohl in der Praxis als auch in dieser Arbeit – zur Abrechnung von Derivaten mit Cash Settlement jeweils ebenfalls auf den so definierten Spotpreis ($Fuel_{\bar{T}}$) referenziert wird.⁷⁴ Dies bedeutet, dass Derivate mit Cash Settlement, die beispielsweise für den Monat April 2012 gehandelt wurden und bei welchen eine Abrechnung gegen den Durchschnitt des täglichen Spotpreises im April 2012 vereinbart war (Periode $\bar{T}$ entspricht April 2012), gegen die Preise der Kontrakte abgerechnet wurden, die eine physische Lieferung erst im Mai 2012 (t_n : 01.04. bis 20.04.2012) und Juni 2012 (t_n : 23.04. bis 30.04.2012) zur Folge hatten.⁷⁵

Für diese Arbeit folgt außerdem, dass zur Bestimmung von Terminpreisen jeweils Terminkontrakte herangezogen werden müssen, welche die physische Lieferung in einem auf den relevanten Terminmonat zeitlich nachfolgenden Monat implizieren. Konkret gilt im Beispiel per 16.04.2012: Da der Maikontrakt als Spotpreis genutzt wurde, musste der Preis des Kontraktes für eine Lieferung im Juni 2012 als Terminpreis für Derivate des ersten Terminmonates (hier: Mai 2012) genutzt werden. Entsprechend dieser Logik wird allgemein für jede Rohware der Terminkontrakt mit Lieferung im Monat nach der frühestmöglichen Lieferung (dieser erste Kontrakt wird, wie zuvor beschrieben, als Spotpreis herangezogen) als Terminpreis des ersten Terminmonats berücksichtigt.⁷⁶ Über diese Herangehensweise lassen sich tägliche Terminpreise ($Fuel_{T_0, \bar{T}}$) für alle relevanten Rohwaren ermitteln (siehe: Kapitel 6.1.3).

2.3.2 Kerosin

Von praktischer Relevanz für die Verkehrsluftfahrt sind allen voran die bei der Destillation von Rohöl gewonnenen Primärfractionen der Mitteldestillate. Zu diesen zählt der im Siedebereich zwischen circa 140°C bis 250 °C gewonnene Flugkraftstoff, der im Deutschen als

⁷¹ WTI-Kontrakte können auch an der ICE gehandelt werden. Die dort gehandelten Kontrakte beziehen sich allerdings immer auf ein reines Cash Settlement. Vgl. Clark (2014): S. 161.

⁷² Es ist zu berücksichtigen, dass die *Rollogik* sich je nach Rohware und Handelsplatz unterscheiden kann: Für WTI-Kontrakte, die an der ICE gehandelt werden, gilt beispielsweise eine andere Logik als für solche, die an der NYMEX gehandelt werden. Für Brentkontrakte, die an der ICE gehandelt werden, findet ebenfalls eine abweichende Logik Anwendung. Vgl. Clark (2014): S. 154 ff.

⁷³ Der Future mit nächstmöglicher Lieferung, auch: *prompt Future*. Vgl. Clark (2014): S. 17 ff., 154 ff.

⁷⁴ Vgl. Clark (2014): S. 17 ff., 154 ff.

⁷⁵ Vgl. Clark (2014): S. 162. Split zwischen Mai und Juni wegen Rollen der Kontrakte. Siehe auch: Fußnote 76.

⁷⁶ Gemäß Clark (2014) muss zur Bestimmung des korrekten Terminpreises jeweils das untermonatige Auslaufen einzelner Kontrakte berücksichtigt werden, sodass Terminpreise eines Kalendermonats als gewichteter Mittelwert zweier Terminkontrakte bestimmt werden. Da so ermittelte Terminpreise in der Regel nur leicht von einfach ermittelbaren Terminpreisen gemäß dem beschriebenen Vorgehen abweichen, wird in der vorliegenden Arbeit das im Fließtext skizzierte vereinfachte Vorgehen angewandt. Vgl. Clark (2014): S. 168 ff. Dort findet sich ein Beispiel für WTI (siehe: Case Study 5.1).

Kerosin (engl. *Jet Fuel*) bezeichnet wird.⁷⁷ Gemäß Clark (2014) werden im weltweiten Durchschnitt circa 6% des Rohölvolumens zu Kerosin verarbeitet.⁷⁸

2.3.2.1 Spezifikationen

Vergleichbar zu Rohöl kann innerhalb der Gruppe der Kerosine ebenfalls zwischen verschiedenen Spezifikationen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften unterschieden werden. Im Gegensatz zum Rohöl resultieren diese Unterschiede aber nicht aus der unterschiedlichen Beschaffenheit der Rohstoffe, sondern sie ergeben sich aus der Art der Verarbeitung zur Erzeugung des Endproduktes Kerosin. Je nach Weiterverarbeitung finden sich beispielsweise Abweichungen beim Gefrierpunkt oder der Dichte verschiedener Kerosine. In der zivilen Luftfahrt wird weltweit primär die standardisierte Spezifikation *Jet A1* als Flugkraftstoff genutzt.⁷⁹ Die Bezeichnung *Jet A1* gibt keine Auskunft darüber, aus welcher Rohölsorte das Kerosin gewonnen wurde.

2.3.2.2 Preisnotierungen

Trotz der chemischen und physikalischen Standardisierung des zugrundeliegenden Produktes finden sich auch für das Einheitsprodukt *Jet A1* verschiedene Preise auf unterschiedlichen geographischen Märkten. Weltweit existieren verschiedene Referenzpreisnotierungen, die als maßgebend für die Preisbildung in einzelnen geographischen Regionen angesehen werden können. Im Gegensatz zu Rohölen, deren Preisunterschiede auch auf qualitative Unterschiede zurückzuführen sind, reflektieren unterschiedliche Preise für Kerosinstandardprodukte die unterschiedlichen Gegebenheiten des jeweiligen physischen Lieferortes und die Verfügbarkeit von *Jet A1* an einem Ort. Ausschlaggebend für Preisunterschiede sind langfristig vor allem unterschiedliche strukturelle Logistikkosten. Kurzfristig können Preisunterschiede auch aus regionalen Ereignissen resultieren.

Beispielhaft ist eine für Mitteleuropa relevante Preisbenchmark *Jet Rotterdam (Jet FOB Rotterdam Barges)*. Diese bezieht sich auf *Jet A1* mit Lieferung in Rotterdam. Eine für Nordamerika relevante Preisnotierung ist *Jet US Gulf Coast* (im Folgenden: *Jet USGC*).⁸⁰ Beispiele für weitere Preisnotierungen sind: *Jet Mediterranean* oder *Jet Singapur*.

2.3.2.3 Preisbildung

In der Praxis resultiert der Marktpreis von Kerosin aus einzelnen Risikokomponenten, die jeweils separat am Markt handelbar sind (siehe: Abbildung 8). Diese sind im Einzelnen:

1. *Rohölpreis*: Die Basis für den Kerosinpreis bildet der Preis des physischen Ausgangsproduktes Rohöl (siehe: Kapitel 2.3.1).
2. *Gasöl oder Heizöl Crack*: Die Differenz zwischen dem marktgehandelten Rohölpreis und dem Marktpreis für Gasöl oder Heizöl entspricht der zweiten Risikokomponente. Dieser *Crack* entspricht dem Aufschlag, welchen eine Raffinerie für das Verarbeiten von Rohöl zu Gas- oder Heizöl verlangt.⁸¹

⁷⁷ Angegebene Temperaturen sind Richtwerte. Der in dieser Arbeit genutzte Begriff *Kerosin* für Flugkraftstoff ist nicht zu verwechseln mit engl. *Kerosene*, was im Deutschen Petroleum entspricht. Kerosin ist mit Additiven versehen, entspricht einem engeren Fraktionierschritt als Petroleum und wird im Englischen als *Jet* oder *Jet Fuel* bezeichnet. Gemäß den englischen Begrifflichkeiten beschreibt Latz (2008) Petroleum als Kerosin und grenzt dieses zu *Jet Fuel* ab. Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich der Begriff *Kerosin* auf Flugkraftstoff (*Jet A1* oder *Jet A*). Vgl. Latz (2008): S. 7.

⁷⁸ Vgl. Clark (2014): S. 198.

⁷⁹ Ausnahme sind die USA. Dort wird in der Verkehrsluftfahrt auch der Flugkraftstoff *Jet A* genutzt. *Jet A1* und *Jet A* unterscheiden sich lediglich hinsichtlich des Gefrierpunktes: *Jet A*: -40 °C, *Jet A1*: -47 °C. Vgl. Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): S. 431 f.; vgl. Latz (2008): S. 8. Spezifikationen von *Jet A* und *Jet A1* festgelegt in: ASTM D1655.

⁸⁰ Vgl. Adams/Gerner (2012): S. 1304 ff.; vgl. Lim/Turner (2016): S. 35, 46.

⁸¹ Vgl. Lim/Turner (2016): S. 29, 35. Siehe auch Kapitel: 4.2.2 und 6.1.3.1 sowie Tabelle 59.

3. *Jet Differential*: Der Aufschlag oder Abschlag, der am Markt für eine Kerosinnotierung im Vergleich zur Gasöl- beziehungsweise Heizölnotierung gezahlt werden muss. Da die Kerosinangebotsmenge durch die Art der Nachbearbeitung in einem gewissen Maße gesteuert werden kann, hängt die Höhe des *Jet Differentials* primär von der relativen Nachfrage nach Kerosin im Verhältnis zu Gas- beziehungsweise Heizöl ab.

Daneben ist der Begriff des *Jet Cracks* geläufig. Der *Jet Crack* entspricht der Summe von *Gasöl/Heizöl Crack* und *Jet Differential*. Der *Jet Crack* entspricht somit der Preisdifferenz zwischen Rohöl und Kerosin. Dieser wird auch als Raffineriemarge bezeichnet.⁸²

Weiterführend befasst sich Kapitel 4.2.2 mit Literatur zu der Frage, welche dieser Komponenten zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften genutzt werden sollten.

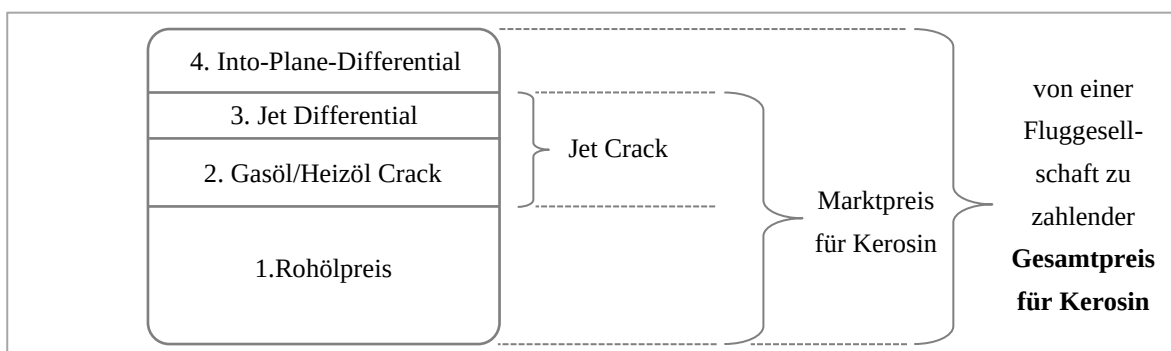
2.3.2.4 Into-Plane-Differentials

Bei der physischen Betankung von Flugzeugen müssen Fluggesellschaften zusätzlich einen Preisaufschlag auf die jeweilige Kerosinnotierung bezahlen. Dieser Aufschlag wird als *Into-Plane-Differential* (im Folgenden: IPD) bezeichnet. Das IPD kann als Servicegebühr für das Bereitstellen der Betankungsinfrastruktur, den Transport des Kerosins zum Flugzeug und das Abwickeln des Betankungsvorgangs angesehen werden.⁸³

Die Höhe des IPDs kann von Fluggesellschaften mit den Anbietern der Betankungsdienstleistung individuell verhandelt werden. Das IPD ist somit keine konstante Größe und kann zwischen Fluggesellschaften divergieren. Es ist davon auszugehen, dass das IPD von den Gesellschaften ex-ante fest kontrahiert wird. Zur Relevanz, Existenz und Höhe des IPDs finden sich sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in Unternehmensberichten aus der Praxis nur wenige Informationen. Beispielhaft findet sich allerdings in IAG (2020b) eine Darstellung des IPDs als separate Teilkomponente des in der GuV ausgewiesenen Treibstoffaufwands. Exemplarisch wird für das Jahr 2016 ein IPD von 50 USD je Tonne Kerosin genannt.⁸⁴ Darüber hinaus identifizieren und benennen beispielsweise auch die Air France-KLM Group (2019) sowie Wizz Air (2019) in ihren Geschäftsberichten den Aufwand für das IPD als Teil des Treibstoffaufwands, geben allerdings keine Indikation bezüglich dessen konkreter Höhe.⁸⁵

Der Preis, den Fluggesellschaften für eine Einheit Kerosin zahlen, setzt sich somit final aus vier einzeln identifizier- und bepreisbaren Komponenten zusammen (siehe: Abbildung 8).

Abbildung 8 – Die Preiskomponenten von Kerosin



Die Abbildung zeigt schematisch alle Preiskomponenten, die den von einer Fluggesellschaft zu zahlenden Preis je Einheit Kerosin determinieren. Die Größenverhältnisse geben keine Auskunft über tatsächliche Anteile der einzelnen Preiskomponenten.

⁸² Vgl. Clark (2014): S. 207 ff.

⁸³ Die internationale Luftfahrtvereinigung IATA macht in ihren *Standard Fueling Procedures* Vorgaben zum Umfang der IPD-Betankungsdienstleistung. Vgl. IATA (2020): S. 1 ff.

⁸⁴ Vgl. IAG (2020b): S. 37.

⁸⁵ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 87; vgl. Wizz Air (2019): S. 22.

3 Stand der Wissenschaft

Nachdem in Kapitel 2 die wesentlichen Grundlagen für die vorliegende Arbeit erläutert wurden, stellt Kapitel 3 die relevante bestehende Literatur vor. Hierzu befasst sich Kapitel 3.1 zunächst mit allgemeinen Grundlagenarbeiten zum Finanzrisikomanagement von Unternehmen, bevor sich Kapitel 3.2 mit spezifischen Arbeiten zur Treibstoffpreissicherung in der Verkehrsluftfahrt auseinandersetzt. Abschließend stellt Kapitel 3.3 solche Arbeiten vor, die sich mit der korrekten Bepreisung von Finanzderivaten auseinandersetzen.

3.1 Risikomanagement – Theorie, Empirie und Umsetzung

Die beobachtbare Tatsache, dass Unternehmen weltweit Finanzrisikomanagement mit Hilfe von Derivaten betreiben und für dieses Ressourcen bereitstellen, kann als Indiz dafür gewertet werden, dass Unternehmen davon ausgehen, durch diese Form des Risikomanagements einen Mehrwert, der an dieser Stelle noch nicht näher spezifiziert werden kann, zu generieren.⁸⁶ Um zu verstehen, wie dieser in der Praxis offenbar als existent eingestufte Mehrwert durch die Theorie fundiert und in dieser quantifiziert wird, stellt Kapitel 3.1.1 Grundlagenarbeiten vor, die sich mit relevanten finanztheoretischen Konzepten befassen. Anschließend widmet sich Kapitel 3.1.2 empirischen Arbeiten zum Hedging in Unternehmen. Kapitel 3.1.3 stellt abschließend Arbeiten vor, die sich mit der optimalen praktischen Umsetzung von Sicherungsstrategien befassen. Das Wissen über diese Grundlagenarbeiten ist zur theoretischen Fundierung von OPTA unumgänglich.

3.1.1 Theorie des Risikomanagements

Gemäß dem Standardwerk Stulz (2003) sollte im Regelfall die Maximierung des Unternehmenswertes – als Maximierung des Nutzens der Eigentümer des Unternehmens – das übergeordnete Ziel aller unternehmerischer Handlungen darstellen.⁸⁷ Noch konkreter führen Copeland, Weston und Shastri (2005) aus, dass auch das Risikomanagement in Unternehmen ebenfalls darauf auszurichten ist, dieses Ziel der Unternehmenswertmaximierung zu erreichen.⁸⁸ Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 3.1.1.1 zunächst Modelle zur Unternehmensbewertung vorgestellt. Im Anschluss daran stellt Kapitel 3.1.1.2 dar, unter welchen Rahmenbedingungen Hedging unternehmenswertschaffend eingesetzt werden kann.

3.1.1.1 Einführung in die quantitative Unternehmensbewertung

Um der Frage nachzugehen, ob Hedging theoretisch Unternehmenswert schaffen kann, ist es zunächst notwendig, darzustellen, wie sich der Wert eines Unternehmens berechnen lässt. Hiervon ausgehend ist es im weiteren Verlauf der Arbeit erst möglich aufzuzeigen, wie Hedging positiv Einfluss auf den Unternehmenswert von Gesellschaften, die dieses einsetzen, nehmen kann.

Es sei vorangestellt, dass in den nachfolgend vorgestellten Grundlagenarbeiten der Kapitalmarkt- sowie der Finanzierungstheorie die Existenz eines *vollkommenen Kapitalmarkts*⁸⁹ vorausgesetzt wird. Zudem steht in Arbeiten zur Kapitalmarkttheorie oftmals das Verhalten

⁸⁶ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 213. Siehe auch: Kapitel 1 und dort Fußnote 6.

⁸⁷ Vgl. Stulz (2003): S. 15. Diese Annahme gilt für kapitalmarktorientierte Unternehmen.

⁸⁸ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 725 f.

⁸⁹ Theoretisches Idealbild des Kapitalmarktes. Unter anderem: vollkommene Informationseffizienz, rationale Marktteilnehmer sowie Abwesenheit von Steuern und Transaktionskosten. Vgl. Stulz (2003): S. 22 f.

von rational agierenden Investoren im Fokus der wissenschaftlichen Betrachtung.⁹⁰ Das optimale Verhalten einzelner Unternehmen kann aus Betrachtungen zum Verhalten dieser Investoren abgeleitet werden.

Zur Bewertung von Unternehmen wird in dieser Arbeit die Kapitalwertmethode genutzt und als praxisrelevantes Standardunternehmensbewertungsmodell wird auf ein (vereinfachtes) *Discounted-Cash-Flow* (im Folgenden: DCF) Modell zurückgegriffen.⁹¹ In diesem Modell entspricht der Wert ($V_{i,t}$) eines Unternehmens i im Zeitpunkt t der Summe aller zukünftigen, auf den Zeitpunkt t abgezinste Cash-Flows des Unternehmens. Sofern das Unternehmen zu 100% mit Eigenkapital finanziert ist, gilt in Zeitpunkt $T = 0$:⁹²

Wert eines Unternehmens (Vereinfachter Equity-Value-Ansatz)

$$V_{i,0} = \sum_{T=1}^{\infty} \frac{E(\text{CashFlow}_{i,T})}{(1+\mu_{i,0})^T} \quad (3.1)$$

Entscheidend ist in dieser Betrachtung der unternehmensindividuelle Diskontierungsfaktor $\mu_{i,t}$. Dieser entspricht derjenigen Rendite, die Investoren von Unternehmen i als Verzinsung auf das zur Verfügung gestellte Eigenkapital einfordern.⁹³ Unter der Annahme starrer erwarteter Cash-Flows hängt der Wert des Unternehmens im Zeitpunkt $T = 0$ somit ausschließlich von der Renditeerwartung der rationalen Investoren ab.

Um auch den Gesamtwert verschuldeter Unternehmen berechnen zu können, muss das *Equity-Value-Modell* aus (3.1) zudem auf ein *Entity-Value-Modell* erweitert werden. In diesem wird der gesamte Cash-Flow berücksichtigt, welcher Eigen- (*CashFlowEK*) und Fremdkapitalgebern (*CashFlowFK*) des Unternehmens zur Verfügung steht. Für den Gesamtwert eines Unternehmens i in Zeitpunkt $T = 0$ gilt:⁹⁴

Wert eines Unternehmens (Vereinfachter Entity-Value-Ansatz)

$$V_{i,0} = \sum_{T=1}^{\infty} \frac{E(\text{CashFlowEK}_{i,T} + \text{CashFlowFK}_{i,T})}{(1+WACC_{i,0})^T} = \sum_{T=1}^{\infty} \frac{E(\text{CashFlow}_{i,T})}{(1+WACC_{i,0})^T} \quad (3.2)$$

Cash-Flows werden in diesem Fall nicht nur mittels der erwarteten Eigenkapitalrendite diskontiert, sondern es muss der durchschnittliche Gesamtkapitalkostenzins ($WACC$ ⁹⁵) berücksichtigt werden. Um diesen zu berechnen, wird zwischen der erwarteten Rendite der Eigenkapitalgeber für ein unverschuldetes Unternehmen ($\mu_{i,t}^U$ – entspricht dem bisherigen $\mu_{i,t}$) und für ein verschuldetes Unternehmen ($\mu_{i,t}^V$) unterschieden. Zudem werden der individuelle Fremdkapitalzins $r_{i,t}$ sowie die Höhe des Eigen- (*EK*) und des Fremdkapitals (*FK*) von Unternehmen i in Zeitpunkt t berücksichtigt. Der $WACC$ eines Unternehmens i in Zeitpunkt t wird unter den gegebenen Modellannahmen berechnet über:⁹⁶

⁹⁰ Diese berücksichtigen zur Bewertung einer Investition ausschließlich das mit der Investition einhergehende Rendite-Risikoprofil und halten stets ein breit diversifiziertes Portfolio (Marktportfolio) an Wertpapieren. Vgl. Markowitz (1952): S. 80 ff.; vgl. Stulz (2003): S. 15, 40. Weitere Hintergründe finden sich auch im Anhang A II. a).

⁹¹ Für allgemeine Hintergründe und Erläuterungen zur Unternehmensbewertung sowie zu Standardbewertungsmodellen siehe: Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 497 ff. oder Wöhe/Döring/Brösel (2016): S. 511 ff.

⁹² Das Modell entspricht einem vereinfachten *Flow-to-Equity* Ansatz ohne Steuern. Abweichend von dieser Darstellung splitten Copeland/Weston/Shastri (2005) den Cash-Flow simplifizierend in EBIT + Investitionen und berücksichtigen Steuern. Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 498 ff. (Equity Approach). In (3.1) und folgend in (3.2) gilt, dass T jeweils das Ende einer Periode $\bar{T}$ markiert.

⁹³ Eine vertiefte Hintergrunddiskussion zur Bestimmung von $\mu_{i,t}$ findet sich im Anhang A II. a).

⁹⁴ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 506 ff., 515.

⁹⁵ Engl. Abkürzung für: *Weighted Average Cost of Capital*.

⁹⁶ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 241 f. Zur Bestimmung von *FK*, *EK* und $WACC$ im Simulationsmodell siehe auch die Erläuterungen in Kapitel 6.1.2.3.

WACC für verschuldetes Unternehmen (ohne Steuern)

$$WACC_{i,t} = r_{i,t} * \frac{FK_{i,t}}{FK_{i,t} + EK_{i,t}} + \mu_{i,t}^V * \frac{EK_{i,t}}{FK_{i,t} + EK_{i,t}} \quad (3.3)$$

Während der Unternehmenswert $V_{i,t}$ für ein unverschuldetes Unternehmen nach (3.1) und (3.2) identisch ist, lassen sich mittels (3.2) nun auch verschuldete Unternehmen bewerten.

3.1.1.2 Die theoretische Begründung der Vorteilhaftigkeit von Hedging

Von besonderer Relevanz für die vorliegende Arbeit ist, dass die Wissenschaft bis in die frühen 1980er Jahre postulierte, dass durch den Einsatz von Hedging kein Unternehmenswert geschaffen werden kann. Diese Postulierung der Nicht-Relevanz von Hedging, welche nur unter den strengen Modellannahmen des vollkommenen Kapitalmarktes Gültigkeit besitzt, erlangte in der Literatur unter dem Namen *Hedging Irrelevance Proposition* Bekanntheit.⁹⁷ Ein zentrales Argument dieser Proposition ist, dass Hedging, welches ausschließlich zur Verringerung des *unsystematischen Risikos*⁹⁸ eines Unternehmens eingesetzt wird, nicht zur Verringerung der geforderten Eigenkapitalrendite ($\mu_{i,t}$) und somit nicht zur Erhöhung des Unternehmenswertes beitragen kann (siehe: (3.1)).⁹⁹ Weitere Erläuterungen und Hintergründe zur Hedging Irrelevance Proposition sind im Anhang A II. a) zu finden.

Ab Mitte der 1980er Jahre befasste sich die Forschung allerdings vermehrt damit, zu untersuchen, ob reale Abweichungen von den strengen Modellannahmen des vollkommenen Kapitalmarktes dazu führen können, dass in der Praxis doch Unternehmenswertvorteile durch Hedging erzielbar sind. Das zentrale Resultat dieser Forschung war, dass Vorteile dann erzielt werden können, wenn in der Praxis Risiken in Unternehmen existieren, die durch Finanzrisikomanagement innerhalb des Unternehmens kostengünstiger adressierbar sind als dies extern über den Kapitalmarkt möglich ist. Die direkten und indirekten Zusatzkosten, welche in solchen Fällen durch den Nicht-Einsatz von Hedging entstehen, werden unter anderem von Stulz (2003) als *Deadweight-Costs* (im Folgenden: DWC) bezeichnet.¹⁰⁰ Nur im Fall der Existenz von DWC, die durch Hedging verringert werden können, ist es möglich, dass durch Hedging innerhalb des Unternehmens auch Unternehmenswert geschaffen wird. Da die Identifikation und Quantifizierung solcher DWC zur Herleitung des Modells in der vorliegenden Arbeit von herausragender Bedeutung ist (siehe: Kapitel 5.2.2), werden nachfolgend sieben zentrale Gründe für die praktische Entstehung von DWC detailliert vorgestellt. Nur wenn ein fundiertes theoretisches Verständnis für die DWC existiert, ist es möglich, diese im Rahmen der Modellerstellung korrekt zu berücksichtigen.

1. Vermeidung direkter und indirekter (potenzieller) Insolvenzkosten

(Potenzielle) Insolvenzkosten können in direkte und indirekte Kosten unterteilt werden. Zunächst werden die Auswirkungen der direkten Kosten einer Insolvenz vorgestellt.

Während im vollkommenen Kapitalmarkt die Abwesenheit von Transaktionskosten unterstellt wurde, ist diese Annahme in der Praxis nicht haltbar. Im Kontext der Insolvenz betrifft dies solche Transaktionskosten, die für das Unternehmen direkt durch den Eintritt des Insolvenzfalls ausgelöst werden und von einem Investor nicht durch Diversifikation eliminiert

⁹⁷ Vgl. Stulz (2003): S. 45 f., 48 f.

⁹⁸ *Unsystematisches Risiko* (auch: *unique risk*): Risiko, welches Investoren durch Diversifikation selbst eliminieren können. *Systematisches Risiko* (auch: *market risk*): gesamtwirtschaftliches Risiko, welches sich nicht durch Diversifikation eliminieren lässt. Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 188. Siehe auch: Anhang A II. a) und dort Abbildung 32.

⁹⁹ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 188; vgl. Stulz (2003): S. 40 f. Weitere Hintergründe siehe: Anhang A II. a).

¹⁰⁰ Vgl. Stulz (2003): S. 53. Arbeiten vor Stulz (2003) nutzen den Terminus nicht. Abweichend davon wird der Begriff im vorliegenden Literaturüberblick zur Beschreibung des Sachverhaltes bereits durchgängig und konsistent genutzt. Begriff vermutlich angelehnt an: *Deadweight-Loss* (Mikroökonomik). Vgl. Varian (2007): S. 355 ff., 508 ff.

werden können (Beispiel: Gerichtskosten).¹⁰¹ Daher entspricht der Wert des Unternehmens inklusive korrekter Berücksichtigung möglicher direkter Insolvenzkosten dem über (3.2) errechneten Wert des Unternehmens ($V_{i,0}$) abzüglich des diskontierten und wahrscheinlichkeitsgewichteten Erwartungswertes der direkten Transaktionskosten einer Insolvenz. Folglich ist es für ein Unternehmen dann opportun, Hedging einzusetzen, wenn dieses – durch die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Insolvenzfalls – den diskontierten Erwartungswert der Insolvenzkosten verringert und die für das Hedging anfallenden Kosten unter dem Betrag der Verringerung liegen.¹⁰² Der Einfluss direkter Insolvenzkosten auf den Cash-Flow des Unternehmens wird in Abbildung 40 im Anhang B II visualisiert.

Darüber hinaus existieren indirekte Kosten, die bereits aufgrund einer erhöhten Insolvenzwahrscheinlichkeit entstehen und unabhängig vom tatsächlichen Eintritt der Insolvenz bereits Einfluss auf den Erfolg eines Unternehmens nehmen. Für diese Kosten findet sich in der Literatur auch der Begriff der *Kosten einer finanziellen Schieflage*.¹⁰³ Da durch Hedging die Eintrittswahrscheinlichkeit der Insolvenz verringert werden kann, gilt auch für die Kosten der finanziellen Schieflage, dass diese durch Hedging verringert werden können.¹⁰⁴ Beispielhaft ist anzunehmen, dass Unternehmen, die risikoreduzierendes Hedging einsetzen, vorteilhafte Fremdkapitalkonditionen erhalten, da Hedging die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass diese Unternehmen zukünftige Zahlungen an Fremdkapitalgeber leisten können.¹⁰⁵ In diesem Fall verringert sich sowohl der Fremdkapital- ($r_{i,t}$) als auch der Gesamtkapitalkostenzinssatz ($WACC_{i,t}$) durch den Einsatz von Hedging. Dies führt gemäß (3.2) ebenfalls zur Erhöhung des Unternehmenswertes.

2. Konvexität der Unternehmensbesteuerung

Auf dem vollkommenen Kapitalmarkt wurde zuvor die Abwesenheit von Steuern unterstellt. Mehrere bestehende Arbeiten können jedoch zeigen, dass die praktische Existenz von Steuern dazu führen kann, dass der Einsatz von Hedging den Unternehmenswert erhöht. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn steigende Grenzsteuersätze¹⁰⁶ existieren oder Steuersätze auf positive Vorsteuer-Cash-Flows¹⁰⁷ konstant sind, aus negativen Cash-Flows vor Steuern aber keine oder nur zeitlich verzögerte Steuerrückzahlungen resultieren. In solchen Fällen gilt, dass durch den Einsatz varianzverringender Sicherungsinstrumente der Erwartungswert des Nachsteuer-Cash-Flows höher liegen wird als der Erwartungswert des Nachsteuer-Cash-Flows ohne Einsatz solcher Sicherungsinstrumente.¹⁰⁸ Die DWC sind in diesem Fall vermeidbare Steuerzahlungen. Eine beispielhafte Veranschaulichung des Sachverhalts findet sich in Abbildung 41 im Anhang B II.

¹⁰¹ Exemplarisch entstanden während des Insolvenzverfahrens von *United Airlines* zu Beginn der 2000er Jahre direkte Transaktionskosten der Insolvenz von mehr als 350 Millionen US-Dollar. Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 403.

¹⁰² Vgl. Mayers/Smith (1982): S. 284 f.; vgl. Smith/Stulz (1985): S. 396, 398. Mayers und Smith (1982) befassen sich mit Versicherungen als Mittel des Risikomanagements. Da der Abschluss einer Versicherung dem Kauf einer *Call-Option* gleicht, sind theoretische Erkenntnisse auch auf Fragestellungen zum Hedging übertragbar.

¹⁰³ Der Begriff wurde beispielsweise von Myers (1977) chronologisch früh genutzt. Vgl. Myers (1977): S. 148.

¹⁰⁴ Detailliert setzen sich beispielsweise auch Stulz (2003) und Brealey, Myers und Allen (2009) mit den Kosten einer finanziellen Schieflage auseinander. Beispiele für solche indirekten Kosten sind DWC, die bereits vor einer Insolvenz aufgrund des Vertrauensverlustes bei Kunden, Mitarbeitern oder Kreditgebern entstehen. Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 404 f.; vgl. Smith/Stulz (1985): S. 398; vgl. Stulz (2003): S. 58 f.

¹⁰⁵ Vgl. Bessembinder (1991): S. 526 ff.

¹⁰⁶ Die Ertragsteuern sind dann eine konvexe Funktion des Vorsteuer-Cash-Flows (für Vorsteuer-Cash-Flows > 0).

¹⁰⁷ Unternehmenssteuern werden in der Regel auf Gewinne und nicht auf Cash-Flows gezahlt. Zur einfachen Erläuterung wird hier unterstellt, dass der Cash-Flow des Unternehmens dem Unternehmensgewinn entspricht. Die steuerliche Bevorzugung von Fremdkapital wird an dieser Stelle noch nicht berücksichtigt. Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 392.

¹⁰⁸ Vgl. Frestad (2010): S. 238 ff.; vgl. Mayers/Smith (1982): S. 290 ff.; vgl. Smith/Stulz (1985): S. 392 ff.; vgl. Stulz (2003): S. 59 ff. Im Fall der Geltendmachung von Steuerverlustvorträgen resultieren Nachteile aus der Nicht-Verzinsung vorgetragener Verluste.

Da der Einsatz von Hedging zur Sicherung unsystematischer Risiken keinen Einfluss auf die Eigen- oder Fremdkapitalrendite hat, folgt nach (3.2), dass das Erhöhen des erwarteten Nachsteuer-Cash-Flows zu einer Erhöhung des Unternehmenswertes führt.¹⁰⁹

3. Anreizgestaltung des Managements

In der Praxis kann die Existenz der Informationsasymmetrie zwischen Eigentümern und individualnutzenmaximierenden Managern eines Unternehmens dazu führen, dass durch Manager Entscheidungen getroffen werden, welche für die Eigentümer nicht optimal sind. Ein Mittel zur Überwindung solcher Informationsasymmetrien ist die Ausgabe von Aktien als Bestandteil der Managementvergütung, wodurch der individuelle Nutzen der Manager ebenfalls vom Wert des Unternehmens abhängt. Allerdings folgt im Regelfall aus der Ausgabe von Aktien, dass das individuelle Risiko eines Managers fortan überproportional vom Risiko des eigenen Unternehmens abhängt. Zudem ist davon auszugehen, dass der einzelne Manager den unsystematischen Anteil dieses Risikos – im Gegensatz zum externen Investor – nur unzureichend durch Diversifikation eliminieren kann. Hieraus folgt, dass Manager zusätzliches Gehalt zur Kompensation eines solchen nicht diversifizierbaren unsystematischen Risikos einfordern sollten.¹¹⁰

Allerdings besteht für Manager als Entscheidungsträger des Unternehmens die Möglichkeit, Hedging zur Reduktion unsystematischer Risiken einzusetzen. Da Manager nach dem Einsatz von Hedging wieder auf Teile der Kompensation zum Tragen des unsystematischen Risikos verzichten sollten, folgt: Sofern die Summe des Verzichts auf Kompensation für alle betroffenen Manager des Unternehmens absolut größer ausfällt als die für das Hedging anfallenden Gesamtkosten, führt Hedging zu einer Erhöhung des erwarteten Cash-Flows, woraus auch in diesem Fall eine Erhöhung des Unternehmenswertes resultiert (siehe: (3.2)).¹¹¹

4. Lösen des Asset Substitution Problems

Des Weiteren kann der rationale Einsatz von Hedging auch durch die Existenz des *Asset Substitution Problems*¹¹² begründet werden. Dieses beschreibt, dass auf realen Märkten Informationsasymmetrien zwischen Eigen- und Fremdkapitalgebern existieren, die Unternehmen dazu verleiten können, nach Fixierung der Fremdkapitalfinanzierung riskantere als die initial geplanten Projekte durchzuführen. Dies ist dann naheliegend, wenn die alternativen Projekte für die Eigenkapitalgeber vorteilhafter sind. Gemäß Literatur werden Fremdkapitalgeber solches Verhalten jedoch bereits ex-ante antizipieren und durch erhöhte Fremdkapitalkosten berücksichtigen.¹¹³ Solche zusätzlichen Fremdkapitalkosten werden als DWC betrachtet. Nur eine glaubhafte Versicherung des Unternehmens, zukünftig keine Projekte durchzuführen, welche die Fremdkapitalgeber einseitig benachteiligen, ermöglicht es, eine vorteilhafte Fremdkapitalfinanzierung zu erhalten. Der Abschluss volatilitätsmindernder Sicherungsgeschäfte kann entscheidend zu einer solchen Erhöhung der Glaubwürdigkeit des Unternehmens beitragen.¹¹⁴ Sofern zusätzliche Finanzierungskosten, welche durch die vorteilhaftere Fremdkapitalfinanzierung vermieden werden, absolut größer sind als die für das Hedging anfallenden Kosten, wird auch in diesem Fall durch Hedging Unternehmenswert geschaffen. Ein Beispiel zum *Asset Substitution Problem* findet sich im Anhang A II. b).

¹⁰⁹ Vgl. Stulz (2003): S. 61.

¹¹⁰ Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 399. Mit solchen und ähnlichen Fragestellungen zur Anreizgestaltung befasst sich die *Prinzipal-Agenten-Theorie*. Eine frühe Arbeit zu diesem Themenkomplex ist beispielsweise Eisenhardt (1989). Für Erläuterung zu *unsystematischen* Risiken siehe Fußnote 98 sowie auch Abbildung 32 im Anhang A II. a).

¹¹¹ Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 399.

¹¹² *Asset Substitution Problem* initial beschrieben in: Jensen/Meckling (1976): S. 333 ff.

¹¹³ Vgl. Campbell/Kracaw (1990): S. 1673 ff.

¹¹⁴ Vgl. Campbell/Kracaw (1990): S. 1676 f.

5. Lösen des Unterinvestitionsproblems

Auch die Begründung des Einsatzes von Hedging über das Lösen des *Unterinvestitionsproblems*¹¹⁵ basiert auf der Beobachtung, dass auf realen Märkten Interessenskonflikte und Informationsasymmetrien zwischen Eigen- und Fremdkapitalgebern existieren.¹¹⁶ Das Unterinvestitionsproblem beschreibt in diesem Kontext, dass Unternehmen, beispielsweise im Fall einer sehr hohen Verschuldung, einzelne barwertpositive Projekte möglicherweise nicht durchführen, sofern diese für Eigenkapitalgeber nicht opportun sind.¹¹⁷ Da das Nicht-Durchführen solcher Projekte zu einer Verringerung des erwarteten Cash-Flows des Unternehmens führt, verringert sich gemäß (3.2) hierdurch der Wert des Unternehmens. Die entgangenen positiven Barwerte der nicht durchgeführten Projekte können als DWC angesehen werden. Es kann jedoch gezeigt werden, dass volatilitätsminderndes Hedging in diesem Fall zur Sicherstellung der Projektdurchführung beitragen kann, wodurch DWC vermieden werden.¹¹⁸ Sofern die Kosten für Hedging unterhalb der vermiedenen DWC liegen, wird durch Hedging auch in diesem Fall Unternehmenswert geschaffen.

6. Vermeiden einer teuren Finanzierung

Froot, Scharfstein und Stein (1993) können zeigen, dass Hedging dann für Unternehmen vorteilhaften Charakter besitzt, wenn die externe Finanzierung teurer als eine Finanzierung aus Eigenmitteln ist und Hedging die erfolgreiche Durchführung von Investitionsprojekten sicherstellen kann, welche mit knappen Eigenmitteln finanziert werden. In der Literatur findet sich für diese Erklärung des Hedgings die Begrifflichkeit des *Vermeidens der teuren externen Finanzierung*.¹¹⁹ Auch in diesem Fall kann volatilitätsminderndes Hedging die Durchführung von erwartungswertpositiven Projekten sicherstellen, welche andernfalls nicht durchgeführt würden. Dies führt gemäß (3.2) zu einem höheren Unternehmenswert.

7. Steuervorteile durch Tax Shields

Während in der Modellwelt des vollkommenen Kapitalmarkts die Abwesenheit von Steuern unterstellt wurde, ist ein weiterer Grund für die Vorteilhaftigkeit von Hedging in der Realität, dass Steuern in der Praxis erst auf den Gewinn¹²⁰ nach Zinszahlungen anfallen. Daher muss $WACC_{i,t}$ unter Berücksichtigung von Steuern neu berechnet werden über:¹²¹

WACC für verschuldetes Unternehmen (mit Steuern)

$$WACC_{i,t} = r_{i,t} * (1 - Steuer) * \frac{FK_{i,t}}{FK_{i,t} + EK_{i,t}} + \mu_{i,t}^V * \frac{EK_{i,t}}{FK_{i,t} + EK_{i,t}} \quad (3.4)$$

Die neue Variable *Steuer* reflektiert den Körperschaftsteuersatz in Prozent. Demnach ergibt sich durch die Vorsteuerzahlung von Zinsen ein Vorteil in Höhe von $FK_{i,t} * r_{i,t} * Steuer$ gegenüber einer Finanzierung mittels Eigenkapital. Dieser Vorteil wird als *Tax Shield* bezeichnet. Solange $r_{i,t}$ konstant ist, verringert sich $WACC_{i,t}$ durch das Tax Shield mit zunehmendem Verschuldungsgrad. Da durch die Anpassung der Finanzierungsstruktur die Summe des Zählers in (3.2) unverändert bleibt, erhöht sich durch die Verringerung von $WACC_{i,t}$ der

¹¹⁵ *Unterinvestitionsproblem* initial beschrieben in: Myers (1977): S. 149.

¹¹⁶ Vgl. Bessembinder (1991): S. 520 ff.

¹¹⁷ Vgl. Bessembinder (1991): S. 520 ff.; vgl. Myers (1977): S. 149.

¹¹⁸ Vgl. Bessembinder (1991): S. 526 ff. Zusätzlich diskutiert Bessembinder (1991) bereits mögliche Vorteile aus größeren Tax Shields. Solche Vorteile werden in der vorliegenden Arbeit nachfolgend separat betrachtet.

¹¹⁹ Vgl. Froot/Scharfstein/Stein (1993): S. 1633 ff. Eine praxisnahe Diskussion dazu, in welchen Situationen die externe Finanzierung teurer als eine Finanzierung mit Eigenmitteln sein kann, findet sich zudem in: Stulz (2003): S. 72 ff.

¹²⁰ Es wird weiterhin vereinfachend unterstellt, dass Cash-Flows vor Steuern und Gewinne vor Steuern identisch sind. Siehe auch: Fußnote 107.

¹²¹ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 384 f.; vgl. Myers (1974): S. 8.

Wert des Unternehmens.¹²² Der Mehrwert des verschuldeten Unternehmens gegenüber dem unverschuldeten Unternehmen entspricht der Summe der Barwerte aller erwarteten zukünftigen Tax Shields.¹²³ Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass $r_{i,t}$ in der Praxis mit zunehmendem Verschuldungsgrad ansteigt.¹²⁴ Der Vorteil von Hedging manifestiert sich daher in einer möglichen Ausweitung des Verschuldungsgrades, welche ohne Hedging bereits zu einer stärkeren Erhöhung des Fremdkapitalzinses $r_{i,t}$ führen würde. Somit ist es durch Hedging möglich, größere Tax Shields zu generieren, wodurch der Unternehmenswert gesteigert wird.¹²⁵ Eine Veranschaulichung der Effekte findet sich in Abbildung 42 im Anhang B II. Übergeordnet konnten in Kapitel 3.1.1.2 sieben zentrale Gründe identifiziert werden, die zeigen, wie Hedging auf einem realen Markt zur Schaffung von Unternehmenswert beitragen kann. Die identifizierten Gründe sind für die Fundierung des zentralen Modells in der vorliegenden Arbeit von hoher Relevanz (siehe Kapitel 5.2.2). In Tabelle 57 im Anhang B I findet sich eine Übersicht der vorgestellten Gründe. Es sei zudem darauf hingewiesen, dass in der Literatur darüber hinaus noch weitere Gründe für den Einsatz von Hedging genannt werden. Als weiterführende Lektüre empfiehlt sich beispielsweise Stulz (2003).

3.1.2 Empirische Arbeiten zum Risikomanagement in Unternehmen

Nachdem die Literatur grundlegende theoretische Fundierungen zum Finanzrisikomanagement von Unternehmen erarbeitet hatte, entstand in der Folgezeit ein gesteigertes Interesse daran, durch den Rückgriff auf empirische Methoden einen Abgleich zwischen theoretischen Erklärungen und dem praktischen Vorgehen in Unternehmen vorzunehmen. Kapitel 3.1.2 widmet sich daher empirischen Studien zu der Frage, ob die Implikationen der vorgestellten Theorien zum Hedging sich auch in Beobachtungen aus der Praxis widerspiegeln. Bestehende Arbeiten werden nachfolgend aufgeteilt auf Kapitel 3.1.2.1 (Gründe für Hedging) sowie Kapitel 3.1.2.2 (Hedging und Unternehmenswert) diskutiert. Da jeweils nur eine stark gekürzte Auswahl der zentralen Literatur vorgestellt werden kann, wird als weiterführende Lektüre zudem bereits auf eine Metastudie von Geyer-Klingenberg et al. (2018) verwiesen.¹²⁶ Als weitere Ergänzung findet sich außerdem im Anhang A II. c) eine Darstellung empirischer Arbeiten, die sich mit dem spezifischen Aspekt der selektiven Sicherung befassen.

3.1.2.1 Empirische Arbeiten zu Hedging in der Praxis

Erste empirische Arbeiten zum praktischen Einsatz von Hedging finden sich etwa ab dem Beginn der 1990er Jahre. Beispielsweise veröffentlichten Nance, Smith und Smithson (1993), Berkman und Bradbury (1996) sowie Mian (1996) empirische Studien zum Hedging in Nicht-Finanzunternehmen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass von den erfassten Unternehmen bis zu 60% Sicherungsinstrumente nutzen und dass vor allem größere Unternehmen eher dazu tendieren, solche Instrumente einzusetzen.¹²⁷

¹²² Vgl. Stulz (1996): S. 17.

¹²³ Vgl. Myers (1974): S. 8 ff. Kritische Annahme: konstanter Fremdkapitalzins $r_{i,t}$. Praktisch kann der Unternehmenswert nicht beliebig durch eine Erhöhung der Verschuldung gesteigert werden. Für weitere Hintergründe empfiehlt sich beispielsweise: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 393 ff.

¹²⁴ Auf dem vollkommenen Kapitalmarkt war $r_{i,t}$ unabhängig vom Verschuldungsgrad (siehe: Abbildung 32).

¹²⁵ Vgl. Leland (1998): S. 1213 ff., 1234.

¹²⁶ Vgl. Geyer-Klingenberg et al. (2018): S. 1 ff.

¹²⁷ Vgl. Berkman/Bradbury (1996): S. 8, 12 f.; vgl. Mian (1996): S. 426 ff.; vgl. Nance/Smith/Smithson (1993): S. 271, 274 ff., 280. Daneben können beispielsweise auch Géczy, Minton und Schrand (1997), Haushalter (2000) oder Bartram, Brown und Fehle (2009) zeigen, dass größere Unternehmen eher Sicherungen einsetzen. Vgl. Bartram/Brown/Fehle (2009): S. 185 ff., 194 ff.; vgl. Géczy/Minton/Schrand (1997): S.1336 ff.; vgl. Haushalter (2000): S. 129 ff.

Daneben zeigen Ergebnisse von Nance, Smith und Smithson (1993) sowie von Berkman und Bradbury (1996), dass Unternehmen, für die es steuerliche Anreize gibt, die Ergebnisvolatilität zu verringern, stärker zum Einsatz von Sicherungsinstrumenten neigen.¹²⁸ Sowohl Mian (1996) als auch Haushalter (2000) erlangen zum Zusammenhang zwischen Hedging und der Besteuerung hingegen keine eindeutigen Ergebnisse.¹²⁹ Ergebnisse von Graham und Rogers (2002) legen nahe, dass Unternehmen, die mit einer konvexen Steuerfunktion konfrontiert sind, nicht vermehrt Hedging einsetzen. Die Autoren argumentieren jedoch, dass Unternehmen Sicherungen stattdessen einsetzen, um zusätzliches Fremdkapital aufzunehmen, wodurch Tax Shields besser genutzt werden können.¹³⁰

Der Zusammenhang zwischen Hedging und der Finanzierungsstruktur eines Unternehmens wird ebenfalls in mehreren Arbeiten untersucht. Berkman und Bradbury (1996) zeigen, dass Unternehmen, die einen höheren Verschuldungsgrad aufweisen, stärker zum Einsatz von Sicherungsinstrumenten neigen. Sie interpretieren dies als Versuch, die potenziellen Kosten einer Insolvenz zu vermeiden.¹³¹ Géczy, Minton und Schrand (1997) interpretieren den Befund, wonach Unternehmen, die über eine geringere Liquidität verfügen, stärker Sicherungsinstrumente einsetzen, als Argument für die Theorie der teuren externen Finanzierung. Außerdem deuten sowohl ihre Daten als auch Ergebnisse in Gay und Nam (1998) sowie in Haushalter (2000) darauf hin, dass Unternehmen Hedging mit dem Ziel betreiben, DWC durch Unterinvestitionen zu vermeiden.¹³² Bartram, Brown und Fehle (2009) finden Belege dafür, dass Unternehmen in finanzieller Schieflage eher Sicherungen einsetzen.¹³³ Sowohl Campello et al. (2011) als auch Chen und King (2014) können zudem zeigen, dass sichernde Unternehmen geringere Fremdkapitalzinsen zahlen. Des Weiteren legen Campello et al. (2011) dar, dass sichernde Unternehmen auch in finanziell angespannten Situationen vorteilhafte Fremdkapitalfinanzierungen erhalten.¹³⁴ Diese Erkenntnisse untermauern die theoretischen Argumente zum Asset Substitution Problem sowie zur Unterinvestitionstheorie. Berkman und Bradbury (1996), Tufano (1996) sowie Schrand und Unal (1998) zeigen darüber hinaus auch, dass Unternehmen, deren Manager (größere) Aktienpakete besitzen, stärker dazu tendieren, Risikomanagement zu betreiben.¹³⁵ In teilweisem Widerspruch zu diesen Arbeiten kann Haushalter (2000) keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Risikoaversion des Managements und der Sicherungsintensität feststellen.¹³⁶

3.1.2.2 Hedging und Unternehmenswert

Etwa ab dem Jahr 2000 erschienen erstmals Studien, die sich mit der Frage nach dem empirischen Zusammenhang zwischen Hedging und dem Unternehmenswert befassen. Erste zentrale Ergebnisse dieses Forschungsstrangs stammen von Allayannis und Weston (2001), die für Unternehmen, welche Sicherungen einsetzen, einen um 4,9% höheren Unternehmenswert beobachten.¹³⁷ Graham und Rogers (2002) erzielen kurz darauf Ergebnisse, nach denen der Einsatz von Hedging nur zu einem um 1,1% erhöhten Unternehmenswert führt.¹³⁸ Jin und Jorion (2006) können in ihrer Studie hingegen keinen signifikanten Zusammenhang

¹²⁸ Vgl. Berkman/Bradbury (1996): S. 12 f.; vgl. Nance/Smith/Smithson (1993): S. 274 ff., 280.

¹²⁹ Vgl. Mian (1996): S. 427 ff.; vgl. Haushalter (2000): S. 135.

¹³⁰ Vgl. Graham/Rogers (2002): S. 819, 831 ff.

¹³¹ Vgl. Berkman/Bradbury (1996): S. 12 f.

¹³² Vgl. Gay/Nam (1998): S. 60 ff.; vgl. Géczy/Minton/Schrand (1997): S. 1329 ff.; vgl. Haushalter (2000): S. 108, 129 ff.

¹³³ Vgl. Bartram/Brown/Fehle (2009): S. 194 ff.

¹³⁴ Vgl. Campello et al. (2011): S. 1620 f., 1630 ff.; vgl. Chen/King (2014): S. 228 ff., 238 ff.

¹³⁵ Vgl. Berkman/Bradbury (1996): S. 12 f.; vgl. Schrand/Unal (1998): S. 1006 ff.; vgl. Tufano (1996): S. 1116 ff.

¹³⁶ Vgl. Haushalter (2000): S. 135.

¹³⁷ Vgl. Allayannis/Weston (2001): S. 258 ff., 268.

¹³⁸ Vgl. Graham/Rogers (2002): S. 819, 833 f.

zwischen Hedging und dem Unternehmenswert erfassen.¹³⁹ Abweichend dazu deuten die Ergebnisse in MacKay und Moeller (2007) darauf hin, dass Hedging den Unternehmenswert um etwa 2% bis 3% erhöht.¹⁴⁰ Allayannis, Lal und Miller (2012) errechnen in ihrer Arbeit gar einen um knapp 10% gesteigerten Unternehmenswert und zeigen, dass Hedging vor allem in Unternehmen, die dieses zu Sicherungs- und nicht zu Spekulationszwecken einsetzen, zur Unternehmenswertsteigerung beiträgt.¹⁴¹ Im Gegensatz zu diesen empirischen Studien ermitteln Guay und Kothari (2003) absolute Unternehmenswertdifferenzen aus Hedging über eine Simulation und errechnen dabei Unternehmenswertvorteile von durchschnittlich etwa 30 Millionen US-Dollar.¹⁴²

Für eine detailliertere Diskussion der Ergebnisse der genannten Studien sowie einen Vergleich mit den Ergebnissen der Simulationsstudie der vorliegenden Arbeit, wird auch auf Kapitel 7.2.3.3 sowie die dortige Tabelle 37 verwiesen.

Zum Abschluss von Kapitel 3.1.2 kann an dieser Stelle zudem zusammenfassend festgehalten werden, dass die empirischen Resultate sowohl zu einzelnen Theorien zur Erklärung des Sicherungsvorgehens als auch zu der Frage, ob Hedging Unternehmenswert schafft, teils nicht eindeutig sind. Eine Erklärung für die inkonsistenten Resultate verschiedener Studien ist, dass vorgestellte Untersuchungen ein breites Spektrum von Aktivitäten unter dem Schlagwort Hedging erfassen, ohne möglichen Unterschieden zwischen einzelnen Branchen oder Industrien ausreichend Aufmerksamkeit zu schenken. Daher scheint es ratsam, zur Einordnung der Relevanz von Hedging innerhalb einer Branche primär Studien zu berücksichtigen, die sich mit Hedging in dieser Branche auseinandersetzen. Untersuchungen zum Sicherungsvorgehen von risikohomogenen Unternehmensgruppen ermöglichen es unter Umständen eher, konsistente empirische Resultate zu erzielen und existierende Kausalzusammenhänge offenzulegen. Erfreulicherweise existieren für den speziellen Fall der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften solche empirischen Arbeiten. Diese werden daher im weiteren Verlauf dieser Arbeit in Kapitel 3.2 separat vorgestellt.

3.1.3 Risikomanagement im Modell

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln eine Auseinandersetzung mit der Frage danach stattfand, ob Hedging theoretisch sowie empirisch für Unternehmen Wert schaffen kann, werden in Kapitel 3.1.3 Arbeiten vorgestellt, die sich mit dem für die Risikomanagementpraxis folgenden Schritt auseinandersetzen: Das Kapitel stellt Arbeiten vor, die sich mit der optimalen Umsetzung der Sicherung befassen. Folglich steht nicht mehr die Frage nach dem *warum*, sondern die Frage nach dem *wie* der Sicherung im Fokus. Hierzu müssen theoretische Konzepte der Volkswirtschaftslehre berücksichtigt werden und es wird primär auf theoretische Modellierungsansätze statt auf empirische Daten zurückgegriffen.

Von großem Interesse für die vorliegende Arbeit ist dieser Teil der Literatur deshalb, weil im Rahmen dieser Arbeit in den Kapiteln 5 und 6 der Schritt von der finanztheoretischen Überlegung zur praktischen Implementierung einer optimalen Sicherungsstrategie für Fluggesellschaften vollzogen wird. Dabei werden die in diesem Kapitel 3.1.3 vorgestellten Erkenntnisse der bestehenden Forschung teils als Ausgangspunkt für die Modellerstellung des in dieser Arbeit neu aufzustellenden Modells OPTA genutzt. Es sei zudem bereits darauf hingewiesen, dass aufgrund der Vielfalt an existierender Literatur in diesem Kapitel nur

¹³⁹ Vgl. Jin/Jorion (2006): S. 898 f., 908 ff. Der Datensatz umfasst ausschließlich Öl- und Gasproduzenten.

¹⁴⁰ Vgl. MacKay/Moeller (2007): S. 1401 ff.

¹⁴¹ Vgl. Allayannis/Lal/Miller (2012): S. 68, 71 ff.

¹⁴² Vgl. Guay/Kothari (2003): S. 425 ff.

solche Arbeiten in sehr kurzer Form vorgestellt werden können, die für die allgemeine historische Entwicklung von besonderer Bedeutung waren, sowie solche Arbeiten, die inhaltlich und methodisch zur Herleitung des Modells OPTA von besonderer Relevanz sind.

Nachfolgend werden in Kapitel 3.1.3.1 zunächst Arbeiten vorgestellt, welche die optimale Ausgestaltung von Hedgingstrategien aus dem Einsatz von Erwartungsnutzenfunktionen ableiten. Arbeiten, die optimale Sicherungsstrategien über andere Herangehensweisen motivieren, finden sich in Kapitel 3.1.3.2. Unabhängig von dieser Zuordnung eint alle erwähnten Arbeiten, dass sie mindestens eine ex-ante unsichere Größe im Modell berücksichtigen und deshalb auf Methoden der stochastischen Optimierung zurückgreifen.

3.1.3.1 Optimierung über Erwartungsnutzenfunktionen

Die Forschung zur optimalen Ausgestaltung von Sicherungsstrategien von Unternehmen unter Einsatz von *Erwartungsnutzenfunktionen*¹⁴³ basiert initial auf Beobachtungen von Sandmo (1971). Dieser befasst sich in seiner Grundlagenarbeit mit dem optimalen Verhalten von produzierenden Unternehmen im Wettbewerb unter Unsicherheit und stellt ein Modell auf, in welchem die individuelle Risikoaversion eines Unternehmens durch Rückgriff auf eine Erwartungsnutzenfunktion modelliert wird.¹⁴⁴ Mit der Idee, die Begehrtheitswertigkeit verschiedener Entwicklungsszenarien durch das Aufstellen der Erwartungsnutzenfunktion zu quantifizieren und stets den so quantifizierten erwarteten Nutzen zu maximieren, legt er den methodischen Grundstein für Arbeiten, welche in der Folge ebenfalls das Verhalten von risikoaversen Unternehmen unter Unsicherheit untersuchen und dabei den Einsatz von Derivaten berücksichtigen. Alle diese Arbeiten eint, dass sie eine subjektive Erwartungsnutzenfunktion als Zielfunktion ihres Modells berücksichtigen.¹⁴⁵

Nachdem Optionen ab etwa Mitte der 1980er Jahre für zahlreiche Rohwaren handelbar wurden (siehe: Anhang A I. a)), befasste sich auch die Forschung mit der Frage danach, wie der Einsatz solcher Derivate als Mittel des Risikomanagements begründet werden kann. Während Lapan, Moschini und Hanson (1991) in einer ersten Arbeit den Einsatz von Optionen als optimales Sicherungsinstrument noch nicht begründen können, erweitern Moschini und Lapan (1992) sowie Moschini und Lapan (1995) ihr Modell und können darüber zeigen, dass eine Gewinnfunktion des Unternehmens, die nicht linear vom zu sichernden Preis abhängt, den Einsatz von Optionen als optimales Sicherungsinstrument erklären kann. Der Grund für diese Beobachtung ist, dass in den beiden erweiterten Modellen neben sicherbaren Marktrisiken weitere nicht sicherbare Risiken (Beispiel: Mengenrisiko) berücksichtigt werden, wodurch lineare Sicherungsinstrumente nicht mehr zur kompletten Eliminierung aller erfassten Risiken geeignet sind.¹⁴⁶

Oum, Oren und Deng (2006) befassen sich ebenfalls mit Hedging unter Einsatz von Erwartungsnutzenfunktionen. Unter gleichzeitiger Preis- und Mengenunsicherheit können sie für ein Ein-Perioden-Modell ein optimales statisches Sicherungsportfolio bestimmen, welches sowohl unbedingte Geschäfte als auch Optionen mit verschiedenen Strikes beinhaltet. Problematisch ist allerdings, dass die hergeleitete optimale Lösung danach verlangt, dass Call-

¹⁴³ Bestimmen des erwarteten Nutzens (Erwartungsnutzen) eines Individuums/Unternehmens über Erwartungsnutzenfunktion. Konkret werden hierbei allen Entwicklungsszenarien subjektive Begehrtheitswertigkeiten zugeordnet. Basis ist die Erwartungsnutzentheorie. Vgl. von Neumann/Morgenstern (1947). Siehe auch: Varian (2007): S. 260 ff.

¹⁴⁴ Vgl. Sandmo (1971): S. 65 ff.

¹⁴⁵ Beispiele hierfür sind: Holthausen (1979), Feder, Just und Schmitz (1980) oder Meyer und Robison (1988).

¹⁴⁶ Vgl. Lapan/Moschini/Hanson (1991): S. 66 ff.; vgl. Moschini/Lapan (1992): S. 614 ff.; vgl. Moschini/Lapan (1995): S. 1027, 1047 f. Beispielsweise Broll und Wong (2002), Wong (2003a), Wong (2003b) oder Wong (2012) zeigen ebenfalls, dass mehrere Risiken sowie Nicht-Linearität im Modell den Einsatz von Optionen motivieren kann.

und Put-Optionen für endlich viele¹⁴⁷ Strikes gekauft und verkauft werden müssen.¹⁴⁸ Dieses Optimum ist auf einem realen Markt mit Transaktionskosten, zeitlichen Restriktionen und bilanziellen Einschränkungen (siehe: Kapitel 4.1.2.1) nicht umsetzbar.

Mit Blick auf die vorgestellten Arbeiten, welche auf Erwartungsnutzenfunktionen zurückgreifen, ergeben sich Probleme bei der praktischen Nutzung der vorgestellten Ansätze primär daraus, dass keine der Arbeiten ein konkretes Modell aufstellt, aus welchem Fluggesellschaften tatsächlich praktische Handlungsanweisungen ableiten könnten. Des Weiteren ist zu beachten, dass das Aufstellen eines Modells unter Rückgriff auf eine Zielfunktion (hier: Erwartungsnutzen), die alleinig den subjektiven erwarteten Nutzen der Manager eines Unternehmens maximiert, möglicherweise Ergebnisse erzeugt, die nicht im Einklang mit den zuvor in Kapitel 3.1.1 dargestellten theoretischen Gründen für Hedging stehen.

Aus diesen Gründen werden im folgenden Kapitel auch Arbeiten vorgestellt, die sich dem optimalen Einsatz von Hedging ohne Rückgriff auf die Erwartungsnutzentheorie nähern.

3.1.3.2 Alternative Optimierungsansätze

Neben der Modellierung über einen schwer quantifizierbaren Erwartungsnutzen finden sich in der Literatur weitere Modellierungsansätze, welche mit dem Ziel entwickelt wurden, eine optimale Sicherungsstrategie für Unternehmen unter Preisunsicherheit herzuleiten. Es sei darauf hingewiesen, dass die nachfolgend detaillierter vorgestellte Arbeit von Brown und Toft (2002) von besonderer Relevanz bei der Erstellung des Modells OPTA ist (siehe: Kapitel 5). Daneben werden in diesem Kapitel nur solche Arbeiten vorgestellt, die beim Aufstellen von OPTA ebenfalls von Relevanz sind. Während in den zuvor vorgestellten Arbeiten die relevante Erwartungsnutzenzielfunktion inhaltlich jeweils bereits vordefiniert war, ist bei diesen Arbeiten zudem zu berücksichtigen, dass die Autoren sich zunächst mit der Frage danach auseinandersetzen mussten, welche Größe in ihrem Modell optimiert werden soll und wie eine zugehörige Zielfunktion aussehen kann.

Als erste zentrale Veröffentlichung erkennen Brown und Toft (2002) die Schwachpunkte der bis zu ihrer Veröffentlichung existierenden Literatur und stellen die praktische Frage danach, wie Unternehmen unter Preis- und Mengenunsicherheit hedgen sollten, in den Mittelpunkt ihrer Arbeit.¹⁴⁹ Sie greifen ebenfalls auf den methodischen Rahmen der stochastischen Optimierung zurück und modellieren als Zielfunktion – ausgehend von den in der Theorie hergeleiteten Gründen für Hedging (siehe: Kapitel 3.1.1) – die in verschiedenen Entwicklungsszenarien entstehenden DWC über eine *Deadweight-Costs-Funktion*. Eng angelehnt an die Theorie definieren sie DWC jeweils als den potenziellen Verlust eines Investors, der sich in einem Entwicklungsszenario realisiert (Beispiel: Potenzielle Kosten der Insolvenz, siehe: Kapitel 3.1.1.2). Die von Brown und Toft (2002) formulierte Zielfunktion beschreibt daher den erwarteten Unternehmensgewinn abzüglich der jeweiligen DWC.¹⁵⁰ Somit gelingt es diesen beiden Autoren durch das Aufstellen ihrer Zielfunktion erstmals, eine elegante Verbindung zu den finanztheoretischen Grundlagenarbeiten herzustellen.

Über ihre Herangehensweise können Brown und Toft (2002) eine stetige Funktion herleiten, welche die *Zahlungsstruktur*¹⁵¹ von optimalen Sicherungsgeschäften darstellt. Es werden

¹⁴⁷ Theoretisch Handel für jeden einzelnen realisierbaren Marktpreis. Vgl. Oum/Oren/Deng (2006): S. 707.

¹⁴⁸ Vgl. Oum/Oren/Deng (2006): S. 698 ff., 702 ff., 707 ff. Auch in einer nachfolgenden Arbeit von Oum und Oren (2010) müssen im Optimum eine Vielzahl an Transaktionen durchgeführt werden. Vgl. Oum/Oren (2010): S. 113 ff., 121.

¹⁴⁹ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1283 ff.

¹⁵⁰ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1288 ff.

¹⁵¹ Diese Struktur bezeichnen die Autoren als *perfekten exotischen Hedge*. Es werden stetige Funktionen bestimmt, die Zahlungsprofile von Optionskombinationen beschreiben sollen. Eine exakte Erzeugbarkeit dieser Funktionen auf einem realen Markt scheint nicht möglich. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1285.

jedoch keine konkreten Informationen dazu generiert, mit Hilfe welcher Derivate diese Zahlungsstruktur erzeugt werden kann. Optimale Sicherungsstrategien sollten diese Zahlungsstruktur lediglich bestmöglich nachbilden.¹⁵² Bei dem ebenfalls bereits in der Veröffentlichung von Brown und Toft (2002) beschriebenen Versuch, dieses Vorgehen in einem realen Unternehmen anzuwenden, offenbaren sich allerdings bereits Implementierungsschwierigkeiten: Die praktische Spezifizierung von DWC für das untersuchte Unternehmen auf Basis der theoretisch entwickelten Ideen erweist sich als nicht möglich. Aus diesem Grund definieren Brown und Toft (2002) für ihren Anwendungsfall lediglich eine DWC-Funktion, welche – basierend auf vom Management des Unternehmens qualitativ formulierten Präferenzen – möglichen zukünftigen Cash-Flow-Zuständen eine subjektive Begehrtheit zuordnet. Weitere Restriktionen bei der praktischen Implementierung ergeben sich beispielsweise aus internen Unternehmensvorgaben, welche einen engen Rahmen für die Handelsflexibilität der Derivatehändler festlegen. Diese müssen bei der Implementierung berücksichtigt werden und können dazu führen, dass theoretisch optimale Lösungen gegebenenfalls nicht umsetzbar sind.¹⁵³

Nachfolgend orientieren sich Frestad (2010) und Korn (2010) an der Arbeit von Brown und Toft (2002). Konkret greift Frestad (2010) auf die Ideen aus Brown und Toft (2002) zurück und stellt die Modellierung konvexer Steuertabellen als DWC-Funktionen in den Mittelpunkt seiner Studie. Restriktionen in seinem Modell führen allerdings dazu, dass seine erzielten Ergebnisse in Bezug auf die Frage danach, ob aus der Erhöhung der Konvexität der Besteuerung eine erhöhte Sicherungsmenge folgen sollte, nicht durchweg eindeutig sind.¹⁵⁴ Korn (2010) verwirft hingegen die vormalige Annahme der Existenz einer bivariaten Normalverteilung der beiden Zufallsvariablen und kann zeigen, dass die Form der Modellierung der Abhängigkeitsstruktur sowie die Stärke der Abhängigkeit zwischen den Zufallsvariablen starken Einfluss auf die Ausgestaltung des ermittelten optimalen Hedgedes ausübt.¹⁵⁵

Weitere wichtige Arbeiten, die nicht auf Erwartungsnutzenfunktionen zurückgreifen und sich dennoch mit der Frage danach auseinandersetzen, wie eine optimale Sicherungsstrategie ausgestaltet sein sollte, sind Ahn et al. (1999), Oum und Oren (2009), Bajo, Barbi und Romagnoli (2014) sowie Bajo, Barbi und Romagnoli (2015). Die Arbeit von Ahn et al. (1999) ist deshalb von Relevanz, weil in dieser mit dem *Value at Risk*¹⁵⁶ (im Folgenden: VaR) erstmalig ein objektives Risikomaß durch den Einsatz von Sicherungsgeschäften optimiert wird.¹⁵⁷ Oum und Oren (2009) berücksichtigen den VaR in ihrem Optimierungsmodell hingegen als Nebenbedingung und können über ihr Vorgehen ein Sicherungsportfolio identifizieren, welches innerhalb der sehr engen Modellvorgaben den erwarteten Gewinn des Unternehmens unter Berücksichtigung der VaR-Vorgaben maximiert.¹⁵⁸ Bajo, Barbi und Romagnoli (2014) nutzen mit dem *Expected Shortfall*¹⁵⁹ ebenfalls ein objektives Risikomaß und untersuchen, wie Sicherungen ausgestaltet werden sollten, um dieses zu minimieren.

¹⁵² Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1292 f.

¹⁵³ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1314 f.

¹⁵⁴ Vgl. Frestad (2010): S. 237 ff. Beispiel für Modellrestriktion: Es werden nur unbedingte Termingeschäfte betrachtet.

¹⁵⁵ Vgl. Korn (2010): S. 835 ff. Testweise nutzen bereits Brown und Toft (2002) auch die bivariate logarithmische Normalverteilung. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1290, 1306 ff.

¹⁵⁶ Auf Basis der unterstellten Verteilungsfunktion erwarteter Verlust beim Eintreten einer extremen Preisveränderung zu einem definierten Perzentil α . Für weitere Hintergründe siehe beispielsweise: Cottin/Döhler (2013): S. 122 ff.

¹⁵⁷ Vgl. Ahn et al. (1999): S. 360, 367 ff. Es ist zu beachten, dass der VaR lediglich Auskunft über die Höhe des potenziellen Verlustes bei Eintreten der Preisbewegung zum definierten Perzentil α gibt und nur Effekte aus einseitigen Preisbewegungen betrachtet. Siehe auch: Bajo/Barbi/Romagnoli (2015): S. 715.

¹⁵⁸ Vgl. Oum/Oren (2009): S. 45 ff.

¹⁵⁹ Der Expected Shortfall entspricht dem Erwartungswert aller Realisierungen, die oberhalb des Konfidenzniveaus α liegen und berücksichtigt so auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung oberhalb von α . Siehe auch: Cottin/Döhler (2013): S. 125 ff.

Durch das Nutzen einer Monte-Carlo-Simulation können sie optimale Strikes und Sicherungsmengen zur Minimierung des Expected Shortfalls errechnen.¹⁶⁰ Bajo, Barbi und Romagnoli (2015) nutzen zur Modellierung der multivariaten Verteilung abweichend Copula-Funktionen (zuvor: bivariate logarithmische Normalverteilung). Damit gelingt es ihnen, einen semianalytischen Lösungsansatz für ihr Optimierungsproblem herzuleiten.¹⁶¹

Zusammenfassend kann geschlossen werden, dass die bestehende Literatur bislang kein allgemeingültiges Modell zum Aufstellen optimaler Sicherungsstrategien entwickeln konnte. Ebenso ist in der Literatur bislang kein konsistentes Erklärungsmuster zu finden, welches sich zur Fundierung praktisch genutzter Sicherungsstrategien eignet. Im Kern offenbart die vorgestellte Literatur zur Ermittlung optimaler Sicherungen, dass bereits das Aufstellen einer theoretisch fundierten, aber gleichzeitig für die Praxis relevanten Zielfunktion große Schwierigkeiten bereitet. Erkennbar ist darüber hinaus, dass selbst in denjenigen Arbeiten, die auf eine Zielfunktion zurückgreifen, welche aus der Finanztheorie hergeleitet wurde, so starke Vereinfachungen bei der Modellierung vorgenommen werden, dass ein Übertrag auf die Praxis gar nicht oder nur unter sehr restriktiven Annahmen für wenige Testfälle möglich ist. Es ist daher festzuhalten, dass bislang keine Arbeit zur optimalen Gestaltung von Sicherungsstrategien existiert, die auf ein sauber aus der Finanztheorie abgeleitetes Optimierungsmodell zurückgreift und ausgehend von diesem die ex-ante Erzeugung optimaler, aber dennoch in der Praxis handelbarer Sicherungen simuliert. Da ein solches Modell in der vorliegenden Arbeit aufgestellt wird (siehe: Kapitel 5 bis 7), beinhaltet die vorliegende Arbeit eine relevante Erweiterung, die über den aktuellen Stand der Wissenschaft hinausgeht.

3.2 Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften

Nachdem im vorangegangenen Kapitel Arbeiten vorgestellt wurden, die sich mit Hedging in Unternehmen im Allgemeinen befassen, geht dieses Kapitel auf Arbeiten ein, die sich explizit mit der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften auseinandersetzen.

Da Risikomanagementkonzepte anhand der praktischen Sicherungsansätze der Luftfahrtindustrie sehr anschaulich erklärt werden können, existieren zahlreiche Arbeiten zu diesem Themengebiet. Bei genauerer Betrachtung dieser Arbeiten ist jedoch ersichtlich, dass der Forschungsstrang sich primär durch Quantität auszeichnet, während nur wenige Publikationen existieren, die in renommierten Fachzeitschriften veröffentlicht wurden.¹⁶² Aufgrund der Vielzahl an Beiträgen werden an dieser Stelle daher nur ausgewählte Arbeiten diskutiert, die einen wesentlichen Impuls in den wissenschaftlichen Diskurs einbringen konnten.

Bevor diese Arbeiten vorgestellt werden, wird zunächst kurz erläutert, ab wann Fluggesellschaften in der Praxis mit der Sicherung von Treibstoffpreisen begannen: Als erste wirtschaftlich bedeutende Region der Welt entschieden sich die USA dazu, die Verkehrsluftfahrt ab Ende der 1970er Jahre zu deregulieren.¹⁶³ Erst mit dem Beginn eines nach marktwirtschaftlichen Gesetzmäßigkeiten funktionierenden Wettbewerbs rückten Fragen nach der betriebswirtschaftlichen Effizienz verstärkt in den Fokus, sodass ab Mitte der 1980er Jahre US-Fluggesellschaften vermehrt damit begannen, Treibstoffpreise vorab zu sichern.¹⁶⁴ Chronologisch frühe wissenschaftliche Arbeiten befassen sich daher primär mit US-Fluggesellschaften. In Europa wurde der Markt für Fluggesellschaften erst ab Beginn der 1990er Jahre

¹⁶⁰ Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 59 ff.

¹⁶¹ Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 58 ff.; vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2015): S. 716 ff.

¹⁶² Die Suche nach „fuel hedging airlines“ auf scholar.google.com ergibt 19.700 Treffer (Stand: 25.03.2023).

¹⁶³ Vgl. Graham/Kaplan/Sibley (1983): S. 119 ff.

¹⁶⁴ Vgl. Morrel/Swan (2006): S. 714.

teils dereguliert.¹⁶⁵ Exemplarisch begann die *Deutsche Lufthansa* erst im Jahr 1990 damit, Treibstoffpreissicherungen abzuschließen.¹⁶⁶

In einer ersten relevanten Studie geht Rao (1999) der Frage nach, ob der Abschluss von Sicherungen dazu führt, dass sich die Ergebnisvolatilität der untersuchten Fluggesellschaften verringert. Unter Rückgriff auf Daten von zehn US-Fluggesellschaften gelangt er dabei zu dem Resultat, dass Hedging zu einer signifikanten Reduktion der Ergebnisvolatilität und somit zu einer erhöhten Planbarkeit beitragen kann.¹⁶⁷

Die empirische Studie von Carter, Rogers und Simkins (2006a) berücksichtigt Daten von 28 US-Fluggesellschaften für die Jahre 1992 bis 2003.¹⁶⁸ Die Autoren untersuchen zunächst, ob das Erzielen von Steuervorteilen, die finanzielle Lage des Unternehmens oder das persönliche Anreizsystem des Managements einen Einfluss auf die Menge der eingegangenen Sicherungen ausüben. Die erzielten Ergebnisse untermauern einen Zusammenhang zwischen der Unterinvestitionstheorie und Hedging. Sowohl bezüglich der finanziellen Situation als auch für den Verschuldungsgrad sind die Ergebnisse allerdings uneindeutig. Eine Interpretation der Autoren ist, dass Unternehmen, die finanziell gut aufgestellt sind, eher zu Hedging tendieren als solche in einer finanziellen Schieflage.¹⁶⁹ Dieser Befund steht weder im Einklang mit der Theorie noch mit den Ergebnissen vorangegangener Studien. Eine mögliche – aber in der Studie nicht diskutierte – Erklärung für diese Beobachtung ist, dass solchen Unternehmen, die sich bereits in einer starken finanziellen Schieflage befinden, gegebenenfalls von Kontrahenten (Banken) gar keine Derivategeschäfte mehr angeboten werden. Diese Restriktion macht den Abschluss von Sicherungsgeschäften somit für solche Gesellschaften unmöglich, die diese gemäß Theorie eigentlich vorrangig abschließen sollten.¹⁷⁰

Für die Messgröße über den Aktienbesitz des Vorstandes werden hingegen signifikante Ergebnisse erzielt, die darauf hindeuten, dass der Vorstand – wie in der Theorie beschrieben – dazu tendiert, risikoverringende Entscheidungen zu treffen, wenn er selbst Aktionär des Unternehmens ist.¹⁷¹ Darüber hinaus untersuchen Carter, Rogers und Simkins (2006a), ob sich die von Allayannis und Weston (2001) erzielten empirischen Ergebnisse zum Unternehmenswert auch für die Luftfahrtindustrie reproduzieren lassen. Über ein Regressionsmodell werden Ergebnisse erzielt, die darauf hindeuten, dass treibstoffpreissichernde Fluggesellschaften im Durchschnitt einen um 10,2% höheren Unternehmenswert aufweisen.¹⁷² Die Ergebnisse liegen deutlich über den Ergebnissen in Allayannis und Weston (2001), die einen um 4,9% erhöhten Marktwert ermittelt hatten (siehe: Kapitel 3.1.2.2). Bezüglich der von Carter, Rogers und Simkins (2006a) erzielten Ergebnisse scheinen allerdings zwei Anmerkungen notwendig: (1) Es sei kritisch angemerkt, dass genutzte Regressionsmodelle den Einfluss von bis zu 14 erklärenden Variablen gleichzeitig umfassen. Ob in diesen stets die Endogenitätsannahme gewahrt bleibt und die Schätzer noch effizient sind, ist unklar.¹⁷³ (2) Darüber hinaus wird als erklärende Variable unter anderem die Unternehmensgröße genutzt, welche über den natürlichen Logarithmus der Bilanzsumme gemessen wird. Problematisch

¹⁶⁵ Vgl. Adler/Golany (1998): S. 261 f.

¹⁶⁶ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006b): S. 26.

¹⁶⁷ Vgl. Rao (1999): S. 39 ff.

¹⁶⁸ In Carter, Rogers und Simkins (2006b) greifen die drei Autoren ebenfalls auf diesen Datensatz zurück. An dieser Stelle wird aus Vereinfachungsgründen jedoch führend die häufiger zitierte der beiden inhaltsähnlichen Arbeiten vorgestellt. Anzahl Zitate gemäß *scholar.google.com*: 569 vs. 181 (Stand: 25.02.2023). Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006b): S. 21.

¹⁶⁹ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 70 ff.

¹⁷⁰ Auch in der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der finanziellen Situation auf die Möglichkeit Derivate zu handeln intensiv diskutiert und im Rahmen der Modellerstellung berücksichtigt. Siehe unter anderem: Kapitel 4.1.2.3 und 6.3.1.2.

¹⁷¹ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 69.

¹⁷² Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 73 ff.

¹⁷³ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 73 ff.

ist hierbei, dass der Rückgriff auf die Bilanzsumme als *Stellvertreter-Variable*¹⁷⁴ für die Unternehmensgröße bei der Betrachtung von Fluggesellschaften zu unverlässlichen statistischen Aussagen führen kann. Der Grund ist die im Datensatz vorzufindende Leasingquote von über 60%.¹⁷⁵ Flugzeuge, die als *operative Leases*¹⁷⁶ klassifiziert sind, werden in der Bilanzsumme jedoch nicht berücksichtigt. Somit können aus dieser Modellierung verzerrte Daten für die Unternehmensgröße abgeleitet werden. Diese Schwäche des Modells erkennen auch die Autoren, weshalb sie ein zweites Regressionsmodell aufstellen, in welchem sie die Unternehmensgröße um einen Korrekturfaktor adjustieren, der operative Leases berücksichtigt.¹⁷⁷ Über dieses alternative Modell errechnen sie eine um 40 bis 70% geringere Unternehmenswertsteigerung, diskutieren diese Beobachtung jedoch nicht im Detail.¹⁷⁸ Vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Allayannis und Weston (2001) sowie der anderen Studien aus Kapitel 3.1.2 könnten diese geringeren Ergebnisse möglicherweise eher den realen Unternehmenswertsteigerungen entsprechen.

Morrell und Swan (2006) befassen sich mit grundlegenden Fragestellungen zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften und stellen die Umsetzung der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften in den Mittelpunkt ihrer Studie. Sie stellen die These auf, dass Investoren Treibstoffpreissicherungen von Fluggesellschaften theoretisch nicht mit erhöhten Aktienkursen belohnen sollten. Einzige Ausnahme sei der Schutz vor Insolvenz in einer prekären finanziellen Situation.¹⁷⁹ Ihre Argumentation lässt allerdings nahezu alle Argumente unberücksichtigt, die in Kapitel 3.1.1.2 dieser Arbeit vorgestellt wurden und fundiert begründen konnten, weswegen Hedging in der Praxis zur Wertsteigerung von Unternehmen beitragen kann. Trotz dieses Defizits bei der Darstellung der finanztheoretischen Grundlagen ist die Arbeit von Morrell und Swan (2006) für den Anwendungsfall der Treibstoffpreissicherung bei Fluggesellschaften beachtenswert. Die beiden Autoren sind die Ersten, die, wenn auch auf einer rein qualitativen Ebene, vergleichende Untersuchungen zum Sicherungsvorgehen von Fluggesellschaften durchführen und dabei auch Weltregionen abseits der Vereinigten Staaten berücksichtigen. Ihre stichprobenhafte Auswertung für die Jahre 2003 und 2004 zeigt, dass in Europa nahezu alle großen Fluggesellschaften im Besitz von Sicherungen waren, wohingegen in den USA sehr unterschiedliche Ansätze verfolgt wurden und einige Gesellschaften keine Sicherungen im Bestand hatten. In Asien bestand demgegenüber die Tendenz dazu, weniger Sicherungen abzuschließen.¹⁸⁰

Rampini, Sufi und Viswanathan (2014) versuchen in ihrer Arbeit, abweichend von vorangegangenen Arbeiten, Treibstoffpreissicherung über die neoklassische Produktionstheorie zu erklären. Ihr Datensatz umfasst 23 US-Fluggesellschaften und die Geschäftsjahre 1996 bis 2009.¹⁸¹ Es findet keine Kontrolle über operative Leases statt.¹⁸² Eine Annahme in ihrem dynamischen Risikomanagementmodell ist, dass sichernde Unternehmen für alle Sicherungsgeschäfte Collaterals (siehe: Kapitel 2.2.2.2) hinterlegen müssen, wohingegen für die

¹⁷⁴ *Stellvertreter-Variable* nachfolgend als Übersetzung des englischen Begriffs *Proxy Variable* (oder auch nur *Proxy*).

¹⁷⁵ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 64 ff.

¹⁷⁶ Zu bilanziellen Unterschieden verschiedener Leasingmodelle siehe: Anhang A VI. e) (dort: Tabelle 43).

¹⁷⁷ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 68.

¹⁷⁸ Vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 74.

¹⁷⁹ Vgl. Morrell/Swan (2006): S. 715.

¹⁸⁰ Vgl. Morrell/Swan (2006): S. 722.

¹⁸¹ Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 272.

¹⁸² Die Unternehmensgröße wird abermals über die Bilanzsumme definiert. Die Autoren legen nicht dar, dass ihnen eine mögliche Verzerrung durch operative Leases bewusst ist. Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 278.

Gegenparteien keine Restriktionen bezüglich der Collaterals zu beachten sind.¹⁸³ Als vermeintlichen Beleg dafür, dass das Eingehen von Sicherungsgeschäften für Fluggesellschaften nur unter der Nutzung von Collaterals möglich ist, verweisen sie auf anekdotische Belege einzelner Fluggesellschaften. Interessanterweise werden allerdings nur Belege aus den Jahren ab 2008 bis 2010 aufgeführt.¹⁸⁴ Alle Belege stammen somit aus der Zeit während oder kurz nach der Finanzkrise. Es ist anzunehmen, dass Banken gerade in dieser Phase darauf bestanden, Geschäfte nur mit größeren Sicherheiten abzuschließen. Das Ableiten allgemeingültiger Regeln aus diesen Beobachtungen scheint hingegen fragwürdig. Die Ergebnisse ihrer multivariaten empirischen Auswertungen legen nahe, dass ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Hedging der Unternehmen und deren Eigenkapitalbasis vorzufinden ist. Ebenso wird ein positiver und statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Hedging und der finanziellen Situation einer Gesellschaft ausgewiesen.¹⁸⁵ Im Einklang mit Carter, Rogers und Simkins (2006a), aber konträr zur Theorie von Smith und Stulz (1985) zeigen sie, dass bei Fluggesellschaften im zeitlichen Verlauf der Verschlechterung der finanziellen Lage ein kontinuierlicher Rückgang der Sicherungen zu beobachten ist.¹⁸⁶ Eine weitgefaste Studie zur Thematik stammt von Berghöfer und Lucey (2014). Ihre Analyse umfasst Daten von 20 asiatischen, 20 europäischen und 24 nordamerikanischen Fluggesellschaften aus den Jahren 2002 bis 2012. Für die untersuchten Fluggesellschaften beträgt der durchschnittliche Sicherungsgrad für das Folgejahr 24,3% und der maximale Sicherungshorizont durchschnittlich 19,2 Monate.¹⁸⁷ Aus ihrem Regressionsmodell schließen Berghöfer und Lucey (2014), dass Treibstoffpreissicherungen die Sensitivität des Unternehmenswertes auf Treibstoffpreisänderungen nicht reduzieren.¹⁸⁸ Nach genauer Betrachtung der von Berghöfer und Lucey (2014) durchgeführten Analysen scheint jedoch fraglich, wie verlässlich die erzielten Ergebnisse sind. Der Grund hierfür ist, dass offensichtlich auf falsche Daten referenziert wird: Beispielsweise wird für *Lufthansa* und *Swiss Airlines* jeweils ein durchschnittlicher Sicherungsgrad von 100% ausgewiesen.¹⁸⁹ Eine stichprobenhafte Auswertung von Unternehmensveröffentlichungen aus relevanten Jahren offenbart jedoch, dass in keinem der untersuchten Jahre ein Sicherungsgrad größer 72% erreicht wurde.¹⁹⁰ Zusätzlich machen die Autoren selbst darauf aufmerksam, dass die genutzten Variablen nur einen kleinen Teil der Sicherungsstrategie einer Fluggesellschaft abdecken und dass eine Erweiterung des Modells eventuell zu abweichenden Ergebnissen führen würde.¹⁹¹ Treanor et al. (2014) stellen abermals den Zusammenhang zwischen Hedging und der Unternehmensbewertung in den Mittelpunkt ihrer Arbeit. Ihr Datensatz basiert auf Daten von 29 US-amerikanischen Fluggesellschaften für die Jahre 1994 – 2008.¹⁹² Ihre Ergebnisse legen nahe, dass der Einsatz von Hedging mit steigenden Kerosinpreisen zunimmt. Die

¹⁸³ Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 274 f. Starke Abstraktion: In der Praxis sind Kapitalgeber weder risikoneutral, noch können sie unbegrenzt Kapital an Kapitalnachfragende weiterreichen. Darüber hinaus stellen Collaterals in der Praxis Verpflichtungen für beide Vertragspartner dar.

¹⁸⁴ Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 279.

¹⁸⁵ Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 284. *Credit Rating* als Stellvertreter-Variable für die finanzielle Situation.

¹⁸⁶ Vgl. Rampini/Sufi/Viswanathan (2014): S. 273.

¹⁸⁷ Die Einführung der hier bereits genannten Begrifflichkeiten zur Beschreibung einer Sicherungsstrategie (Beispiel: *Sicherungsgrad*) findet sich in der vorliegenden Arbeit in Kapitel 4.2.

¹⁸⁸ Vgl. Berghöfer/Lucey (2014): S. 127, 129, 131 ff.

¹⁸⁹ Vgl. Berghöfer/Lucey (2014): S. 133.

¹⁹⁰ Ende 2008 (im Februar 2011) waren 63% (72%) des Kerosinbedarfs für 2009 (2011) gesichert. Daten jeweils für *Lufthansa Group* als Muttergesellschaft von *Lufthansa Passage* und *Swiss Airlines*. Vgl. *Lufthansa Group* (2008): S. 120; vgl. *Lufthansa Group* (2010): S. 140.

¹⁹¹ Vgl. Berghöfer/Lucey (2014): S. 136.

¹⁹² Vgl. Treanor et al. (2014): S. 202. Die drei Co-Autoren der Studie sind Carter, Rogers und Simkins, weshalb die Studie methodisch an die Arbeiten von Carter, Rogers und Simkins aus dem Jahr 2006 angelehnt ist.

Autoren schlussfolgern, dass Fluggesellschaften pro 10% Kerosinpreisanstieg ihre Sicherungen um 1,5 Prozentpunkte erhöhen. Unter Rückgriff auf die Methodik aus Carter, Rogers und Simkins (2006a) – aber ohne Adjustierung über operative Leases – ermitteln sie zudem signifikant erhöhte Marktwerte für treibstoffpreissichernde Unternehmen. Die gemessene Marktwertenerhöhung durch Sicherungen sinkt allerdings im Vergleich zur Arbeit aus 2006 auf 5,2%.¹⁹³ Darüber hinaus lassen ihre Ergebnisse die Interpretation zu, dass ein kontinuierliches und stetiges Sicherungsvorgehen von Investoren am stärksten honoriert wird.¹⁹⁴ Eine aktuelle Studie zum Themenkomplex stammt von Merkert und Swidan (2019). Neben Treibstoffpreissicherungen werden in dieser auch Zins- und Währungssicherungen untersucht. In der weltumspannenden Studie zum Sicherungsverhalten von Fluggesellschaften werden erstmals auch Gesellschaften aus Afrika, Ozeanien und Südamerika berücksichtigt. Insgesamt greift die Studie auf Daten von 100 Gesellschaften für bis zu sechs Jahre ab 2009 zurück, wobei final insgesamt 387 Airline-Stichtagsbeobachtungen Berücksichtigung finden. In knapp 85% dieser Beobachtungen finden sich Treibstoffpreissicherungen im Besitz einer Gesellschaft.¹⁹⁵ In der Arbeit findet sich zudem eine hilfreiche Darstellung, die visualisiert, dass beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie unter anderem optimale Entscheidungen bezüglich der Instrumente, des Referenzproduktes, des Sicherungshorizontes und der Sicherungsmenge getroffen werden müssen.¹⁹⁶ Im Rahmen der Implementierung von OPTA müssen ebenfalls Entscheidungen bezüglich aller dieser Punkte berücksichtigt werden (siehe: ab Kapitel 4). In ihrer empirischen Analyse widmen sich Merkert und Swidan (2019) den Zusammenhängen zwischen empirischen Beobachtungen und den in grundlegenden theoretischen Arbeiten dargelegten Gründen für Hedging. Die zentrale Erkenntnis, welche über ihr Modell gewonnen wird, ist, dass ein starker Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Treibstoffpreissicherungen und einer Verringerung der Ergebnisvolatilität besteht. Demgegenüber können sie keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Treibstoffpreissicherungen und dem Verschuldungsgrad feststellen. Dies steht im Kontrast zu theoretischen Annahmen sowie zu vorherigen Arbeiten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass Merkert und Swidan (2019) zur Ermittlung des Verschuldungsgrades die Bilanzsumme der Fluggesellschaften heranziehen. In diesem Kontext verweisen sie zwar darauf, dass Fluggesellschaften oftmals hohe Leasingraten besitzen, gehen allerdings nicht darauf ein, dass operative Leases nicht in der Bilanzsumme enthalten sind, wohingegen *Finanzierungsleasing*¹⁹⁷ zu einer Erhöhung des Verschuldungsgrades gemäß der gewählten Definition beiträgt. Demnach können aus der Definition der erklärenden Variable bereits Verzerrungen resultieren. Auch die kurze Beobachtungsperiode kann möglicherweise zur Erzeugung unklarer Resultate beitragen.¹⁹⁸ Darüber hinaus ermitteln sie Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass die Treibstoffpreissicherung nicht direkt zu einer Reduktion des durchschnittlichen Treibstoffaufwands oder zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Profitabilität beitragen kann. Dennoch unterstreichen ihre Ergebnisse die Vorteile eines regelbasierten und volatilitätsminimierenden Einsatzes von Treibstoffpreissicherungen, wohingegen für den opportunistischen und unregelmäßigen Einsatz von Sicherungen mit dem Ziel der reinen Profitgenerierung kein Mehrwert nachgewiesen wird.¹⁹⁹

¹⁹³ Vgl. Treanor et al. (2014): S. 206 ff.

¹⁹⁴ Vgl. Treanor et al. (2014): S. 210.

¹⁹⁵ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 211 ff. Es werden auch Gesellschaften aus Asien, Europa und Nordamerika erfasst.

¹⁹⁶ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 209. Für Erläuterung zu den hier genannten Begrifflichkeiten siehe: Kapitel 4.2.

¹⁹⁷ Alternatives Leasingmodell. Für Erläuterungen siehe ebenfalls: Anhang A VI. e) (dort: Tabelle 43).

¹⁹⁸ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 211 ff. Die Ergebnisvolatilität wird über die EBIT-Marge gemessen.

¹⁹⁹ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 214 ff.

Eine weitere aktuelle Arbeit stammt von Swidan, Merkert und Kwon (2019). Diese befasst sich als erste bekannte Arbeit mit der Simulation und Auswertung vermeintlich optimaler Treibstoffpreissicherungsstrategien von Fluggesellschaften. Die Arbeit zeigt, dass Sicherungsstrategien dazu in der Lage sind, bestehende Risiken signifikant zu verringern. Allerdings argumentieren die Autoren, dass Sicherungen für mehr als 60% bis 70% des Treibstoffbedarfs dazu führen, dass Verpflichtungen aus Collaterals positive Effekte der Sicherung überlagern.²⁰⁰ Diese Erkenntnis steht im Widerspruch dazu, dass eine Vielzahl von Fluggesellschaften in der Praxis höhere Sicherungsgrade anwenden (siehe: Tabelle 2 und Tabelle 59). Eine Erklärung für diesen Widerspruch ist, dass die unterstellte Annahme der jederzeitigen Notwendigkeit des Hinterlegens von Collaterals teils nicht der praktischen Realität entspricht (siehe: Kapitel 4.1.2.3). Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die Studie sich zwar mit der Simulation optimaler Treibstoffpreissicherungsstrategien befasst, allerdings starke Vereinfachungen in Kauf nimmt. Unter anderem werden (1) nur Futures berücksichtigt (in der Praxis nutzen Gesellschaften eine Vielzahl anderer Instrumente, siehe: Tabelle 2 und Tabelle 59), (2) wird als einziges Maß zur Quantifizierung des Erfolges einer Sicherungsstrategie der VaR erfasst, (3) wird lediglich der Abschluss von Sicherungen an einem einzigen Tag simuliert und (4) wird zur Bestimmung des VaR-Konfidenzintervalls lediglich auf historische Daten aus zwei Jahren zurückgegriffen.²⁰¹ Bereits existierende finanztheoretische Erkenntnisse, die zur Herleitung eines praktisch relevanten Optimierungsmodells genutzt werden könnten (siehe: Kapitel 3.1.3), werden nicht berücksichtigt. Zudem birgt die alleinige Berücksichtigung eines objektiven Risikomaßes (hier: VaR) das Problem der einseitigen Fokussierung auf Treibstoffpreisanstiegsszenarien (siehe auch: Kapitel 3.1.3). Darüber hinaus ist die Reduzierung des VaR bei alleiniger Berücksichtigung von Termingeschäften und singulärer Betrachtung eines Treibstoffpreisänderungsrisikos gar selbsterfüllend. Vor dem Hintergrund dieser Argumente wird der Modellierungsansatz von Swidan, Merkert und Kwon (2019) im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit beim Aufstellen von OPTA nicht weiter berücksichtigt.

Weitere Arbeiten zum Themenkomplex der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften stammen beispielsweise von Lim und Hong (2014), Turner und Lim (2015), Simmons (2015) sowie Swidan und Merkert (2019). Diese und weitere Arbeiten befassen sich mit Akzentuierungen der Thematik, welche an dieser Stelle nur von nachgelagerter Relevanz sind. Daher werden diese Arbeiten aus Übersichtlichkeitsgründen nicht separat vorgestellt.

3.3 Die Bewertung von Finanzderivaten

Um die Güte einer Sicherungsstrategie unter Einsatz von Derivaten in einer Simulationsstudie zu evaluieren, müssen alle relevanten Ergebniseffekte, die aus dieser resultieren, quantifiziert werden. Neben dem Sicherungsergebnis, das bei Fälligkeit aus dem Einsatz eines Derivates resultiert, ist die Höhe der Prämie, die beim Eingehen der Sicherung anfällt, eine entscheidende Größe. Ihre korrekte und realitätsnahe Quantifizierung beeinflusst maßgeblich, ob ein Übertrag der Ergebnisse des entwickelten Modells auf die Praxis sinnvoll möglich ist. Beispielsweise weist Stulz (2003) in seinem Standardwerk explizit darauf hin, dass das fundierte Wissen um die korrekte Bepreisung der relevanten Derivate entscheidend ist, um deren Wirkung auf das adressierte Risiko vollständig zu verstehen.²⁰² Embrechts, Frey und McNeil (2005) ergänzen die in Kapitel 2.1.1 vorgestellten Hauptrisiken eines

²⁰⁰ Vgl. Swidan/Merkert/Kwon (2019): S. 30 ff.

²⁰¹ Vgl. Swidan/Merkert/Kwon (2019): S. 24 ff.

²⁰² Vgl. Stulz (2003): S. 14 f.

Unternehmens um untergeordnete Risiken und nennen ein unzureichend spezifiziertes Modell zur Optionsbewertung als Beispiel für ein solches Risiko.²⁰³ Auf eine Auseinandersetzung mit der korrekten Bewertung eingesetzter Derivate hatten die in Kapitel 3.1 vorgestellten Arbeiten allerdings nahezu durchweg verzichtet.²⁰⁴ Im Kontrast dazu findet in diesem Kapitel eine Auseinandersetzung mit relevanten Derivatebewertungsmodellen statt. Nur wenn OPTA dazu in der Lage ist, marktgerechte Prämienzahlungen zu bestimmen, können mittels OPTA realitätsnahe und praktisch relevante Sicherungsstrategien erzeugt werden. Daher werden in Kapitel 3.3.1 zunächst Grundlagen zur Bewertung von Finanzderivaten vorgestellt. Kapitel 3.3.2 befasst sich anschließend mit der Preisbildung von Optionen. Es sei angemerkt, dass im Folgenden eine Darstellung gewählt wird, die weniger formal ist, als dies in einer rein mathematischen Arbeit der Fall wäre. Es ist davon auszugehen, dass alle genutzten mathematischen Objekte existieren und definiert sind. Genutzte mathematische Sätze können bewiesen werden. Beweise und Hintergründe finden sich jeweils in den angegebenen Quellen.

3.3.1 Grundlagen der Derivatebewertung

In diesem Kapitel werden die relevanten Grundlagen zur Derivatebewertung erläutert. Hierzu wird in Kapitel 3.3.1.1 die Arbitragepreistheorie vorgestellt. Anschließend wird in Kapitel 3.3.1.2 der Zusammenhang zwischen Spot- und Terminpreisen hergestellt, bevor Kapitel 3.3.1.3 in die Theorie zur Bewertung unbedingter Termingeschäfte einführt.

3.3.1.1 Arbitragepreistheorie

Um den bei Geschäftsabschluss fairen Preis eines Derivates zu ermitteln, müssen Erwartungen zur zukünftigen Entwicklung des Referenzproduktes quantifiziert werden. Zusätzlich muss definiert sein, welche zukünftigen Zahlungen sich auf Basis aller möglichen Entwicklungsszenarien des Referenzproduktes aus dem Derivat ergeben. In Fällen, in welchen diese Voraussetzungen gegeben sind, kann zur Bewertung von Derivaten auf das von Ross (1976) entwickelte *Arbitragepreismodell* zurückgegriffen werden.²⁰⁵ Im Kern handelt es sich bei diesem Modell um ein einfaches komparatives Bewertungsmodell. Die Idee des Modells ist es, dass dann *Arbitrage* vorliegt, wenn es möglich ist, durch das simultane Eingehen verschiedener Geschäfte risikolose Gewinne zu erzielen. Solche Geschäfte können auf einem effizienten Kapitalmarkt nicht existieren. Preise werden sich so anpassen, dass keine risikolosen Gewinne mehr erzielt werden. Die Annahme der Gültigkeit dieses Wirkmechanismus wird als *No-Arbitrage-Annahme* bezeichnet. Damit diese Annahme in der Praxis Gültigkeit besitzt, muss lediglich die Annahme getroffen werden, dass Marktteilnehmer risikolose Gewinne ergreifen, sobald die Gelegenheit dazu existiert.²⁰⁶

Ein Problem der komparativen Derivatebewertung ist jedoch, dass im Regelfall Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung des Referenzproduktes während der Laufzeit des Derivates besteht, sodass auch die aus dem Derivat resultierenden Zahlungen ex-ante nicht bekannt sind. Die erste Herausforderung im Rahmen der Derivatebewertung liegt daher

²⁰³ Vgl. Embrechts/Frey/McNeil (2005): S. 3. Im Gegensatz zu Kendall (1998) nennen die Autoren nur drei Hauptrisiken. Sie verzichten auf die Nennung des Rechtsrisikos. Siehe auch: Kapitel 2.1.1.

²⁰⁴ Stattdessen unterstellen beispielsweise Brown und Toft (2002) eine Normalverteilung zukünftiger Preise des Referenzproduktes. Da gängige Optionsbewertungsmodelle eine abweichende Verteilung unterstellen, werden im Modell von Brown und Toft (2002) realitätsferne Optionspreise berücksichtigt. Auch Guay und Kothari (2003) nutzen beispielsweise realitätsfremde Bewertungsannahmen. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1288 f.; vgl. Guay/Kothari (2003): S. 434 ff.

²⁰⁵ Vgl. Ross (1976). Grundlagenarbeit zum aus der *Arbitragepreistheorie* abgeleiteten Bewertungsmodell.

²⁰⁶ Zusätzlich gelten die Grundannahmen: (1) keine Transaktionskosten, (2) einheitlicher Steuersatz, (3) Geldaufnahme und -anlage sind unbegrenzt zum risikolosen Zins möglich. Vgl. Hull (2006): S. 14, 101.

darin, diese Unsicherheit ex-ante zu quantifizieren. Für weitere Hintergründe zur Arbitragepreistheorie wird auf das Standardwerk von Shreve (2004) verwiesen.²⁰⁷

3.3.1.2 Terminpreise und die Terminpreiskurve

Um den Preis eines Derivates zu bestimmen, muss bereits im Vertragszeitpunkt T_0 eine Erwartung bezüglich des Preises des Referenzproduktes im Erfüllungszeitpunkt T definiert werden. Wie in Kapitel 2.2.3 eingeführt, entspricht der Marktpreis für den Vorabkauf eines Referenzproduktes mit Lieferung in einem zukünftigen Zeitpunkt dem sogenannten Terminpreis ($Fuel_{T_0,T}$). Terminpreise lassen sich, ausgehend von der Arbitragepreistheorie, theoretisch bestimmen. Für die in dieser Arbeit relevanten Rohölprodukte wird angenommen, dass diese im Fall eines Erwerbs, der zeitlich vor der geplanten Nutzung liegt, Lagerkosten verursachen und während der Lagerung keinen Ertrag erwirtschaften.²⁰⁸ Unter der Annahme nichtnegativer Lagerkosten sowie positiver risikoloser Marktzinsen²⁰⁹ (r) sollte daher in T_0 für den Zusammenhang zwischen Spot- (hier: $Fuel_{T_0}$) und Terminpreis gelten: $Fuel_{T_0,T} > Fuel_{T_0}$ (mit: $T_0 < T$). In der Praxis finden sich für das Konsumgut Rohöl am Markt jedoch teils Terminpreise, die unter dem zugehörigen und zeitgleich vorzufindenden Spotpreis liegen (hier: $Fuel_{T_0,T} < Fuel_{T_0}$).²¹⁰ Um eine solche Preiskonstellation theoretisch zu erklären, wurde das Konstrukt der *Verfügbarkeitsprämie* geschaffen.²¹¹ Diese gibt Auskunft über den Vorteil, den Marktteilnehmer daraus ziehen, dass sie ein Gut dauerhaft besitzen und jederzeit nutzen können. Erst durch das Hinzuziehen dieser Prämie lässt sich jederzeit der Zusammenhang zwischen Spot- und Terminpreisen mathematisch schlüssig erklären, ohne aus der Modellwelt der Arbitragepreistheorie ausbrechen zu müssen.²¹²

Wie bereits in Kapitel 2.3.1.2 diskutiert, findet sich für die in dieser Arbeit relevanten Referenzprodukte am Markt je Terminmonat ein Terminpreis. Aus der Reihe der Terminpreise eines Referenzproduktes ergibt sich die sogenannte Terminpreiskurve. Die beispielhafte Visualisierung zweier Terminpreiskurven findet sich in Abbildung 43 im Anhang B II. In der Praxis reflektieren Terminpreise die aktuellen Gleichgewichtserwartungen der Marktteilnehmer zur zukünftigen Ausprägung des Spotpreises unter Einhaltung der No-Arbitrage-Annahme.²¹³ Daher lässt sich gemäß Black (1976) schließen:

Der Zusammenhang zwischen Termin- und Spotpreisen von Rohwaren

$$Fuel_{T_0,T} = E_{T_0}(Fuel_T) \quad (3.5)$$

Demnach entspricht der im Zeitpunkt T_0 gültige Terminpreis für den zukünftigen Zeitpunkt T dem erwarteten Spotpreis für diesen Zeitpunkt ($E_{T_0}(Fuel_T)$) aus Sicht von T_0 .²¹⁴

²⁰⁷ Vgl. Shreve (2004): S. 1 ff.

²⁰⁸ Zur Herleitung fairer Terminpreise für andere Referenzprodukte siehe: Hull (2006): S. 99 ff.

²⁰⁹ Es sei explizit darauf hingewiesen, dass der hier eingeführte risikolose Marktzins r und der individuelle risikobehaftete Fremdkapitalzins $r_{i,t}$ eines Unternehmens i (siehe: Kapitel 3.1.1.1) unterschiedliche Parameter darstellen. Für ausführliche Hintergründe siehe: Fabozzi (2010): S. 8 ff.; Hull (2006): S. 77 ff.

²¹⁰ Vgl. Clark (2014): S. 19 ff.; vgl. Daffir/Gajjala (2016): 78 ff.; vgl. Hull (2006): S. 117.

²¹¹ Grundform der Verfügbarkeitsprämie initial bereits beschrieben in: Kaldor (1938): S. 6 ff.

²¹² Vgl. Hull (2006): S. 118 ff. Dort finden sich Herleitung sowie detaillierte Erläuterungen.

²¹³ Vgl. Maugeri (2006): S. 236 f.

²¹⁴ Vgl. Black (1976): S. 171 ff.; vgl. Clark (2014): S. 28 f.; vgl. Hull (2006): S. 120 f.; vgl. Shreve (2008): S. 244 ff. Gilt unter dem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß. Für weitere Erläuterungen zu diesem Konzept siehe Anmerkungen in Fußnote 218.

3.3.1.3 Bewertung von unbedingten Termingeschäften

Durch die Terminpreiskurve wurde ein Konstrukt erschaffen, welches die Erwartungen der Marktteilnehmer bezüglich der zukünftigen Preise eines Referenzproduktes transparent bündelt. Da einzelne Terminpreise des Referenzproduktes den vom Markt erwarteten zukünftigen Preisen der Rohware entsprechen, muss der faire Preis eines Forwards, dessen Ausübungspreis dem Terminpreis entspricht, gleich null sein.²¹⁵ Während der Laufzeit eines Forwards gilt für den Wert des Forwards in Zeitpunkt t (mit: $T_0 \leq t < T$):

Bewertung von unbedingten Rohwaretermingeschäften (Forward)

$$\text{Forward}_{t,T} = (Fuel_{t,T} - Fuel_{T_0,T}) e^{-r(T-t)}, \quad T_0 \leq t < T \quad (3.6)$$

Der Wert des Forwards in t entspricht der mit dem risikolosen Zins r diskontierten Abweichung zwischen dem Terminpreis für Erfüllungszeitpunkt T aus Sicht von T_0 und t .²¹⁶ Diese Methodik wird ebenfalls zur Bepreisung von Swaps mit Referenz auf eine Durchschnittspreisperiode ($\bar{T}$) von einem Kalendermonat genutzt (siehe: Kapitel 2.2.3.2):

Bewertung von unbedingten Rohwaretermingeschäften (Swap)

$$\text{Swap}_{t,\bar{T}} = (Fuel_{t,\bar{T}} - Fuel_{T_0,\bar{T}}) e^{-r(T-t)}, \quad T_0 \leq t < \tau < T \quad (3.7)$$

Die Darstellung gilt unter der in Kapitel 2.2.3.2 getroffenen Annahme, dass alle Zahlungen in Zeitpunkt T (Ende Periode $\bar{T}$) erfolgen.²¹⁷

3.3.2 Bewertung von Optionen

Auch für Optionen müssen die Überlegungen der Arbitragepreistheorie Gültigkeit besitzen. Hieraus folgt, dass der Preis einer Option im Vertragszeitpunkt T_0 auf Basis der erwarteten Zahlungsströme der Option errechnet werden kann. Für europäische Optionen gilt somit, dass der Wert einer Option in T_0 dem auf diesen Zeitpunkt diskontierten Erwartungswert der Zahlungen bei Fälligkeit der Option in Zeitpunkt T entsprechen muss. Ausgehend vom Zahlungsprofil des europäischen Long Calls (siehe: Formel (A I.1)) kann der Wert einer solchen Option im Zeitpunkt T_0 somit allgemein bestimmt werden über:²¹⁸

Preis eines europäischen Long Calls (allgemeine Darstellung)

$$P_{T_0}^{\text{Call,Long}} = \widetilde{E}_{T_0} \left(\max(Fuel_T - K_{T_0}, 0) \right) e^{-r(T-T_0)}, \quad T_0 < T \quad (3.8)$$

Mit der Frage danach, wie ausgehend von dieser grundsätzlichen Darstellung faire Optionspreise ermittelt werden können, beschäftigt sich der Forschungsstrang der Optionspreistheorie seit über 100 Jahren. Hintergründe hierzu finden sich im Anhang A III. a). An dieser Stelle findet sich nachfolgend lediglich eine kompakte Erläuterung der Kernideen der modernen Optionspreistheorie sowie eine Darstellung zentraler Optionspreismodelle. Für eine Einführung in die Thematik wird auf Hull (2006) verwiesen. Mathematisch komplexere

²¹⁵ Vgl. Black (1976): S. 169; vgl. Clark (2014): S. 39 f. Dies gilt ebenso für Futures.

²¹⁶ Vgl. Black (1976): S. 178. Es ist zu beachten, dass der Wert eines Futures – trotz identischer Terminpreise – abweichend ohne Diskontierung ermittelt wird. Vgl. Clark (2014): S. 37 ff.

²¹⁷ Vgl. Clark (2014): S. 42 ff., 168 ff. Zudem ist die Annahme notwendig, dass es sich bei dem vom Terminpreis verfolgten Prozess um ein Martingal handelt (siehe Diskussion in Kapitel 3.3.2). Vgl. Clark (2014): S. 39 ff.

²¹⁸ Vgl. Hull (2006): S. 296. Darstellung gültig unter dem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß. Andernfalls ist Arbitrage möglich. Annahme eines zeitkonstanten Zinssatzes r . Für eine Einführung und Diskussion zum risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß siehe beispielsweise: Hull (2006): S. 294 ff., 595 ff.; Shreve (2008): S. 210 ff. Gemäß Black (1989) war die Nicht-Nutzung des risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaßes eines der entscheidenden Versäumnisse beim Versuch der quantitativen Optionsbewertung vor Black und Scholes (1973). Vgl. Black (1989): S. 6.

Einführungen bieten Bingham und Kiesel (2004) sowie Shreve (2008). Letztere Arbeiten setzen sich zusätzlich umfassend mit der Anwendung der stochastischen Analysis in der Finanztheorie auseinander, sodass für Hintergründe zu relevanten Methoden ebenfalls auf diese Arbeiten verwiesen wird.

Das nachfolgende Kapitel stellt zunächst Standardmodelle zur Bepreisung europäischer Optionen vor (Kapitel 3.3.2.1) und führt anschließend das in dieser Arbeit zur Bepreisung asiatischer Optionen genutzte Turnbull-Wakeman-Modell ein (Kapitel 3.3.2.2). Im Anhang A III. b) finden sich zusätzliche Hintergründe zu Optionspreiskomponenten.

3.3.2.1 Das Black-Modell für Plain-Vanilla-Optionen auf Futures

In diesem Kapitel wird mit dem Black-Modell von 1976 ein Standardmodell zur Bepreisung europäischer Optionen auf Rohwarenfutures vorgestellt. Das Modell basiert auf dem 1973 veröffentlichten und heute weiterhin praxisgängigen Black-Scholes-Modell zur Bepreisung europäischer Optionen auf dividendenlose Aktien.²¹⁹ Eine Übersicht zu derjenigen Grundlagenliteratur, welche sich vor dem Aufstellen dieser Modelle theoretisch mit der Bepreisung von Optionen auseinandersetzte, findet sich separat im Anhang A III. a).

Sowohl zur Herleitung des Black-Scholes-Modells sowie zur Herleitung des Black-Modells ist es zunächst notwendig, den Prozess zu beschreiben, dem der Preis des relevanten Referenzproduktes folgt. Beide Modelle gehen davon aus, dass die Preise des Referenzproduktes einem *Random Walk*²²⁰ folgen und dass die Varianz der Veränderungen des Referenzproduktes konstant ist.²²¹ Zur Modellierung des Prozesses, der die Entwicklung des Preises des Referenzproduktes beschreibt, wird auf die *Brownsche Bewegung* zurückgegriffen, wodurch unterstellt wird, dass es sich um einen zeitstetigen Prozess mit normalverteilten Veränderungen handelt.²²² Außerdem wird angenommen, dass die echte Veränderung des Referenzproduktes mit der zeitinvarianten Standardabweichung σ (> 0) um die erwartete Veränderung des Referenzproduktes fluktuiert sowie dass es sich um einen *Markov Prozess* handelt, nach dem ein zukünftiger Zustand ausschließlich vom vorherigen Zustand abhängt und nicht durch weiter zurückliegende Zustände beeinflusst wird.²²³

Zur Herleitung des initialen Black-Scholes-Modells für europäische Optionen auf dividendenlose Aktien wird außerdem angenommen, dass der Preis des Referenzproduktes sich mit einer konstanten Driftrate entwickelt. Für den in dieser Arbeit relevanten Anwendungsfall muss jedoch ein abweichender Modellansatz genutzt werden: Im Bereich der Rohwarenoptionen ist es üblich, dass gehandelte Optionen nicht auf die physische Rohware selbst, sondern auf Futures abgeschlossen werden. Demnach ist der relevante Preis des Referenzproduktes der Terminpreis der Rohware für das Fälligkeitsdatum des Futures. Da jedoch gilt, dass der Terminpreis des Futures bei Fälligkeit stets dem Spotpreis entspricht (siehe: Kapitel 2.2.3.1 und 2.3.1.2), sind in diesem Fall die Auszahlungsprofile von Optionen, die auf den Preis des fälligen Futures oder den Spotpreis abstellen, identisch. Daher sei festgelegt, dass

²¹⁹ Neben den im Fließtext erörterten Annahmen wird im Modell angenommen: (1) keine Transaktionskosten, (2) einheitlicher Steuersatz, (3) Geldaufnahme und -anlage sind unbegrenzt zu einem bekannten und konstanten risikolosen Zinssatz möglich, (4) Leerverkäufe sind unbegrenzt möglich und (5) Anteile an Instrumenten können in beliebiger Größe gehandelt und zum risikolosen Zins gehalten werden. Vgl. Black/Scholes (1973): S. 640; vgl. Hull (2006): S. 209; vgl. Turnbull/Wakeman (1991): S. 378.

²²⁰ Annahmen *Random Walk*: (1) konsekutive Preisänderungen sind unabhängig voneinander, (2) Änderungen liegt beliebige, aber beschreibbare Verteilungsfunktion zugrunde. Vgl. Fama (1965): S. 35, 41.

²²¹ Vgl. Black (1976): S. 171 ff.; vgl. Black/Scholes (1973): S. 640, 642; vgl. Clark (2014): S. 28 ff.

²²² Auch: *Wiener Prozess*. Für eine Definition der *Brownschen Bewegung* und weitere Erläuterungen siehe: Bingham/Kiesel (2004): S. 160 ff., 170; Shreve (2008): S. 83 ff. Eine eher intuitive Erläuterung und Einführung findet sich in: Hull (2006): S. 263 ff. Erläuterungen zur *quadratischen Variation*, die der Prozess anhäuft siehe: Shreve (2008): S. 83 ff., 105.

²²³ Definition des *Markov-Prozesses*: Bingham/Kiesel (2004): S. 159 f.; Shreve (2008): S. 74.

der Terminus *Rohwarenoption* sich im Rahmen dieser Arbeit nachfolgend stets auf eine Option auf den Future der Rohware bezieht.²²⁴

Um faire Preise für Optionen auf Futures zu ermitteln, erweitert Black (1976) das initiale Black-Scholes-Modell und rückt die Entwicklung von Terminpreisen in den Fokus der Betrachtung.²²⁵ Hierbei kann Black (1976) zeigen, dass der Erwartungswert der Veränderung des Terminpreises null entsprechen muss, weshalb die Driftrate in seiner Betrachtung entfällt.²²⁶ Bei dem Prozess, der die Entwicklung des Terminpreises beschreibt, handelt es sich somit um ein *Martingal*.²²⁷ Demnach entspricht der bedingte Erwartungswert des Terminpreises für einen nachfolgenden Zustand zu jedem Zeitpunkt dem Wert des vorherigen Zustandes. Dusak (1973) kann zeigen, dass diese Annahme an den Preisprozess auch in der Praxis für Rohwarenterminpreise approximativ vorzufinden ist.²²⁸

Auf Basis dieser Annahmen lässt sich zur mathematischen Beschreibung der Entwicklung des Terminpreises eine stochastische Differentialgleichung in Form eines *Itô-Prozesses* aufstellen.²²⁹ Die Lösung dieser Differentialgleichung wird als *geometrische Brownsche Bewegung* bezeichnet.²³⁰ Kennzeichnend für die geometrische Brownsche Bewegung ist, dass Preise, die diesem Prozess folgen, einer logarithmischen Normalverteilung unterliegen.²³¹ Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und unter Rückgriff auf das Schema, welches er bereits für die Arbeit mit Scholes 1973 entwickelt hatte, kann Black (1976) Bewertungsformeln für europäische Calls und Puts auf Rohwarenfutures herleiten.²³² Im Zeitpunkt $T_0 = 0$ gilt unter diesen Voraussetzungen:

Optionspreise nach Black (1976)

$$P_0^{Call, Long} = e^{-rT} \left(Fuel_{0,T} \Phi(d_1) - K_0 \Phi(d_2) \right), \quad 0 \leq T \quad (3.9)$$

$$P_0^{Put, Long} = e^{-rT} \left(K_0 \Phi(-d_2) - Fuel_{0,T} \Phi(-d_1) \right), \quad 0 \leq T \quad (3.10)$$

Für die Funktionswerte der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung (Φ) gilt:

Werte der Verteilungsfunktion im Black-Modell für Rohwaren

$$d_1 = \frac{\log\left(\frac{Fuel_{0,T}}{K_0}\right) + \sigma^2 \frac{T}{2}}{\sigma \sqrt{T}}, \quad d_2 = \frac{\log\left(\frac{Fuel_{0,T}}{K_0}\right) - \sigma^2 \frac{T}{2}}{\sigma \sqrt{T}} \quad (3.11)$$

sowie:

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T} \quad (3.12)$$

Die Formeln besitzen sowohl für Optionen auf Forwards als auch Futures Gültigkeit.²³³

Mit Hilfe der vorliegenden Formeln war es erstmalig möglich, faire und theoretisch fundierte Preise für Optionen auf Rohwarenfutures zu ermitteln.

²²⁴ Vgl. Hull (2006): S. 323 f., 327 f. Für die vorliegende Arbeit wird außerdem angenommen, dass die Fälligkeit des Futures jederzeit dem Erfüllungszeitpunkt der zugehörigen Option entspricht.

²²⁵ Vgl. Black (1976): S. 169 f.

²²⁶ Vgl. Black (1976): S. 171 ff.; vgl. Clark (2014): S. 28 ff. Hieraus folgt in Kapitel 6.2.1: $\mu_{Fuel} = 0$.

²²⁷ Vgl. Bingham/Kiesel (2004): S. 283 f.; vgl. Clark (2014): S. 39 ff. Es gilt die Annahme deterministischer Zinssätze. Zur Definition von *Martingalen* und Hintergründen siehe: Bingham/Kiesel (2004): S. 155 ff.; Shreve (2008): S. 74.

²²⁸ Vgl. Dusak (1973): S. 1401 ff.

²²⁹ Vgl. Hull (2006): S. 269 f.

²³⁰ Vgl. Hull (2006): S. 273 ff. Für detailliertere Darstellungen zu Itô-Prozessen und Itô-Integralen siehe auch: Bingham/Kiesel (2004): S. 167 ff.; S. 187 ff.; Shreve (2008): S. 125 ff.

²³¹ Vgl. Hull (2006): S. 274 f.

²³² Vgl. Bingham/Kiesel (2004): S. 283 f.; vgl. Black (1976): S. 176 f.; vgl. Hull (2006): S. 332 f.

²³³ Vgl. Bingham/Kiesel (2004): S. 284; vgl. Clark (2014): S. 49.

3.3.2.2 Das Turnbull-Wakeman-Modell für asiatische Optionen auf Futures

Wie in Kapitel 2.2.3.4 diskutiert, nutzen Fluggesellschaften in der Praxis sogenannte *asiatische Optionen* zur Treibstoffpreissicherung. Bei diesen werden Optionen nicht gegen einen einzelnen Settlementpreis $Fuel_T$, sondern gegen den Durchschnitt einer Reihe von Settlementpreisen $Fuel_{\bar{T}}$ (diskreter Fall, siehe: (2.2)) abgerechnet.

Schwierigkeiten bei der Bepreisung von asiatischen Optionen resultieren daraus, dass die Verteilung des arithmetischen Mittelwertes ($Fuel_{\bar{T}}$), der sich aus einer Folge von logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen (im diskreten Fall: alle täglichen Settlements von $Fuel_T$ innerhalb der Periode $\bar{T}$) ergibt, keine analytisch beschreibbare Dichtefunktion aufweist. Daher ist es nicht möglich, zur Bewertung asiatischer Optionen eine geschlossene analytische Lösung auf Basis der Standardannahmen des Black-Scholes-Modells zu bestimmen.²³⁴ Vor diesem Hintergrund wurden in der Literatur in der Vergangenheit verschiedene Ansätze vorgestellt, um faire Preise für asiatische Optionen zu bestimmen. Für eine Übersicht über solche Arbeiten und eine detailliertere Einführung in die zugehörige Modellwelt empfiehlt sich die Zusammenfassung in Boyle und Potapchik (2008).²³⁵

An dieser Stelle werden lediglich die Formeln zur Bepreisung asiatischer Optionen mit diskreter Durchschnittspreisbildung gemäß dem Turnbull-Wakeman-Modell vorgestellt, welche im Rahmen der weiteren Arbeit genutzt werden. Turnbull und Wakeman (1991) nehmen an, dass die Verteilung des arithmetischen Mittelwertes, der sich aus einer Folge von logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen errechnet, approximativ ebenfalls der logarithmischen Normalverteilung entspricht. Die Idee ist es, die echte Verteilungsfunktion des arithmetischen Mittelwertes mit der idealtypischen logarithmischen Normalverteilungsfunktion zu approximieren.²³⁶ Da Turnbull und Wakeman (1991) selbst ihren Ansatz nur knapp skizzieren, basieren die nachfolgend dargestellten Formeln auf Clark (2014) und Haug (2007), die jeweils konkrete Formeln zur praktischen Optionspreisberechnung gemäß der theoretischen Herangehensweise von Turnbull und Wakeman (1991) vorstellen.²³⁷

Ein Vorteil bei Nutzung des Turnbull-Wakeman-Modells ist, dass grundsätzlich weiterhin auf das Formelwerk und die Annahmen aus Black (1976) zurückgegriffen werden kann.²³⁸ Da für die Entwicklung von Terminpreisen eine Drift-Rate von null unterstellt wird (siehe: Kapitel 3.3.2.1), wird im Durchschnittspreisfall, der eine Reihe von Terminpreisen mit aufeinanderfolgenden Fälligkeiten innerhalb eines Kalendermonats umfasst, ebenfalls eine Driftrate von null unterstellt. Da zudem angenommen wird, dass für einen Terminmonat $\bar{T}$ nur ein Terminpreis ($Fuel_{T_0, \bar{T}}$) existiert (siehe: Kapitel 2.3.1.2), gilt außerdem, dass dieser Terminpreis dem Erwartungswert für alle diskreten Fälligkeiten von $Fuel_T$ in Periode $\bar{T}$ entspricht. Folglich gilt: $Fuel_{T_0, \bar{T}} = Fuel_{T_0, t}$ für alle $\tau < t \leq T$.²³⁹

Die Berechnung von Preisen für asiatische Optionen auf Rohwarenfutures im Turnbull-Wakeman-Modell kann dann gemäß Clark (2014) und Haug (2007) weiterhin über die Formeln (3.9) bis (3.12) erfolgen, wobei $Fuel_{0, T}$ durch $Fuel_{0, \bar{T}}$ zu ersetzen ist und in (3.11) sowie (3.12) die bislang berücksichtigte Volatilität σ durch eine adjustierte Volatilität σ_{TW} abgelöst

²³⁴ Vgl. Hull (2006): S. 538 ff.; vgl. Shreve (2008): S. 320 ff.

²³⁵ Vgl. Boyle/Potapchik (2008).

²³⁶ Vgl. Turnbull/Wakeman (1991): S. 379 f.

²³⁷ Vgl. Clark (2014): S. 66 ff.; vgl. Haug (2007): S. 189 ff.; vgl. Turnbull/Wakeman (1991).

²³⁸ Vgl. Turnbull/Wakeman (1991): S. 378 f.

²³⁹ Vgl. Clark (2014): S. 68 ff., 168 ff.; vgl. Haug (2007): S. 189 ff. Wie in Kapitel 2.2.3.2 definiert, gilt, dass $\bar{T}$ die Periode τ bis T (siehe: Abbildung 6) umfasst. Zur weiterhin gültigen Annahme, nach der das untermonatige Rollen der Kontrakte bei der Terminpreisbestimmung nicht berücksichtigt wird, siehe: Fußnote 76 in Kapitel 2.3.1.2. Ohne diese vereinfachende Annahme wäre eine weitere Adjustierung notwendig. Beispiel: Clark (2014): S. 168 ff.

werden muss. Somit resultiert der Unterschied zum Black-Modell primär aus dem Rückgriff auf σ_{TW} . Bei diskreter Durchschnittspreisbildung gilt:²⁴⁰

Adjustierte Volatilität für Asiatische Optionen auf Rohwarenfutures (diskret)

$$\sigma_{TW} = \sqrt{\frac{1}{t_N} * \log \left(\frac{\left(\sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^N \left(e^{\sigma^2 * t_{\min(j,v)}} \right) \right)}{N^2} \right)} \quad (3.13)$$

Die in (3.13) als σ dargestellte Volatilität entspricht derjenigen Volatilität, die in (3.11) und (3.12) als Standard-Volatilität genutzt wird. Es gilt weiterhin, dass Periode $\bar{T}$ das Intervall $[\tau, T]$ umfasst. Wie in Kapitel 2.2.3.4 diskutiert und in Abbildung 6 visualisiert, wird angenommen, dass sich in der Durchschnittspreisperiode $\bar{T}$, welche stets einen Kalendermonat umfasst, N diskrete Abrechnungszeitpunkte befinden. Die einzelnen diskreten Abrechnungszeitpunkte entsprechen $t_1, \dots, t_N$. Die dargestellte Vereinfachung der Formel aus Clark (2014) ist nur unter den getroffenen Annahmen möglich: $t_N \leq T$, $T_0 \leq \tau < (t_j, t_v) \leq T$ und folglich $Fuel_{T_0, T_j/T_v} = Fuel_{T_0, \bar{T}}$ für alle $j = 1, \dots, N$ sowie $v = 1, \dots, N$.²⁴¹

Turnbull und Wakeman (1991) gelangen selbst zu der Einschätzung, dass sich über ihre Approximation valide Optionspreise ermitteln lassen.²⁴² Während andere Autoren darauf verweisen, dass die genutzte Methodik für Kombinationen aus langen Laufzeiten und hohen Volatilitäten Optionspreise liefert, die leicht von echten Optionspreisen abweichen, sollte das vorgestellte Modell dennoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit genutzt werden.²⁴³ Hierfür können vier Gründe genannt werden:

Erstens stellt Clark (2014) dar, dass der Rückgriff auf das Modell von Turnbull und Wakeman (1991) für asiatische Rohwarenoptionen in der Praxis ebenfalls üblich ist, sodass das Ermitteln realitätsnaher Optionspreise für Rohwaren idealerweise über dieses Modell erfolgen sollte.²⁴⁴ Zweitens liefert das Modell bereits eine analytisch beschreibbare Wahrscheinlichkeitsverteilung für den arithmetischen Mittelwert des Treibstoffpreises in der Durchschnittspreisperiode. Erst das Zurückgreifen auf diese Verteilung ermöglicht das Aufstellen der Zielfunktion im Modell OPTA (siehe: Kapitel 6.2.1). Drittens ist in Ju (2002) ersichtlich, dass die Abweichungen vom fairen Optionspreis in den für die vorliegende Arbeit relevanten Fallkonstellationen maximal wenige Cent betragen.²⁴⁵ Viertens können bei Nutzung dieses Bewertungsmodells reale Marktdaten in OPTA genutzt werden (siehe: Kapitel 6.1.3), was die Praxisrelevanz der Simulationsergebnisse deutlich erhöht.

Vor dem Hintergrund dieser Argumente wird mit dem Turnbull-Wakeman-Modell ein vergleichsweise intuitives Optionspreismodell für asiatische Optionen gewählt, das in der Praxis zum Einsatz kommt, einfach und direkt anwendbar ist sowie die schnelle Errechnung vergleichsweise exakter und praxisrelevanter Ergebnisse ermöglicht.

²⁴⁰ Vgl. Clark (2014): S. 66 ff. Die dargestellte Formel ist bereits eine Vereinfachung der Formel in Clark (2014). Zudem ist bei Nutzung der Formeln (3.9) bis (3.12) für asiatische Optionen zu berücksichtigen: $T_0 \leq t < \tau < T$.

²⁴¹ Vgl. Clark (2014): S. 66 ff., 168 ff. In Haug (2007) findet sich eine nah verwandte Darstellung, gemäß welcher allerdings durchweg identisch lange Intervalle zwischen allen $t_1, \dots, t_N$ vorliegen müssen. Vgl. Haug (2007): S. 192 f. Da diese Voraussetzung im Anwendungsfall nicht gegeben ist, wird auf die hier vorgestellte Darstellung des Turnbull-Wakeman-Modells bei diskreter Durchschnittspreisbildung gemäß Clark (2014) zurückgegriffen.

²⁴² Vgl. Turnbull/Wakeman (1991): S. 381 ff. Sie greifen auf das nah verwandte Modell mit stetiger Durchschnittspreisbildung zurück und testen gegen eine Monte-Carlo-Simulation. Erkenntnisse sind auf den diskreten Fall übertragbar.

²⁴³ Vgl. Fusai/Tagliani (2002): S. 154; vgl. Ju (2002): S. 91 ff.

²⁴⁴ Vgl. Clark (2014): S. 70.

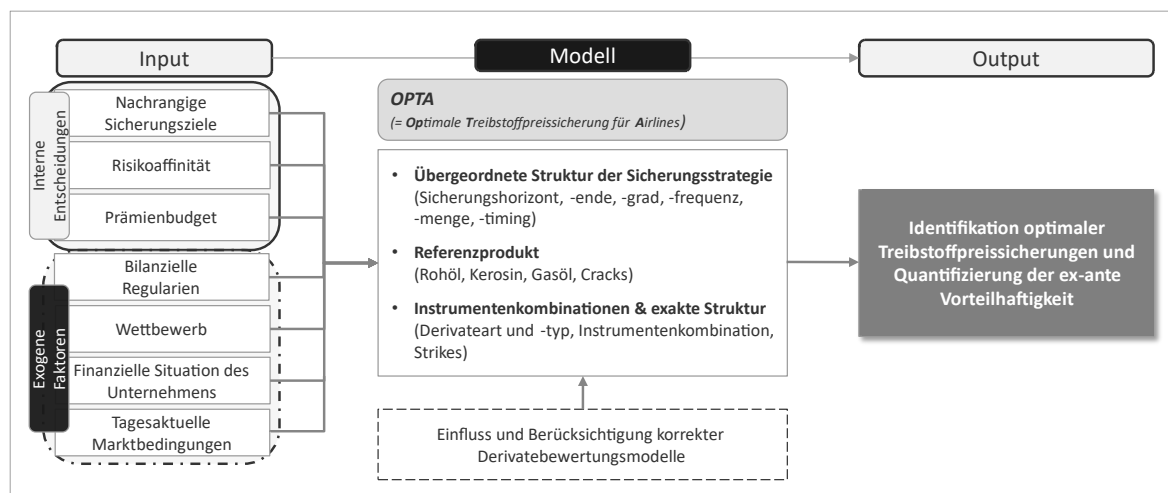
²⁴⁵ Vgl. Ju (2002): S. 92 f. Lediglich für sehr hohe Volatilitäten ($\sigma \geq 0,4$) oder lange Laufzeiten ($T = 3$ Jahre) ergeben sich relevante Abweichungen. Beide Extremausprägungen sind in der vorliegenden Arbeit nur von untergeordneter Relevanz (siehe: Kapitel 6).

4 Der Prozess der Treibstoffpreissicherung

Wie zuvor bereits dargestellt, finden Merkert und Swidan (2019) in ihrer Untersuchung von 100 weltweit agierenden Fluggesellschaften in knapp 85% der Beobachtungen Treibstoffpreissicherungen im Bestand der Gesellschaften.²⁴⁶ Sie zeigen somit, dass der Handel von Treibstoffpreissicherungsgeschäften für viele Fluggesellschaften Teil der ökonomischen Realität ist. Mit diesem Wissen fällt beim Blick auf die in Kapitel 3.2 vorgestellten Arbeiten zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften auf, dass – soweit bekannt – keine wissenschaftlichen Arbeiten existieren, die sich fundiert damit auseinandersetzen, *wie* Fluggesellschaften optimalerweise Treibstoffpreise sichern sollten.

Daher ist es ein Ziel der vorliegenden Arbeit, einen initialen Beitrag zum Schließen dieser Lücke zu liefern. Um hierfür mit dem Modell OPTA relevante Ergebnisse erzielen zu können, muss zunächst das reale System untersucht werden und es müssen dort bestehende (Umwelt-) Einflüsse, Abhängigkeiten und Verhaltensweisen identifiziert werden.²⁴⁷

Abbildung 9 – Der Prozess der Treibstoffpreissicherung (Schema)



Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des Modells OPTA.

Im Kontext der vorliegenden Fragestellung muss daher zunächst das reale Sicherungsvorgehen von Fluggesellschaften untersucht, analysiert und in handhabbare Teilaspekte zerlegt werden. Gemäß Balci (1998) sollten in diesem Schritt alle Parameter identifiziert werden, die einen signifikanten Einfluss auf das echte System ausüben.²⁴⁸ Der zu analysierende Treibstoffpreissicherungsprozess wird daher zunächst generisch unterteilt in:

1. Input für Sicherungsstrategie (Kapitel 4.1)
2. Sicherungsentscheidungen (Kapitel 4.2)

Zur Visualisierung der Struktur des Sicherungsprozesses und im Vorgriff auf die nachfolgend gewonnenen Erkenntnisse der Systemuntersuchung findet sich in Abbildung 9 bereits eine schematische Darstellung der wichtigsten Elemente des Sicherungsprozesses.

Die Struktur des Modells OPTA basiert auf den Erkenntnissen dieser Systemuntersuchung. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Systemuntersuchung vielfach bereits erörtert, wie erlangte Erkenntnisse bei der Modellerstellung verarbeitet werden können.

²⁴⁶ Vgl. Merkert/Swidan (2019): S. 213.

²⁴⁷ Vgl. Balci (1998): S. 337 ff. Balci (1998) erfasst diesen Schritt im Schema als „system investigation“.

²⁴⁸ Vgl. Balci (1998): S. 339 ff.

4.1 Input der Sicherungsstrategie

Möchten Fluggesellschaften eine Treibstoffpreissicherungsstrategie einsetzen, müssen vorab zunächst aktiv Entscheidungen innerhalb des Unternehmens getroffen werden (Kapitel 4.1.1). Im Rahmen dieses strategischen Entscheidungsprozesses müssen zusätzlich solche externen Faktoren berücksichtigt werden, die einen begrenzenden Einfluss auf den für die Sicherung zur Verfügung stehenden Entscheidungsraum ausüben (Kapitel 4.1.2). Erst die Berücksichtigung der Kombination von internen Entscheidungen und externen Rahmenbedingungen ermöglicht es, die optimale Detailausgestaltung von einzelnen Sicherungen sowie ganzen Sicherungsportfolien zu determinieren (Kapitel 4.2).²⁴⁹

Um im Rahmen der Systemuntersuchung die in der Praxis relevanten Einflussfaktoren ausfindig zu machen, wird auf Beobachtungen aus der Praxis zurückgegriffen. Hierfür wurden ausgewählte Veröffentlichungen aus den Geschäftsjahren 2018 bis 2020²⁵⁰ von neun europäischen²⁵¹ und acht nordamerikanischen²⁵² großen Einzelfluggesellschaften oder Fluggesellschaftsgruppen ausgewertet. Während alle untersuchten europäischen Fluggesellschaften²⁵³ im ausgewerteten Zeitraum Treibstoffpreissicherungen nutzten, griffen nur fünf der nordamerikanischen Fluggesellschaften²⁵⁴ auf Derivate zur Sicherung von Treibstoffpreisen zurück. Drei der untersuchten Gesellschaften haben die Treibstoffpreissicherung hingegen in den letzten Jahren (vorläufig) eingestellt:²⁵⁵

- *American Airlines* (letztmaliger Handel in: 2013)
- *Delta Air Lines* (letztmaliger Handel in: 2016)
- *United Airlines* (letztmaliger Handel in: 2015)

Die Gesellschaften weisen per 31.12.2019 jedoch alle darauf hin, dass sie, nach ausführlicher Analyse, die Treibstoffpreissicherung zukünftig wieder aufnehmen könnten.²⁵⁶

4.1.1 Interne Entscheidungen

Bevor eine Fluggesellschaft sich mit dem Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie befasst, sollte zuerst eine grundlegende Auseinandersetzung mit der eigenen Organisation und den Risiken, welchen diese ausgesetzt ist, stattfinden (Kapitel 4.1.1.1). Anschließend ist es möglich, die mit der Sicherung verbundenen Ziele (Kapitel 4.1.1.2) sowie die eigene Risikobereitschaft zu definieren (Kapitel 4.1.1.3) und eine Entscheidung bezüglich der Bereitschaft zur Zahlung von (Versicherungs-) Prämie (Kapitel 4.1.1.4) zu treffen.

²⁴⁹ Schematischer Aufbau des Kapitels in Teilen ähnlich zu Dafir und Gajjala (2016). Inhalte der Kapitel und Akzentuierung der Betrachtung jedoch stark abweichend. Vgl. Dafir/Gajjala (2016): S. 55 ff.

²⁵⁰ Um mögliche Verzerrungen der Analyse durch die Auswirkungen des Coronavirus² zu vermeiden, werden nur Geschäftsdaten bis zum Stichtag 31.12.2019 berücksichtigt. Dieser Stichtag wird bei einigen Gesellschaften bereits dem Geschäftsjahr 2020 zugeordnet. Vgl. Ryanair (2019b).

²⁵¹ Ausgewertet wurden Berichte von: *Air France-KLM Group, easyJet, IAG, Lufthansa Group, Norwegian Air Shuttle, Ryanair, SAS Scandinavian Airlines, Turkish Airlines* und *Wizz Air*.

²⁵² Ausgewertet wurden Berichte von: *Air Canada, Alaska Airlines, American Airlines, Delta Air Lines, Hawaiian Airlines, jetBlue Airways, Southwest Airlines* und *United Airlines*.

²⁵³ *Norwegian Air Shuttle* hatte per 12.12.2019 keine solchen Derivate im Bestand. Im Laufe des Jahres 2019 wurden jedoch Treibstoffpreissicherungen eingesetzt. Vgl. *Norwegian Air Shuttle* (2020): S. 18.

²⁵⁴ *Air Canada* hatte per 31.12.2019 keine solchen Derivate im Bestand. Im Laufe des Jahres 2019 wurden jedoch Treibstoffpreissicherungen eingesetzt. Vgl. *Air Canada* (2019): S. 16, 66.

²⁵⁵ *Delta Air Lines* Beendigung ggf. auch erst 2017. Grund für Unklarheit: *Delta Air Lines* besitzt über Tochtergesellschaft *Monroe Energy* eine Raffinerie, weshalb weiterhin Rohwarenderivate gehandelt und bilanziell ausgewiesen werden. Vgl. *American Airlines* (2013): S. 92; vgl. *Delta Air Lines* (2017): S. 5, 38, 66; vgl. *United Airlines* (2014): S. 95; vgl. *United Airlines* (2015): S. 90; vgl. *United Airlines* (2016): S. 5.

²⁵⁶ Vgl. *American Airlines* (2019): S. 11; vgl. *Delta Air Lines* (2019): S. 7, 48; vgl. *United Airlines* (2019): S. 11. In folgenden Analysen werden daher nur die Daten der restlichen fünf US-Gesellschaften berücksichtigt.

Obwohl die zu treffenden internen Entscheidungen im Folgenden schematisch in vier Subkapitel unterteilt werden, ist es möglich, dass einzelne Entscheidungen auch durch Entscheidungen vor- oder nachgelagerter Kapitel direkt beeinflusst werden. Solche Abhängigkeiten werden, soweit diese ersichtlich sind, dargelegt und erläutert. Darüber hinaus ist zu beachten, dass interne Entscheidungen und externe Einflussfaktoren teils ebenfalls in einem engen Abhängigkeitsverhältnis stehen, weshalb – falls notwendig – in Einzelfällen bereits auf Inhalte und Ergebnisse nachfolgender Kapitel verwiesen wird.

4.1.1.1 Identifikation der zu adressierenden Risiken

Der erste Schritt im Prozess der Erstellung einer Treibstoffpreissicherungsstrategie ist es, diejenigen Risiken zu identifizieren, welche mittels der Sicherung adressiert werden sollen. Offenkundig ist, dass Treibstoffpreissicherungsgeschäfte direkt Treibstoffpreisänderungsrisiken, die einem Marktrisiko entsprechen, adressieren. Diese Feststellung findet sich beispielsweise (aber nicht ausschließlich) bei Air Canada (2019), easyJet (2019), IAG (2019), Norwegian Air Shuttle (2018) und Wizz Air (2019).²⁵⁷

Allerdings zeigt der Blick auf die Praxis, dass das Treibstoffpreisänderungsrisiko nicht nur singular mit Blick auf den Treibstoffaufwand adressiert wird. So erachtet es Ryanair (2019a) als substanzielles Risiko, dass Treibstoffpreisanstiege möglicherweise nicht adäquat durch Erhöhungen der Ticketpreise an Kunden weitergegeben werden können und jetBlue Airways (2019) führt aus, dass es sich bei der potenziellen Unfähigkeit der Weitergabe von Treibstoffpreisänderungen an die Kunden um ein bedeutendes Risiko handelt.²⁵⁸ Die Air France-KLM Group (2019) erörtert konkret im Rahmen der Motivation ihrer Sicherungsstrategie, dass ein starker Kerosinpreisanstieg bei gleichzeitiger Unmöglichkeit von Ticketpreiserhöhungen ein großes wirtschaftliches Risiko darstellt.²⁵⁹

Treibstoffpreissicherungen sollen demnach nicht nur den Treibstoffaufwand kontrollieren, sondern übergeordnet die wirtschaftliche Existenz des Unternehmens sichern, indem sie eine mögliche Nicht-Weitergabe von Treibstoffpreiserhöhungen in Ticketpreise abfedern. Passend zu dieser Beobachtung formulieren Ryanair (2019a) und Wizz Air (2019), dass Treibstoffpreissicherungen unter anderem mit dem Ziel gehandelt werden, übergeordnete negative Auswirkungen auf den Unternehmensgewinn zu vermeiden.²⁶⁰ Die wirtschaftliche Bedeutung der Kombination der beiden genannten Risiken mit Blick auf den Unternehmensgewinn veranschaulicht Lufthansa Group (2019): Dort ist dargestellt, dass – über alle Risiken des Konzerns hinweg – Treibstoffpreisänderungs- und Erlösrisiken als die einzigen quantitativen Risiken eingestuft werden, welche im Bedeutungsgrad kritisch sind und gleichzeitig als extreme Risiken eingestuft werden.²⁶¹ Erst mit einem fundierten Verständnis über die Wechselwirkungen dieser Risiken ist es daher möglich, eine Treibstoffpreissicherungsstrategie zu entwickeln, die adäquat das übergeordnete Unternehmensgewinnrisiko adressiert (siehe hierzu auch: Kapitel 4.1.2.4, 5.1.2.6 und 6.2).

In keiner der vorgestellten bestehenden Arbeiten, die sich mit der optimalen Gestaltung von Hedging auseinandersetzen (siehe: Kapitel 3.1.3), wird die Wechselwirkung von Preis- und Erlösrisiken zur Motivation von Hedging genannt. Demnach wird in der vorliegenden Arbeit

²⁵⁷ Vgl. Air Canada (2019): S. 66; vgl. easyJet (2019): S. 146; vgl. IAG (2019): S. 166; vgl. Norwegian Air Shuttle (2018): S. 19; vgl. Wizz Air (2019): S. 108.

²⁵⁸ Vgl. jetBlue Airways (2019): S. 17; vgl. Ryanair (2019a): S. 59.

²⁵⁹ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83.

²⁶⁰ Vgl. Ryanair (2019a): S. 137; vgl. Wizz Air (2019): S. 108.

²⁶¹ Definitionen gemäß Darstellung in Lufthansa Group (2019). Dort steht (1) „kritisch“ für eine Eintrittswahrscheinlichkeit größer 50% und (2) „extrem“ für ein potenzielles Schadensausmaß größer 500 Millionen Euro. Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 67 f.

ein für die Wissenschaft neues Risiko zur Berücksichtigung im Kontext von Hedging eingeführt: Das Erlös- beziehungsweise Einzahlungsrisiko.²⁶²

Zusammenfassend wurden damit drei Risiken identifiziert, die eng miteinander verwandt sind und von Fluggesellschaften in der Praxis beim Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie berücksichtigt werden:

1. *Treibstoffpreisänderungsrisiko*
2. *Erlös- beziehungsweise Einzahlungsrisiko aus Ticketverkäufen*
3. *Übergeordnetes Unternehmensgewinn- beziehungsweise Cash-Flow-Risiko*

4.1.1.2 Sicherungsziele

Nachdem eine Fluggesellschaft sich damit auseinandergesetzt hat, welche Risiken mittels Treibstoffpreissicherung adressiert werden sollen, kann die Frage danach beantwortet werden, welche Ziele mit der Sicherung verfolgt werden. Ziel dieses Kapitels ist es, diese Ziele strukturiert zusammenzufassen, sodass bei der nachfolgenden Modellerstellung eine Auswahl von klar definierten Zielen zur Verfügung steht (siehe: Kapitel 6.3.2.3 und 6.4.2.3). Hierbei werden primär solche Ziele vorgestellt, die von Fluggesellschaften in der Praxis genannt werden. Sofern diese Ziele mit den theoretischen Gründen für Hedging (siehe: Kapitel 3.1.1) in Einklang gebracht werden können, ist dies dargestellt.

Als Ausgangspunkt der nachfolgenden Analyse wird auf Tabelle 58, die sich im Anhang B I befindet, verwiesen. In dieser findet sich eine ausführliche Darstellung der von allen untersuchten Fluggesellschaften genannten Sicherungsziele. Ausgehend von der Darstellung in Tabelle 58 können schematisch sieben grundlegende Ziele identifiziert werden:

1. *Maximieren des Unternehmenswertes*
2. *Schaffen von Planungssicherheit*
3. *Verringern von Volatilität*
4. *Schutz vor Treibstoffpreisanstieg*
5. *Partizipation an Treibstoffpreisverfall*
6. *Vermeiden von Nachteilen gegen Wettbewerber*
7. *Nutzen von Opportunitäten und Maximieren des Sicherungsgewinns*

Es wird angenommen, dass das Ziel der Unternehmenswertmaximierung eine Sonderrolle einnimmt und universelle Relevanz beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie besitzt. Demgegenüber sind die weiteren sechs Ziele als nachrangig und frei wählbar anzusehen. Diese sind aus praktischen Beobachtungen abgeleitet und werden verfolgt, um das übergeordnete Ziel der Unternehmenswertmaximierung zu erreichen.

Die Ziele werden im Folgenden einzeln vorgestellt. Es ist zu beachten, dass auf Quellenbelege verzichtet wird, sofern die Verweise auf Originalquellen eindeutig Tabelle 58 entnommen werden können oder Quellen bereits eindeutig in Kapitel 3.1.1 genannt wurden.

1. *Maximieren des Unternehmenswertes (übergeordnetes Ziel)*

In seinem Standardwerk zum Risikomanagement verweist Stulz (2003) darauf, dass das übergeordnete Ziel der unternehmerischen Handlung stets die Maximierung des Unternehmenswertes sein sollte, weshalb dieser Grundsatz gemäß Stulz (2003) auch beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie zu berücksichtigen ist.²⁶³ Auch in Kapitel 3.1.1 wurde zuvor

²⁶² Es handelt sich um nah verwandte Risiken. Es wird lediglich zwischen Cash-Flow- (Einzahlungen aus Tickets) und GuV-Perspektive (Erlöse aus Tickets) unterschieden. Da diese Unterscheidung im Rahmen von Kapitel 4 zumeist irrelevant ist, ist die Nennung eines der Risiken in Kapitel 4 als *pars pro toto* zu verstehen.

²⁶³ Universalität des Ziels gilt, sofern der *shareholder value* maximiert werden soll. Vgl. Stulz (2003): S. 15.

bereits detailliert erörtert, dass der Einsatz von Hedging für ein Unternehmen nur dann theoretisch rational begründbar ist, wenn Hedging den Unternehmenswert erhöht.

Um in OPTA die adäquate Berücksichtigung theoretischer Argumente sicherzustellen, wird ebenfalls festgelegt, dass das übergeordnete Ziel der Treibstoffpreissicherung durchweg die objektive Maximierung des Unternehmenswertes sein muss.

2. Schaffen von Planungssicherheit (nachrangiges Ziel)

Dieses Ziel wird explizit von easyJet (2019), Ryanair (2019a) und Turkish Airlines (2018) genannt. Eine hohe Planungssicherheit wird durch das frühzeitige Sichern fixer Treibstoffpreise und das damit einhergehende Eliminieren des Preisrisikos erreicht. Konkret wird von Fluggesellschaften sowohl das Erhöhen der Planungssicherheit des Treibstoffaufwands als auch das Erhöhen der Planungssicherheit von Cash-Flows genannt.

Als theoretische Modelle, welche die praktische Formulierung dieses Ziels erklären, können beispielsweise das Unterinvestitionsproblem, das Asset Substitution Problem sowie die Theorie zur teuren externen Finanzierung genannt werden.

3. Verringern von Volatilität (nachrangiges Ziel)

Dieses Ziel wird vom Großteil der untersuchten Fluggesellschaften genannt. Beispiele für ökonomische Kennziffern, deren Volatilität mittels Treibstoffpreissicherung kontrolliert werden soll, sind einerseits naheliegende Größen, wie etwa zu zahlende Treibstoffpreise (Lufthansa Group (2019)) oder operative Aufwendungen (Southwest Airlines (2019)). Darüber hinaus werden als weitere Kennziffern, deren Volatilität Fluggesellschaften in der Praxis mittels Treibstoffpreissicherung verringern möchten, aber auch genannt: Cash-Flows (Air Canada (2019)), Liquidität (Wizz Air (2019)), Unternehmensgewinn (Ryanair (2019a), Wizz Air (2019)) und Eigenkapital (Ryanair (2019a), Wizz Air (2019)).

Geeignete theoretische Modelle zur Begründung dieses Ziels sind ebenfalls das Unterinvestitionsproblem, das Asset Substitution Problem sowie die Theorie zur teuren externen Finanzierung. Das Ziel der Verringerung der Volatilität von Unternehmensgewinnen oder Cash-Flows kann auch über direkte (konvexe Steuerfunktion) oder indirekte Steuervorteile (größere Tax Shields) erklärt werden. Auch die Anreizgestaltung des Managements kann dazu beitragen, dass dieses stabilere Gewinne und Cash-Flows anstrebt.

4. Schutz vor Treibstoffpreisanstieg (nachrangiges Ziel)

Das Ziel wird ebenfalls vom Großteil der untersuchten Gesellschaften genannt. Beispielsweise formulieren unter anderem Alaska Airlines (2019) und jetBlue Airways (2019) eindeutig das Ziel, sich gegen Treibstoffpreisanstiege absichern zu wollen. Darüber hinaus stellt easyJet (2019) dar, dass eine Absicherung gegen Treibstoffpreisanstiege auch dazu dienen soll, negative Effekte auf den Unternehmensgewinn zu vermeiden.

Zur Einordnung in den Kontext bestehender theoretischer Arbeiten können mehrere Argumente herangezogen werden. Naheliegend ist der Zusammenhang zur Theorie der Vermeidung potenzieller Insolvenzkosten. Für solvente Gesellschaften können zudem aber exemplarisch auch die Unterinvestitionstheorie, die Theorie zur teuren externen Finanzierung oder die Anreizgestaltung des Managements als Fundierung dieses Ziels genannt werden.

5. Partizipation an Treibstoffpreisverfall (nachrangiges Ziel)

Im Gegensatz zu den zuvor aufgeführten Zielen ist dieses Ziel ohne den Einsatz von Hedging bereits vollumfänglich erreicht. Allerdings streben einige Gesellschaften explizit an, ihre Treibstoffpreissicherungsstrategie so zu gestalten, dass sie – trotz Hedging – dennoch möglichst gut an einem Preisverfall partizipieren. Exemplarisch legen Alaska Airlines (2019) und Norwegian Air Shuttle (2018) dar, dass sie zwar das Ziel verfolgen, sich gegen

Preisanstiege abzusichern, aber dennoch ebenfalls das Ziel anstreben, weiterhin möglichst gut an einem Preisverfall zu partizipieren. Dieses Ziel sollte demnach stets in Kombination mit anderen nachrangigen Sicherungszielen betrachtet werden.

Da die Partizipation am Preisverfall bereits ohne Hedging vollumfänglich erreicht ist, existieren keine theoretischen Arbeiten, die den Einsatz von Hedging mit dem Anstreben dieses Ziels begründen. Es handelt sich um ein Ziel, dessen Erreichung erst angestrebt werden kann, wenn ein Unternehmen sich für den Einsatz von Hedging entschieden hat.

6. Vermeiden von Nachteilen gegen Wettbewerber (nachrangiges Ziel)

Sowohl IAG (2019) als auch Turkish Airlines (2018) legen dar, dass sie Sicherungsstrategien der Wettbewerber genau analysieren und abhängig von den Ergebnissen ihrer Analyse gegebenenfalls ihre eigenen Sicherungsstrategien anpassen, um keinen Wettbewerbsnachteil zu erlangen. Demnach scheint es möglich, dass Fluggesellschaften im Extremfall mit ihrer Sicherungsstrategie lediglich das Ziel verfolgen, in allen Entwicklungsszenarien mit der Treibstoffpreissicherung Ergebnisse zu erzielen, durch die ökonomische Nachteile gegenüber Wettbewerbern vermieden werden.

Auch für dieses Ziel können die klassischen theoretischen Gründe für Hedging nicht herangezogen werden. Stattdessen handelt es sich um ein Ziel, dessen Formulierung mit einem Verhalten begründet werden kann, welches durch spieltheoretische Überlegungen fundiert ist. Im Kontext von Hedging führen beispielsweise bereits Froot, Scharfstein und Stein (1993) aus, dass spieltheoretische Überlegungen beim Abschluss von Sicherungen berücksichtigt werden können.²⁶⁴

7. Nutzen von Opportunitäten und Maximieren des Sicherungsgewinns (nachrangiges Ziel)

Während die zuvor dargestellten Ziele die Verringerung von Risiken anstreben, stellt dieses Ziel das Maximieren von Chancen in den Mittelpunkt. Formulierungen von Fluggesellschaften, welche dieses Ziel vermeintlich anstreben, sind unterschiedlich konkret. Southwest Airlines (2019) stellt dar, dass der Umfang der Treibstoffpreissicherungsaktivitäten abhängig von den eigenen Erwartungen bezüglich zukünftiger Marktpreisentwicklungen angepasst werden kann. Diese Formulierung impliziert die Erwartung, dass es die Gesellschaft für möglich erachtet, durch gutes Timing Opportunitäten am Markt auszunutzen und so möglicherweise positive Sicherungsergebnisse zu erzielen. Demgegenüber schreibt SAS Scandinavian Airlines (2019) konkret, dass die eigene Sicherungsstrategie es ermöglicht, schnell zu reagieren, wenn vorteilhafte Treibstoffpreise am Markt vorliegen. Eine Definition, wann Marktpreise als vorteilhaft erachtet werden, liegt nicht vor. Beiden Formulierungen scheint die Idee zugrunde zu liegen, dass es auf dem relevanten Markt möglich sein kann, durch einen Informationsvorsprung solche Geschäfte abzuschließen, die ein positives Sicherungsergebnis erzielen werden (Diskussion zur selektiven Sicherung, siehe: Anhang A II. c)). Als theoretisches Modell, welches die praktische Formulierung dieses Ziels erklären kann, sind primär theoretische Überlegungen zur Anreizgestaltung des Managements zu nennen.

4.1.1.3 Determinieren der Risikobereitschaft

Nachdem eine Fluggesellschaft sich damit auseinandergesetzt hat, welchen Risiken sie ausgesetzt ist und Ziele formuliert hat, die mittels Treibstoffpreissicherung erreicht werden sollen, ist eine Entscheidung darüber zu treffen, welche Menge an Risiko durch das Aufstellen der Treibstoffpreissicherungsstrategie eliminiert werden soll.

²⁶⁴ Vgl. Froot/Scharfstein/Stein (1993): S. 1649 ff.

In der Praxis wird für das Maß der Risikobereitschaft auch der Begriff der *Risikoneigung* genutzt. Diese definiert die IAG (2019) als Menge an Risiko, das die Gesellschaft einzugehen bereit ist.²⁶⁵ Allerdings offenbart sich in IAG (2019) bereits ein mit dieser Größe verbundenes Dilemma: Während dargestellt ist, dass die Treibstoffpreissicherungsstrategie in Einklang mit der Risikoneigung der Gesellschaft steht, wird nicht der Versuch unternommen, die Risikoneigung quantitativ zu definieren. Stattdessen findet sich lediglich der Hinweis, dass die Gesellschaft eine geringe Risikoneigung anstrebt. Somit findet nur eine qualitative und rein subjektive Einordnung auf einer Ordinalskala statt.²⁶⁶ Auch die Suche nach einer Quantifizierung der Risikobereitschaft in Berichten anderer Gesellschaften endet ergebnislos. Es wird in keinem Bericht ein Maß vorgestellt, welches die Risikobereitschaft einer Fluggesellschaft quantitativ und objektiv definiert.

Allerdings offenbaren Gesellschaften im Rahmen der Treibstoffpreissicherung vielmals indirekt ihre Risikobereitschaft in einer objektiven Form. Konkret gibt die Wahl der Parameter einer Treibstoffpreissicherungsstrategie in Teilen Auskunft über die zugrundeliegende Risikoneigung. Beispielhaft nennen sowohl Turkish Airlines (2018) als auch die Lufthansa Group (2019) den Schutz gegen Treibstoffpreisanstieg als Ziel ihrer Sicherungsstrategie. Während die Lufthansa Group (2019) bis zu 85% des benötigten Kerosinbedarfs vorab über Derivate absichert, sieht die Strategie von Turkish Airlines (2018) eine Absicherung von 60% des Treibstoffbedarfes vor.²⁶⁷ Demnach ist die Lufthansa Group für 15% und Turkish Airlines für 40% des Treibstoffbedarfes dem Risiko steigender Preise ausgesetzt. Unabhängig von den genutzten Sicherungsinstrumenten lässt sich aus dieser Beobachtung ableiten, dass Turkish Airlines, bei gleichem adressiertem Risiko und gleichem Sicherungsziel, eine Sicherungsstrategie wählt, die das Marktrisiko in geringerem Maße adressiert. Es wird unterstellt, dass dies auf eine geringere Risikoaversion zurückzuführen ist.

Anhand des Beispiels ist ersichtlich, dass Fluggesellschaften in der Praxis zunächst ihre eigene Risikobereitschaft definieren sollten und im Anschluss eine darauf basierende Sicherungsstrategie entwickeln können. Da OPTA im Rahmen der Simulation den gleichen Entscheidungspfad nutzen soll, den auch Fluggesellschaften in der Praxis beschreiten, muss im Modell zunächst die Risikoaffinität einer Fluggesellschaft festgelegt werden. Zur Vereinfachung wird hierfür eine vierstufige Risikoskala eingeführt (siehe: Tabelle 1).

Tabelle 1 – Skala der relevanten Risikobereitschaften (Ordinalskala)

Risikobereitschaft	Qualitative Beschreibung der Risikobereitschaft
1	niedrige Risikobereitschaft (hohe Risikoaversion)
2	verringerte Risikobereitschaft (erhöhte Risikoaversion)
3	erhöhte Risikobereitschaft (verringerte Risikoaversion)
4	hohe Risikobereitschaft (niedrige Risikoaversion)

Die Tabelle stellt die schematischen Risikobereitschaftsgruppen dar, aus welchen Gesellschaften im Modell wählen können.

Über die Zuordnung zu einer Risikobereitschaftsgruppe werden in OPTA objektive und quantifizierbare Bedingungen abgeleitet, die direkten Einfluss auf die Ausgestaltung der Sicherungsstrategie ausüben (siehe: Kapitel 6.3.2.2 und 6.4.2.2). Nur über den Schritt der Quantifizierung der Risikostufen ist es möglich, Sicherungsstrategien objektiv auf Kohärenz in Bezug auf die eigene Risikobereitschaft zu untersuchen.

²⁶⁵ Vgl. IAG (2019): S. 166. Der englische Begriff *risk appetite* wird an dieser Stelle mit *Risikoneigung* übersetzt. Zur *Risikoneigung* siehe auch: Dafir/Gajjala (2016): S. 60.

²⁶⁶ Vgl. IAG (2019): S. 63, 103.

²⁶⁷ Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72; vgl. Turkish Airlines (2018): S. 166, 179 f.

4.1.1.4 Verfügbares Budget und Nettoprämie

Als weitere interne Entscheidung müssen Fluggesellschaften die Frage beantworten, ob und in welcher Höhe sie bereit dazu sind, eine Nettoprämie für Sicherungsinstrumente auszugeben. Die Wahl des Prämienbudgets hat sowohl einen direkten Einfluss auf potenziell nutzbare Sicherungsstrategien als auch auf die Fähigkeit, einzelne Sicherungsziele zu verfolgen. Es wird für diese Arbeit angenommen, dass zwischen der Höhe des Prämienbudgets und der Risikobereitschaft kein kausaler Zusammenhang besteht.

Der Blick auf die Praxis liefert ein gemischtes Bild zur Zahlung von Prämien: Exemplarisch nutzt Wizz Air (2019) ausschließlich Instrumente ohne Nettoprämie zur Sicherung. Demgegenüber ist Turkish Airlines (2018) seit 2017 zur Zahlung von Nettoprämien bereit und erklärt diese Anpassung mit dem Wunsch nach größerer Flexibilität und einer besseren Anpassungsfähigkeit an bestehende Marktsituationen.²⁶⁸ Southwest Airlines (2019) erwartete per 31.12.2019 für das erste Quartal 2020 Prämienzahlungen im Umfang von circa 2,4% des zu zahlenden Kerosinmarktpreises.²⁶⁹ Zum gleichen Stichtag erwartete Alaska Airlines (2019) für das Jahr 2020 Prämienzahlungen von circa 2,5% des Kerosinpreises.²⁷⁰

Vor dem Hintergrund der Praxisbeobachtungen bleibt unklar, ob ein höheres Prämienbudget Vorteile beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie mit sich bringt. Ebenso ist keine wissenschaftliche Arbeit bekannt, die sich mit dieser Fragestellung in einer für die vorliegende Arbeit relevanten Form befasst. Details bezüglich der Prämienrestriktionen im Modell OPTA finden sich daher in den Kapiteln 6.3.2.1 sowie 6.4.2.1. Die Auswirkungen einer Entscheidung gegen Prämienzahlungen sind ebenso in Tabelle 3 ersichtlich.

4.1.2 Exogene Faktoren und Rahmenbedingungen

Nachdem eine Fluggesellschaft sich damit auseinandergesetzt hat, welche internen Entscheidungen vor dem Festlegen einer konkreten Sicherungsstrategie getroffen werden müssen, kann im nächsten Schritt eine Auseinandersetzung damit beginnen, welche externen Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren beim Erstellen der Sicherungsstrategie berücksichtigt werden müssen. Schematisch können diese exogenen Einflussfaktoren vier Kategorien zugeordnet werden, welche im Folgenden jeweils separat vorgestellt werden.

4.1.2.1 Bilanzielle Rahmenbedingungen

Die bilanziellen Rahmenbedingungen determinieren, wie die bilanzielle Abbildung von Sicherungsbeziehungen erfolgen muss. Hieraus können in der Praxis Vorgaben entstehen, die als eine Begrenzung der handelbaren Sicherungsalternativen anzusehen sind. Während dieser Aspekt in der zuvor vorgestellten Literatur zum Design von Sicherungsstrategien oftmals vernachlässigt wird, spielt er für die Gestaltung einer Sicherungsstrategie in der Praxis eine entscheidende Rolle. Bei Nicht-Berücksichtigung der gültigen Regularien ist es möglich, dass eine theoretisch optimale Sicherungsstrategie in der Praxis die relevante Risikoposition nicht in der gewünschten Form adressiert. Als Beispiel für einen solchen Konflikt legen Brown und Toft (2002) dar, dass die Implementierung der von ihnen theoretisch

²⁶⁸ Vgl. Turkish Airlines (2018): S. 282; vgl. Wizz Air (2019): S. 98.

²⁶⁹ Vgl. Southwest Airlines (2019): S. 54. Es ist zu beachten: Da die jeweilige absolute Prämienhöhe bereits bei Handel der Derivate festgelegt wurde, kann der Vergleich mit erwarteten Marktpreisen am Stichtag nur eine approximative Näherung an das tatsächliche Prämienbudget darstellen.

²⁷⁰ Vgl. Alaska Airlines (2019): S. 44. Konkret genannt sind dort Prämien und Erwartungen bezüglich des Rohölpreises (Prämie: 2,9%). Darstellung im Fließtext basiert auf der Jet Crack-Annahme von 12 US-Dollar pro Barrel.

ermittelten optimalen Sicherungsstrategie in einem realen Unternehmen durch die in der Praxis relevanten bilanziellen Vorgaben erheblich erschwert wird.²⁷¹

Bilanzierungsregeln müssen Fluggesellschaften jeweils den für sie relevanten Rechnungslegungsvorschriften entnehmen. Im Rahmen dieses Kapitels sind die Regularien der *International Financial Reporting Standards* (Europa, im Folgenden: IFRS) sowie der *United States Generally Accepted Accounting Principles* (USA, im Folgenden: US-GAAP) von Relevanz.²⁷² Da für multinational agierende Unternehmen mit Sitz in den USA bereits heute teilweise die Notwendigkeit der Bilanzierung nach IFRS besteht und da die Experten von PWC (2020) es für wahrscheinlich erachten, dass es langfristig zur Etablierung eines international einheitlichen Rechnungslegungsstandards kommt, werden die IFRS in den folgenden Ausführungen als führend angesehen.²⁷³ Die im Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit gültigen Bilanzierungsvorschriften für das sogenannte *Hedge Accounting* sind der IFRS 9 sowie der nah verwandte ASC 815 unter Berücksichtigung des Nachtrags ASU 2017-12. Beide Vorschriften sind in ihrer in dieser Arbeit berücksichtigten Form seit 2018 anzuwenden.²⁷⁴

Gemäß der Definition in Kapitel 2.1.2 schließen Fluggesellschaften Sicherungen ab, um zielgerichtet den Treibstoffaufwand in einem zukünftigen Erfüllungszeitraum zu beeinflussen. Gemäß IFRS 9 sowie ASC 815 handelt es sich bei solchen Sicherungsgeschäften um *Cash-Flow-Hedges*.²⁷⁵ Sicherungen werden in diesem Fall jeweils für konkret geplanten und hochwahrscheinlichen zukünftigen Treibstoffbedarf abgeschlossen. Der geplante und für die einzelne Sicherung maßgebliche physische Treibstoffbedarf wird als *Grundgeschäft* bezeichnet.²⁷⁶ Zwischen dem Grundgeschäft und dem Sicherungsinstrument muss eine wirtschaftliche Beziehung bestehen, die beispielsweise das Nominal sowie die Laufzeit von Sicherungsgeschäft und Grundgeschäft betrifft.²⁷⁷ Allerdings dürfen auch mehrere Instrumente, die gemeinsam eine *Instrumentenkombination* bilden, zur Sicherung eines Grundgeschäfts genutzt werden. Für solche Kombinationen ist lediglich zu berücksichtigen, dass es sich in Summe nicht um eine *geschriebene Option* handelt.²⁷⁸ In dieser Arbeit wird unterstellt, dass dieses Kriterium erfüllt ist, wenn aus einer Kombination von mehreren Sicherungsinstrumenten keine Nettoprämieneinzahlung resultiert. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass keine Kombinationen genutzt werden dürfen, die eine Sicherungswirkung entfalten, welche stärker als die Wertentwicklung des Grundgeschäfts sein kann.²⁷⁹

Sofern die dargestellten Vorgaben während der Laufzeit eines Derivates eingehalten werden, handelt es sich um *effektive Cash-Flow-Hedges*. Bei diesen werden Sicherungsergebnisse bei Fälligkeit und damit zeitidentisch zum Aufwand aus dem Grundgeschäft in der GuV

²⁷¹ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1313.

²⁷² Vgl. Securities Act of 1933 (2018): S. 46; vgl. Verordnung (EG) Nr. 1606/2002.

²⁷³ Vgl. PWC (2020): S. 1-3. Anwendung IFRS für börsennotierte Unternehmen in über 100 Ländern. US-GAAP nur in einem Land (USA). Siehe hierzu: https://www.ifrs.com/ifrs_faqs.html#q3 (Stand: 27.01.2021). Details zu Vorgaben nach US-GAAP finden sich aus Übersichtlichkeitsgründen primär im Anhang A IV. a).

²⁷⁴ Vgl. PWC (2018): S. 1; vgl. PWC (2020): S. 11-2. Die komplette Bezeichnung ist: *ASU 2017-12, Derivatives and Hedging (Topic 815): Targeted Improvements to Accounting for Hedging Activities*.

²⁷⁵ Vgl. ASU 2017-12 (2017): S. 2, 32 ff.; vgl. IFRS 9: 6.5.11.

²⁷⁶ Das Grundgeschäft kann einer erwarteten und hochwahrscheinlichen zukünftigen Transaktion oder einer Gruppe solcher Transaktionen entsprechen. Beispiel: Gesamter geplanter Treibstoffbedarf und Kauf von Kerosin in einem zukünftigen Monat. Die Sicherung von einer Tonne Kerosin wird in diesem Fall einer nicht näher zu definierenden Tonne des geplanten Grundgeschäfts zugeordnet. Die Summe des Volumens aller Sicherungen für den Monat darf die geplante Gesamtverbrauchsmenge (entspricht hier dem Grundgeschäft) allerdings nicht übersteigen. Vgl. IFRS 9: 6.3, B6.3.18.

²⁷⁷ Vgl. IFRS 9: 6.4.1 (c), B6.4.4 – B6.4.6. Sicherungsgeschäfte dürfen nicht vor Fälligkeit verkauft werden.

²⁷⁸ Vgl. IFRS 9: 6.2.5, 6.2.6, B6.2.4.

²⁷⁹ Siehe Anforderungen an die Wirksamkeit der Absicherung. Vgl. IFRS 9: 6.4.1 (c), B6.4.1 – B6.4.6. Beispielsweise darf zur Absicherung eines Barrels Kerosin nicht ausschließlich der Kauf eines Forwards mit dem Kauf eines Calls mit jeweils einem Nominal von einem Barrel kombiniert werden. Vgl. IFRS 9: 6.2.5. Für eine Übersicht zu praktisch zulässigen Instrumentenkombinationen siehe auch: Kapitel 4.2.3.2 sowie dort Tabelle 3.

erfasst. Außerdem wird die übergeordnete Position Treibstoffaufwand in der GuV so bestimmt, dass diese sowohl den Aufwand für die physische Betankung (Grundgeschäft) als auch das Treibstoffpreissicherungsergebnis (Sicherungsgeschäft) umfasst.²⁸⁰

Sofern bilanzielle Vorgaben während der Laufzeit eines Derivates nicht (mehr) eingehalten werden, ist die Sicherung als *ineffektive Sicherung* zu klassifizieren. In diesem Fall werden Marktwertänderungen während der Laufzeit des Derivates bereits erfolgswirksam in der GuV erfasst, sodass GuV-Risiken aus dem Grundgeschäft nicht mehr periodengerecht durch die Realisierung des Derivates kompensiert werden. Außerdem dürfen die Ergebnisse aus ineffektiven Sicherungen nicht in der Position Treibstoffaufwand verbucht werden, sodass die Kompensation des Treibstoffaufwands in der GuV entfällt.²⁸¹

Bezüglich der Referenzprodukte, auf welche Derivate zur effektiven Sicherung des Grundgeschäfts abgeschlossen werden dürfen, ist unter IFRS 9 auch der Rückgriff auf identifizierbare und verlässlich bewertbare Grundgeschäftskomponenten zulässig.²⁸² Im Anwendungsfall kann unter IFRS 9 beispielsweise das Vorprodukt Rohöl als Risikokomponente identifiziert werden und effektive Sicherungen dürfen auch auf dieses abgeschlossen werden.²⁸³ In der Praxis verweist die Air France-KLM Group (2019) darauf, dass die Einführung des neuen Bilanzierungsstandards IFRS 9 in 2018 zu einer Erweiterung des Sicherungsspektrums und einer Anpassung der Sicherungsstrategie geführt hat. Seither werden Sicherungen auch auf Rohöl und Gasöl abgeschlossen.²⁸⁴ Einschränkend ist lediglich zu berücksichtigen, dass für Fluggesellschaften, die in einem definierbaren geografischen Gebiet agieren, diejenigen Vorprodukte als Risikokomponenten zu berücksichtigen sind, die sich als Ausgangsprodukte auf die Preise von lokal raffiniertem Kerosin auswirken sollten.²⁸⁵

Zahlreiche Quellenbelege zeigen, dass von Unternehmen in der Praxis das Abschließen von effektiven Cash-Flow-Hedges angestrebt wird.²⁸⁶ Southwest Airlines (2019) beschreibt darüber hinaus die Existenz eines Risikos, welches daraus resultiert, dass bestehende Sicherungsbeziehungen ihren Status als effektive Sicherung verlieren können.²⁸⁷ Auch nicht-industriespezifische Untersuchungen von Glaum und Klöcker (2011) sowie Lins, Servaes und Tamayo (2011) zeigen, dass Unternehmen bei der Gestaltung einer Sicherungsstrategie oftmals darauf achten, Sicherungsgeschäfte so zu handeln, dass die bilanzielle Effektivität sichergestellt ist.²⁸⁸ Es ist demnach davon auszugehen, dass bilanzielle Vorgaben wichtige Grenzen beim praktischen Aufstellen einer Sicherungsstrategie darstellen.

Als Übersicht fasst Tabelle 40 im Anhang A IV. a) die wichtigsten Anforderungen an effektive Hedges unter IFRS 9 nochmals in aggregierter Form zusammen. Detailabweichungen in der Bilanzierung von Sicherungsgeschäften nach IFRS und US-GAAP werden ebenfalls im Anhang A IV. a) diskutiert. Wie die identifizierten bilanziellen Grenzen im Rahmen der Modellimplementierung Berücksichtigung finden, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit insbesondere in Kapitel 6.3.1.1 und 6.4.1.1 diskutiert.

²⁸⁰ Vgl. jetBlue Airways (2019): S. 74.

²⁸¹ Vgl. Ernst & Young (2020): S. 8; vgl. IFRS 9: 6.5.2. Verstoß gegen Hedging-Definition in Kapitel 2.1.2.

²⁸² Vgl. IFRS 9: 6.3.7. Im vormaligen Standard IAS 39 wurde noch ein alternatives Verfahren genutzt.

²⁸³ Theoretisch können gemäß diesem *Komponentensatz* zur Sicherung von Kerosin auf alle Einzelbestandteile des Marktpreises für Kerosin Sicherungen abgeschlossen werden. Siehe hierzu: Abbildung 8.

²⁸⁴ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83.

²⁸⁵ Vgl. IFRS 9: B6.3.10 (c). Dort ist das konkrete Beispiel für eine Fluggesellschaft dargestellt. Es sei außerdem angemerkt, dass Auswirkungen auf die Effektivität von Sicherungen international agierender Fluggesellschaften in dieser Arbeit nicht diskutiert werden. In solchen Fällen kann der Rückgriff auf sogenannte *hypothetische Derivate* zur Bestimmung der Effektivität notwendig sein. Vgl. IFRS 9: B6.5.5 ff.

²⁸⁶ Vgl. Air Canada (2019): S. 16; vgl. jetBlue Airways (2019): S. 41, 74; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 153; vgl. Southwest Airlines (2019): S. 26; vgl. Turkish Airlines (2018): S. 164.

²⁸⁷ Vgl. ASU 2017-12 (2017): S. 4 f.; vgl. Southwest Airlines (2019): S. 57, 89 f., 108 f.

²⁸⁸ Vgl. Glaum/Klöcker (2011): S. 472 ff.; vgl. Lins/Servaes/Tamayo (2011): S. 540 ff.

4.1.2.2 Marktpreise und Bewertungsmodelle

Während die bilanziellen Rahmenbedingungen ein langfristiges Grundgerüst für die erlaubten Sicherungsaktivitäten vorgeben, üben Marktpreise erst im Moment des jeweiligen Geschäftsabschlusses einen Einfluss auf Sicherungsgeschäfte aus. Unter der Annahme, dass Fluggesellschaften auf dem Derivatemarkt als Preisnehmer auftreten, sind die bei Geschäftsabschluss vorzufindenden Marktpreise als gegeben anzusehen. Wie in Kapitel 3.3 ersichtlich, üben diese exogenen Marktbedingungen einen direkten Einfluss auf die Preise von Rohwarenderivaten aus. Relevant sind zur Bestimmung von Rohwarenderivatepreisen: (1) Terminpreise der Rohwaren, (2) Volatilitäten der Rohwaren und (3) risikolose Zinsen²⁸⁹.²⁹⁰ Nur wenn für diese Parameter stets aktuelle Daten vorliegen, kann im Vertragszeitpunkt objektiv der faire und am Markt verlangte Preis für ein Sicherungsgeschäft bestimmt werden. Auch in der Praxis verweisen Gesellschaften darauf, dass bei der Bestimmung von Derivatepreisen teils auf Informationen zurückgegriffen werden muss, die nur schwer am Markt beobachtet und ermittelt werden können.²⁹¹ Wie die Erfassung solcher Daten im Rahmen der Nutzung von OPTA sichergestellt wird, ist in Kapitel 6.1.3 dargestellt.

Des Weiteren ist es bei der Planung von Sicherungsstrategien von hoher Relevanz, dass errechnete Derivatepreise denjenigen Preisen entsprechen, die beim echten Geschäftsabschluss tatsächlich zu zahlen sind. Um im Rahmen der Simulationsstudie realitätsnahe Ergebnisse zu erzielen, ist demnach auch das Nutzen valider Derivatebewertungsmodelle von hoher Relevanz. Solche Modelle wurden zuvor in Kapitel 3.3 vorgestellt. In OPTA wird nachfolgend stets das Turnbull-Wakeman-Modell genutzt (siehe: Kapitel 3.3.2.2).

4.1.2.3 Finanzielle Situation

In Kapitel 3.2 wurden bereits Arbeiten vorgestellt, welche real beobachtete Zusammenhänge zwischen finanzieller Situation und Sicherungsaktivität thematisieren. Im Rahmen der hier durchgeführten Betrachtung wird angenommen, dass die praktisch teils beobachtete Verringerung der Sicherungsaktivität von Fluggesellschaften, die sich in einer finanziellen Schieflage befinden (siehe: Kapitel 3.2), nicht zwangsweise auf eine aktive Entscheidung der Gesellschaften zurückzuführen sein muss. Stattdessen kann diese Verringerung auch darin begründet sein, dass Kontrahenten nicht mehr oder nur noch zu nachteiligen Konditionen dazu bereit sind, Derivategeschäfte mit solchen Fluggesellschaften abzuschließen.

Aus Sicht der Finanztheorie wird die finanzielle Situation der Vertragsparteien beim Abschluss von Derivategeschäften durch die Berücksichtigung des jeweiligen Kreditrisikos reflektiert. Allgemein können Kontrahenten vor dem Abschluss von Finanzderivaten jeweils das Ausfallrisiko der Gegenpartei quantifizieren und dieses über einen Risikoaufschlag in die geforderten Derivatepreise miteinbeziehen. Im betrachteten Fall wird die Gegenpartei der Fluggesellschaft einen solchen Risikoaufschlag nur für solche Instrumente berücksichtigen, aus denen eine zukünftige Auszahlung der Fluggesellschaft resultieren kann.²⁹² Hierbei gilt: Je schlechter die Solvenz der Fluggesellschaft, desto größer wird der zu zahlende Risikoaufschlag. Bei Gesellschaften in starker finanzieller Schieflage sind Kontrahenten mit hoher Wahrscheinlichkeit gar nicht mehr dazu bereit, Sicherungsgeschäfte anzubieten, welche eine zukünftige Zahlung der Fluggesellschaft nach sich ziehen können.

²⁸⁹ Der risikolose Zins wird als Diskontierungsfaktor genutzt. Zur Vereinfachung wird im Rahmen der weiteren Arbeit für den risikolosen Zins r stets angenommen: $r = 0$. Zum risikolosen Zins siehe auch: Fußnote 209.

²⁹⁰ Siehe hierzu für den Anwendungsfall beispielsweise (3.9) bis (3.13) in Kapitel 3.3.2.

²⁹¹ Vgl. Southwest Airlines (2019): S. 68.

²⁹² Vgl. Hull (2006): S. 491 ff. Beispiel: Kauf Termingeschäft durch Fluggesellschaft. Für Details siehe auch: Anhang A XI. a). Zur Berücksichtigung des Ausfallrisikos der Gegenpartei durch die Fluggesellschaft siehe: Anhang A IV. b).

Im Rahmen der Systemuntersuchung lässt sich der Fall Norwegian Air Shuttle als anekdotisches Beispiel für das mögliche Verringern der Sicherungsaktivität in Folge einer sich verschlechternden finanziellen Lage nutzen. Konkret verringerte sich der Anteil des von Norwegian Air Shuttle durch Hedging abgesicherten Treibstoffbedarfs für das jeweils folgende Kalenderjahr zwischen 2018 und 2019 von 35% auf 0%.²⁹³ Gleichzeitig erhöhte sich die von *Bloomberg Professional Services* quотиerte Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit für Norwegian Air Shuttle von durchschnittlich 2,5% in der ersten Jahreshälfte 2018 auf durchschnittlich 10,1% in der ersten Jahreshälfte 2019.²⁹⁴ Auch wenn eine sichere Bestimmung der Kausalitäten nicht möglich ist, erlaubt die zeitkongruente Veränderung der Parameter die Hypothese, dass die drastische Verschlechterung der finanziellen Situation zur Verschlechterung der angebotenen Konditionen für Derivatetransaktionen geführt haben könnte, welche den Abschluss von Sicherungen für die Gesellschaft unattraktiv machte und schließlich zum Einstellen der Sicherungsaktivität führte.

Die jeweilige individuelle Solvenz muss daher bei der Gestaltung einer Sicherungsstrategie von Fluggesellschaften berücksichtigt werden. Die Kapitel 6.3.1.2 und 6.4.1.2 legen dar, wie das Kreditrisiko einer Fluggesellschaft in OPTA Berücksichtigung findet.

Darüber hinaus ist es für Unternehmen in finanzieller Schieflage theoretisch möglich, das in eine Transaktion eingehende eigene Ausfallrisiko durch Besicherung zu verringern (siehe: Kapitel 2.2.2).²⁹⁵ Allerdings weisen jetBlue Airways (2019), Southwest Airlines (2019) und United Airlines (2016) darauf hin, dass die potenzielle Notwendigkeit des Hinterlegens von Sicherheiten für die Gesellschaften ein finanzielles Risiko darstellt, da hieraus kurzfristige hohe Mittelabflüsse resultieren können. Southwest Airlines (2019) stellt gar in Aussicht, dass das Entstehen der Notwendigkeit, Sicherheiten zu hinterlegen, dazu führen könnte, die eigene Treibstoffpreissicherungsaktivität zu reduzieren.²⁹⁶ Auf Basis dieser Beobachtungen wird angenommen, dass Gesellschaften in der Praxis stets versuchen, unbesicherte Geschäfte abzuschließen. Konkret weist Ryanair (2019a) darauf hin, dass sich am Stichtag keine besicherten Derivate im Bestand befanden. Zudem finden sich beispielsweise auch in Air France-KLM Group (2019), IAG (2019), Lufthansa Group (2019) oder Wizz Air (2019) keine Indizien, die darauf hindeuten, dass besicherte Rohwarenderivate gehandelt werden.²⁹⁷ Vor dem Hintergrund dieser Praxisbeobachtungen wird in OPTA ebenfalls durchweg auf das Berücksichtigen einer Besicherung von Derivaten verzichtet.²⁹⁸

4.1.2.4 Wettbewerbssituation und Weiterreichen von Treibstoffpreisänderungen

Wie bereits in Kapitel 4.1.1.1 dargelegt, sollten beim Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie sowohl allgemeine Marktpreis- als auch individuelle Erlörisiken einer Gesellschaft berücksichtigt werden. Diese Betrachtung weiterführend, wird in diesem Kapitel diskutiert, wieso die Stärke des Zusammenhangs zwischen diesen beiden Risiken als exogener Inputfaktor anzusehen ist und weshalb die Berücksichtigung dieses Zusammenhanges beim Abschluss von Sicherungsgeschäften von zentraler Bedeutung ist.

²⁹³ Vgl. Norwegian Air Shuttle (2018): S. 36; vgl. Norwegian Air Shuttle (2020): S. 18.

²⁹⁴ Detaillierte Erläuterungen zur Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit sowie zum praktischen Abruf in Bloomberg finden sich in Kapitel 6.1.2.3. Equity-Ticker für Norwegian Air Shuttle: *NAS NO Equity*.

²⁹⁵ Dies umfasst sowohl zu hinterlegende Sicherheiten bei Börsen (Margin) als auch im OTC-Handel (Collaterals). Hintergründe und Erläuterungen zu beiden Konzepten finden sich in Kapitel 2.2.2. Vgl. Hull (2006): S. 481 ff.

²⁹⁶ Vgl. jetBlue Airways (2019): S. 17, 71; vgl. Southwest Airlines (2019): S. 26; vgl. United Airlines (2016): S. 14.

²⁹⁷ Vgl. Ryanair (2019a): S. 165. Bei den anderen genannten Gesellschaften fehlen Indizien in den Geschäftsberichten. Es sei darauf hingewiesen, dass vereinzelte Belege existieren, die zeigen, dass Fluggesellschaften in besonderen Situationen dazu bereit sein können, Geschäfte mit Sicherungsleistung abzuschließen. Vgl. Turkish Airlines (2018): S. 165.

²⁹⁸ Dies gilt für Margin sowie Collaterals. Zur Erläuterung der Konzepte siehe: Kapitel 2.2.2.

Als Grundlage für die folgenden Erläuterungen empfiehlt sich die Darstellung von Borenstein und Rose (2014), die argumentieren, dass Fluggesellschaften kurzfristig nicht dazu in der Lage sind, ihre Angebotsmengen (hier: produzierte Sitzplätze) so schnell anzupassen, wie sie dies, als Reaktion auf schwankende Rohwarenpreise, teils gerne würden (Nicht-Elastizität des Angebots).²⁹⁹ Koopmans und Lieshout (2016) greifen diese Beobachtung auf und betten sie in einen theoretischen Rahmen ein. Sie zeigen, dass der Wettbewerb zwischen Fluggesellschaften sich in der kurzen und mittleren Frist gut durch das *Cournot-Oligopol-Modell*³⁰⁰ beschreiben lässt. In diesem werden von Wettbewerbern zunächst die Angebotsmengen fixiert, um anschließend über Preise zu konkurrieren. Die praktischen Gründe für die Notwendigkeit der frühzeitigen Festlegung von Angebotsmengen durch Fluggesellschaften wurden zuvor ebenfalls bereits in Kapitel 2.1.3 erörtert. Aus der Annahme der Existenz eines Cournot-Oligopols folgt, dass Fluggesellschaften kurz- und mittelfristig nur durch Anpassungen der geforderten Ticketpreise auf volatile Rohwarenpreise reagieren können.³⁰¹

Darüber hinaus ist anzunehmen, dass das *Revenue Management* einer Fluggesellschaft im Regelfall versucht, Ticketpreise so festzulegen, dass die Gesamterlöse – unter gegebenen Angebotsmengen – maximiert werden.³⁰² Mit Blick auf diese Maximierung ist das Weiterreichen einer Treibstoffpreiserhöhung nur so lange sinnvoll, wie die Erhöhung der Ticketpreise nicht durch eine Verringerung der Absatzmenge konterkariert wird (Preiselastizität der Nachfrage). Wie Scotti und Volta (2018) oder Wolter et al. (2021) zeigen, hängt die Ausprägung dieser Elastizität allerdings unter anderem von der herrschenden Wettbewerbssituation auf einem Markt ab.³⁰³ In der Praxis weisen die Air France-KLM Group (2019) und jetBlue Airways (2019) darauf hin, dass sie es als Risiko erachten, dass eine adäquate Weiterreichung von Treibstoffpreisänderungen aufgrund der herrschenden Wettbewerbssituation nicht möglich sein könnte.³⁰⁴ Darüber hinaus hat auch die individuelle strategische Positionierung einer Fluggesellschaft im Markt einen Einfluss darauf, wie sensitiv Kunden auf Ticketpreisänderungen reagieren und wie stark Treibstoffpreisänderungen an diese weitergegeben werden können.³⁰⁵ Als Praxisbeispiel beschreibt Ryanair (2019a), dass die Positionierung als Fluggesellschaft mit günstigen Angebotspreisen das Risiko birgt, dass höhere Rohwarenpreise möglicherweise nur in begrenztem Umfang über höhere Ticketpreise an Kunden weitergegeben werden können.³⁰⁶

Da sowohl die Positionierung einer Fluggesellschaft im Markt als auch die Wettbewerbssituation, der eine Gesellschaft ausgesetzt ist, nicht spontan durch die Gesellschaft geändert werden können, wird angenommen, dass die Ausprägung der individuellen Fähigkeit zur Treibstoffpreisweiterreichung kurz- und mittelfristig nicht durch eine Fluggesellschaft selbst determiniert wird, sondern als exogene Größe anzusehen ist. Demnach sollte eine Fluggesellschaft bei der Gestaltung einer Sicherungsstrategie zunächst jeweils die eigene Fähigkeit zur Weiterreichung von Treibstoffpreisänderungen analysieren. Erst mit diesem Wissen ist es möglich, eine optimale Treibstoffpreissicherungsstrategie zu entwickeln. Beispielhaft stellt die Air France-KLM Group (2019) dar, dass der Abschluss von

²⁹⁹ Vgl. Borenstein/Rose (2014): S. 113 ff.

³⁰⁰ Von Augustin Cournot 1838 eingeführtes Modell. In diesem wählen alle Marktteilnehmer zunächst ihre Outputmenge und konkurrieren anschließend ausschließlich über den Preis. Vgl. Varian (2007): S. 578 ff.

³⁰¹ Vgl. Koopmans/Lieshout (2016): S. 3 ff.

³⁰² Während temporäre Ausnahmen von dieser Annahme möglich sind, entspricht das Ziel der Erlösmaximierung langfristig der einzigen rationalen ökonomischen Handelsmaxime. Vgl. Varian (2007): S. 578 ff.

³⁰³ Vgl. Scotti/Volta (2018): S. 42 ff.; vgl. Wolter et al. (2021): S. 5 ff.

³⁰⁴ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83; vgl. jetBlue Airways (2019): S. 17.

³⁰⁵ Vgl. Scotti/Volta (2018): S. 42 ff.; vgl. Wolter et al. (2021): S. 5 ff. Weitere Arbeiten, die sich mit dem Zusammenhang von Treibstoff- und Ticketpreisen befassen, sind beispielsweise: Atems/Bachmeier/Williams (2019) oder Wadud (2015).

³⁰⁶ Vgl. Ryanair (2019a): S. 59.

Treibstoffpreissicherung dazu dient, das existierende Risiko, steigende Treibstoffpreise möglicherweise nicht adäquat weiterreichen zu können, zu verringern.³⁰⁷

Gemäß der vorangegangenen Darstellung wird das Maß der Fähigkeit zur Weiterreichung von Treibstoffpreisänderungen beim Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie im Modell ebenfalls als exogene Größe angesehen. Weitere Erläuterungen zur Quantifizierung dieser Größe im Modell finden sich in Kapitel 6.3.1.3.

4.2 Entscheidungen im Rahmen der Sicherung

Nachdem die in der Praxis vorab relevanten internen Entscheidungen und externen Rahmenbedingungen vorgestellt wurden, ist in diesem Kapitel dargestellt, welcher inhaltliche Entscheidungsraum einer Fluggesellschaft beim Ausgestalten einer Treibstoffpreissicherungsstrategie überhaupt zur Verfügung steht. Unter Rückgriff auf Praxisbeispiele wird erörtert, welche Wahlmöglichkeiten sich einer Fluggesellschaft beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie grundsätzlich bieten.

Die im Rahmen der Sicherung zu treffenden Entscheidungen werden für den weiteren Verlauf der Arbeit drei übergeordneten Kategorien zugeteilt und einzeln vorgestellt:

1. Die übergeordnete Sicherungsstruktur (Kapitel 4.2.1)
2. Das Referenzprodukt (Kapitel 4.2.2)
3. Derivateart, Derivatetyp und Derivatekombination (Kapitel 4.2.3)

Die in Kapitel 4.2.1.1 dargestellte Tabelle 2 bietet eine erste Übersicht zu den heterogenen Detailausgestaltungen der Treibstoffpreissicherungsstrategien von fünf ausgewählten Fluggesellschaften. Zudem findet sich in Tabelle 59 (siehe: Anhang B I) eine strukturell identische Übersicht unter Berücksichtigung aller in dieser Arbeit untersuchten Gesellschaften.

Es sei vorab darauf hingewiesen, dass im weiteren Verlauf des Kapitels für viele Sicherungsentscheidungen dargestellt ist, welche Risikobereitschaft und welche Sicherungsziele mit einzelnen Entscheidungsausprägungen in Einklang gebracht werden können. Da für eine solche Zuordnung teils keine objektiven Quellen vorliegen, ist die gewählte Einordnung vielfach als subjektive Einschätzung zu verstehen. Es sei angemerkt, dass extreme Ausgestaltungen einzelner Merkmale dazu führen könnten, dass die gewählten Einordnungen keine Gültigkeit mehr besitzen. Solche Sonderfälle werden nicht diskutiert. Aufgrund der universellen Gültigkeit wird zudem auf eine Nennung des Ziels der *Unternehmenswertmaximierung* durchweg verzichtet. Ebenso wird auf die Nennung des Ziels *Vermeiden von Nachteilen gegenüber Wettbewerbern* verzichtet, da – abhängig vom Vorgehen der Wettbewerber – jede Entscheidung zum Erreichen dieses Ziels geeignet sein kann.

4.2.1 Die übergeordnete Sicherungsstruktur

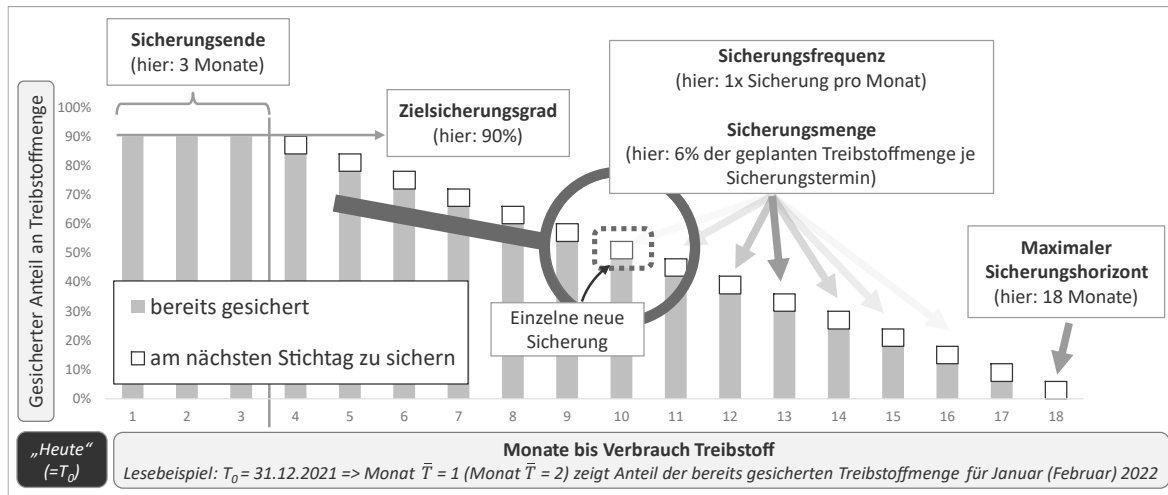
Unter dem Begriff der *übergeordneten Sicherungsstruktur* werden alle Parameter der Sicherungsstrategie zusammengefasst, die der Sicherung einen feststehenden Rahmen geben. Für die vorliegende Arbeit wurden fünf solcher Parameter identifiziert:

1. Maximaler Sicherungshorizont (Kapitel 4.2.1.1)
2. Zielsicherungsgrad (Kapitel 4.2.1.2)
3. Sicherungsende (Kapitel 4.2.1.3)
4. Sicherungsfrequenz und Sicherungsmenge (Kapitel 4.2.1.4)
5. Sicherungszeitpunkte (Kapitel 4.2.1.5)

³⁰⁷ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83.

Abbildung 10 veranschaulicht den Einfluss dieser Parameter schematisch.

Abbildung 10 – Schematische Darstellung der übergeordneten Sicherungsstruktur



Die Abbildung zeigt beispielhaft mögliche Ausgestaltungen der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur.³⁰⁸

Auf Basis der in Tabelle 2 sowie in Tabelle 59 (siehe: Anhang B I) enthaltenen Informationen und ausgehend von der Darstellung in Abbildung 10 kann zusätzlich Abbildung 44 (siehe: Anhang B II) erzeugt werden. Abbildung 44 ermöglicht für die untersuchten Fluggesellschaften einen visuellen Vergleich wesentlicher Merkmale der übergeordneten Sicherungsstruktur und veranschaulicht die praktische Vielfalt der Ausgestaltungsmöglichkeiten.

Tabelle 2 – Übersicht der Sicherungsstrategien ausgewählter Fluggesellschaften³⁰⁹

Fluggesellschaft	Übergeordnete Sicherungsstruktur				Sicherung und exakte Struktur		
	Max. Horizont (vor Verbrauch)	Zielsicherungsgrad	Sicherungsende (vor Verbrauch)	Frequenz und Zeitpunkt	Referenzprodukt	Handelsplatz	Derivatetypen und Instrumente
Air-France KLM Group	24 Monate	60%	9 Monate	regel. (10% je Quartal)	Rohöl, Gasöl, Kerosin	-	Swaps, Calls, Collars, Call Spreads, 3-Ways, 4-Ways
IAG	36 Monate	ca. 90%	9 Monate	regel.	Rohöl, Gasöl, Kerosin	OTC	Swaps, Futures, Optionen
Lufthansa Group	24 Monate	85%	6 Monate	regel. (bis 5% je Monat)	Rohöl, Gasöl, Kerosin	-	Collars, andere Optionskombinationen
Ryanair	18 Monate	70% - 90%	ca. 12 Monate	opport. & regel.	Kerosin	OTC	Forwards
Wizz Air	18 Monate	50% - 70%	-	regel.	-	OTC	zero-cost Collars

Die Tabelle stellt die Details der Treibstoffpreissicherungen von fünf beispielhaft ausgewählten europäischen Fluggesellschaften dar. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Strategien in der praktischen Umsetzung temporär vom dargestellten stilisierten Schema abweichen. Die strukturell identische tabellarische Darstellung unter Berücksichtigung aller 14 in dieser Arbeit untersuchten Fluggesellschaften findet sich in Tabelle 59 im Anhang B I. Die Abkürzung „regel.“ steht für ein *regelbasiertes* Vorgehen. Die Abkürzung „opport.“ steht für ein *opportunistisches* Vorgehen. Für weitere inhaltliche Erläuterungen zur Tabelle wird auf die Anmerkungen zu Tabelle 59 verwiesen.

³⁰⁸ Schematisch angelehnt an: Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72; vgl. Turkish Airlines (2019): S. 30.

³⁰⁹ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 82 f.; vgl. IAG (2019): S. 63, 77, 142, 166, 172; vgl. IAG (2020b): S. 11; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72, 153, 207; vgl. Ryanair (2019a): S. 59, 85, 137, 163; vgl. Ryanair (2019b): S. 14; vgl. Wizz Air (2019): S. 14, 98, 110; vgl. Wizz Air (2020): S. 17.

Im Rahmen der folgenden Diskussionen zu den einzelnen Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur wird definiert, welche der praktisch beobachteten Ausprägungen in dieser Arbeit ebenfalls wählbar sind. Es ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen eines Gesamt-sicherungsmodells stets das Zusammenspiel der Ausgestaltung aller Parameter beachtet werden muss. Die in den einzelnen Subkapiteln vorgestellten monokausalen Zusammenhänge sind somit jeweils nur als Indiz bezüglich der zugehörigen Ziele und Risikobereitschaften zu verstehen. Hervorzuheben ist zudem, dass, soweit ersichtlich, keine der untersuchten Fluggesellschaften verschiedene Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur für spezifische Strecken oder Verkehrsgebiete anstrebt.³¹⁰ Dies bedeutet, dass die Gesellschaften zur Bestimmung der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur jeweils den Treibstoffverbrauch des gesamten Streckennetzes berücksichtigen. Des Weiteren gilt: Sofern in den folgenden Ausführungen Sicherungsgrade benannt werden, sind Sicherungsgrade je Monat gemeint. Zudem ist zu beachten, dass – zur besseren Lesbarkeit – auf Quellenangaben verzichtet wird, wenn Belege bereits eindeutig den Quellenangaben zu Tabelle 2 oder Tabelle 59 entnommen werden können. Darüber hinaus werden als Beispiel für die Ausgestaltung einzelner Parameter jeweils nur einzelne Fluggesellschaften genannt. Die Ausgestaltungen bei allen anderen Gesellschaften sind ebenfalls Tabelle 2 sowie Tabelle 59 zu entnehmen.

4.2.1.1 Maximaler Sicherungshorizont

Der maximale Sicherungshorizont (*Max. Horizont*) gibt an, wie viele Monate vor dem physischen Treibstoffverbrauch des Monats $\bar{T}$ eine Fluggesellschaft erstmalig Treibstoffpreissicherungen für diesen Monat abschließt. In dieser Arbeit gilt, dass der laufende Kalendermonat, in welchem Sicherungszeitpunkt T_0 liegt, jeweils dem Monat null entspricht. Exemplarisch ist im Beispiel in Abbildung 10 ein maximaler Sicherungshorizont von 18 Monaten unterstellt. Dies bedeutet, dass beispielsweise im Januar des Jahres $\bar{Y}$ maximal Sicherungen für den Juli des Jahres $\bar{Y} + 1$ abgeschlossen werden.³¹¹

In der Praxis nutzen regelbasiert sichernde Gesellschaften vielfach einen maximalen Sicherungshorizont von 18 oder 24 Monaten. Als einzige regelbasiert sichernde Gesellschaft schließt IAG (2019) Sicherungsgeschäfte für einen Zeitraum von 36 Monaten ab. Die opportunistisch sichernde Gesellschaft Southwest Airlines (2019) schließt als Extrembeispiel demgegenüber Sicherungen mit Laufzeiten von mehr als 36 Monaten ab.

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen internen Entscheidungen und dem maximalen Sicherungshorizont wird für diese Arbeit angenommen:

Risikobereitschaft: Ein weiter in die Zukunft reichender maximaler Sicherungshorizont kann auf eine erhöhte Risikoaversion des sichernden Unternehmens hindeuten.

*Sicherungsziele*³¹²: Ausgehend von den in Kapitel 4.1.1.2 vorgestellten Zielen, kann ein weit in die Zukunft reichender maximaler Sicherungshorizont darauf hindeuten, dass die *Verringerung der Volatilität* oder auch das *Ausnutzen von Preisopportunitäten* angestrebt werden. Ein moderater oder kurzer Sicherungshorizont lässt hingegen, bei singulärer Betrachtung des Sicherungshorizontes, keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.

³¹⁰ In Lufthansa Group (2019) findet sich beispielsweise der Hinweis, dass für einzelne Fluggesellschaften der Gruppe abweichende Zielsicherungsgrade gelten. Pro Fluggesellschaft gilt aber dennoch ein streckenunabhängiger Zielsicherungsgrad. Charterflüge werden hier aus Relevanzgründen nicht berücksichtigt. Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72.

³¹¹ Diese Rechen- und Sprachlogik gilt für die vorliegende Arbeit. Ob diese Logik konsistent auf den Sprachgebrauch aller Praxisveröffentlichungen (siehe: Tabelle 2 sowie Tabelle 59) übertragen werden kann, ist nicht eindeutig nachvollziehbar.

³¹² Wie bereits in Kapitel 4.1.1.2 dargestellt, sollten alle unternehmerischen Entscheidungen übergeordnet stets das Ziel der *Maximierung des Unternehmenswertes* verfolgen. Auf die wiederholte Nennung dieses Ziels wird daher im weiteren Verlauf von Kapitel 4.2.1 verzichtet.

Modellumsetzung: Angelehnt an Beobachtungen aus der Praxis stehen zur Modellierung folgende Ausgestaltungen zur Verfügung: 18 Monate, 24 Monate und 35 Monate³¹³.

4.2.1.2 Zielsicherungsgrad

Der Zielsicherungsgrad gibt an, welchen Anteil des geplanten Treibstoffbedarfs einer Periode eine Fluggesellschaft maximal durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen absichert. Zur Darstellung des Zielsicherungsgrades wird die Variable SG eingeführt, die als relative Größe definiert ist und sich aus dem Quotienten der insgesamt zu sichernden Treibstoffmenge für eine Periode $\bar{T}$ und dem geplanten Treibstoffbedarf dieser Periode $\bar{T}$ errechnet. Im Beispiel in Abbildung 10 ist ein Zielsicherungsgrad von 90% unterstellt.

In der Praxis nennen regelbasiert sichernde Gesellschaften eine breite Spanne von angestrebten Zielsicherungsgraden. Während SAS Scandinavian Airlines (2019) beispielsweise als untere Grenze einen Zielsicherungsgrad von lediglich 40% angibt, sichert Ryanair (2019b) regelmäßig bis zu 90% des geplanten Treibstoffbedarfs. Im Gegensatz zu solchen klar vordefinierten Ansätzen findet sich beispielsweise bei jetBlue Airways (2019) der Hinweis, dass Sicherungen ohne einen starr vorgegebenen Zielsicherungsgrad abgeschlossen werden.

Risikobereitschaft: Ein hoher Zielsicherungsgrad deutet im Regelfall auf eine eher hohe Risikoaversion des sichernden Unternehmens hin.

Sicherungsziele: Ein niedriger Zielsicherungsgrad erlaubt am ehesten die Schlussfolgerung, dass das Ziel einer *maximalen Partizipation im Preisverfall* angestrebt wird. Diese Zielsetzung muss jedoch nicht mit einem niedrigen Zielsicherungsgrad verbunden sein. Ein hoher Zielsicherungsgrad kann mit dem Anstreben zahlreicher Ziele verknüpft sein. Naheliegend ist die Verbindung mit dem Ziel *maximale Planungssicherheit*. In Abhängigkeit von der Ausgestaltung anderer Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur ist darüber hinaus auch eine Verknüpfung mit den Zielen *Schutz vor Treibstoffpreisanstieg*, *Verringerung der Volatilität* oder *Ausnutzen von Preisopportunitäten* vorstellbar.

Modellumsetzung: Angelehnt an die Beobachtungen aus der Praxis stehen zur Modellierung folgende Ausgestaltungen zur Verfügung: 50%, 70% und 90%.

4.2.1.3 Sicherungsende

Das Sicherungsende (*Sicherungsende*) gibt an, wie viele Monate vor dem physischen Treibstoffverbrauch eines Monats eine Gesellschaft keine Treibstoffpreissicherungen für diesen Monat mehr abschließt. Somit findet der letztmalige Handel für einen Monat – bei monatlicher Handelsfrequenz – einen Monat vor dem Sicherungsende statt. Beim letzten Handel werden so viele Sicherungen abgeschlossen, dass der Zielsicherungsgrad erreicht ist. Im Beispiel in Abbildung 10 liegt das Sicherungsende bei drei Monaten. Exemplarisch bedeutet dies, dass im Januar des Jahres $\bar{Y}$ keine Sicherungen mehr für die Monate Februar bis April des Jahres $\bar{Y}$ gehandelt werden. Gleichzeitig folgt hieraus, dass im Januar des Jahres $\bar{Y}$ für den Mai des Jahres $\bar{Y}$ so viele Sicherungen abgeschlossen werden, dass der Zielsicherungsgrad erreicht wird.³¹⁴

In der Praxis finden sich unterschiedlichste Ausprägungen für das Sicherungsende. Während Turkish Airlines (2019) beispielsweise letztmalig einen Monat vor Verbrauch der Treibstoffmenge Sicherungen für diese abschließt, liegt das Sicherungsende bei Ryanair (2019b) in den beobachteten Perioden bei zwölf Monaten.

³¹³ Das Maximum von 35 Monaten im Modell folgt aus der Datenverfügbarkeit. Siehe: Kapitel 6.1.3.

³¹⁴ Die Annahme dieses Sprachgebrauchs gilt für die vorliegende Arbeit. Ob diese Definition konsistent in allen Praxisveröffentlichungen (siehe: Tabelle 2 sowie Tabelle 59) gilt, ist nicht eindeutig nachvollziehbar.

Risikobereitschaft: Keine eindeutige Aussage bezüglich des Zusammenhanges möglich.

Sicherungsziele: Ein weit in der Zukunft liegendes Sicherungsende kann darauf hindeuten, dass das Ziel der *maximalen Planungssicherheit* oder das Ziel des *maximalen Schutzes gegen Preisanstiege* verfolgt wird. Für kürzere Zeitspannen lassen sich, bei singulärer Betrachtung des Sicherungsendes, keine sinnvollen Zusammenhänge zwischen dem Sicherungsende und dem Ziel der Sicherung herstellen.

Modellumsetzung: Angelehnt an die Beobachtungen aus der Praxis stehen zur Modellierung folgende Ausgestaltungen zur Verfügung: 3 Monate, 6 Monate und 12 Monate.

4.2.1.4 Sicherungsfrequenz und Sicherungsmenge

Die Sicherungsfrequenz (*Frequenz*) legt fest, wie häufig Sicherungen abgeschlossen werden. Die Sicherungsfrequenz wird für die vorliegende Arbeit als Anzahl der Sicherungen je Handelsmonat definiert. Durch das Festlegen der Sicherungsfrequenz wird noch keine Aussage über die genauen Sicherungszeitpunkte getroffen. Das Vorgehen zur Festlegung konkreter Sicherungszeitpunkte wird separat in Kapitel 4.2.1.5 vorgestellt. Sofern zu jedem Sicherungszeitpunkt für alle Folgemonate, die innerhalb der Spanne zwischen maximalem Sicherungshorizont und Sicherungsende liegen, Sicherungen abgeschlossen werden, kann die relative Sicherungsmenge (*MengeRelativ*) für einen Monat $\bar{T}$ je einzeltem Sicherungszeitpunkt T_0 über die Sicherungsfrequenz errechnet werden:³¹⁵

Berechnung relative Sicherungsmenge je Sicherungszeitpunkt

$$MengeRelativ = \frac{\left(\frac{SG}{Max.Horizont - Sicherungsende} \right)}{Frequenz} \quad (4.1)$$

Gemäß dieser Definition wird *MengeRelativ* somit in Prozent des gesamten geplanten Treibstoffverbrauchs eines Monats $\bar{T}$ ausgedrückt. Im Beispiel in Abbildung 10 ist eine Sicherungsfrequenz von einer Sicherung pro Monat unterstellt (*Frequenz* = 1), woraus eine relative Sicherungsmenge je Sicherungszeitpunkt von 6% folgt.

In der Praxis finden sich keine konkreten Angaben zur Sicherungsfrequenz und zur relativen Sicherungsmenge von Fluggesellschaften. Vage Einblicke ergeben sich in Lufthansa Group (2019) und Air France-KLM Group (2019). Die Lufthansa Group (Air France-KLM Group) sichert regelbasiert und gibt an, dass pro Handelsmonat (Handelsquartal) circa 5% (10%) des Treibstoffbedarfs der relevanten Terminmonate (-quartale) gesichert werden. Darüber hinaus findet sich auch bei diesen Gesellschaften keine Konkretisierung dazu, auf wie viele Sicherungstransaktionen je Sicherungsperiode der Erwerb der relevanten Sicherungsmengen verteilt ist. Da zur Sicherungsfrequenz sowie zur zu handelnden Menge somit keine Quellen verfügbar sind, aus welchen eindeutige praxisrelevante Ausprägungen entnommen werden können, findet sich im Anhang A V. a) eine kurze Diskussion dazu, wie sich mini- oder maximale Sicherungsfrequenzen für einzelne Fluggesellschaften logisch herleiten lassen.

Risikobereitschaft: Da bei einer höheren Sicherungsfrequenz von einer stärkeren Preisglättung auszugehen ist, deutet eine höhere Sicherungsfrequenz auf eine erhöhte Risikoaversion des sichernden Unternehmens hin.

Sicherungsziele: Eine hohe Sicherungsfrequenz deutet darauf hin, dass das Ziel der *Verringerung der Volatilität* verfolgt wird. Eine geringe Sicherungsfrequenz (große Sicherungsvolumina) in Verbindung mit dem Handel von *Swaps* können darauf hindeuten, dass das Ziel der größtmöglichen *Planungssicherheit* verfolgt wird. Allerdings kann eine niedrige

³¹⁵ Ausnahmen: Im Rahmen der Simulationsstudie können einzelne Sonderfälle entstehen, für welche (4.1) keine Gültigkeit besitzt. Diese Sonderfälle werden im Anhang A XII. b) separat diskutiert.

Sicherungsfrequenz, in Verbindung mit willkürlichen Sicherungszeitpunkten, auch darauf hindeuten, dass das Ziel *Nutzen von Preisopportunitäten* verfolgt wird.

Modellumsetzung: Vor dem Hintergrund der fehlenden Praxisindikationen wird im Modell im Standardfall vereinfachend eine Sicherung je Monat (*Frequenz* = 1) unterstellt.

4.2.1.5 Sicherungszeitpunkte

Die Sicherungszeitpunkte determinieren, zu welchen Zeitpunkten Sicherungen tatsächlich stattfinden. Die Wahl eines Zeitpunktes bezieht sich in der Praxis sowohl auf den Tag als auch auf die Uhrzeit, zu welcher der Handel stattfindet. Für die weitere Diskussion werden zunächst drei Möglichkeiten zur Bestimmung von Sicherungszeitpunkten eingeführt.

(1) *Keine Flexibilität: Ex-ante Determinierung der Sicherungszeitpunkte.* Es wird beispielsweise festgelegt, dass Sicherungen stets am Montag um 12 Uhr zu handeln sind. Die Beschreibung des Sicherungsvorgehens von Turkish Airlines (2018) deutet in Teilen darauf hin, dass die Gesellschaft einen solchen Ansatz nutzt.

(2) *Geringe Flexibilität: Ex-ante Eingrenzung der Sicherungszeitpunkte.* Es wird beispielsweise festgelegt, dass jeweils eine Sicherung pro Woche zu handeln ist. Der exakte Sicherungszeitpunkt ist innerhalb dieser Woche für die handelnden Akteure frei wählbar. Beschreibungen des Sicherungsvorgehens in Air France-KLM Group (2019) und in Lufthansa Group (2019) deuten darauf hin, dass beide Gesellschaften einen solchen Ansatz nutzen.

(3) *Absolute Flexibilität: Keine ex-ante Eingrenzung der Sicherungszeitpunkte.* Volle Flexibilität bezüglich der Sicherungszeitpunkte. Der Ansatz ist nur dann nutzbar, wenn auch andere Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur (Beispiel: Sicherungsfrequenz) unkonkret gewählt sind. Die Beschreibung des Sicherungsvorgehens von jetBlue Airways (2019) deutet in Teilen darauf hin, dass die Gesellschaft einen solchen Ansatz nutzt.

Risikobereitschaft: Keine Flexibilität deutet auf eine erhöhte Risikoaversion der sichernden Gesellschaft hin. Absolute Flexibilität deutet auf ein risikoaffines Unternehmen hin.

Sicherungsziele: Das Nutzen von keiner oder geringer Flexibilität deutet darauf hin, dass das Ziel der *maximalen Planungssicherheit* oder *Verringerung der Volatilität* verfolgt wird. Bei Fluggesellschaften, die absolute Flexibilität wählen, ist davon auszugehen, dass diese das *Nutzen von Preisopportunitäten* und die *Maximierung des Sicherungsgewinns* als Sicherungsziel anstreben.

Modellumsetzung: Im Rahmen dieser Arbeit wird versucht, einen verzerrungsfreien Algorithmus zu implementieren, der frei von subjektiven Einflüssen ist. Daher werden im Rahmen der Modellumsetzung nur Strategien erfasst, welche auf ein regelbasiertes Sicherungsvorgehen mit ex-ante determinierten Sicherungszeitpunkten (jeweils Börsenschluss am 15. Kalendertag eines Monats) zurückgreifen.³¹⁶

4.2.2 Das Referenzprodukt

Neben den Entscheidungen zur übergeordneten Sicherungsstruktur muss eine treibstoffpreissichernde Fluggesellschaft auch eine Entscheidung darüber treffen, auf welches Referenzprodukt Derivate gehandelt werden. Hintergründe zur Risikokomponente Kerosin sowie zu relevanten Bilanzierungsvorschriften finden sich bereits in den Kapiteln 2.3 und 4.1.2.1. Um einen Überblick über die in der Praxis relevanten Referenzprodukte zu erhalten, wird auf die Übersichten in Tabelle 2 und Tabelle 59 verwiesen. Die untersuchten Gesellschaften

³¹⁶ Sofern der 15. Kalendertag kein Börsenhandelstag ist, werden Sicherungen jeweils am darauffolgenden nächsten Börsenhandelstag gehandelt. Erläuterungen zur Umsetzung finden sich auch in Kapitel 6.1.3.1.

schließen Sicherungen sowohl auf Kerosin (9 Nennungen) als auch auf die verwandten Rohwaren Rohöl (8), Gasöl (3), Heizöl (3) und Benzin (1) ab. Es ist zu beachten, dass in der ausgewerteten Stichprobe sechs Gesellschaften mehrere Referenzprodukte nennen.

Bei der Auswahl derjenigen Rohwaren, welche von einer Gesellschaft beim Handel final berücksichtigt werden, sollten zwei Kriterien eine wichtige Rolle spielen: die *bilanzielle Effektivität* und die *ökonomische Effektivität*. Grundlagen zur bilanziellen Effektivität wurden zuvor bereits in Kapitel 4.1.2.1 vorgestellt und diskutiert.

Die *ökonomische Effektivität*³¹⁷ ergibt sich aus dem Vergleich der Entwicklung einer Basisrohwarenpreisnotierung (hier: Kerosinpreis Terminmonat $\bar{T}$) mit der einer Referenzrohwarenpreisnotierung (Beispiel: Rohölpreis Terminmonat $\bar{T}$). Vollkommene ökonomische Effektivität ist dann gegeben, wenn Preisbewegungen der Basis- und der Referenznotierung jederzeit vollkommen identisch sind. In diesem Fall können Sicherungen auf die Referenzrohware Preisveränderungen der Basisrohware zu 100% kompensieren.

Sofern Fluggesellschaften Derivate handeln, die auf den Kerosinpreis referenzieren, liegt gemäß dieser Beschreibung vollkommene ökonomische Effektivität vor.³¹⁸ Als Grund dafür, wieso Fluggesellschaften dennoch auch Derivate auf kerosinverwandte Produkte handeln, verweist beispielsweise Southwest Airlines (2019) darauf, dass der Handel von Kerosinderivaten an Terminbörsen nicht so weit verbreitet sei wie der Handel auf andere kerosinverwandte Rohwaren. Daher könnten vor allem für Sicherungshorizonte von mehr als zwei Jahren an Börsen teils keine Geschäfte auf Kerosin abgeschlossen werden.³¹⁹ Adams und Gerner (2012) legen dar, dass auch der OTC-Markt zum Handel mit Kerosinderivaten vergleichsweise illiquide sei, sodass Fluggesellschaften für Kerosinderivate teils hohe Illiquiditätsprämien in Kauf nehmen müssten.³²⁰ Demnach können Fluggesellschaften bezüglich der Wahl des Referenzproduktes zwischen zwei Alternativen wählen:

1. Sicherung Kerosin: maximale ökonomische Effektivität, höhere Preise
2. Sicherung andere Rohwaren: günstigere Preise, geringere ökonomische Effektivität

Da im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich Simulationen unter Rückgriff auf Kerosinderivate durchgeführt werden, findet sich die Diskussion zur ökonomischen Effektivität verschiedener Rohwaren im Anhang A V. b). In Kapitel 6.2.3 sowie im Anhang A X. i) findet sich zudem eine Diskussion zu den Auswirkungen der Erweiterung des Modells für Derivate auf andere Rohwaren.

Modellumsetzung: Im Simulationsmodell steht Fluggesellschaften ausschließlich Kerosin als Referenzprodukt zur Verfügung. Um sicherzustellen, dass maximale *ökonomische Effektivität* zwischen den Preisen für physisch getanktes Kerosin und den Preisen des Referenzproduktes der Sicherung besteht, muss darüber hinaus eine Kerosinnotierung (siehe: Kapitel 2.3.2.2) für die Sicherung genutzt werden, die für das jeweilige Streckenportfolio der betrachteten Fluggesellschaft von geografischer Relevanz ist.³²¹ Details zur Wahl der relevanten Kerosinnotierung werden nachfolgend in Kapitel 6.1 diskutiert.

³¹⁷ Die ökonomische Effektivität taucht in anderen Arbeiten inhaltsähnlich als Risiko auf, welches aus Abweichungen zwischen Preisentwicklungen der ungesicherten und der gesicherten Rohware entstehen kann. Gemäß Bajo, Barbi und Romagnoli (2014) kann zudem auch die Differenz zwischen Spot- und Terminpreisen ein Risiko darstellen. Da im Anwendungsfall die Terminpreise des Monats $\bar{T}$ in Monat $\bar{T}$ Spotpreise darstellen (siehe: Kapitel 2.3.1.2), wird letzteres Risiko für die vorliegende Arbeit aber nicht als relevant erachtet. Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 57 ff.

³¹⁸ Annahme: Basis- und Referenznotierung beziehen sich auf eine Preisnotierung (siehe: Kapitel 2.3.2.2).

³¹⁹ Vgl. Southwest Airlines (2019): S. 72.

³²⁰ Vgl. Adams/Gerner (2012): S. 1301.

³²¹ Daneben sollte die geografische Relevanz auch aus Gründen der ökonomischen Effektivität berücksichtigt werden. Siehe hierzu auch Darstellung und Diskussion zur Literatur im Anhang A V. b).

4.2.3 Derivateart, Derivatetyp und Derivatekombination

Erst nachdem eine Fluggesellschaft determiniert hat, zu welchen Zeitpunkten (Frequenz und Sicherungszeitpunkte) für welche Perioden (Sicherungshorizont und Sicherungsende) Sicherungen in welcher Menge (relative Sicherungsmenge) abzuschließen sind und eingeschränkt wurde, welche Referenzprodukte für die Sicherung von Relevanz sind, kann die Auseinandersetzung damit stattfinden, welche Derivate (Derivateart, -typ und -kombination) in welcher Detailausgestaltung (Strike und Prämie) im Rahmen einer einzelnen Sicherungsentscheidung zu handeln sind (siehe: Abbildung 10 und dort Markierung durch Lupe).

Die Relevanz dieser Entscheidung im Rahmen des Erstellens optimaler Sicherungsstrategien für Fluggesellschaften ist auch deshalb hervorzuheben, weil die in Kapitel 3.2 vorgestellten bestehenden Arbeiten zum Hedging von Fluggesellschaften dieser zentralen Entscheidung durchweg keine oder nur unwesentliche Bedeutung beigemessen hatten.

Im Rahmen der Systemuntersuchung wird die Wahl der zu handelnden Derivate schematisch auf zwei Teilaspekte heruntergebrochen:

1. Bestimmung der verfügbaren Derivatearten (Kapitel 4.2.3.1)
2. Wahl des Derivatetyps und der Derivatekombination (Kapitel 4.2.3.2)

4.2.3.1 Bestimmung der verfügbaren Derivatearten

Wie in Kapitel 2.2.3 festgelegt, wird in dieser Arbeit zwischen vier Derivatearten unterschieden: (1) Forwards/Futures, (2) Swaps, (3) Plain-Vanilla-Optionen und (4) asiatische Optionen. Beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie sollte zunächst entschieden werden, welche Derivatearten genutzt werden dürfen. Im Anschluss daran können Entscheidungen zur Detailausgestaltung von Sicherungen getroffen werden (siehe: Kapitel 4.2.3.2). Zur Unterscheidung zwischen Derivatearten und -typen wird auf Tabelle 56 im Anhang B I verwiesen.

Für den Derivatetyp des unbedingten Termingeschäfts zeigt der Blick auf Tabelle 59, dass sieben der 14 untersuchten Gesellschaften offenlegen, Swaps einzusetzen, während nur zwei Gesellschaften angeben, Forwards zu handeln. Der Abschluss pfadabhängiger Swaps scheint demnach der gängigen Branchenpraxis zu entsprechen.

Für den Derivatetyp des bedingten Termingeschäfts finden sich keine nutzbaren Informationen bezüglich der genutzten Derivateart (Plain-Vanilla-Optionen oder asiatische Optionen) in den Veröffentlichungen der untersuchten Gesellschaften.³²² Allerdings können Argumente aufgeführt werden, die eine plausible Annahme bezüglich der genutzten Derivateart ermöglichen: Erstens scheint es auf Basis der vorgestellten Beobachtungen zu unbedingten Termingeschäften für Fluggesellschaften in der Praxis grundsätzlich relevant zu sein, Abrechnungspreiss Risiken zu verringern, indem Sicherungen gegen Durchschnittspreise einer Periode abgerechnet werden. Zweitens verweisen verschiedene nicht-fluggesellschaftsspezifische Arbeiten darauf, dass primär der Einsatz pfadabhängiger Optionen auf dem Rohwarenmarkt von hoher praktischer Relevanz ist.³²³ Drittens sind die Prämien für asiatische Optionen gemäß gängiger Optionspreismodelle geringer als die Prämien für europäische Optionen mit identischem Strike.³²⁴ Vor dem Hintergrund dieser Argumente scheint die

³²² In SAS Scandinavian Airlines (2019) findet sich lediglich der Hinweis, dass zur Bewertung von Rohwarenoptionen das *Black-Scholes-Modell* genutzt wird. Wie in Kapitel 3.3.2 dargestellt, ist dieses Modell jedoch grundsätzlich nicht zur korrekten Bewertung von Rohwarenderivaten geeignet. Vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Ungenauigkeit scheint es nicht sinnvoll, aus der Nennung des Bewertungsmodells weitere Schlussfolgerungen bezüglich der gehandelten Derivateart zu ziehen. Vgl. SAS Scandinavian Airlines (2019): S. 110.

³²³ Vgl. Bodnar/Hayt/Marston (1998): S. 81 f.; vgl. Clark (2014): S. 167; vgl. Gafir/Gajjala (2016): S. 96.

³²⁴ Aussage gültig für Vergleich von Optionspreisen gemäß Black-Modell und Turnbull-Wakeman-Modell für identische Strikes, Sicherungszeitpunkte und Referenzprodukte sowie vor Beginn der Durchschnittspreisperiode. Vergleich von

Annahme plausibel, dass Fluggesellschaften zur Rohwarenpreissicherung mittels Optionen überwiegend pfadabhängige asiatische Optionen nutzen.

Modellumsetzung: Mit Verweis auf die zuvor genannten Argumente werden im Simulationsmodell ausschließlich *pfadabhängige Durchschnittspreisinstrumente* berücksichtigt, die gegen den arithmetischen Durchschnittspreis (siehe: (2.2)) eines Zeitraumes $\bar{T}$ abgerechnet werden. Konkret sind im Modell demnach Swaps und asiatische Optionen zum Handel zugelassen. Sicherungen im Modell erfolgen stets in einem Entscheidungszeitpunkt T_0 vor Beginn der zugehörigen Durchschnittspreisperiode $\bar{T}$ (ein Kalendermonat).

Ausgehend von dieser Modellumsetzung bezüglich der Derivateart sind weitere Einschätzungen bezüglich der *Risikobereitschaft* und *Sicherungsziele* nicht notwendig.

4.2.3.2 Wahl des Derivatetyps und der Derivatekombination

Die Wahl des Derivatetyps beschreibt zunächst, ob bedingte und/oder unbedingte Sicherungsgeschäfte gehandelt werden dürfen. Darüber hinaus ist zu eruieren, in welchen Kombinationen Instrumente gehandelt werden dürfen. Im Rahmen der Systemuntersuchung werden an dieser Stelle solche Derivatetypen und -kombinationen vorgestellt, die in der Praxis zum Einsatz kommen. Abgeleitet aus den in Tabelle 59 dargestellten Informationen sind in Tabelle 3 alle acht *Derivatekombinationen* (synonym auch: *Instrumentenkombinationen*) aufgeführt, die von den untersuchten Fluggesellschaften in der Praxis genannt werden. Diese Derivatekombinationen werden nachfolgend einzeln vorgestellt. Mit Verweis auf Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 59 wird hierbei auf die Nennung von Praxisbelegen und Quellenangaben zum Einsatz der Kombinationen verzichtet. Die Risikoprofile aller Kombinationen werden zudem in Abbildung 11 sowie Abbildung 12 visualisiert. Eine Übersicht zum konkreten Aufbau aller Kombinationen bietet zusätzlich Tabelle 60 im Anhang B I.

Tabelle 3 – Nutzbare Derivatekombinationen in OPTA

Derivatekombination	Fluggesellschaft (Beispiel)	Prämie immer nötig?
Keine Sicherung	<i>Delta Air Lines (2019)</i>	Nein
Swap ³²⁵	<i>easyJet (2019)</i>	Nein
Long Call	<i>Alaska Airlines (2019)</i>	Ja
Collar	<i>Lufthansa Group (2019)</i>	Nein
Cap	<i>jetBlue Airways (2019)</i>	Ja
Call Spread	<i>Southwest Airlines (2019)</i>	Ja
3-Way mit Call Spread ³²⁶	<i>Air France-KLM Group (2019)</i>	Nein
3-Way mit Put Spread	<i>Air France-KLM Group (2019)</i>	Nein
4-Way	<i>Air France-KLM Group (2019)</i>	Nein

Die Tabelle stellt alle von OPTA handelbaren Derivatekombinationen dar. Es wird jeweils exemplarisch eine Gesellschaft genannt, bei welcher der Einsatz der Derivatekombination laut Unternehmensinformationen erlaubt ist. Darüber hinaus ist in der Tabelle dargestellt, ob Kombinationen so gehandelt werden können, dass – unter Einhaltung aller bilanziellen Vorgaben – keine Nettoprämienzahlung erforderlich ist. Alle Quellenangaben finden sich in den Fußnoten zu Tabelle 2 sowie zu Tabelle 59. Der Aufbau der Kombinationen ist in Tabelle 60 dargestellt (siehe: Anhang B I).

Risikobereitschaft und Sicherungsziele: Die eindeutige Zuordnung jeder Derivatekombination zu einer Risikobereitschaft gemäß der in Tabelle 1 definierten Ordinalskala sowie die Zuordnung zu konkreten Sicherungszielen finden sich in Tabelle 61 im Anhang B I.

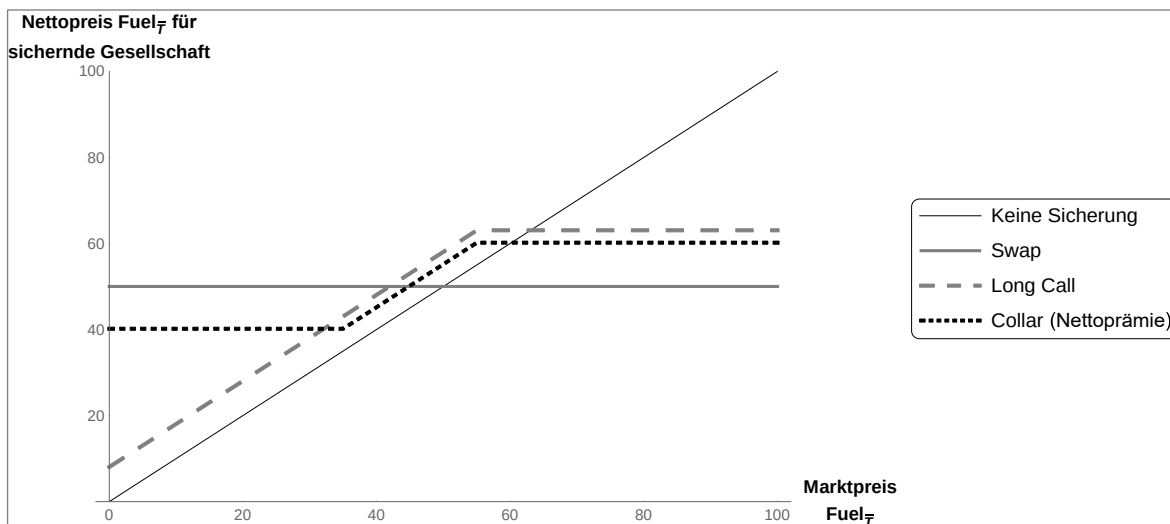
asiatischen Optionen, welche für eine Periode $\bar{T}$ gehandelt werden, mit Optionen, welche für Zeitpunkt T gehandelt werden, sofern $\bar{T}$ mit T endet. Die Aussage folgt für gewöhnliche Marktkonstellationen aus: $\sigma_{TW} < \sigma$. Siehe Darstellungen zu Optionspreisformeln in Kapitel 3.3.2 und dort (3.13).

³²⁵ Da in Kapitel 4.2.3.1 bereits die Derivateart festgelegt wurde, werden Forwards und Futures nicht genannt.

³²⁶ Die Air France-KLM Group (2019) verweist auf die Nutzung des 3-Ways, ohne auf dessen Ausgestaltung einzugehen. Daher wird in dieser Arbeit sowohl der 3-Way mit Call Spread als auch der 3-Way mit Put Spread berücksichtigt.

Modellumsetzung: Alle acht³²⁷ in Tabelle 3 dargestellten Derivatekombinationen stehen im Rahmen der Simulation als Handlungsalternativen zur Verfügung. Eine solche strikte Orientierung an in der Praxis relevanten Derivatekombinationen weicht vom Vorgehen bestehender Arbeiten ab (siehe: Kapitel 3.1.3). Exemplarisch seien die Arbeiten von Brown und Toft (2002) sowie Oum, Oren und Deng (2006) genannt, die lediglich sehr schematische Formen von Zahlungsprofilen ermitteln, welche sich nicht durch das Nutzen der hier genannten und für die Praxis relevanten Derivatekombinationen konstruieren lassen.³²⁸

Abbildung 11 – Risikoprofile: Swap, Long Call und Collar



Die Abbildung zeigt schematisch den zu zahlenden Nettorohwarenpreis inklusive Sicherungsergebnis bei Abschluss der Instrumente Swap, Long Call und Collar in Abhängigkeit vom Marktpreis $Fuel_T$ während des Erfüllungszeitraumes.³²⁹

1. Swap

Die Funktionsweise von Swaps wurde bereits in Kapitel 2.2.3.2 vorgestellt. Das in Abbildung 7 dargestellte Zahlungsprofil eines Forwards besitzt schematisch auch für Swaps Gültigkeit. Die mathematische Darstellung des Zahlungsprofils findet sich in (2.3).

Preiseffekt: Sehr guter Schutz gegen Preisanstieg. Keine Partizipation am Preisverfall.

2. Long Call

Die Funktionsweise von Long Calls wurde bereits in Kapitel 2.2.3.3 vorgestellt. In Abbildung 7 wird das Zahlungsprofil des Long Calls visualisiert und in (2.4) wird dieses mathematisch definiert. Da es sich bei Long Calls um Optionen mit Prämie handelt, kann die Lage des Strikes in Abhängigkeit vom verfügbaren Prämienbudget gewählt werden.

Preiseffekt: Guter Schutz gegen Preisanstieg möglich. Schutzniveau abhängig von Prämienbudget. Partizipation am Preisverfall, aber Verlust von Prämienzahlung.

3. Collar (mit und ohne Nettoprämie)

Ein Collar entspricht dem gleichzeitigen Abschluss eines Long Calls und eines Short Puts, wobei der Strike des Puts unter dem des Calls liegen muss (siehe: Tabelle 60 im Anhang B I). Die Differenz zwischen den Strikes wird als *Breite* des Collars bezeichnet. Collars, bei welchen keine Nettoprämie anfällt, werden *zero-cost Collars* genannt. Beim Abschluss von *zero-cost Collars* werden die Strikes der beiden Optionen so gewählt, dass die Prämien der Optionen sich ausgleichen. Beim Handel mit positiver Nettoprämie ist es demgegenüber

³²⁷ Als neunte Handlungsalternative kann im Modell zudem *Keine Sicherung* genutzt werden. Siehe: Kapitel 7.

³²⁸ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1285 ff.; vgl. Oum/Oren/Deng (2006): S. 707 ff.

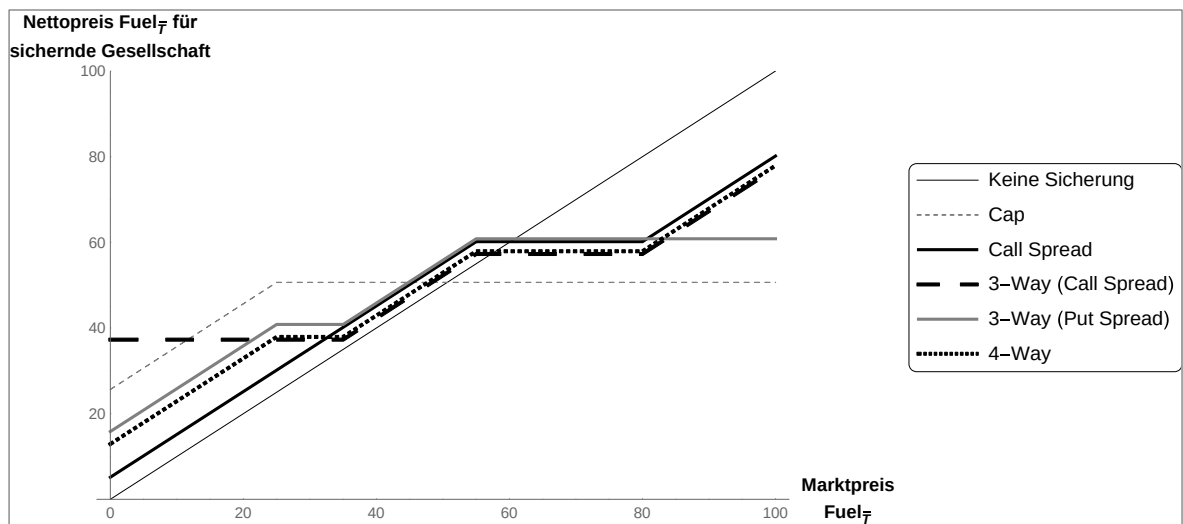
³²⁹ Berücksichtigt wurden: $K_{T_0}^{Call, Long} = 55$, $K_{T_0}^{Put, Short} = 35$, $Fuel_{T_0, T} = 50$, $T = 1$, $\sigma = 0,5$.

möglich, Instrumente mit vorteilhafteren Strikes abzuschließen.³³⁰ Abbildung 45 im Anhang B II visualisiert exemplarische Auszahlungsprofile von Collars.

Weitere Anforderungen an die Struktur von Collars werden im Anhang A V. c) diskutiert. Dort findet sich in Formel (A V.2) auch die mathematische Darstellung des Auszahlungsprofils eines Collars.

Preiseffekt: Siehe *Long Call*. Fähigkeit zur Preisverfallmitnahme durch Short Put jedoch begrenzt. Verlust von Prämie sowie Auszahlung aus Put bei starkem Preisverfall.

Abbildung 12 – Risikoprofile: Cap, Call Spread, 3-Ways und 4-Way



Die Abbildung zeigt schematisch den zu zahlenden Nettorohwarenpreis inklusive Sicherungsergebnis bei Abschluss der Instrumente Cap, Call Spread, 3-Way und 4-Way mit Nettoprämie in Abhängigkeit vom Marktpreis $Fuel_T$ während des Erfüllungszeitraumes.³³¹

4. Cap

Der Cap entspricht dem gleichzeitigen Abschluss eines Swaps und eines Long Puts, wobei der Strike des Puts unter dem des Swaps liegen muss (siehe: Tabelle 60).³³² Mit dem Handel eines Caps ist immer eine Nettoprämienauszahlung verbunden. Während der Terminpreis für den Swap exogen vorgegeben ist, kann der Strike des Long Puts beim Cap variiert werden. Ein größeres Prämienbudget kann daher dazu genutzt werden, den Strike des Puts näher an den Terminpreis zu schieben und so früher am Preisverfall zu partizipieren. Abbildung 46 im Anhang B II visualisiert das Auszahlungsprofil eines Caps.

Die mathematische Darstellung des Auszahlungsprofils eines Caps findet sich im Anhang A V. c) in Formel (A V.3).

Preiseffekt: Siehe *Swap*. Zusätzlich ist, unter Verlust von Prämie und der Differenz zwischen Swap und Strike des Puts, die Partizipation an starkem Preisverfall möglich.

5. Call Spread

Der Call Spread entspricht dem gleichzeitigen Abschluss eines Long Calls und eines Short Calls, wobei der Strike des Short Calls über dem des Long Calls liegen muss (siehe: Tabelle 60). Mit dem Handel eines Call Spreads ist immer eine Nettoprämienauszahlung verbunden. Die Differenz zwischen den Call-Strikes wird als *Breite* des Call Spreads bezeichnet. Ein größeres Prämienbudget kann beispielsweise dazu genutzt werden, Long Calls zu kaufen,

³³⁰ Theoretisch wäre situativ der Handel von Collars auch mit einer Nettoprämieinzahlung möglich. Auf Basis der bilanziellen Vorgaben (siehe: Kapitel 4.1.2.1) werden solche Geschäfte hier allerdings nicht berücksichtigt.

³³¹ Es gilt: $K_{T_0}^{Call,Short} = 80$, $K_{T_0}^{Call,Long} = 55$, $K_{T_0}^{Put,Short} = 35$, $K_{T_0}^{Put,Long} = 25$. $Fuel_{T_0,T} = 50$, $T = 1$, $\sigma = 0,5$.

³³² Caps können theoretisch in zwei Varianten ((1) Swap und Long Put oder (2) Swap und Short Call) gehandelt werden. Da gemäß den bilanziellen Vorgaben in Kapitel 4.1.2.1 keine Strategien genutzt werden dürfen, die zu einer Nettoprämienauszahlung führen, wird allerdings ausschließlich der Cap mit Long Put betrachtet.

die näher am Terminpreis liegen. Abbildung 47 im Anhang B II visualisiert das Auszahlungsprofil eines Call Spreads.

Weitere Anforderungen an die Struktur von Call Spreads werden im Anhang A V. c) diskutiert. Dort findet sich in Formel (A V.4) auch die mathematische Darstellung des Auszahlungsprofils eines Call Spreads.

Preiseffekt: Siehe *Long Call*. Zusätzlich allerdings nur begrenzter Schutz gegen starken Preisanstieg, da Preisschutz oberhalb des Strikes des Short Calls nicht mehr existiert.

6. 3-Way (mit Call Spread oder Put Spread)

3-Ways können von Fluggesellschaften in zwei Varianten gehandelt werden:

- *3-Way mit Call Spread:* Handel von Call Spread und tiefer liegender Short Put
- *3-Way mit Put Spread:* Handel von Long Call und tiefer liegender Put Spread³³³

Beide 3-Ways können sowohl ohne Nettoprämie als auch mit Nettoprämienauszahlung gehandelt werden.³³⁴ Die jeweils drei Strikes können unter Einhaltung der vorgegebenen Strike-Reihenfolge (siehe: Tabelle 60) in beiden 3-Ways frei gewählt werden. Ein größeres Prämienbudget kann beim Abschluss von 3-Ways entweder dazu genutzt werden, den gekauften Call mit einem tieferen Strike zu handeln oder den Strike des verkauften Puts möglichst weit nach unten zu schieben. Zusätzlich kann in der Variante mit Call Spread (Put Spread) der Strike des Short Calls (Long Puts) jeweils weiter nach oben geschoben werden. Abbildung 48 im Anhang B II visualisiert die Auszahlungsprofile beider 3-Ways.

Weitere Anforderungen an die Struktur von 3-Ways werden im Anhang A V. c) diskutiert. Dort finden sich in den Formeln (A V.5) und (A V.6) auch die mathematischen Darstellungen der Auszahlungsprofile beider 3-Ways.

Preiseffekt 3-Way Call Spread: Siehe *Call Spread*. Zusätzlich Fähigkeit zur Preisverfallmitnahme durch Short Put jedoch begrenzt. Bei starkem Preisverfall Verlust von Prämie sowie Auszahlung aus Short Put.

Preiseffekt 3-Way mit Put Spread: Siehe *Long Call*. Zusätzlich durch Short Put nur begrenzte Partizipation an moderatem Preisverfall. Durch Long Put allerdings wieder Partizipation an starkem Preisverfall. Bei starkem Preisverfall Verlust von Prämie sowie Verlust gemäß der Breite des Put Spreads.

7. 4-Way

Der 4-Way entspricht dem gleichzeitigen Abschluss eines Call Spreads und eines Put Spreads, wobei der Strike des Long Calls über dem des Short Puts liegen muss (siehe: Tabelle 60). 4-Ways können sowohl ohne Nettoprämie als auch mit Nettoprämienauszahlung gehandelt werden.³³⁵ Eine höhere Prämie kann beim Abschluss von 4-Ways dazu genutzt werden, Long Calls oder Short Puts mit einem tieferen Strike zu handeln. Alternativ können Long Puts oder Short Calls mit einem höheren Strike gehandelt werden. Abbildung 49 im Anhang B II visualisiert das Auszahlungsprofil eines 4-Ways.

Weitere Anforderungen an die Struktur von 4-Ways werden im Anhang A V. c) diskutiert. Dort findet sich in Formel (A V.7) auch die mathematische Darstellung des Auszahlungsprofils eines 4-Ways.

³³³ Beim Put Spread werden gleichzeitig ein Long Put und ein Short Put abgeschlossen. Die Differenz zwischen den beiden Strikes wird als *Breite* des Put Spreads bezeichnet. Da der Put Spread kein Instrument mit risikoverringender Wirkung enthält und somit keinen Schutz vor steigenden Preisen bietet, kann er gemäß den bilanziellen Rahmenbedingungen nicht alleine als einzelne Instrumentenkombination gehandelt werden (siehe: Kapitel 4.1.2.1).

³³⁴ Theoretisch wäre situativ der Handel beider 3-Ways auch mit einer Nettoprämienzahlung möglich. Auf Basis der bilanziellen Vorgaben (siehe: Kapitel 4.1.2.1) werden solche Geschäfte hier allerdings nicht berücksichtigt.

³³⁵ Theoretisch wäre situativ der Handel des 4-Ways auch mit einer Nettoprämienzahlung möglich. Auf Basis der bilanziellen Vorgaben (siehe: Kapitel 4.1.2.1) werden solche Geschäfte hier allerdings nicht berücksichtigt.

Preiseffekt: Siehe *Call Spread*. Siehe außerdem Anmerkungen zum Put Spread bei Beschreibung des Preiseffektes für *3-Way mit Put Spread*.

5 Modellformulierung I: Das Optimierungsmodell

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das komplexe, in der Realität bestehende System der Treibstoffpreissicherung vorgestellt und in handhabbare Teilaspekte zerlegt wurde, widmen sich Kapitel 5 und 6 dem Übertrag des bestehenden Systems in ein Modell. Von Balci (1998) wird dieses initiale Aufstellen des Modells als Modelldesign-Prozess bezeichnet. Der übergeordnete Prozess umfasst die beiden Schritte Modellformulierung und Modellvorstellung. Kapitel 5 befasst sich primär mit der vorgelagerten Modellformulierung. Hierfür werden zunächst Ziele des realen Systems so dargestellt, dass ein konzeptionelles (Optimierungs-) Modell zur Verfolgung dieser Ziele aufgestellt werden kann.³³⁶ Um dieses konzeptionelle Modell strukturiert zu erarbeiten, orientiert sich der Aufbau der nachfolgenden Kapitel am Schema zum Aufstellen eines Optimierungsmodells:³³⁷

1. Aufstellen der Zielfunktion (Kapitel 5.1 und 5.2)
2. Bestimmen der Entscheidungsvariable (Kapitel 5.3)
3. Festlegen von Nebenbedingungen (Kapitel 6.3)

Da zur Modellformulierung auf einen Ansatz zurückgegriffen wird, der auf der von Brown und Toft (2002) initial vorgeschlagenen Methodik aufbaut, wird in Kapitel 5.2 zudem die Form der relevanten *Deadweight-Costs-Funktion* motiviert. In Kapitel 5.3 findet sich abschließend die für OPTA relevante konzeptionelle Grundform des Optimierungsmodells. Die Analyse der Inputdaten erfolgt in dieser Arbeit erst in Kapitel 6. Da zur Formulierung der Nebenbedingungen Informationen bezüglich der genutzten Daten notwendig sind, werden Nebenbedingungen erst in Kapitel 6.3 eingeführt. Eine solche Nicht-Sequenzialität beim Modellieren realer Systeme wird bereits in Balci (1998) diskutiert.³³⁸

5.1 Optimierungsverfahren und Zielfunktion

Bevor das für OPTA relevante konzeptionelle Optimierungsmodell mathematisch dargestellt werden kann, wird in diesem Kapitel zunächst das geeignete Optimierungsverfahren ausgewählt und vorgestellt. Kapitel 5.1.1 beschreibt zunächst qualitativ, wie die relevante Zielfunktion inhaltlich motiviert werden kann. Anschließend wird in Kapitel 5.1.2 mit dem Free-Cash-Flow der aus der Praxis abgeleitete Kern dieser Zielfunktion im Detail vorgestellt, bevor es in Kapitel 5.1.3 möglich ist, die Zielfunktion in allgemeiner Form darzustellen.

5.1.1 Qualitative Erläuterungen zu Optimierungsverfahren und Zielfunktion

In Übereinstimmung mit den vorgestellten theoretischen Arbeiten zum Bestimmen optimaler Sicherungen (siehe: Kapitel 3.1.3) sowie unter Berücksichtigung der im Rahmen der Systemuntersuchung erlangten Informationen aus der Praxis (siehe: Kapitel 4) wird in der vorliegenden Arbeit ein zweistufiges stochastisches Optimierungsmodell genutzt. Der Einsatz eines solchen Modells ist dann geboten, wenn zukünftige Ausprägungen einzelner oder mehrerer Inputparameter des Modells im Entscheidungszeitpunkt stochastisch – also unsicher – sind.³³⁹ In einem solchen Fall werden über das Optimierungsmodell, auf Basis der im

³³⁶ Vgl. Balci (1998): S. 337 ff. Balci (1998) erfasst die Schritte im Schema als „*model formulation*“ und „*model representation*“. „*Model design*“ als übergeordneter Prozess wird nur im Fließtext genannt.

³³⁷ Für eine strukturierte Einführung zu Optimierungsmodellen siehe: Hillier/Liebermann (1997): S. 14 ff.

³³⁸ Vgl. Balci (1998): S. 336 f., 340 ff.

³³⁹ Vgl. King/Wallace (2012): S. 6 f.

Entscheidungszeitpunkt vorliegenden Informationen, ex-ante optimale Erwartungswerte bestimmt. Diese müssen nicht zwangsläufig auch ex-post optimale Lösungen darstellen. Weitere Hintergründe zur Wahl und zur Eignung dieser Form der Modellierung werden im Anhang A VI. a) diskutiert. Relevante mathematische Grundlagen werden im Anhang A VI. b) vorgestellt. Für eine allgemeine Diskussion zu den Vorteilen der Nutzung von Erwartungswerten als Zielkriterium unternehmerischer Entscheidungen wird auf King und Wallace (2012) verwiesen.³⁴⁰

Nachdem das für den Anwendungsfall relevante Optimierungsverfahren gewählt wurde, muss im nächsten Schritt die Zielfunktion aufgestellt werden. Auf Basis der praktisch identifizierten Risiken, welche mittels Hedging adressiert werden sollen (siehe: Kapitel 4.1.1.1), scheinen verschiedene Zielfunktionen für OPTA möglich. In diesem Kontext beschreiben Bajo, Barbi und Romagnoli (2014), dass eine zentrale Herausforderung beim Bestimmen optimaler Sicherungen bereits darin besteht, zu definieren, welche wirtschaftliche Kennziffer durch Sicherungen optimiert werden soll.³⁴¹ Diese offenbar auch für die Praxis existente Schwierigkeit zeigt sich auch in der Heterogenität der von Fluggesellschaften genannten Sicherungsziele (siehe: Kapitel 4.1.1.2). Als Alternative zum nachfolgend gewählten Vorgehen werden daher im Anhang A VI. c) zusätzlich zwei für den Anwendungsfall naheliegende Zielfunktionen vorgestellt. Es wird dort allerdings ebenfalls gezeigt, weshalb der Rückgriff auf diese alternativen Zielfunktionen im Anwendungsfall nicht zur Motivation von Hedging dienen kann.

Gemäß den in Kapitel 3.1.1.2 vorgestellten Arbeiten, ist der Einsatz von Hedging theoretisch nur dann rational zu begründen, wenn durch Hedging Unternehmenswert geschaffen wird. Demnach muss die Zielfunktion das übergeordnete Ziel der Unternehmenswertmaximierung prioritär berücksichtigen. Dass eine solche Berücksichtigung nicht trivial ist, erkennt beispielsweise bereits Stulz (2003). Er legt dar, dass im Kontext des Risikomanagements eine Schwierigkeit darin besteht, die Zielfunktion so zu formulieren, dass der Einfluss gewählter Risikomanagementstrategien auf das Ziel der Unternehmenswertmaximierung adäquat quantifiziert werden kann.³⁴²

Um das Grundgerüst einer geeigneten Zielfunktion herzuleiten und Vorteile adäquat zu quantifizieren, wird daher auf die zuvor im Rahmen des Literaturüberblicks aufbereitete und bereits bestehende theoretische Basis zurückgegriffen. Wie in Kapitel 3.1.1.2 ausführlich dargelegt, führt der Einsatz von Hedging im Anwendungsfall dann zur Erhöhung des Unternehmenswertes, wenn dieses dazu dient, erwartete DWC zu vermeiden. Brown und Toft (2002) stellten als erste Autoren ein Optimierungsmodell auf, welches DWC im Kontext von Hedging quantitativ erfasst (siehe: Kapitel 3.1.3.1). Ihre Form der Modellierung ermöglicht es, objektiv quantifizierte erwartete DWC des Unternehmens zu berücksichtigen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit durch den Einsatz von Hedging verringert werden kann. Durch den Rückgriff auf die von Brown und Toft (2002) genutzte theoretische Basis wird daher ein direkter Zusammenhang zur Kapitalmarkttheorie sowie zur Theorie der Unternehmensbewertung hergestellt. Somit erlaubt es der konzeptionelle Rückgriff auf den von Brown und Toft (2002) eingeführten Modellrahmen, eine Zielfunktion aufzustellen, welche sich geschickt in das finanztheoretische Konzept zur Fundierung von Hedging in Nicht-Finanzunternehmen einfügt. Dieses saubere Einbetten des Modells in finanztheoretische Grundlagenmodelle steht im Kontrast zu den in Kapitel 3.1.3.1 vorgestellten Optimierungsmodellen

³⁴⁰ Vgl. King/Wallace (2012): S. 63 ff.

³⁴¹ Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 57.

³⁴² Vgl. Stulz (2003): S. 15.

unter Einsatz des Erwartungsnutzens, in welchen die Form der Zielfunktion ausschließlich aus subjektiven Präferenzen einzelner Agenten resultiert.

Bevor in Kapitel 5.1.3 die für diese Arbeit relevante Zielfunktion formal aufgestellt werden kann, müssen in Kapitel 5.1.2 allerdings zunächst einzelne Inputparameter zur Definition der Zielfunktion vorgestellt werden.

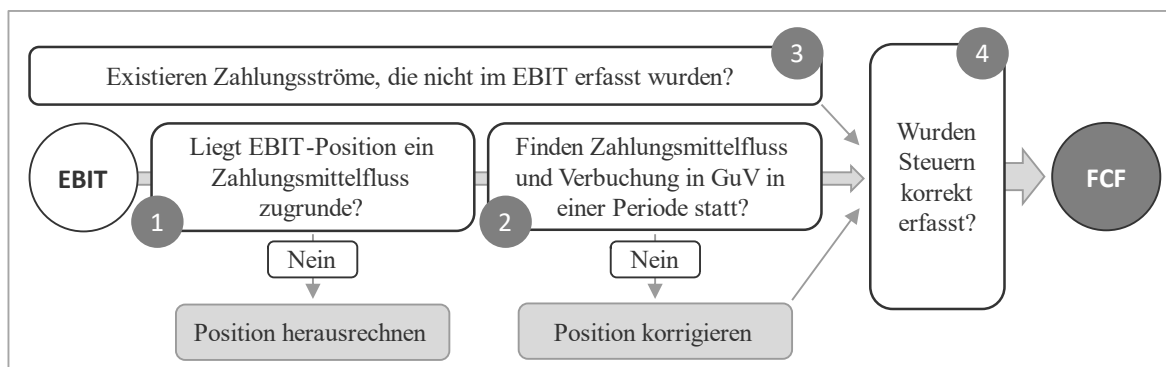
5.1.2 Basis der Zielfunktion: Der Free-Cash-Flow

In Kapitel 3.1.1 wurden in (3.1) (Equity-Value-Ansatz) und (3.2) (Entity-Value-Ansatz) bereits gängige DCF-Unternehmensbewertungsmodelle vorgestellt. Beide Modelle eint, dass sie es ermöglichen, den Wert eines Unternehmens unter Kenntnis über erwartete zukünftige Cash-Flows zu ermitteln. Mit Verweis auf diese Standardmodelle kann es als starke Vereinfachung angesehen werden, dass Brown und Toft (2002) zwar ebenfalls verbal erläutern, eine Modifizierung zukünftiger Cash-Flows mittels Hedging anzustreben, beim Aufstellen der Zielfunktion allerdings auf eine Funktion zurückgreifen, die als operativer Gewinn gemäß GuV interpretiert werden muss.³⁴³ Demnach gehen Brown und Toft (2002) stark vereinfachend implizit davon aus, dass Zahlungsmittelflüsse stets periodengerecht zur Verbuchung in der GuV stattfinden. Andernfalls wäre die Nutzung der gewählten Zielfunktion – unter Bezugnahme auf DCF-Modelle – nicht möglich.

Um eine solche starke Vereinfachung zu vermeiden und eine saubere inhaltliche Basis für die in dieser Arbeit relevante Zielfunktion zu schaffen, wird für die Anwendung in dieser Arbeit zunächst eine Funktion zur Beschreibung des Free-Cash-Flows (im Folgenden: FCF) hergeleitet. Der FCF entspricht konkret derjenigen Größe, die im Zähler der allgemein dargestellten Formel (3.2) zu finden sein muss.³⁴⁴ Er stellt denjenigen Cash-Flow dar, welcher am Ende einer Periode zur Auszahlung an Eigen- sowie Fremdkapitalgeber – in Form von: Dividende, Tilgung oder Zins – zur Verfügung steht (siehe: Kapitel 3.1.1.1).

Zur Berechnung des FCF wird die *indirekte Ermittlungsmethode*³⁴⁵ genutzt. Daher wird zunächst das EBIT³⁴⁶ gemäß GuV ermittelt. Aus diesem lässt sich der in einer Periode erzielte FCF ableiten. Schematisch müssen dabei die vier Sachverhalte untersucht werden, die in Abbildung 13 mit den Ziffern eins bis vier markiert sind.

Abbildung 13 – OPTA: Schema zur Überleitung von EBIT auf den FCF



Die Abbildung zeigt schematisch die vier Schritte, die zur Herleitung des Free-Cash-Flows ausgehend vom EBIT über eine indirekte Ermittlungsmethode in dieser Arbeit berücksichtigt werden.

³⁴³ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1288 ff.

³⁴⁴ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 515. Siehe auch: Kapitel 3.1.1.

³⁴⁵ Praxisbeispiele zur indirekten Ermittlung des Cash-Flows finden sich in Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 506 ff. Alternativ kann auch die *direkte Ermittlungsmethode* genutzt werden. Vgl. Wöhe/Döring/Brösel (2016): S. 641 ff.

³⁴⁶ Engl. *Earnings before Interest and Taxes*. Entspricht dem Unternehmensgewinn vor Zinsen und Steuern.

Unter Berücksichtigung dieser Schritte kann, angelehnt an Copeland, Weston und Shastri (2005), der FCF für eine Periode $\bar{T}$ leicht vereinfacht bestimmt werden über:³⁴⁷

Indirekte Basisform: Free-Cash-Flow (ohne Steuern)

$$FCF_{i,\bar{T}} = EBIT_{i,\bar{T}} + Abschreibungen_{i,\bar{T}} - Invest_{i,\bar{T}} + \Delta WorkingCapital_{i,\bar{T}} \quad (5.1)$$

Wie die in (5.1) dargestellten Variablen definiert sind und wie (5.1) für den Anwendungsfall herzuleiten ist, wird in diesem Kapitel diskutiert. Hierzu wird zunächst das EBIT gemäß GuV definiert (Kapitel 5.1.2.1). Die folgenden Kapitel befassen sich mit den Details einzelner Aufwands- (Kapitel 5.1.2.2 bis 5.1.2.4) sowie Ertragspositionen (Kapitel 5.1.2.5 bis 5.1.2.7) und beleuchten deren jeweiligen Übertrag in die FCF-Rechnung. Abschließend wird der FCF in der für das Optimierungsmodell nutzbaren Form vorgestellt (Kapitel 5.1.2.8). Während die Struktur der folgenden Darstellungen sich bereits stark an der praktischen Datenverfügbarkeit orientiert, wird erst nachgelagert in Kapitel 6.1 erläutert, welche realen Daten zur Befüllung der Positionen in der Simulationsstudie in Kapitel 7 genutzt werden.³⁴⁸

5.1.2.1 Grundlage: EBIT als Gewinn nach Gewinn- und Verlustrechnung

Um den FCF über die indirekte Ermittlungsmethode zu bestimmen, wird mit dem EBIT eine Ausgangsgröße gewählt, die aus der GuV einer Gesellschaft resultiert.³⁴⁹ Anforderungen an die von einer Gesellschaft aufzustellende GuV ergeben sich aus den für die Gesellschaft relevanten Bilanzierungsvorschriften. Für diese Arbeit wird ein zweckdienlicher GuV-Aufbau genutzt, der sich an den Anforderungen gemäß IFRS und US-GAAP orientiert.³⁵⁰ Als Aufsatzpunkt wird die Struktur einer GuV genutzt, die dem Reporting von Fluggesellschaften in der Praxis entspricht. Diese Basisstruktur wird so vereinfacht, dass die genutzte GuV sowohl gemäß Theorie für die Nutzung im Modell geeignet ist als auch ausschließlich aus Positionen besteht, für welche historische Unternehmensdaten zur Verfügung stehen (siehe: Kapitel 6.1).³⁵¹ Die schematische Herleitung der relevanten GuV-Struktur ist in Tabelle 62 im Anhang B I dargestellt. Da die GuV für einen Zeitraum $\bar{T}$ erstellt wird, müssen Komponenten der GuV ebenfalls für einen Zeitraum ($\bar{T}$) erfasst werden.³⁵² Auf dieser Basis berechnet sich das EBIT für Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ und Fluggesellschaft i über:

EBIT (absolute Darstellung)

$$EBIT_{i,\bar{T}} = Ticketerlös_{i,\bar{T}} + ErlösRestAbs_{i,\bar{T}} - FuelCost_{i,\bar{T}} - HedgeResultAbs_{i,\bar{T}} - AufwandRestAbs_{i,\bar{T}} \quad (5.2)$$

Die Variablen in (5.2) werden nachfolgend einzeln vorgestellt. Hierbei wird auch festgelegt, ob Variablen als deterministische oder stochastische Größe betrachtet werden.

5.1.2.2 Deterministische Treibstoffmengen

Wie in Tabelle 62 (siehe: Anhang B I) dargestellt, setzt sich der Treibstoffaufwand einer Fluggesellschaft i im berücksichtigten GuV-Schema aus zwei Komponenten zusammen: (1)

³⁴⁷ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 510, 515. An dieser Stelle vereinfachte Darstellung ohne Berücksichtigung von Steuern. Die Erfassung von Steuern bei der Ermittlung des FCF im Modell wird in Kapitel 5.1.2.8 diskutiert. Die Darstellung inklusive Steuern findet sich in Formel (A VI.31) im Anhang A VI. h).

³⁴⁸ Es sei abermals erwähnt, dass im Rahmen dieser Arbeit für den risikolosen Zins gilt: $r = 0$. Unabhängig davon können gesellschaftsindividuelle Fremdkapitalzinsen $r_{i,t} > 0$ vorliegen. Siehe hierzu auch: Fußnote 209.

³⁴⁹ Vorgehen angelehnt an: Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 498 ff.

³⁵⁰ Vgl. IAS 1.82 bis 1.105 in IFRS (2019); vgl. SEC Regulation S-X Rule 5-03 (2018).

³⁵¹ Unternehmensergebnisse, die nicht aus der operativen Tätigkeit einer Fluggesellschaft resultieren (Beispiel: Gewinne aus Finanzbeteiligungen), werden im Rahmen der Modellierung nicht berücksichtigt.

³⁵² Alle Annahmen und Definitionen zu Zeiträumen und -punkten aus Kapitel 2.2.3.2 besitzen Gültigkeit.

dem Aufwand für den physischen Treibstoffverbrauch ($FuelCost_{i,\bar{T}}$) und (2) dem Ergebnis der Treibstoffpreissicherung ($HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}$). Beide Komponenten werden sowohl von Treibstoffpreisen ($Fuel_{\bar{T}}$) als auch von konsumierten Treibstoffmengen ($Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ ³⁵³) innerhalb der Periode $\bar{T}$ beeinflusst.

Während andere Autoren Mengen vielfach als stochastische Größen betrachten (siehe: Kapitel 3.1.3), wird die Treibstoffmenge mit Blick auf den Anwendungsfall in dieser Arbeit als deterministische Größe angesehen. Da Fluggesellschaften im Rahmen der Treibstoffpreissicherung lediglich die Summe des Treibstoffverbrauchs des gesamten Streckennetzes berücksichtigen (siehe: Kapitel 4.2.1), wird es als ausreichend angesehen, wenn die Summe des Treibstoffbedarfs einer zukünftigen Periode vorab bekannt ist. Diese Annahme wird im Anwendungsfall für kurz- und mittelfristige Planungszeiträume als realitätskonform angesehen. Als argumentative Fundierung dieser Annahme wird auf die in Kapitel 4.1.2.4 vorgestellten Arbeiten verwiesen, welche empirisch zeigen, dass Fluggesellschaften nicht dazu in der Lage sind, kurzfristig ihre Angebotsmenge flexibel anzupassen. Darüber hinaus wird auf Kapitel 2.1.3 verwiesen. Dort wurde diskutiert, dass Entscheidungen zur Netz-, Flotten- und Flugplanung bereits frühzeitig vor einem Flugereignis getroffen werden müssen.

Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass auf Basis einer validen Netz-, Flotten- und Flugplanung hinreichend genaue Abschätzungen zukünftiger Gesamtkerosinverbrauchsmengen getroffen werden können.³⁵⁴ In Kapitel 4.2.1.1 wurde zudem festgelegt, dass im Modell ein maximaler Sicherungshorizont von bis zu 35 Monaten betrachtet wird. Aus Konsistenzgründen wird daher fortan unterstellt, dass $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ für prospektive Zeiträume von bis zu drei Jahren so genau geplant werden kann, dass die Variable im Modell als deterministische Größe zu betrachten ist.³⁵⁵

5.1.2.3 Treibstoffpreis, Treibstoffaufwand und Sicherungsergebnis

Sofern keine Unsicherheit bezüglich der zu konsumierenden Treibstoffmenge besteht, kann Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Aufwands für den physischen Treibstoffverbrauch lediglich aus unsicheren Marktpreisen für Treibstoff resultieren.

Der durchschnittliche Treibstoffpreis der Periode $\bar{T}$ in US-Dollar pro Barrel wird daher durch die Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ beschrieben. Bei dieser handelt es sich um eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$, deren Realisierung im Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ im vorgelagerten Sicherheitszeitpunkt T_0 noch unbekannt ist. Entsprechend der Darstellung in den Kapiteln 2 und 3.3 wird angenommen, dass der im Zeitpunkt $T_0 (< \tau)$ für Zeitraum $\bar{T}$ erwartete Rohwarenspretpreis ($E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}})$) stets dem Terminpreis ($Fuel_{T_0,\bar{T}}$) für diesen Zeitraum entspricht. Wie zuvor diskutiert (siehe: Kapitel 2.2.3.2), sind zur ex-post Bestimmung des in Periode $\bar{T}$ realisierten Durchschnittspreises $Fuel_{\bar{T}}$ einzelne diskrete Realisierungen von $Fuel_t$ (für: $\tau < t \leq T$) innerhalb der Periode $\bar{T}$ von Relevanz (siehe: Abbildung 6). Zur ex-post Bestimmung von $Fuel_{\bar{T}}$ wird (2.2) genutzt. An dieser Stelle wird zunächst lediglich angenommen, dass sowohl die Verteilungsfunktion als auch die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion zur Beschreibung der Zufallsvariable existieren. Die Auseinandersetzung mit der Verteilungsfunktion findet sich separat in Kapitel 6.2.1.

³⁵³ Die Treibstoffmenge wird stets in der Einheit Barrel dargestellt. Umrechnungen in andere Einheiten siehe: Tabelle 54.

³⁵⁴ In der Praxis können Abweichungen von Kerosinplanmengen beispielsweise aus mittelfristigen Flugplanänderungen oder kurzfristigen Streckenstreichungen resultieren. Es wird unterstellt, dass der Einfluss solcher Effekte auf die Gesamtkerosinverbrauchsmenge großer Fluggesellschaften vernachlässigbar gering ist. Darüber hinaus wird unterstellt, dass solche Effekte in der Praxis bereits durch Anpassungen in der Treibstoffbedarfsplanung antizipiert werden können.

³⁵⁵ Es gilt die Annahme eines stabilen gesamtwirtschaftlichen Umfelds. Extremereignisse können kurzfristig Anpassungen der Treibstoffplanmenge notwendig machen. Solche Fälle werden über die gewählte Modellierung nicht abgedeckt.

Es wird zudem angenommen, dass auch der Aufwand für den physischen Treibstoffverbrauch ($FuelCost_{i,\bar{T}}$) jeweils durch Abrechnung gegen den innerhalb des Zeitraums $\bar{T}$ realisierten durchschnittlichen Treibstoffpreis ($Fuel_{\bar{T}}$) erfolgt.³⁵⁶ Um nachfolgend eine einfache Vergleichbarkeit zwischen Untersuchungen zu ermöglichen, werden alle Parameter auf die Einheit *pro Barrel Kerosin* normiert. Da Rohwarenpreise in US-Dollar je Barrel quotiert werden, folgt somit, dass der auf ein Barrel normierte Treibstoffaufwand aus physischem Verbrauch dem Marktpreis $Fuel_{\bar{T}}$ entspricht.³⁵⁷ Der normierte Erwartungswert für den physischen Treibstoffaufwand für Periode $\bar{T}$ im Zeitpunkt T_0 entspricht somit $E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}})$.

Bezüglich der Treibstoffpreissicherung gilt, dass im Modell jegliche Derivatekombinationen gemäß der Auswahl in Tabelle 3 nutzbar sind. Die Berechnung der von $Fuel_{\bar{T}}$ abhängigen ex-post Sicherungsergebnisse dieser Kombinationen ist im zugehörigen Kapitel 4.2.3.2 dargestellt. Prämien aller Derivate werden in T_0 gemäß dem Turnbull-Wakeman-Modell bestimmt (siehe: Kapitel 3.3.2.2), aber erst im zeitlich nachfolgenden Erfüllungszeitpunkt T gezahlt (*deferred* Zahlung). Der Vektor $\mathbf{k}_w$ erfasst jeweils die im Modell ex-ante wählbaren Strikes (Beispiel Collar: $K_{w,T_0,T}^{Call,Long}$ und $K_{w,T_0,T}^{Put,Short}$) aller Instrumente einer einzelnen Derivatekombination w (siehe: Kapitel 4.2.3.2).³⁵⁸ In der normierten Modellbetrachtung wird eine Sicherung w stets für ein vollständiges und einzeln identifizierbares Barrel Kerosin abgeschlossen.³⁵⁹ Das auf ein Barrel normierte Treibstoffpreissicherungsergebnis einer Derivatekombination w hängt sowohl von den gewählten Strikes ($\mathbf{k}_w$) als auch vom Marktpreis für Treibstoff ($Fuel_{\bar{T}}$) ab und wird als $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ ³⁶⁰ dargestellt. Folglich hängen im Standardmodell sowohl $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ als auch der Treibstoffaufwand für physischen Verbrauch vom identischen Treibstoffpreis ($Fuel_{\bar{T}}$) ab.³⁶¹

Das absolute Sicherungsergebnis einer Periode $\bar{T}$ ($HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$) unter alleiniger Berücksichtigung der Derivatekombination w , resultiert aus der Multiplikation von $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$, SG und $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$.³⁶² Eine ergänzende Darstellung zu den Zusammenhängen der Variablen und zur Berechnungen von absoluten Sicherungsergebnissen findet sich im Anhang A VI. d).

Der bei Abschluss einer Derivatekombination w im Zeitpunkt T_0 für Zeitraum $\bar{T}$ relevante und auf ein Barrel normierte Erwartungswert des Treibstoffpreissicherungsergebnisses von w für Periode $\bar{T}$ wird als $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w))$ dargestellt.

Für den Übertrag in die Kapitalflussrechnung wird angenommen, dass dem Treibstoffaufwand für physischen Verbrauch sowie dem Sicherungsergebnis jeweils ein periodengleicher

³⁵⁶ Für den absoluten Treibstoffaufwand vor Sicherung gilt: $FuelCost_{i,\bar{T}} = Treibstoffmenge_{i,\bar{T}} * Fuel_{\bar{T}}$.

³⁵⁷ Zusätzliche Annahme: Im Modell werden das IPD (siehe: Kapitel 2.3.2.4) sowie mögliche (fixe) Kerosinsteuern nicht als Teil von $FuelCost_{i,\bar{T}}$ berücksichtigt. Da es sich bei beiden Größen um marktpreisunabhängige Komponenten handelt, werden diese stattdessen als Teil von $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ (siehe: Kapitel 5.1.2.4) erfasst. Kerosinsteuern (beziehungsweise vergleichbare Gebühren) existieren in den USA in zahlreichen Bundesstaaten. Eine Übersicht zu Regularien je US-Bundesstaat findet sich in: Europäische Kommission (2019): S. 30 f.

³⁵⁸ Der Vektor $\mathbf{k}_w$ erfasst somit im komplexesten Fall des Handels von 4-Ways maximal bis zu vier Strike-Ausprägungen (siehe: Kapitel 4.2.3.2).

³⁵⁹ Zur Modellerstellung wird angenommen, dass Sicherungen, die vor oder nach dem für Derivatekombination w maßgeblichen Entscheidungszeitpunkt T_0 ebenfalls für Periode $\bar{T}$ gehandelt werden, keinen Einfluss auf das durch Sicherung w dediziert adressierte Barrel Kerosin ausüben. $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ wird daher ausschließlich von Sicherung w beeinflusst und ist unabhängig von jeglichen anderen Sicherungen.

³⁶⁰ Es sei angemerkt, dass aus Gründen der Lesbarkeit fortan in Klammern nur solche Variablen dargestellt sind, die stochastisch sind (hier: $Fuel_{\bar{T}}$) oder Entscheidungsvariablen darstellen (hier: $\mathbf{k}$, siehe: Kapitel 5.3).

³⁶¹ Im Anhang A X. i) ist dargestellt, welche Auswirkungen auf das Modell sich ergeben, wenn Sicherungen nicht auf diejenige Rohware abgeschlossen werden, welche für den physischen Verbrauch relevant ist.

³⁶² Für die absolute Darstellung wird an dieser Stelle somit simplifizierend unterstellt, dass pro Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ lediglich eine Sicherung w gehandelt wird. Eine erweiterte Darstellung findet sich im Anhang A VI. d).

Zahlungsmittelfluss zugrunde liegt.³⁶³ Demnach herrscht in Bezug auf beide Größen zeitliche Kongruenz zwischen der Erfassung in der GuV und in der Kapitalflussrechnung.

5.1.2.4 Sonstige Aufwendungen als deterministische Größe

Gemäß der GuV-Darstellung in Tabelle 62 werden unter $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ vier übergeordnete Aufwandspositionen zusammengefasst: (1) Abschreibungen, (2) Personalaufwand, (3) sonstige betriebliche Aufwendungen und (4) restlicher Materialaufwand (exklusive Treibstoffaufwand). Daneben werden unter $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ im Modell das IPD sowie – falls relevant – Kerosinsteuern erfasst (siehe: Kapitel 2.3.2.4).

Mit Verweis auf die zugehörige Diskussion im Anhang A VI. e) wird für Personalaufwand, sonstige betriebliche Aufwendungen, restlicher Materialaufwand, IPD und Kerosinsteuern unterstellt, dass diese ex-ante als deterministisch anzusehen sind und dass diesen jeweils ein periodengleicher Zahlungsmittelfluss zugrunde liegt.

Demgegenüber wird für Abschreibungen ($Abschreibungen_{i,\bar{T}}$) zwar ebenfalls angenommen, dass diese ex-ante als deterministisch anzusehen sind, allerdings liegt diesen per Definition kein Zahlungsmittelfluss zugrunde. Im Rahmen der Modellformulierung wird indes vereinfachend unterstellt, dass Abschreibungen in einer Periode $\bar{T}$ stets Investitionen ($Invest_{i,\bar{T}}$) in vergleichbarer Höhe gegenüberstehen. Eine ausführliche Diskussion zur Begründung dieser Annahme findet sich ebenfalls im Anhang A VI. e). In der Formel zur Beschreibung des FCF lassen sich unter diesen Voraussetzungen die beiden gegenläufigen Positionen $Abschreibungen_{i,\bar{T}}$ und $Invest_{i,\bar{T}}$ eliminieren, sodass Abschreibungen nur noch als Teil von $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ in $EBIT_{i,\bar{T}}$ enthalten sind.³⁶⁴ $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ wird durch $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ dividiert und so ebenfalls auf die Einheit US-Dollar pro Barrel skaliert. Die skalierte Größe wird als $AufwandRest_{i,\bar{T}}$ im Modell berücksichtigt.

5.1.2.5 Sonstige Erlöse als deterministische Größe

Gemäß Tabelle 62 werden unter $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ alle Erlöse aus der operativen Tätigkeit zusammengefasst, die nicht aus dem Verkauf von Tickets resultieren. Die Position ist aufgeteilt in: (1) sonstige operative Erlöse und (2) sonstige passagierbezogene Erlöse.

Mit Verweis auf die zugehörige Diskussion im Anhang A VI. f) wird für $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ ebenfalls unterstellt, dass es sich um eine deterministische Variable handelt, in welcher jeder der enthaltenen GuV-Positionen ein periodengerechter Zahlungsmittelzufluss in gleicher Höhe zugrunde liegt. $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ wird ebenfalls auf die Einheit US-Dollar pro Barrel skaliert. Die skalierte Variable wird als $ErlösRest_{i,\bar{T}}$ definiert.

5.1.2.6 Erlöse und Einzahlungen aus Ticketverkäufen

Im Rahmen der Modellformulierung ist eine Trennung zwischen Erlösen (gemäß GuV – $Ticket Erlös_{i,\bar{T}}$) und Einzahlungen (gemäß Cash-Flow – $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$) aus Ticketverkäufen von entscheidender Bedeutung.³⁶⁵ Während davon auszugehen ist, dass die Summe der Einzahlungen und Erlöse, welche für einen Flug anfallen, ex-post identisch sein muss, resultiert die Notwendigkeit der Unterscheidung daraus, dass Tickets für Flüge in der Praxis zumeist zeitlich vor einem Flug gekauft und bezahlt werden, aber erst bei Leistungserbringung als Erlös in der GuV der verkaufenden Fluggesellschaft verbucht werden

³⁶³ Es wurde zuvor im Fließtext bestimmt, dass nur Geschäfte mit *deferred Prämie* gehandelt werden.

³⁶⁴ Als Zwischenschritt ergibt sich die Darstellung des FCF nach (A VI.28) (siehe: Anhang A VI. e)).

³⁶⁵ Es werden ausschließlich Einzahlungen aus Ticketverkäufen betrachtet. Sondereffekte, die zu Auszahlungen aus Tickets führen können (Beispiel: *Refunds*), werden weder berücksichtigt noch diskutiert.

dürfen.³⁶⁶ Demnach ist es üblich, dass die Zahlung für einen Ticketverkauf, welcher in $\bar{T}$ als Cash-Flow erfasst wird (*Ticketeinzahlung_{i,̄T}*), erst in einer späteren Periode $\bar{S}$ (mit: $\bar{S} > \bar{T}$) in der GuV der Fluggesellschaft i als Erlös verbucht wird (*Ticketerlös_{i,̄S}*).

Um *Ticketeinzahlung_{i,̄T}* zu ermitteln, muss daher neben der GuV auch auf die Stichtagsbilanzen von Gesellschaften zurückgegriffen werden. In der Bilanzposition *Verbindlichkeiten aus nicht ausgeflogenen Flugdokumenten*³⁶⁷ (*VerbFlug_{i,T}*) wird der Wert derjenigen Tickets erfasst, die bis Zeitpunkt T (Endzeitpunkt der Periode $\bar{T}$) bezahlt wurden, für die aber noch keine Leistung in Form eines Fluges erbracht wurde. Aus *VerbFlug_{i,T}* > *VerbFlug_{i,T-1}* folgt: *Ticketeinzahlung_{i,̄T}* > *Ticketerlös_{i,̄T}*. In Tabelle 63 im Anhang B I findet sich ein Beispiel zur Veranschaulichung der Zusammenhänge.

In der Kapitalflussrechnung (siehe: (5.1)) wird die Veränderung von *VerbFlug* in Periode $\bar{T}$ über $\Delta WorkingCapital_{i,̄T}$ erfasst. Da an dieser Stelle vereinfachend unterstellt wird, dass die Veränderung von *VerbFlug_{i,T}* auf *VerbFlug_{i,T-1}* die einzige relevante Position ist, welche unter $\Delta WorkingCapital_{i,̄T}$ zu berücksichtigen ist, folgt somit:³⁶⁸

Bestimmen von Ticketeinzahlungen in Periode $\bar{T}$

$$\begin{aligned} Ticketeinzahlung_{i,̄T} &= Ticketerlös_{i,̄T} + (VerbFlug_{i,T} - VerbFlug_{i,T-1}) \\ &= Ticketerlös_{i,̄T} + \Delta WorkingCapital_{i,̄T} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Ergänzende Hintergründe zu den Zusammenhängen finden sich im Anhang A VI. g).

5.1.2.7 Einführen der normierten Ticketeinzahlungsvariable PUOF

Um weiterhin auf ein normiertes Modell zurückgreifen zu können, wird in diesem Kapitel die neue skalierte Ticketeinzahlungsvariable *PUOF_{i,̄T}* eingeführt.³⁶⁹ Es gilt:

Definition von PUOF

$$PUOF_{i,̄T} = \frac{Ticketeinzahlung_{i,̄T}}{Treibstoffmenge_{i,̄T}} \quad (5.4)$$

Für die normierte Darstellung gilt, dass *PUOF_{i,̄T}* der Einzahlung aus Ticketverkäufen in Periode $\bar{T}$ pro Barrel Kerosin innerhalb dieser Periode entspricht.

Wie in Kapitel 4.1.2.4 mit Verweis auf Praxisbelege dargestellt, können zukünftige Ticketeinzahlungen von Fluggesellschaften nicht exakt vorhergesagt werden, weshalb Fluggesellschaften Unsicherheit bezüglich dieser zukünftigen Einzahlungen ausgesetzt sind. Ausgehend von dieser Beobachtung gilt, dass die Realisierung von *PUOF_{i,̄T}* für Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ im Zeitpunkt T_0 ($< \tau$) noch unbekannt ist. Daher wird zur Modellierung unterstellt, dass *PUOF_{i,̄T}* eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ darstellt. An dieser Stelle wird zunächst lediglich angenommen, dass sowohl die Verteilungsfunktion als auch die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion zur Beschreibung der

³⁶⁶ Gemäß Berechnungen von Cannon und Watanabe (2020) werden Tickets für Flüge innerhalb der USA im Durchschnitt mit einem Vorlauf von circa 47 Tagen gekauft. Vgl. Cannon/Watanabe (2020): S. 45.

³⁶⁷ Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 156. Engl. beispielsweise: *current liabilities: advance ticket sales* oder *air traffic liability*. Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 126; vgl. United Airlines (2019): S. 45.

³⁶⁸ Weitere Bilanzpositionen, die in der Praxis einen Einfluss auf $\Delta WorkingCapital$ ausüben, sind beispielsweise Änderungen der *Forderungen und Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen* oder Änderungen der *Verbindlichkeiten aus Kundenbindungsprogrammen*. Diese werden in OPTA aus Vereinfachungsgründen nicht berücksichtigt. Praxisrelevante Hintergrunddarstellungen finden sich exemplarisch in: American Airlines (2019): S. 47; Lufthansa Group (2019): S. 192, 198; United Airlines (2019): S. 75.

³⁶⁹ *PUOF* kurz für: (Ticket) *Payments per unit of fuel burnt* (deutsch Ticketzahlungen je verbrauchter Einheit Kerosin).

Zufallsvariable existieren. Bezüglich der konkreten Form der Verteilung werden noch keine Annahmen getroffen. Die im Modell genutzten Verteilungsannahmen basieren auf Beobachtungen aus der Praxis und werden in Kapitel 6.2.2 hergeleitet. Der entscheidende Vorteil der Skalierung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ auf die Einheit US-Dollar pro Barrel ist die einfache Nutzbarkeit der beiden skalierten Zufallsvariablen für Ticketeinzahlungen und Treibstoffpreise ($PUOF_{i,\bar{T}}$ und $Fuel_{\bar{T}}$) in einem Modell. Die Darstellung des FCF inklusive $PUOF_{i,\bar{T}}$ findet sich folgend in (5.5).

5.1.2.8 Der Free-Cash-Flow inklusive Steuern

Zur Berücksichtigung von Steuern (*Steuer*) wird im Rahmen der Modellformulierung vereinfachend festgelegt, dass die Steuerlast einer Periode $\bar{T}$ ausgehend von $FCF_{i,\bar{T}}$ vor Steuern zu berechnen ist. Es wird zusätzlich angenommen, dass prozentual konstante Steuern auf alle $FCF_{i,\bar{T}} \in \mathbb{R}$ anfallen, wobei Steuern für $FCF_{i,\bar{T}} < 0$ einer Zahlung an das Unternehmen entsprechen. Die detaillierte Diskussion zu den theoretischen Hintergründen und praktischen Auswirkungen dieser Annahmen findet sich im Anhang A VI. h).³⁷⁰

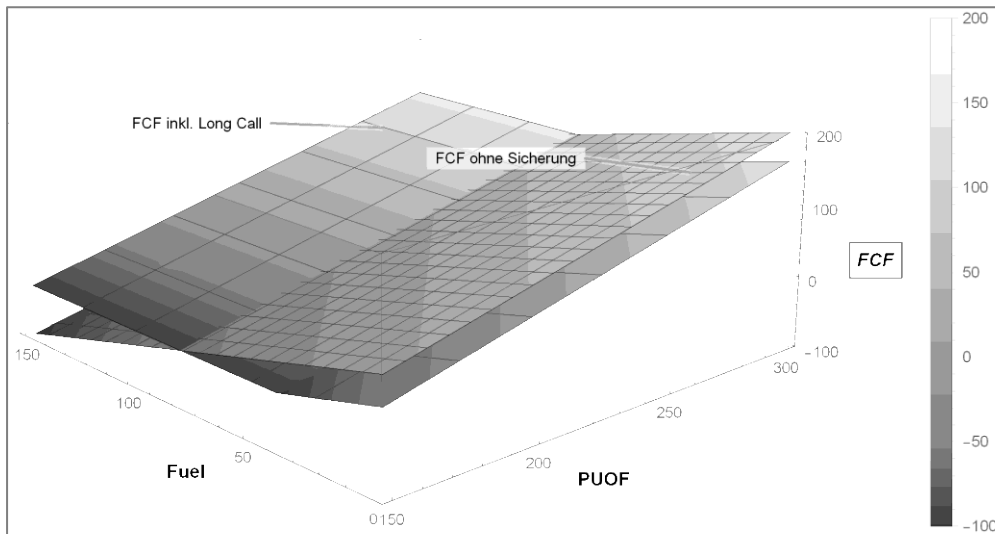
Ausgehend von (5.1) sowie (5.2) gilt gemäß den Darstellungen der vorangegangenen Kapitel sowie der zugehörigen Anhänge somit für die analytische ex-post Bestimmung des auf US-Dollar pro Barrel normierten FCF im Rahmen der Modellierung:

Free-Cash-Flow pro Barrel (mit Steuern)

$$\begin{aligned} FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\ = (PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \\ - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) \\ * (1 - Steuer) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Abbildung 14 veranschaulicht vergleichend die Darstellung von $FCF_{i,\bar{T}}$ gemäß (5.5) ohne Sicherung sowie bei Abschluss eines Long Calls.

Abbildung 14 – FCF in Abhängigkeit von Fuel und PUOF (Beispiel)



Die Abbildung stellt den FCF in Abhängigkeit von *Fuel*, *PUOF* und dem Strike des Long Calls (hier: $K = 40$) gemäß (5.5) dar.³⁷¹

³⁷⁰ In der Praxis sind Steuern in der Regel auf das EBIT nach Abzug von Zinskosten zu zahlen. Abweichungen, die im Rahmen der Modellierung aus der genutzten Vereinfachung resultieren können, werden im Anhang A VI. h) in (A VI.33) quantifiziert. Das Nicht-Vorliegen von Steuerrückzahlungen für negative FCF in der Praxis wird im Rahmen dieser Arbeit nachfolgend über DWC modelliert. Siehe: Kapitel 5.2.2.3.

³⁷¹ Zudem gilt: $ErlösRest + AufwandRest = -100$, $Steuer = 0$, $T = 1$, $Fuel_{T_0,\bar{T}} = 80$, $\sigma_{Fuel} = 0,2$ und $r = 0$.

Ebenso kann der ex-ante im Zeitpunkt T_0 erwartete FCF in Abhängigkeit von den beiden Zufallsvariablen sowie den Strikes ($\mathbf{k}_w$) der Derivatekombination w berechnet werden:

Erwarteter Free-Cash-Flow pro Barrel (mit Steuern)

$$\begin{aligned}
 E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \\
 = E_{T_0} \left((PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \right. \\
 \left. - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) \right. \\
 \left. * (1 - Steuer) \right)
 \end{aligned} \tag{5.6}$$

5.1.3 Zielfunktion OPTA: Der erwartete Deadweight-Cost-Cash-Flow

Nachdem mit dem FCF die Basis der Zielfunktion hergeleitet wurde, kann nun, angelehnt an die in Kapitel 3.1.1.2 vorgestellten Grundlagenarbeiten, allgemein die Funktion zur Beschreibung des FCF abzüglich der DWC definiert werden. Die resultierende Funktion wird als *Deadweight-Cost-Cash-Flow* (im Folgenden: DWCCF) bezeichnet. Auch der DWCCF wird zur Berücksichtigung in der weiteren Arbeit auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin normiert. Unter Rückgriff auf eine an dieser Stelle noch nicht näher spezifizierte DWC-Funktion (siehe: Kapitel 5.2) folgt:

Deadweight-Cost-Cash-Flow (mit Steuern)

$$\begin{aligned}
 DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\
 = FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\
 = (PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \\
 - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) \\
 * (1 - Steuer) - DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Die Formel zur Bestimmung des Erwartungswertes des DWCCF, welche die Zielfunktion des aufzustellenden Optimierungsmodells darstellt, wird folglich bestimmt über:

Zielfunktion: Erwarteter Deadweight-Cost-Cash-Flow (mit Steuern)

$$\begin{aligned}
 E_{T_0} \left(DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\
 = E_{T_0} \left(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right. \\
 \left. - DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right)
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

Die qualitative Argumentation dazu, weshalb diese Formel als Zielfunktion der Optimierung im Modell genutzt werden soll, findet sich bereits in Kapitel 5.1.1. Eine quantitative Argumentation findet sich im nachfolgenden Kapitel 5.3.1.

5.2 Deadweight-Costs und der Deadweight-Cost-Cash-Flow

Unbekannt ist an dieser Stelle noch, wie $DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ in dieser Arbeit definiert ist. Daher befasst sich das folgende Kapitel mit der Herleitung und Form der im Modell zu nutzenden DWC-Funktion. Bei der DWC-Funktion handelt es sich um eine Stellvertreter-Darstellung, welche bestmöglich die im Anwendungsfall in der Realität auftretenden DWC nachbilden soll. Je besser die gewählte DWC-Funktion hierbei die Realität

widerspiegelt, desto praxisrelevanter sind die Ergebnisse, die im Rahmen einer Simulation erzielt werden.

Als Ausgangsbasis der Betrachtung wird zunächst kurz diskutiert, wie bestehende Arbeiten DWC-Funktionen modellieren (Kapitel 5.2.1). Im Anschluss daran werden die für den vorliegenden Anwendungsfall zu berücksichtigenden DWC hergeleitet (Kapitel 5.2.2). Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass relevante theoretische Grundlagen und Quellenverweise bereits in Kapitel 3.1.1.2 vorgestellt und diskutiert wurden.

5.2.1 Modellierung der Deadweight-Costs in der bisherigen Forschung

Brown und Toft (2002), Frestad (2010) sowie Korn (2010) führen in ihren Arbeiten fünf Modellierungsansätze für DWC ein. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt und es wird dargelegt, wieso keiner dieser Ansätze für die vorliegende Arbeit alleinig zur Modellierung der DWC nutzbar ist.³⁷² Die fünf bekannten DWC-Funktionen sind:³⁷³

- Einseitige exponentielle Standarddarstellung (Formel (A VII.1))
- Parabelförmige Praxisfunktion (Formel (A VII.2))
- Einseitige hyperbolische DWC (Formel (A VII.3))
- Lineare Ertragsteuern für positive FCF (Formel (A VII.4))
- Abwesenheit von positiven Verluststeuern (Formel (A VII.5))

Alle Formeln sind in Anhang A VII. a) zu finden. Eine grafische Visualisierung der Funktionen findet sich zusätzlich im Anhang B II in Abbildung 50 bis Abbildung 54.

Die *einseitige exponentielle Standarddarstellung* wird in Brown und Toft (2002) genutzt und findet in identischer Form in Korn (2010) Berücksichtigung. Über diese werden ausschließlich negative FCF durch DWC bestraft, wobei die Höhe der DWC exponentiell ansteigt. Die Funktion soll DWC erfassen, die aus Insolvenz, finanzieller Schieflage oder teurer externer Finanzierung resultieren.³⁷⁴ Probleme der Darstellung resultieren daraus, dass keine DWC für positive FCF-Entwicklungsszenarien erfasst werden. Des Weiteren ist es realitätsfern, dass die DWC einem unbegrenzten exponentiellen Wachstum unterliegen.

Daneben nutzen Brown und Toft (2002) die *parabelförmige Praxisfunktion*.³⁷⁵ Diese DWC-Funktion unterstellt – sowohl im Fall positiver als auch negativer FCF-Szenarien – ebenfalls eine exponentielle Erhöhung der DWC. Auch in diesem Fall gilt, dass ein unbegrenztes exponentielles Wachstum der DWC nicht realitätskonform ist.

Als Alternative ohne unbegrenztes exponentielles Wachstum stellen Brown und Toft (2002) die *einseitigen hyperbolischen DWC* vor, welche ebenfalls Kosten der finanziellen Schieflage modellieren sollen. Problematisch ist allerdings, dass in der von Brown und Toft (2002) gewählten Darstellung das Vorzeichen der DWC wechseln kann.³⁷⁶ Des Weiteren werden auch über diese Funktion ausschließlich einseitig solche DWC berücksichtigt, die aus FCF-Verfallsszenarien resultieren.

Als weitere Alternative berücksichtigen Brown und Toft (2002) *lineare Ertragsteuern für positive FCF* als DWC und Frestad (2010) modelliert die *Abwesenheit von positiven*

³⁷² Als ökonomische Erfolgsgröße, von welcher die DWC (abhängige Variable) abhängen, wird in diesem Kapitel stets der FCF (unabhängige Variable) genannt. Dies widerspricht in Teilen der Darstellung in den Originalarbeiten, steht aber im Einklang mit dem Vorgehen im Rahmen der Modellierung in dieser Arbeit und entspricht ebenso den verbalen Erläuterungen in Brown und Toft (2002). Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1288 ff.

³⁷³ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1290, 1306 f., 1320; vgl. Frestad (2010): S. 239 f.; vgl. Korn (2010): S. 836 ff. Die Bezeichnungen zur verbalen Beschreibung der einzelnen Funktionen wurden an dieser Stelle frei gewählt.

³⁷⁴ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1291; vgl. Korn (2010): S. 836, 839.

³⁷⁵ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1314.

³⁷⁶ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306. Ein solcher Vorzeichenwechsel ist mit der theoretischen Herleitung der DWC aus finanzieller Schieflage nicht vereinbar. Weitere erläuternde Hintergründe finden sich im Anhang A VII. a).

Verluststeuern als DWC.³⁷⁷ Aus beiden Ansätzen resultieren (nahezu) identische DWCCF.³⁷⁸ Gemein ist jedoch beiden Funktionen, dass DWC, die nicht aus der Besteuerung resultieren, keine Berücksichtigung finden. Daher sind auch diese Funktionen für die alleinige Nutzung in einem Modell nicht geeignet.

5.2.2 Modellierung der relevanten Deadweight-Costs-Funktion

Auf Basis der zuvor dargestellten Erkenntnisse über Vorteile und Nachteile einzelner DWC-Modellierungsansätze wird in diesem Kapitel eine neue DWC-Funktion hergeleitet. Diese Funktion wird aus der Theorie abgeleitet und explizit für den Fall der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften modelliert. Zur Herleitung der aggregierten DWC-Funktion werden zunächst drei maßgebliche Einflüsse jeweils separat vorgestellt:

1. DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage (Kapitel 5.2.2.1)
2. DWC aus Finanzierungsstruktur (Kapitel 5.2.2.2)
3. DWC für konvexe Steuertabellen (Kapitel 5.2.2.3)

Im Rahmen der drei Kapitel wird für die meisten der sieben identifizierten Gründe für Hedging (siehe: Tabelle 57) eine Entscheidung darüber getroffen, ob und in welcher Form diese beim Aufstellen der DWC-Funktion Berücksichtigung finden. Anschließend wird eine aggregierte Funktion zur gleichzeitigen Erfassung aller DWC aufgestellt (Kapitel 5.2.2.4). Für Hintergründe zur bestehenden Literatur wird auf Kapitel 3.1.1 verwiesen.

5.2.2.1 DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage

Wie in Kapitel 3.1.1.2 diskutiert und in Abbildung 40 (siehe: Anhang B II) dargestellt, entstehen im Rahmen einer Insolvenz direkte und indirekte DWC, die entweder durch Hedging vermieden werden können oder deren Eintrittswahrscheinlichkeit durch Hedging verringert werden kann. Es wird angenommen, dass der Insolvenzfall beim Unterschreiten einer definierbaren FCF-Schwelle (hier bezeichnet als: Insolvenztrigger, Variable: *Insotrigger*) eintritt. Direkte Kosten der Insolvenz entstehen erst bei Unterschreiten des Insolvenztriggers und es wird angenommen, dass die absolute Höhe der entstehenden DWC im Fall der Insolvenz unabhängig davon ist, wie stark der FCF-Grenzwert unterschritten wurde.

Wie ebenfalls bereits diskutiert, entstehen einem Unternehmen aber auch dann bereits DWC, wenn lediglich die Wahrscheinlichkeit der Insolvenz erhöht ist. Diese Kosten steigen mit der Zunahme der Insolvenzwahrscheinlichkeit an, bis im Insolvenzfall ein Maximum an DWC erreicht wird. Demnach steigt die Summe der DWC aus Kosten der Insolvenz und Kosten der finanziellen Schieflage mit zunehmender negativer Entwicklung nicht plötzlich auf die Höhe der Insolvenzkosten an. Stattdessen sollte die Netto-DWC-Funktion eine Grundform besitzen, die schematisch einer Sigmoidfunktion entspricht. Eine solche DWC-Funktion kann somit schematisch beschrieben werden über:

Insolvenzkosten und finanzielle Schieflage (DWC-Funktion Teil 1)

$$DWC_I(FCF, maxInso, TrigInso, SteigInso) = \frac{maxInso}{1 + e^{SteigInso * (FCF - TrigInso)}}, \quad (5.9)$$

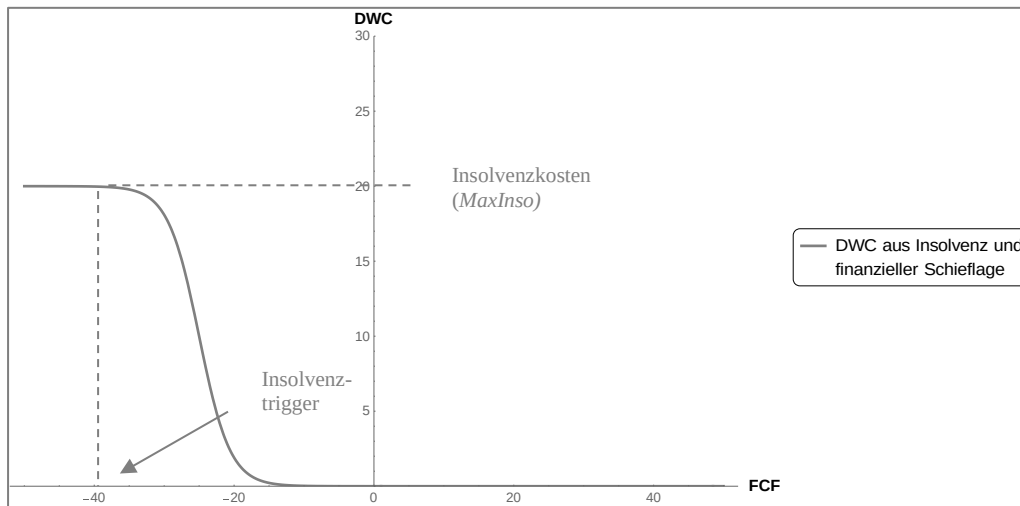
$$maxInso, SteigInso > 0, TrigInso < 0$$

³⁷⁷ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1307; vgl. Frestad (2010): S. 238 f.

³⁷⁸ Für Hintergründe zu dieser Schlussfolgerung wird auf die Diskussion im Anhang A VII. a) verwiesen. Zum Vergleich der beiden Ansätze wird zudem auf Abbildung 55 und Abbildung 56 im Anhang B II verwiesen.

Die Visualisierung der Funktion findet sich in Abbildung 15 sowie in der Sammelgrafik in Abbildung 17. Über *SteigInso* wird die Geschwindigkeit der Zunahme der DWC gesteuert. Die Variable *TrigInso* determiniert, für welchen FCF 50% der durch *maxInso* definierten maximalen DWC erreicht werden. Zusätzlich wird definiert, dass der Insolvenztrigger bei demjenigen FCF liegt, bei dem 99% von *maxInso* realisiert wurden. Die Lage des Insolvenztriggers kann unter dieser Annahme über Rückgriff auf *SteigInso* sowie *TrigInso* gemäß Formel (A VII.6) (siehe: Anhang A VII. b)) berechnet werden.

Abbildung 15 – DWC-Funktion Herleitung: Insolvenzkosten und finanzielle Schieflage



Die Abbildung stellt exemplarisch die Ausprägung der DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (5.9) dar. Für unabhängige Variablen wurden Beispielwerte genutzt. Der *Insolvenztrigger* gibt an, ab welchem FCF pro Barrel Kerosin der Insolvenzfall eintritt. *Insolvenzkosten* gibt an, wie hoch die DWC im Fall der Insolvenz je Barrel Kerosin sind.

Durch die gewählte Form der Betrachtung des FCF skaliert auf die Einheit US-Dollar je Barrel Kerosin können aus realen direkten und indirekten Insolvenzkosten der Vergangenheit einfach nutzbare Referenzgrößen für das Modell bestimmt werden. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Parameter wird separat in Kapitel 6.3.1.2 diskutiert.

5.2.2.2 DWC aus Finanzierungsstruktur

Wie in Kapitel 3.1.1.2 diskutiert, gibt es einen engen Zusammenhang zwischen dem Investitionsverhalten und der optimalen Finanzierungsstruktur von Unternehmen. In diesem Kontext kann Hedging dazu beitragen, Informationsasymmetrien zwischen Stakeholdern abzubauen, wodurch Unternehmenswert generiert wird. In Tabelle 57 finden sich vier³⁷⁹ Gründe für Hedging, denen im Kern gemein ist, dass sie die Finanzierungsstruktur des Unternehmens berücksichtigen. Im Grundsatz basieren alle diese vier Gründe für Hedging zudem auf der Annahme, dass mittels Hedging die FCF-Varianz so verringert werden kann, dass eine vorteilhafte Finanzierungsstruktur ermöglicht wird. Die nachfolgende Funktion umfasst daher DWC, die aus allen vier Argumenten resultieren können.

Mit Verweis auf die Darstellungen in Kapitel 2.1.3 und 5.1.2.2 wird zunächst die Annahme getroffen, dass Entscheidungen zum Investitionsverhalten und zur Finanzierungsstruktur von Fluggesellschaften in den für das Modell relevanten Zeiträumen von bis zu drei Jahren bereits vor Abschluss der Treibstoffpreissicherung getroffen wurden. Die Finanzierungsstruktur für diese Zeiträume wird im Modell somit als gegeben angesehen.³⁸⁰ Diese

³⁷⁹ Die an dieser Stelle relevanten vier Gründe sind: (1) Unterinvestitionsproblem, (2) Asset Substitution Problem, (3) teure externe Finanzierung und (4) Steuervorteile durch Tax Shields.

³⁸⁰ Die Annahme scheint auch in der Praxis plausibel. Beispiel: IAG (2019) hatte Ende 2019 bereits Darlehen mit Laufzeiten bis ins Jahr 2028 abgeschlossen. Vgl. IAG (2019): S. 163 f.

Annahme treffen auch Brown und Toft (2002).³⁸¹ Es wird des Weiteren angenommen, dass in T_0 bestehende Fremdkapitalfinanzierungen für $\bar{T}$ nur deshalb angeboten wurden, weil Fluggesellschaften sich glaubhaft auf ein zukünftiges Investitionsverhalten festlegen konnten. Hieraus folgt, dass Hedging in diesem Kontext genutzt werden kann, um DWC zu vermeiden, die aus FCF Abweichungen in Periode $\bar{T}$ resultieren, welche sich teils aber auch erst in den auf $\bar{T}$ folgenden Perioden als verschlechterte Finanzierungsbedingungen realisieren würden. Diese DWC können ebenfalls als Funktion von $FCF_{i,\bar{T}}$ beschrieben werden. $DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}})$ erfasst in diesem Fall den auf T diskontierten Barwert aller DWC, die in auf $\bar{T}$ folgenden Perioden direkt aus $FCF_{i,\bar{T}}$ resultieren.

Bezüglich der konkreten Form der DWC-Funktion ist davon auszugehen, dass ein erwarteter $FCF_{i,\bar{T}}$ für Periode $\bar{T}$ existiert ($E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$), welcher bei Abschluss der Finanzierung und Festlegen der optimalen Kapitalstruktur als Referenz zur Vereinbarung der Finanzierungsbedingungen herangezogen wurde. Sofern $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) > 0$ und $FCF_{i,\bar{T}} = E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ ergeben sich keine DWC aus der Finanzierungsstruktur in den auf $\bar{T}$ folgenden Perioden. Gemäß der in Kapitel 3.1 vorgestellten Theorie sowie der hier dargestellten Argumentation entstehen in diesem Fall allerdings dann DWC, wenn $FCF_{i,\bar{T}} \neq E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$.³⁸²

Beim Aufstellen der DWC-Funktion, welche die Ineffizienzkosten aus diesen Abweichungen modelliert, werden die folgenden drei zentralen Annahmen berücksichtigt:

1. DWC entstehen für positive sowie für negative Abweichungen von $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$
2. Mit Zunahme des Betrags der Differenz zwischen $FCF_{i,\bar{T}}$ und $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ werden die DWC zunächst beidseitig größer
3. Für positive / negative Abweichungen von $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ existieren DWC-Maxima

Im Anhang A VII. c) werden diese drei Annahmen zusätzlich detaillierter diskutiert.

Es wird eine DWC-Funktion definiert, die mathematisch beschrieben werden kann über:

DWC der Finanzierungsstruktur (DWC-Funktion Teil 2)

$$\begin{aligned}
 &DWC_{II}(FCF, maxNegF, maxPosF, TrigNegF, TrigPosF, SteigNegF, \\
 &\quad SteigPosF) \\
 &= \frac{maxNegF}{1 + e^{SteigNegF * (FCF - TrigNegF)}} + \frac{maxPosF}{1 + e^{SteigPosF * (TrigPosF - FCF)}}, \quad (5.10) \\
 &maxNegF > maxPosF > 0, SteigNegF > SteigPosF > 0, \\
 &TrigNegF < 0 < TrigPosF
 \end{aligned}$$

Die Visualisierung der Funktion findet sich in Abbildung 16 sowie in der Sammelgrafik in Abbildung 17. Zur Beschreibung des Einflusses der einzelnen Variablen wird auf die Beschreibung zur gleichartigen Formel (5.9) verwiesen, wobei abweichend aus (5.10) sowohl DWC für negative ($maxNegF$, $SteigNegF$, $TrigNegF$) als auch für positive ($maxPosF$, $SteigPosF$, $TrigPosF$) FCF-Entwicklungen resultieren.

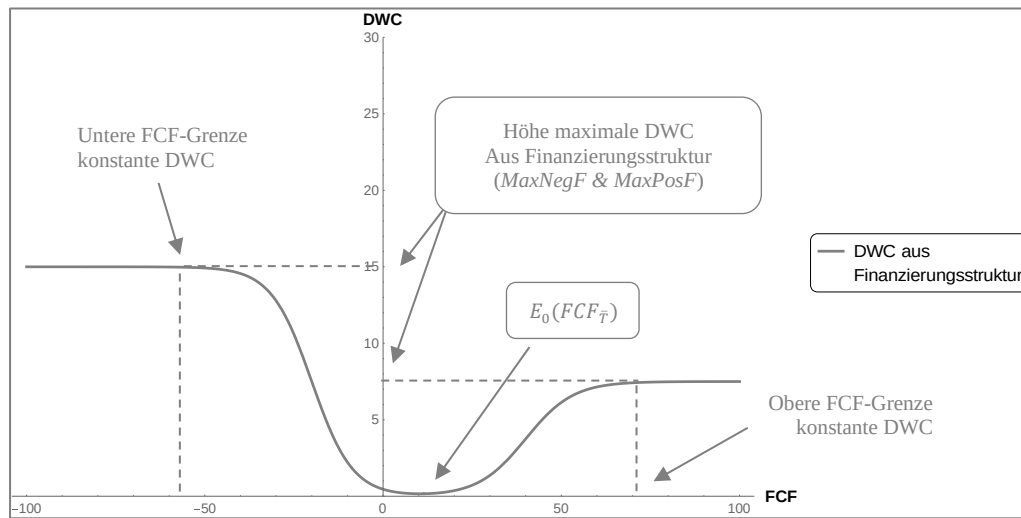
Bezüglich des Übertrags der Funktion auf den praktischen Anwendungsfall wird angenommen, dass der Verschuldungsgrad einer Fluggesellschaft im Zeitpunkt T_0 Einfluss auf die konkrete Ausgestaltung dieser DWC-Funktion nimmt. Beispielsweise sind bei Gesellschaften mit hohem Verschuldungsgrad im Fall von $FCF_{i,\bar{T}} < E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ bereits bei geringen

³⁸¹ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1290.

³⁸² Alle Darstellungen gelten approximativ für den Fall: $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) > 0$. Sofern $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) \leq 0$ ergeben sich auch für $FCF_{i,\bar{T}} = E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ bereits relevante DWC. Zur Modellumsetzung siehe auch: Kapitel 6.3.1.2.

Abweichungen vergleichsweise hohe DWC zu erwarten.³⁸³ Die konkrete Ausgestaltung der Parameter wird separat in Kapitel 6.3.1.2 diskutiert. Dort ist auch der Zusammenhang zwischen der Ausgestaltung der Parameter und $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ dargestellt.

Abbildung 16 – DWC-Funktion Herleitung: DWC der Finanzierungsstruktur



Die Abbildung stellt exemplarisch die Ausprägung der DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (5.10) dar. Für unabhängige Variablen wurden Beispielwerte genutzt. $E_0(FCF_{i,\bar{T}})$ entspricht dem erwarteten FCF in Periode $\bar{T}$ aus Sicht von $T_0 = 0$. Sofern gilt $E_0(FCF_{i,\bar{T}}) = FCF_{i,\bar{T}}$, resultieren bei Eintreten dieses FCF keine (oder nur geringe) DWC. Die untere (obere) FCF-Grenze gibt an, ab welchem $FCF_{i,\bar{T}}$ die maximalen DWC für negative (positive) FCF-Szenarien anfallen.

5.2.2.3 DWC für konvexe Steuertabellen

Wie in Kapitel 3.1.1.2 diskutiert, entstehen durch konvexe Steuerfunktionen DWC, welche mittels Hedging vermieden werden können.³⁸⁴ Solche DWC müssen auch im Modell berücksichtigt werden. Da die Darstellung von $FCF_{i,\bar{T}}$ gemäß (5.5) bereits den Abzug von Steuern für alle $FCF_{i,\bar{T}} \in \mathbb{R}$ berücksichtigt, orientiert sich die Umsetzung der DWC-Funktion in dieser Arbeit an der Umsetzung in Frestad (2010).³⁸⁵ Im Einklang mit zuvor vorgestellten Arbeiten wird im Modell das Vorliegen eines linearen Körperschaftsteuersatzes auf positive FCF unterstellt, wohingegen für negative FCF keine oder nur geringere Steuervorteile generiert werden.³⁸⁶ Diese fehlenden Vorteile für negative FCF werden durch DWC modelliert.

Als DWC-Funktion wird die Darstellung gemäß Frestad (2010) (siehe: Formel (A VII.5) im Anhang A VII. a)) genutzt und leicht vereinfacht.³⁸⁷ Die grafische Darstellung der resultierenden DWC-Funktion findet sich in Abbildung 54 (Anhang B II) sowie in der Sammelgrafik in Abbildung 17 (Kapitel 5.2.2.4). Die vereinfachte und genutzte mathematische Darstellung kann (5.11) entnommen werden. Der gewählte Ansatz bietet den Vorteil, dass die DWC-Funktion – im Vergleich zur Umsetzung in Brown und Toft (2002) (siehe: (A VII.4)) – keine nicht-differenzierbare Sprungstelle besitzt. Des Weiteren bietet die Umsetzung die Möglichkeit, flexibel die Konvexität der DWC-Funktion zu steuern.

³⁸³ Dieser Effekt ist beispielsweise in Stulz (1996) dargestellt. Vgl. Stulz (1996): S. 17.

³⁸⁴ Wie in Kapitel 5.1.2.8 und Anhang A VI. h) bereits diskutiert, wird unterstellt, dass Steuern auf den FCF anfallen und Steuervorteile aus der Fremdkapitalfinanzierung bereits über den WACC berücksichtigt sind.

³⁸⁵ Für Hintergründe wird auch auf die Darstellung und Diskussion in Kapitel 5.2.1 verwiesen.

³⁸⁶ Steuerverlustvorträge im Kontext von Risikomanagement diskutiert unter anderem: Stulz (2003): S. 62.

³⁸⁷ Unter Rückgriff auf (A VII.5) wird festgelegt: $\theta = 0,001$. Diese Ausprägung schlägt auch Frestad (2010) vor. Vgl. Frestad (2010): S. 239. Es gilt: $\gamma > 0$. Daneben ist zu berücksichtigen: Während Frestad (2010) den FCF vor Steuern als Input in (A VII.5) nutzt, wird nachfolgend ein konsistenter FCF nach Steuern als Input der aggregierten DWC-Funktion in (5.11) berücksichtigt. Dieser FCF ist daher für Steuer-DWC jeweils mit $1/(1 - \text{Steuer})$ zu multiplizieren.

5.2.2.4 Modellierung der aggregierten DWC im Modell OPTA

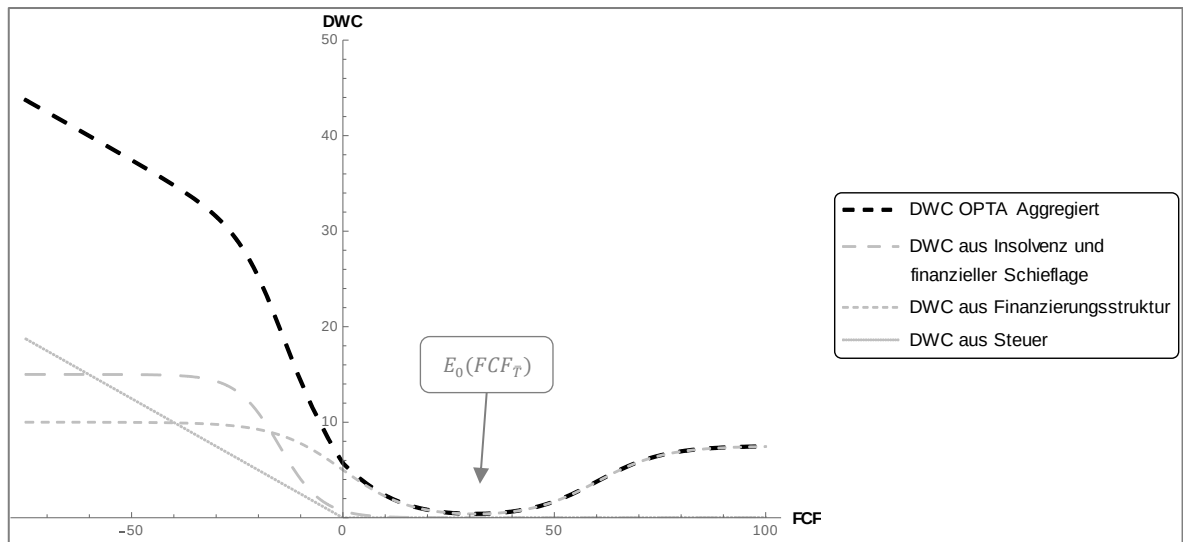
Nachdem die drei Komponenten vorgestellt wurden, welche als Basis für die aggregierte DWC-Funktion im Modell dienen, wird die von OPTA genutzte aggregierte DWC-Funktion vorgestellt.³⁸⁸ Aus der Summe der drei einzelnen DWC-Funktionen folgt:

DWC-Funktion in OPTA

$$\begin{aligned}
 &DWC(FCF, maxInso, maxNegF, maxPosF, TrigInso, TrigNegF, \\
 &\quad TrigPosF, SteigInso, SteigNegF, SteigPosF, Steuer, \gamma) \\
 &= \frac{maxInso}{1 + e^{SteigInso * (FCF - TrigInso)}} + \frac{maxNegF}{1 + e^{SteigNegF * (FCF - TrigNegF)}} \\
 &+ \frac{maxPosF}{1 + e^{SteigPosF * (TrigPosF - FCF)}} \\
 &+ \left(\left(\frac{Steuer}{\gamma} * \log \left(0,001 + 0,999 * e^{\gamma * FCF * \frac{1}{(1-Steuer)}} \right) \right) - 10^5 \right. \\
 &\quad \left. * Steuer * \log \left(0,001 + 0,999 * e^{0,00001 * FCF * \frac{1}{(1-Steuer)}} \right) \right) \quad (5.11)
 \end{aligned}$$

Es gilt: $0 \leq Steuer < 1$, $\gamma > 0$ sowie $FCF \in \mathbb{R}$, wobei der FCF jeweils gemäß (5.5) bestimmt wird. *Steuer* determiniert den Körperschaftsteuersatz in Prozent und γ die Konvexität der Steuerfunktion. Zudem gilt: $SteigPosF > 0$, $SteigNegF > 0$, $SteigInso > 0$, $maxInso > maxNegF > maxPosF > 0$ und $TrigInso < TrigNegF < 0 < TrigPosF$. Grafisch lässt sich diese aggregierte Funktion aus den Einzelfunktionen herleiten über:

Abbildung 17 – DWC-Funktion in OPTA



Die Abbildung stellt exemplarisch die drei singulären Basis-Ausprägungen der DWC-Funktionen gemäß (5.9), (5.10) und (A VII.5) in Abhängigkeit von *FCF* nach Steuern gemäß (5.5) dar. Für die unabhängigen Variablen wurden extreme Beispielwerte eingesetzt. Zusätzlich ist die in OPTA zu nutzende aggregierte DWC-Funktion gemäß (5.11) dargestellt.

Der erste Summand in (5.11) gibt die Form der DWC-Funktion für Insolvenzkosten sowie Kosten der finanziellen Schieflage vor (siehe: Kapitel 5.2.2.1 sowie (5.9)). Über die Variable *maxInso* wird die maximale Höhe der Insolvenzkosten für negative Cash-Flow Szenarien festgelegt. Über *SteigInso* wird die Geschwindigkeit der Zunahme der DWC für fallende

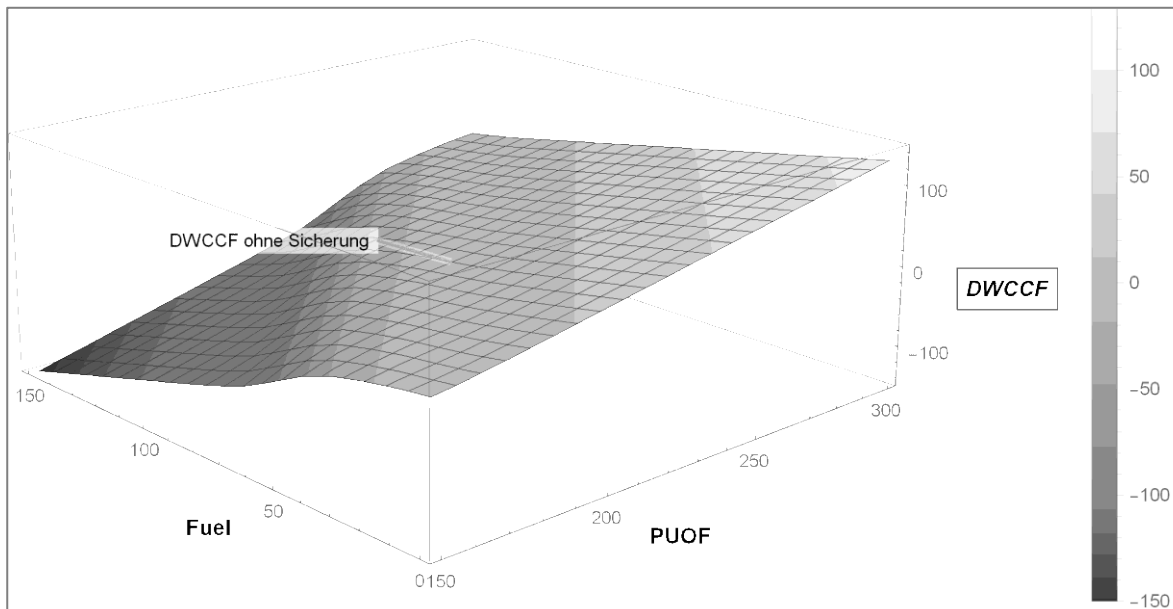
³⁸⁸ Drei der in Tabelle 57 dargestellten Gründe für Hedging wurden bislang nicht berücksichtigt. Für eine kurze Diskussion zur Nicht-Berücksichtigung dieser Gründe wird auf Anhang A VII. d) verwiesen.

FCF-Szenarien gesteuert. *TrigInso* determiniert, bei welchem FCF 50% der durch *maxInso* definierten DWC erreicht werden.³⁸⁹ Die genaue Lage des Insolvenztriggers lässt sich über Formel (A VII.6) (siehe: Anhang A VII. b)) berechnen.

Der zweite und dritte Summand in (5.11) determinieren die Form der DWC-Funktion aus der Finanzierungsstruktur. Wie in Kapitel 5.2.2.2 (siehe: (5.10)) vorgestellt, können diese DWC sowohl für Preisanstiegs- als auch Verfallsszenarien entstehen, wobei alle in Kapitel 5.2.2.2 dargestellten Anmerkungen zur Struktur der DWC-Funktion weiterhin Gültigkeit besitzen. Der Einfluss von *maxNegF*, *maxPosF*, *SteigNegF*, *SteigPosF*, *TrigNegF* und *TrigPosF* ist inhaltsgleich zum zuvor vorgestellten Einfluss der Variablen für DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage.

Der vierte Summand in (5.11) beschreibt diejenigen DWC, welche aus der Abwesenheit von positiven Verluststeuern resultieren. Der Einfluss des Summanden ist identisch zur Beschreibung der alleinigen DWC-Funktion gemäß Kapitel 5.2.2.3.

Abbildung 18 – DWCCF ohne Sicherung



Die Abbildung stellt den DWCCF ohne Sicherung in Abhängigkeit von *Fuel* und *PUOF* nach (5.7) und unter Rückgriff auf (5.11) dar. Für die unabhängigen Variablen wurden extreme Beispielwerte innerhalb der Definitionsbereiche eingesetzt. Identische grafische Darstellungen des DWCCF inklusive Sicherung durch einen Long Call finden sich in Abbildung 57 sowie Abbildung 58 im Anhang B II.

Da die gewählte DWC-Funktion im Vergleich zu geläufigen Erwartungsnutzenfunktionen nicht streng konvex ist, könnten pathologische Lösungen als Optima auftreten. Auf solche Lösungen verweisen auch Brown und Toft (2002) bei Nutzung der hyperbolischen DWC-Funktion für Insolvenzkosten.³⁹⁰ Allerdings werden in der vorliegenden Arbeit zur Simulation von Sicherungsstrategien zusätzlich enggefasste Nebenbedingungen und Restriktionen bestimmt, welche ein Handeln garantieren, das auch auf dem realen Markt umsetzbar wäre. Durch die in den Kapiteln 6.3 und 6.4 vorgestellten Nebenbedingungen und Restriktionen wird die Möglichkeit des Auftretens pathologischer Lösungen verhindert. Es sei außerdem darauf hingewiesen, dass die DWC-Funktion in (5.11) – unter geltenden Annahmen bezüglich der exogenen Variablen – für alle $FCF_{i,T} \in \mathbb{R}$ stetig und differenzierbar ist.³⁹¹

³⁸⁹ Die Darstellung gilt nur bei singulärer Betrachtung des ersten Summanden in (5.11). Bei Berücksichtigung der gesamten Formel können bei *maxInso* abweichende DWC eintreten.

³⁹⁰ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306.

³⁹¹ Sofern alle anderen unabhängigen Variablen im Rahmen der dargestellten Definitionsbereiche gewählt werden, ist die DWC-Funktion gemäß (5.11) für alle $FCF_{i,T}$ definiert und es existieren für alle $FCF_{i,T}$ übereinstimmende rechts- und linksseitige Grenzwerte. Zur Bestimmung der Stetigkeit von Funktionen: Vgl. Tietze (2011): S. 185 ff.

Insgesamt wird in OPTA somit erstmals eine aggregierte, standardisierte und direkt aus der Finanztheorie abgeleitete DWC-Funktion genutzt. Der Input der exogenen Inputvariablen in (5.11) wird im Rahmen der Simulation jeweils individuell und situativ pro Entscheidungszeitpunkt bestimmt. Das Vorgehen hierzu wird nachfolgend in Kapitel 6.3.1.2 beschrieben. Nach Bestimmung der DWC über (5.11) visualisiert Abbildung 18 den DWCCF ohne Sicherungen gemäß (5.7). Im Anhang B II findet sich zusätzlich die Darstellung des DWCCF nach Abschluss eines Long Calls (siehe: Abbildung 57 und Abbildung 58).

5.3 Zielfunktion und Entscheidungsvariable des Modells

Während im Verlauf von Kapitel 5 bislang erläutert wurde, dass die Zielfunktion des vorliegenden Modells dem erwarteten DWCCF einer Fluggesellschaft entsprechen soll, wurde bislang noch nicht eindeutig dargelegt, wie die Maximierung des DWCCF zur Erreichung des übergeordneten Ziels der Unternehmenswertmaximierung beiträgt. Dieser Zusammenhang wird daher zunächst in Kapitel 5.3.1 quantifiziert. In Kapitel 5.3.2 wird die für OPTA relevante Entscheidungsvariable eingeführt. Nachfolgend wird in Kapitel 5.3.3 das von OPTA berücksichtigte Optimierungsproblem dargestellt.

5.3.1 Die Zielfunktion im zweistufigen Optimierungsmodell

Wie in Kapitel 5.1 diskutiert, ist die Nutzung des zweistufigen stochastischen Optimierungsmodells für den Anwendungsfall der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften geeignet. Der Grund hierfür ist, dass beim Abschluss einer Treibstoffpreissicherung lediglich zwei Zeitpunkte von Relevanz sind: Der Entscheidungszeitpunkt T_0 , in welchem die Sicherung abgeschlossen wird und der für diese Sicherung relevante Erfüllungszeitpunkt T , in welchem sich die zuvor unsicheren Informationen offenbart haben.³⁹² Sicherungen, die für eine Periode $\bar{T}$ gehandelt werden, nehmen somit ausschließlich direkten Einfluss auf $FCF_{i,\bar{T}}$ der Periode $\bar{T}$.

Gemäß der Diskussion in Kapitel 3.1.1.2 ist es das theoretische Ziel von Hedging, ex-ante die möglichen Entwicklungsszenarien von $FCF_{i,\bar{T}}$ so zu beeinflussen, dass erwartete DWC, die aus $FCF_{i,\bar{T}}$ resultieren, möglichst gering ausfallen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass DWC, die direkt aus einer Realisierung von $FCF_{i,\bar{T}}$ resultieren, auch teils erst in den auf $\bar{T}$ folgenden Perioden zahlungswirksam werden (siehe: Kapitel 5.2.2.2). Da im zweistufigen stochastischen Optimierungsmodell nur zwei Zeitpunkte betrachtet werden können, werden mittels der DWC-Funktion in (5.11) somit auch bereits diejenigen DWC approximativ quantifiziert, die eindeutig aus der Realisierung von $FCF_{i,\bar{T}}$ resultieren, die aber erst in nachfolgenden Perioden zahlungswirksam werden.³⁹³

Es wird daher definiert, dass $DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}})$ jeweils den auf Zeitpunkt T abgezinsten Nettobarwert aller DWC beschreibt, die sich direkt aus der Realisierung von $FCF_{i,\bar{T}}$ ergeben. Aus Sicht des Zeitpunktes T_0 (mit: $T_0 < T$) handelt es sich somit bei $E_{T_0}(DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}}))$ um den Barwert der erwarteten DWC aus $FCF_{i,\bar{T}}$ im Zeitpunkt T . Für eine korrekte Berücksichtigung im Zeitpunkt T_0 muss dieser noch von T nach T_0 diskontiert werden. Als Diskontierungsfaktor ist hierfür mit $WACC_{i,T_0}$ derjenige Faktor zu nutzen, der gemäß Standard-

³⁹² Dies gilt unter Berücksichtigung der in OPTA nutzbaren Derivatetypen und -arten (siehe: Kapitel 4.2.3). Es ist zu beachten, dass Zeitpunkt T per Definition auch das Ende des Erfüllungszeitraums $\bar{T}$ markiert.

³⁹³ Alternativ wäre die Nutzung eines mehrstufigen Modells möglich. Es wird angenommen, dass die Steigerung der Modellkomplexität beim Einsatz eines mehrstufigen Modells in einem unvorteilhaften Verhältnis zur Steigerung der Modellqualität stünde. Siehe hierzu auch die allgemeine Diskussion in: King/Wallace (2012): S. 15 ff.

DCF-Modell (siehe: (3.2)) auch zur Diskontierung von $FCF_{i,\bar{T}}$ genutzt wird.³⁹⁴ Für den Barwert der Summe aller erwarteten Ineffizienzkosten in Zeitpunkt $T_0 = 0$ gilt:

Barwert (Net Present Value) aller erwarteten zukünftigen DWC

$$NPV_{i,T_0}(DWC) = \sum_{T=1}^{\infty} \left(\frac{E_{T_0}(DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}}))}{(1 + WACC_{i,T_0})^T} \right) \quad (5.12)$$

Zeitpunkt T entspricht stets dem Zeitpunkt am Ende eines Zeitraumes $\bar{T}$ (siehe: Abbildung 6).³⁹⁵ Wie in Smith und Stulz (1985) initial diskutiert, entspricht der Wert des Unternehmens unter Berücksichtigung von DWC dem Unternehmenswert vor Berücksichtigung von DWC gemäß (3.2) abzüglich des Barwertes der DWC gemäß (5.12).³⁹⁶ Somit folgt für den Wert eines Unternehmens im Zeitpunkt $T_0 = 0$ unter Berücksichtigung von DWC:

Wert eines Unternehmens inklusive DWC (Entity-Value-Ansatz)

$$V_{i,T_0}^{DWC} = V_{i,T_0} - NPV_{i,T_0}(DWC) = \sum_{T=1}^{\infty} \frac{E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}} - DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}}))}{(1 + WACC_{i,T_0})^T} \quad (5.13)$$

Um den Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert zu quantifizieren, muss der Wert des Unternehmens mit und ohne Hedging gemäß (5.13) verglichen werden.

Gemäß den zuvor getroffenen Annahmen übt Sicherung w , die im Zeitpunkt T_0 für Periode $\bar{T}$ abgeschlossen wird, ausschließlich Einfluss auf $FCF_{i,\bar{T}}$ sowie $DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}})$ der konkreten Periode $\bar{T}$ aus. Alle $FCF_{i,\bar{S}}$ und $DWC_{i,\bar{S}}(FCF_{i,\bar{S}})$ mit $\bar{S} \neq \bar{T}$ werden nicht von der Sicherung für Periode $\bar{T}$ beeinflusst. Folglich wird durch die Sicherung nur ein Summenglied in (5.13) beeinflusst, weshalb zur Erfassung des Einflusses von Sicherung w auf den Unternehmenswert auch nur dieses Summenglied betrachtet werden muss.³⁹⁷

Da $WACC_{i,T_0}$ durch die Kapitalstruktur im Zeitpunkt T_0 determiniert wird, folgt, dass in (5.13) die einzige Größe, die durch eine Sicherung beeinflusst werden kann, der Zähler des jeweiligen Summengliedes $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}} - DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}}))$ ist.³⁹⁸ Dieser entspricht dem erwarteten DWCCF gemäß Formel (5.8), welche somit die Zielfunktion darstellt.³⁹⁹

5.3.2 Wahl der Strikes als Entscheidungsvariable

Im vorliegenden Fall stellt die Lage der Strikes der Instrumente in einer Derivatekombination die *Entscheidungsvariable*⁴⁰⁰ dar. Wie in Kapitel 5.1.2.3 beschrieben, können die Strikes aller Optionen im Modell frei gewählt werden. Die Strikes aller in einer einzelnen Derivatekombination w erfassten Derivate, werden durch den Vektor $\mathbf{k}_w$ beschrieben.

³⁹⁴ Im Rahmen der Simulation wird zur Bewertung in einem Zeitpunkt T_0 jeweils der in diesem Zeitpunkt gültige $WACC_{i,T_0}$ herangezogen. Allgemeine Hintergründe zum WACC finden sich in Kapitel 3.1.1.1. Für theoretische Hintergründe zu Berechnungen mit sich über die Zeit ändernden WACCs siehe beispielsweise: Lorenz/Kruschwitz/Löffler (2016): S. 81 ff.

³⁹⁵ Formal wird in (5.12) und folgend in (5.13) unterstellt, dass T_0 (entspricht: $T = 0$) das Ende der Periode $\bar{T}_0$ markiert und sich in der logischen Sekunde vor τ_1 , dem Beginn der Periode $\bar{T}_1$, befindet. Siehe auch die Formeln (3.1) und (3.2).

³⁹⁶ Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 396 f. Siehe auch: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 399 ff.

³⁹⁷ Wie zuvor bereits dargestellt, wird hierfür angenommen, dass alle DWC, die direkt aus Realisierungen von $FCF_{i,\bar{T}}$ entstehen, teils aber erst in Folgeperioden zahlungswirksam werden (Beispiele: Höhere zukünftige Zinsen, Kosten für Insolvenzverfahren usw.), bereits adäquat in $DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}})$ erfasst sind.

³⁹⁸ Die Herleitung und Bestimmung des $WACC_{i,T_0}$ je Zeitpunkt T_0 ist in Kapitel 6.1.2.3 dargestellt.

³⁹⁹ Es sei darauf hingewiesen, dass direkte Transaktionskosten der Sicherung (Beispiele: Personalkosten für Mitarbeiter, welche die Sicherungsinstrumente handeln oder IT-Kosten für Systeme zur Derivateerfassung) aus Vereinfachungsgründen in der Zielfunktion nicht erfasst werden und daher in dieser Arbeit keine Berücksichtigung finden.

⁴⁰⁰ Ab zwei Instrumenten je Derivatekombination (siehe: Tabelle 60) gibt es somit Entscheidungsvariablen (Plural).

Während die Wahl der Strikes in der Praxis durch das Management des Unternehmens erfolgt, wird die Lage der einzelnen Strikes im Modell über die Optimierung ermittelt. Im Modell stehen hierbei zunächst jegliche Derivatekombinationen von Durchschnittspreisinstrumenten gemäß der Auswahl nach Tabelle 3 in Kapitel 4.2.3.2 zur Verfügung. Praktisch wird OPTA daher bei jeder Optimierung nacheinander für alle zur Verfügung stehenden Derivatekombinationen zunächst jeweils separat die optimale Lage aller Strikes je einzelner Derivatekombination ermitteln. Danach wird, unter Kenntnis der optimalen Lage der Strikes aller nutzbaren Derivatekombinationen, diejenige Derivatekombination w ausgewählt werden, welche den maximalen erwarteten DWCCF aufweist.

5.3.3 Optimierung in OPTA: Maximierung des erwarteten DWCCF

Gemäß den vorangegangenen Darstellungen wird im Modell der erwartete *Deadweight-Cost-Cash-Flow* einer Periode $\bar{T}$ durch den Abschluss einer Sicherung w im Zeitpunkt T_0 über die Wahl der Strikes der Derivate ($\mathbf{k}_w$) maximiert. Dies führt gemäß den Darstellungen in Kapitel 5.3.1 zur Maximierung des Unternehmenswertes. Ausgehend von der Zielfunktion in (5.8) lautet das Maximierungsproblem daher:

Optimierungsproblem: Maximierung des erwarteten DWCCF

$$\max_{\mathbf{k}_w} E_{T_0} (DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \quad (5.14)$$

Alternativ kann die Zielfunktion aus (5.8) bereits vereinfacht werden. Die ausführliche Darstellung der notwendigen Schritte findet sich in den Formeln (A VIII.1) und (A VIII.2) im Anhang A VIII. a). Beide Formeln greifen bereits auf die bivariate Zufallsverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$ zurück. Diese Verteilung wird nachfolgend separat in Kapitel 6.2 vorgestellt. An dieser Stelle wird lediglich angenommen, dass die gemeinsame Verteilungsfunktion existiert und es sich um eine stetige Funktion handelt. Zusätzlich wird angenommen, dass die nichtnegative integrierbare gemeinsame Dichtefunktion der Zufallsvariablen existiert. Es folgt:⁴⁰¹

Zielfunktion: Split der Erwartungswerte

$$\begin{aligned} E_{T_0} (DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \\ = E_{T_0} (PUOF_{i,\bar{T}}) - E_{T_0} (Fuel_{\bar{T}}) \\ - E_{T_0} (HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) + E_{T_0} (ErlösRest_{i,\bar{T}}) \\ - E_{T_0} (AufwandRest_{i,\bar{T}}) - E_{T_0} (DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \end{aligned} \quad (5.15)$$

Praktisch hat die Ausgestaltung der Entscheidungsvariable(n) $\mathbf{k}_w$ allerdings nur Einfluss auf das letzte Element in (5.15).⁴⁰² Daher lässt sich das Maximierungsproblem vereinfachen zu:

Optimierungsproblem: Erwarteter DWCCF II

$$\max_{\mathbf{k}_w} -E_{T_0} (DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \quad (5.16)$$

Dies entspricht:

⁴⁰¹ Aus Übersichtlichkeitsgründen wird in (5.15) unterstellt: *Steuer* = 0. Da einzelne Summanden und Subtrahenden lediglich mit der Konstanten $(1 - Steuer)$ multipliziert werden, hat diese Annahme keine Auswirkungen auf dargestellte Ergebnisse. Siehe auch Darstellung in den Formeln (A VI.15) bis (A VI.17) im Anhang A VI. b).

⁴⁰² Grund: Vier Elemente in (5.15) sind von $\mathbf{k}_w$ unabhängig. Zudem muss der Erwartungswert des Sicherungsergebnisses, als Summe von Prämie und erwarteter Auszahlung aus der Sicherung, für jede Wahl von $\mathbf{k}_w$ stets 0 betragen (siehe: (3.8)).

Optimierungsproblem: Minimierung der erwarteten DWC

$$\min_{\mathbf{k}_w} E_{T_0}(DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \quad (5.17)$$

Demnach muss, sofern die theoretischen Annahmen zur fairen Derivatebewertung als gegeben angesehen werden, zur Maximierung des Unternehmenswertes lediglich der Erwartungswert von $DWC_{i,\bar{T}}(FCF_{i,\bar{T}})$ durch die Wahl optimaler Strikes minimiert werden.⁴⁰³

⁴⁰³ Diesen Zusammenhang zwischen der Maximierung des Unternehmenswertes und der Minimierung der Deadweight-Costs stellt Korn (2010) ebenfalls dar. Vgl. Korn (2010): S. 836.

6 Modellformulierung II: Das Gesamtmodell

An Kapitel 5 anschließend, widmet sich auch Kapitel 6 dem Übertrag des bestehenden und zuvor analysierten Systems (siehe: Kapitel 4) in ein Modell. Während der Fokus von Kapitel 5 primär darauf lag, aus den Ergebnissen der vorgelagerten Systemuntersuchung die Basis für ein theoretisch fundiertes konzeptionelles (Optimierungs-) Modell abzuleiten, setzt sich Kapitel 6 damit auseinander, wie diese abstrakte Modellbasis erweitert werden muss, damit sie in einer realitätsnahen Simulationsstudie genutzt werden kann.⁴⁰⁴

Um alle diese Schritte für den vorliegenden Fall durchführen zu können, befasst sich Kapitel 6.1 zunächst mit den Inputdaten des Simulationsmodells. Von besonderer Relevanz ist diese Auseinandersetzung deshalb, weil die praktische Relevanz von Simulationsergebnissen maßgeblich von der Qualität der genutzten Inputdaten sowie der Praxisnähe der Modellierung von Daten abhängt. Beispielhaft befasst sich Stulz (2003) mit Problemen, welche aus einer fehlerhaften Modellierung von realen Risiken bei der Implementierung von theoretisch vorteilhaften Risikomanagementstrategien resultieren können.⁴⁰⁵ Andere Autoren erachten die Auseinandersetzung mit den Inputdaten als zentrales Element beim Aufstellen eines Simulationsmodells.⁴⁰⁶ Unter Kenntnis über die Inputdaten können in Kapitel 6.2 die Verteilungen der Zufallsvariablen analytisch beschrieben werden. Im Anschluss daran können Nebenbedingungen der Optimierung (Kapitel 6.3), weitere Restriktionen des Simulationsmodells (Kapitel 6.4) und relevante Sondersachverhalte (Kapitel 6.5) vorgestellt werden. Aus der verbalen Darstellung der Gesamtheit aller dieser Schritte ergibt sich schließlich das kommunizierbare sowie aus der formalen Darstellung der Schritte das programmierbare Modell. Im Anschluss kann über das Design von Experimenten das experimentelle Modell aufgestellt werden (siehe: Kapitel 7).

6.1 Wahl der Beobachtungsobjekte und Beschreibung genutzter Daten

Simulationen in dieser Arbeit werden ausschließlich für US-Fluggesellschaften durchgeführt. Kapitel 6.1.1 stellt deshalb zunächst dar, weshalb diese Wahl inhaltlich sinnvoll ist und nach welchen Kriterien einzelne Fluggesellschaften zur Betrachtung in dieser Arbeit ausgewählt wurden. Im Anschluss daran wird detailliert dargelegt, welche Daten aus welchen Datenbanken in nachfolgenden Simulationen genutzt werden. Die zu verarbeitenden Daten werden hierfür zwei Themenblöcken zugeordnet: fluggesellschaftsspezifische Daten (Kapitel 6.1.2) sowie allgemeine Marktdaten zu Rohwaren (Kapitel 6.1.3).

6.1.1 Wahl eines Marktes sowie der erfassten Fluggesellschaften

Alle Simulationen in dieser Arbeit beschränken sich auf Kontinentalverbindungen innerhalb Nordamerikas. Diese Herangehensweise ist aus vier Gründen vorteilhaft:

(1) *Vermeiden von Zufallseffekten aus Wechselkursen (Treibstoffpreise)*: Treibstoffpreise werden in der Regel weltweit in US-Dollar quotiert und abgerechnet.⁴⁰⁷ Daher wäre bei der Untersuchung des Treibstoffaufwands von Fluggesellschaften, deren Heimat- und

⁴⁰⁴ Dieser Übertrag vom konzeptionellen zum experimentellen Modell umfasst gemäß Balci (1998) die Modellvorstellung, die Gestaltung eines kommunizierbaren Modells sowie die Programmierung des Modells. Vgl. Balci (1998): S. 337 ff.

⁴⁰⁵ Vgl. Stulz (2003): S. 611 ff.

⁴⁰⁶ Vgl. Balci (1998): S. 337, 340 ff.; vgl. Musselman (1998): S. 722, 730 ff.

⁴⁰⁷ Vgl. Clark (2014): S. 161 ff.; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72; vgl. Ryanair (2019a): S. 59.

Berichtswährung nicht der US-Dollar ist, zusätzlich ein Wechselkurseffekt zu berücksichtigen.⁴⁰⁸ Da davon auszugehen ist, dass Wechselkurse sich stochastisch entwickeln, wäre in diesem Fall eine weitere Zufallsvariable im Modell zu erfassen. Eine solche Erweiterung würde die Modellkomplexität deutlich erhöhen, aber keinen Mehrwert bezüglich der untersuchten Fragestellung nach der Ausgestaltung von optimalen Treibstoffpreissicherungen schaffen. Aus diesem Grund werden nur Beobachtungen von Fluggesellschaften genutzt, deren Heimat- und Berichtswährung der US-Dollar ist.

(2) *Vermeiden von Zufallseffekten aus Wechselkursen (Ticketverkäufe)*: Wie in Kapitel 5 dargestellt, werden im Modell mit $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$ zwei Zufallsvariablen berücksichtigt. Zur Beschreibung der gemeinsamen Verteilungsfunktion ist die Korrelation zwischen den Zufallsvariablen von Relevanz (siehe: Kapitel 6.2.3). Da Werte für $Fuel_{\bar{T}}$ in US-Dollar quotiert werden, könnten zufällige Wechselkurse für solche Ticketeinzahlungen, die nicht in US-Dollar quotiert werden, den Korrelationskoeffizienten verzerren. Auch in diesem Fall bestünde die Notwendigkeit, Wechselkurse durch eine weitere Zufallsvariable zu modellieren.⁴⁰⁹ Um diese Erweiterung zu umgehen, wird auf Rohdaten zurückgegriffen, für welche anzunehmen ist, dass Ticketpreise bereits in US-Dollar bestimmt werden und Ticketeinzahlungen überwiegend in US-Dollar stattfinden. Es werden daher lediglich Daten zu Kontinentalverbindungen von US-Fluggesellschaften berücksichtigt.⁴¹⁰

(3) *Wahl eines homogenen und unverzerrten Marktes*: Im Rahmen der Simulationsstudien soll ein einzelner und klar abgrenzbarer Markt betrachtet werden, auf welchem keine oder nur geringe wettbewerbsverzerrende exogene Einflüsse zu erwarten sind. Es wird angenommen, dass auf dem deregulierten US-Markt wenige bis keine verzerrenden regulatorischen Eingriffe vorliegen. Solche Eingriffe könnten beispielsweise die Preissetzung, die Streckenplanung oder die Vergabe von Start- und Landerechten betreffen.

(4) *Verfügbarkeit von Daten*: Die Simulationsstudie kann nur durchgeführt werden, wenn konsistent ermittelte und homogen definierte Daten für verschiedene Fluggesellschaften vorliegen. Daten von börsennotierten US-Fluggesellschaften werden vom *US Bureau of Transportation Statistics* (im Folgenden: BOTS) gesammelt, aufbereitet und in einer standardisierten und konsistenten Form über eine Website frei zugänglich zur Verfügung gestellt.⁴¹¹ Historische Daten können rückwirkend bis mindestens in das Jahr 1990 abgegriffen werden. Die Datenbank des BOTS liefert demnach eine einzigartige Datenbasis für historische ökonomische Kennziffern der Fluggesellschaften eines Marktes.

⁴⁰⁸ Der Einfluss zufälliger Wechselkurseffekte auf die Zahlungen für Treibstoffpreise in US-Dollar kann von Nicht-US-Dollar Gesellschaften durch Währungssicherungen verringert werden. Währungssicherungen werden in der vorliegenden Arbeit aus Komplexitätsgründen nicht diskutiert. Beispiel: Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72.

⁴⁰⁹ Der Einfluss zufälliger Wechselkurseffekte auf Ticketeinzahlungen könnte ebenfalls durch Währungssicherungen verringert werden. Exemplarisch geben allerdings sowohl *American Airlines* als auch *United Airlines* an, dass Wechselkursderivate zur Sicherung von Umsatzerlösen im Zeitpunkt der Berichterstellung nicht zum Einsatz kommen. Vgl. American Airlines (2019): S. 68 f.; vgl. United Airlines (2019): S. 38.

⁴¹⁰ Es ist anzunehmen, dass US-Fluggesellschaften Tickets für internationale Flüge auch in relevantem Umfang in Ländern vertreiben, in welchen der US-Dollar keine Zahlungswährung ist. Bei Gesellschaften, welche internationale Flüge über Drehkreuze operieren, ist daher davon auszugehen, dass, aufgrund von Zubringerflügen, auch für Kontinentalverbindungen einzelne Tickets in anderen Währungen als dem US-Dollar vereinnahmt werden. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit wird zur Vereinfachung unterstellt, dass Wechselkurs-Zufallseffekte, die aus solchen Zubringern resultieren, vernachlässigt werden können.

⁴¹¹ Alle BOTS-Daten für Fluggesellschaften können unter <https://www.transtats.bts.gov/> durch Auswahl des Themenfeldes „Aviation“ abgerufen werden. Alle folgenden Aussagen zur Datenbank beziehen sich auf den Stand zum 10.04.2021. Bezüglich der Datenkonsistenz ist im Code of Federal Regulations (2021) definiert, welche Daten unter einzelnen Berichtspositionen zu erfassen sind. Alle folgenden Angaben zum Inhalt einzelner Berichtspositionen entstammen dem Code of Federal Regulations (2021).

Relevant sind im Folgenden alle Flugsegmente, bei denen Start- und Zielflughafen innerhalb des Staatsgebietes der Vereinigten Staaten von Amerika oder Kanada liegen.⁴¹² Sofern im weiteren Verlauf der Arbeit auf *inneramerikanische Flüge*, den *inneramerikanischen Markt* oder ähnliche geografische Bezeichnungen verwiesen wird, bezieht sich dies auf Flugsegmente gemäß dieser Definition.

Um Zufallseffekte aus Wechselkursen zu vermeiden, werden ausschließlich solche Fluggesellschaften betrachtet, die ihren Unternehmenssitz in den Vereinigten Staaten von Amerika haben und deren Heimat- und Berichtswährung der US-Dollar ist. Des Weiteren werden nur solche Fluggesellschaften berücksichtigt, für welche Daten über den gesamten Zeitraum zwischen 1990 und 2019 vorliegen und die innerhalb dieses Zeitraumes durchgängig zu den zehn größten inneramerikanischen Fluggesellschaften zählten.⁴¹³ Auf Basis dieser Selektionskriterien verbleiben die vier in Tabelle 4 aufgeführten Fluggesellschaften im Datensatz.

Tabelle 4 – Fluggesellschaften im Datensatz

Fluggesellschaft	IATA-Code	Bloomberg-Ticker ⁴¹⁴	Jahre im Datensatz	Summe Ticketerlöse (in Mrd.)	Summe Treibstoffverbrauch (in Mio.)
Delta Air Lines	DL	DAL US Equity	30	345,8 USD	1.250 bbl
American Airlines	AA	AAL US Equity	30	345,6 USD	1.370 bbl
United Airlines	UA	UAL US Equity	30	294,3 USD	1.100 bbl
Southwest Airlines	WN	LUV US Equity	30	265,0 USD	880 bbl

Die Tabelle stellt dar, für welche Fluggesellschaften zur Simulation mittels OPTA Daten gesammelt wurden. Alle Daten beziehen sich lediglich auf inneramerikanische Flüge. Dargestellte Daten wurden aus der BOTS-Datenbank für den Zeitraum 1990 bis 2019 errechnet. Der Rechenweg zur Ermittlung der dargestellten Daten wird in Kapitel 6.1.2 beschrieben.

Es ist zu beachten, dass die nachfolgend über das Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse (siehe: Kapitel 7) aufgrund der hier dargestellten Beschränkungen zunächst nur für US-amerikanische Fluggesellschaften und den inneramerikanischen Markt Gültigkeit besitzen. Es wird angenommen, dass der Übertrag auf andere weitestgehend deregulierte Märkte (Beispiel: Europa) grundsätzlich möglich ist. Für einen solchen Übertrag ist es jedoch notwendig, über die zuvor skizzierten Effekte aus stochastischen Wechselkursen zu kontrollieren.

6.1.2 Fluggesellschaftsspezifische Daten

Die für retrospektive Simulationen relevanten fluggesellschaftsspezifischen Daten werden vorwiegend der BOTS-Datenbank entnommen (Kapitel 6.1.2.1 und 6.1.2.2). Darüber hinaus werden ausgewählte fluggesellschaftsspezifische Daten genutzt, die von *Bloomberg Professional Services* zur Verfügung gestellt werden (Kapitel 6.1.2.3).

⁴¹² Gemäß der Definition in Code of Federal Regulations (2021) sollen unter Positionen, welche sich auf *Domestic Flights* beziehen, nur Daten zu solchen Flügen berücksichtigt werden, die innerhalb der 50 US-Bundesstaaten starten und landen. Abgesehen von Hawaii und Alaska würden Flüge von/nach/innerhalb der Außengebiete und Inselterritorien der USA sowie von/nach/innerhalb Kanadas nicht berücksichtigt. Ein manueller Abgleich zwischen Daten in United Airlines (2019) und Daten des BOTS zeigt jedoch, dass unter *Domestic* ausgewiesene Erlösdaten auch Flugsegmente berücksichtigen, die beispielsweise Start und/oder Ziel in Kanada haben. Vor dem Hintergrund dieser Beobachtung wird die weitergefasste Definition gemäß Fließtext berücksichtigt. Es wird angenommen, dass diese Definition für die BOTS-Daten aller betrachteten Gesellschaften zutrifft. Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 101 f.; vgl. United Airlines (2019): S. 55.

⁴¹³ Als Stellvertreter-Variable für die Größe werden die jährlichen Passagierzahlen auf kontinentalen Flügen herangezogen. Die zugehörige Übersicht zu jährlichen Passagierzahlen findet sich in Tabelle 64 im Anhang B I.

⁴¹⁴ Der Bloomberg-Ticker entspricht dem Ticker der jeweiligen Aktie („*Equity Ticker*“).

6.1.2.1 Finanz- und Verkehrsdaten

Wie zuvor bereits dargelegt, werden fluggesellschaftsspezifische Daten vom BOTS in standardisierter Form veröffentlicht. Auf der Website des BOTS werden die Daten für Fluggesellschaften in 26 heterogenen Datenbank-Rubriken veröffentlicht, unter welchen teils mehrere einzelne Datentabellen existieren. Im Folgenden werden Daten der beiden Rubriken (1) Finanzdaten und (2) Verkehrsdaten genutzt.⁴¹⁵ Daten in den relevanten Datentabellen sind ab dem 01.01.1990 verfügbar. Als Endpunkt der Analyse wurde der Datenstand zum 31.12.2019 gewählt.

Um Daten eindeutig einer Fluggesellschaft zuzuordnen, wird das Kriterium „*Unique Carrier Code*“ genutzt. Dieser stellt ein eindeutiges Zuordnungsmerkmal dar und ist über alle Datentabellen hinweg konsistent nutzbar.⁴¹⁶

Um relevante Daten aus der BOTS-Datenbank auszuwählen, ist der Rückgriff auf die Darstellung von $FCF_{i,T}$ gemäß (5.5) hilfreich. Im Folgenden werden zunächst diejenigen fluggesellschaftsindividuellen Daten zum Aufstellen von (5.5) im Einzelnen vorgestellt, welche nicht abhängig von $Fuel_T$ sind. Die Datenbasis derjenigen Komponenten, die von $Fuel_T$ abhängen, wird in Kapitel 6.1.3 vorgestellt. Für Hintergründe zur inhaltlichen Zusammensetzung der Positionen wird auf Kapitel 5.1.2 verwiesen.

1. Erlös- und Einzahlungsdaten

Gemäß (5.3) müssen zur Bestimmung von $Ticketeinzahlung_{i,T}$ Informationen über $Ticketerlös_{i,T}$ vorliegen. Diese werden der BOTS-Tabelle „*Schedule P-1.2*“ entnommen, welche GuV-Daten je Fluggesellschaft und Quartal enthält. Daten für inneramerikanische Strecken sind in der Datentabelle unter „*CarrierRegion*“ dem Verkehrsgebiet „*D*“ („*Domestic*“) zugeordnet. Als $Ticketerlös_{i,T}$ werden die Daten der Variable „*TransRevPax – 39010*“ genutzt.⁴¹⁷ Diese erfasst je Gesellschaft den gesamten Umsatz, welcher durch reguläre kommerzielle Passagiertransportdienstleistungen innerhalb eines Quartals erbracht wird.⁴¹⁸ Nicht enthalten sind unter anderem direkte Umsatzsteuern, umgelegte und separat ausgewiesene Passagiergebühren⁴¹⁹ sowie Nebenerlöse für weitere Leistungen⁴²⁰.

Darüber hinaus ist zur Bestimmung von $Ticketeinzahlung_{i,T}$ auch die Ausprägung von $VerbFlug_{i,T}$ (sowie $VerbFlug_{i,T-1}$) relevant. Bilanzdaten werden der Tabelle „*Schedule B-1*“ entnommen und liegen ab dem 31.03.1990 jeweils per Quartalsende vor. Relevant ist die Variable „*LiabAirTraffic – 21600*“. Es ist allerdings zu beachten, dass die vom BOTS ausgewiesenen Daten manuell korrigiert werden müssen, bevor sie als $VerbFlug_{i,T}$ im Simulationsmodell berücksichtigt werden können. Das Vorgehen sowie Hintergründe zur Korrektur werden im Anhang A IX. a) unter Punkt 3 beschrieben.

Zur Bestimmung der Daten für die Variable $ErlösRestAbs_{i,T}$ wird auf eine indirekte Methode zurückgegriffen. Berechnet wird die Variable aus der Differenz zwischen den

⁴¹⁵ Als Finanzdaten werden hier Daten der Rubrik „*Air Carrier Financial Reports (Form 41 Financial Data)*“ bezeichnet. Die Rubrik umfasst zwölf Datentabellen. Als Verkehrsdaten werden Daten der Rubrik „*Air Carrier Statistics (Form 41 Traffic) – U.S. Carriers*“ bezeichnet. Diese umfasst sechs Datentabellen.

⁴¹⁶ Im Rahmen dieser Arbeit werden Daten ausschließlich gemäß der vom BOTS vorgenommenen Zuordnung über den „*Unique Carrier Code*“ Gesellschaften zugeordnet. Sonstige Anpassungen finden nicht statt.

⁴¹⁷ Eine detaillierte Beschreibung zur Überleitung zwischen Informationen gemäß Datentabelle des BOTS sowie Information gemäß Code of Federal Regulations (2021) findet sich ergänzend im Anhang A IX. a).

⁴¹⁸ Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 134 f., 173 f.

⁴¹⁹ Vereinnahmte passagierabhängige Gebühren (beispielsweise Sicherheitsgebühren) werden unter $ErlösRestAbs$ erfasst. Der korrespondierende Aufwand findet sich in $AufwandRestAbs$.

⁴²⁰ Hierunter fallen sowohl flugabhängige (Beispiel: Zusatzgepäck) als auch nicht-flugabhängige (Beispiel: Stormierungsgebühren) Erlöse. Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 134 ff.

gesamten operativen Erlösen („*OpRevenues* – 49990“) und den Ticketerlösen („*Trans-RevPax* – 39010“) einer Periode.⁴²¹

2. Restlicher Aufwand

Zur Bestimmung von $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ wird ebenfalls eine indirekte Berechnungsmethodik genutzt. Zunächst wird die Summe der operativen Aufwendungen („*OpExpenses* – 71990“ in „*Schedule P-1.2*“) ermittelt. Die Zuordnung der Daten zum Verkehrsgebiet erfolgt entsprechend der Information unter „*CarrierRegion*“. Zur Bestimmung von $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ wird vom gesamten operativen Aufwand der Treibstoffaufwand inklusive Sicherungsergebnis jedoch exklusive IPD und Kerosinsteuern subtrahiert (siehe: Kapitel 5.1.2.2). Dieser zu subtrahierende Treibstoffaufwand je Monat für alle geplanten⁴²² Flüge findet sich in der Datentabelle „*Schedule P-12(a)*“ als „*STDOMCost*“^{423, 424}.

3. Treibstoffmenge

Des Weiteren ist es notwendig, die Kerosinverbrauchsmenge ($Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$) je Periode und Gesellschaft aus den BOTS-Daten zu ermitteln. Die relevante Treibstoffmenge für inneramerikanische Flüge wird ebenfalls der Tabelle „*Schedule P-12(a)*“ entnommen. Der Name der Variable ist „*STDOMGallons*“⁴²⁵. Treibstoffverbrauchsmengen werden je Monat in US-Gallonen bereitgestellt und manuell in Barrel konvertiert.⁴²⁶

4. Fluggesellschaftsspezifische Produktionsdaten

Darüber hinaus werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit sechs fluggesellschaftsspezifische Verkehrskennziffern genutzt, deren monatliche Ausprägungen ebenfalls der BOTS-Datenbank entnommen oder aus dort verfügbaren Daten errechnet werden können. Die Kennziffern sind: Anzahl angebotene Sitzplätze ($Sitze_{i,\bar{T}}$), Anzahl beförderte Passagiere ($Passagiere_{i,\bar{T}}$), durchschnittlicher Sitzladefaktor in Prozent ($SLF_{i,\bar{T}}$), angebotene Sitzplatzkilometer (im Folgenden: ASK⁴²⁷) ($ASK_{i,\bar{T}}$), verkaufte Sitzplatzkilometer ($RSK_{i,\bar{T}}$) und Treibstoffverbrauch je 100 ASK ($Effizienz_{i,\bar{T}}$). Diese Daten werden je Fluggesellschaft und Monat für alle inneramerikanischen Flüge errechnet. Zur Bestimmung der ersten fünf Kennziffern kann auf die Datentabelle „*T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)*“ zurückgegriffen werden.⁴²⁸ Die genaue Zuordnung von Daten zu den Kennziffern wird im Anhang A IX. a) detailliert beschrieben. Die Ausprägung von $Effizienz_{i,\bar{T}}$ lässt sich nachfolgend aus den Informationen zu $ASK_{i,\bar{T}}$ und $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ berechnen.

Für eine Übersicht findet sich im Anhang B I zudem Tabelle 65, die alle genutzten BOTS-Daten sowie deren Zuordnung zu Variablen im Modell darstellt.

⁴²¹ Alternativ ist die Berechnung über einen direkten Ansatz möglich. Bei diesem muss allerdings eine größere Anzahl an Daten manuell verarbeitet werden. Dieser Ansatz wird im Anhang A IX. a) vorgestellt.

⁴²² In BOTS-Datenbank explizit abgegrenzt gegenüber nicht-geplanten („*non-scheduled*“) Flügen.

⁴²³ Diese Bezeichnung findet sich bei der Beschreibung der Daten auf der Website des BOTS. Nach Download der Daten ist die entsprechende Spalte in der Exceldatei mit „*SDOMT_COST*“ überschrieben.

⁴²⁴ Es sei angemerkt, dass der in „*Schedule P-12(a)*“ ausgewiesene Treibstoffaufwand teils von dem in anderen Datentabellen (Beispiel: „*Schedule P-5.1/2*“) ausgewiesenen Treibstoffaufwand abweicht. Der Grund hierfür ist die Definition der Kennziffern. Exemplarisch werden in „*Schedule P-5.1/2*“ Kerosinsteuern als Teil des Treibstoffaufwands ausgewiesen. Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 175 ff.

⁴²⁵ Diese Bezeichnung findet sich bei der Beschreibung der Daten auf der Website des BOTS. Nach Download der Daten ist die relevante Spalte in der Exceldatei mit „*SDOMT_GALLONS*“ überschrieben.

⁴²⁶ Zur Umrechnung zwischen Volumina siehe: Tabelle 54 im Anhang B I.

⁴²⁷ Die Abkürzung ASK steht für die englische Übersetzung: *Available Seat Kilometers*.

⁴²⁸ Passagierbezogene Verkehrskennziffern werden in „*T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)*“ je Flugsegment berichtet. Ein Flugsegment entspricht dem Paar von Start- („*OriginAirportID*“) und Zielflughafen („*DestinationAirportID*“). Pro Segment wird beispielsweise die Summe aller Passagiere („*Passengers*“) auf einem Segment erfasst. Somit werden Passagiere, die auf einem Ticket eine Umsteigeverbindung mit mehreren Segmenten fliegen, mehrfach in der Datentabelle erfasst. Siehe auch: Anhang A IX. a).

6.1.2.2 Zusammenfassung und Herleitung normierter Monatsdaten

Es wurde zuvor festgelegt, dass in OPTA der Abschluss von Sicherungen für Kalendermonate simuliert wird (siehe unter anderem: Kapitel 4.2.3.1). Wie im vorangegangenen Subkapitel dargestellt, sind einige der BOTS-Finanzdaten in ihrer Rohform allerdings nur quartalsweise verfügbar. Um eine Simulation für Kalendermonate zu ermöglichen, ist es daher notwendig, einzelne Quartalsrohdaten manuell auf Monate zu verteilen. Die Verteilung betrifft im Einzelnen die Variablen $PUOF_{i,\bar{T}}$, $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$, $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ und $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$. Die Verteilung der ersten drei Erfolgsgrößen auf Monate erfolgt anhand der Verteilung der beförderten Passagiere ($Passagiere_{i,\bar{T}}$) innerhalb eines Quartales. Die Verteilung von $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ erfolgt gemäß der Verteilung des monatlichen Angebotes ($Sitze_{i,\bar{T}}$) innerhalb eines Quartales. Die Methodik zur Verteilung der Daten auf Monate wird im Anhang A IX. b) detailliert beschrieben.

Um die auf ein Barrel normierten Ausprägungen aller Variablen zu bestimmen, müssen alle abgegriffenen absoluten Daten zudem gemäß den Vorgaben aus Kapitel 5.1.2 jeweils durch die zugehörige Menge $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ dividiert werden. Die Umsetzung für einzelne Variablen wird ebenfalls im Anhang A IX. b) detailliert veranschaulicht.

Wie ebenfalls bereits dargestellt, liegen Bilanzdaten im „Schedule B-1“ erstmals am Stichtag 31.03.1990 vor. Da zur Ermittlung von $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ Informationen zur Ausprägung von $VerbFlug_{i,T-1}$ benötigt werden, liegen die Daten für vollständige Auswertungen somit ab dem zweiten Quartal 1990 beziehungsweise ab April 1990 vor.

Beim erzeugten und genutzten Datensatz handelt es sich demnach um einen Paneldatensatz, welcher für vier Fluggesellschaften Daten der Monate April 1990 bis Dezember 2019 enthält. Je Fluggesellschaft sind historische Daten für 357 Monate verfügbar. In Summe sind dies 1.428 individuelle Fluggesellschaftsmonate. Übersichten zu Ausprägungen ausgewählter Daten finden sich aggregiert in Tabelle 4 sowie in Tabelle 66 im Anhang B I.⁴²⁹

6.1.2.3 Kapitalstruktur und Ausfallwahrscheinlichkeiten

Des Weiteren wird auch auf Finanzdaten von Fluggesellschaften zurückgegriffen, die von *Bloomberg Professional Services* (im Folgenden auch: Bloomberg) zur Verfügung gestellt werden. Es werden nur solche Bloomberg-Finanzdaten verarbeitet, die in der Datenbank des BOTS nicht zur Verfügung stehen. Dies betrifft primär drei Kenngrößen je Fluggesellschaft: Ausfallwahrscheinlichkeit, Kapitalstruktur und Finanzierungskosten.

Bloomberg ermittelt standardisiert für Unternehmen an jedem Werktag die Wahrscheinlichkeit, dass ein Unternehmen binnen des nächsten Jahres Insolvenz anmelden muss.⁴³⁰ Abgerufen wird diese Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit in Bloomberg durch die Wahl des unternehmensspezifischen Equity-Tickers (siehe: Tabelle 4) und die Eingabe des Befehls „*DRSK*“.⁴³¹ Die Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit wird in Prozent angegeben und ist maximal ab dem 01.01.2006 verfügbar. Für *American Airlines* und *Southwest Airlines* sind Ausfallwahrscheinlichkeiten für jeden Werktag zwischen dem 01.01.2006 und dem 31.12.2019 verfügbar. Für *Delta Air Lines* stehen Daten ab dem 15.08.2007 zur Verfügung. Für *United Airlines* stehen Daten ab dem 25.02.2010 zur Verfügung. Die

⁴²⁹ In Tabelle 66 ist zu beachten, dass Daten nur für die Jahre 2007 bis 2019 und für *United Airlines* erst ab 2010 dargestellt sind. Der Grund hierfür ist, dass prospektive Modellsimulationen erst ab 2007 (UA: ab 2010) möglich sind. Diese Vorgabe resultiert aus Einschränkungen, die in Kapitel 6.1.3 vorgestellt werden.

⁴³⁰ Das Vorgehen zur Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeiten wird in Bloomberg (2020) beschrieben. Ermittelt und hier genutzt wird die „1 year estimated default probability“. Vgl. Bloomberg (2020): S. 3 ff.

⁴³¹ Genutzt wird die Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit mit *Data Field-ID*: RN366.

Ausfallwahrscheinlichkeiten können als Stellvertreter-Variable für die finanzielle Lage einer Fluggesellschaft genutzt werden (siehe: Kapitel 4.1.2.3). In OPTA wird die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls einer Gesellschaft i bis zur ein Jahr in der Zukunft endenden Periode $\bar{T}$ im Zeitpunkt T_0 durch $Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$ beschrieben. Abbildung 59 im Anhang B II visualisiert den historischen Verlauf von $Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$ je einzelner Fluggesellschaft.

Daten zur Kapitalstruktur und zu den Finanzierungskosten je Fluggesellschaft und Periode werden in Bloomberg gemeinsam abgerufen. Nach Wahl des Equity-Tickers (siehe: Tabelle 4) wird der Befehl „WACC“ genutzt. Die Kapitalstruktur wird aus der Darstellung unter „Capital Structure“ in der Datentabelle abgegriffen. Es werden die Summe von „Short Term Debt“ und „Long Term Debt“ als FK_{i,T_0} sowie der Börsenwert des Unternehmens („Historical Market Cap“) als EK_{i,T_0} erfasst. Bezüglich der Finanzierungskosten werden die unter „WACC“ ausgewiesenen Werte als $WACC_{i,T_0}$ berücksichtigt.⁴³² Daten zu echten historischen Unternehmenswerten werden ebenfalls aus Bloomberg abgerufen. Nach Wahl des Equity-Tickers (siehe: Tabelle 4) wird der Befehl „FA“ genutzt und anschließend der „Enterprise Value Ex-Operating Leases“⁴³³ ausgewählt. Dieser Wert entspricht dem Wert des gesamten Unternehmens unter Berücksichtigung von marktbewertetem Eigen- und Fremdkapital.⁴³⁴ Die Daten werden daher als echter historischer Wert des gesamten Unternehmens V_{i,T_0} berücksichtigt. Alle Daten zur Kapitalstruktur und zu den Finanzierungskosten stehen je Kalenderjahr zur Verfügung. Daten werden daher jeweils am Stichtag 31.12. abgerufen. Vor dem Hintergrund der Datenverfügbarkeit werden allen Zeitpunkten T_0 in Jahr $\bar{Y}$ jeweils die Daten zum Bilanzstichtag 31.12. des Jahres $\bar{Y}$ zugeordnet. Für *Southwest Airlines* und *Delta Air Lines* sind Daten durchgängig ab 2007 und für *United Airlines* durchgängig ab 2009 verfügbar. Für *American Airlines* stellt *Bloomberg Professional Services* nur Daten zum Fremdkapital durchgängig ab 2007 zur Verfügung. Daten zu V_{i,T_0} , EK_{i,T_0} sowie $WACC_{i,T_0}$ stehen bis 2012 teils nicht zur Verfügung, weshalb Schätzwerte mittels Interpolation berechnet werden müssen.⁴³⁵

Die Verarbeitung von gesellschaftsindividuellen Bloomberg-Finanzdaten im Modell wird ab Kapitel 6.3.1 beschrieben. Übersichten zu den Ausgestaltungen der genutzten Daten je Fluggesellschaft finden sich zusätzlich in Tabelle 67 im Anhang B I (Kapitalstruktur und -kosten) sowie in Abbildung 59 im Anhang B II (Ausfallwahrscheinlichkeiten).

6.1.3 Allgemeine Marktdaten zu Rohwarenpreisen und -volatilitäten

Daten zu realisierten und zu erwarteten Rohwarenmarktpreisen werden *Bloomberg Professional Services* entnommen (Kapitel 6.1.3.1). Zur ex-ante Quantifizierung der Verteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ sowie zur ex-ante Bestimmung von fairen Rohwarenderivatepreisen werden außerdem die realen und von Bloomberg erfassten Volatilitäten der relevanten Rohwaren berücksichtigt (Kapitel 6.1.3.2). Dieser Rückgriff auf die von einem Drittanbieter zur Verfügung gestellten Marktdaten zur Derivatebepreisung entspricht auch dem Vorgehen in der

⁴³² Die zugehörigen Data Field-IDs sind: BS051 („Long Term Debt“), BS047 („Short Term Debt“), RR250 („Historical Market Cap“) und VM011 („WACC“).

⁴³³ Genutzte Daten werden von Bloomberg ab 2018 automatisch über mögliche verzerrende Effekte aus der veränderten Bilanzierung von operativen Leasingverhältnissen unter IFRS16 bzw. ASC 842 korrigiert. Siehe auch: Anhang A VI. e).

⁴³⁴ Die Kennziffer entspricht dem zuvor in Kapitel 3.1.1 vorgestellten Entity Value (siehe: (3.2)). Für Hintergründe wird auch auf die Beschreibung zur Berechnung der Kennziffer in *Bloomberg Professional Services* verwiesen.

⁴³⁵ In den Erläuterungen zu Tabelle 67 (Anhang B I) ist dargestellt, wie die Parameter V_{i,T_0} , $WACC_{i,T_0}$ sowie EK_{i,T_0} für *American Airlines* in den Jahren berechnet werden, in welchen keine Bloomberg-Daten vorliegen. Dort werden zudem ebenfalls die Zusammenhänge zwischen den abgegriffenen Bloomberg-Daten für V_{i,T_0} , EK_{i,T_0} und FK_{i,T_0} erläutert.

Praxis.⁴³⁶ Die Datenbank von Bloomberg bietet in diesem Kontext eine einzigartige Datenquelle, die umfassende reale Daten für das Simulationsmodell zur Verfügung stellt. Für weitere Hintergründe wird auf die Kapitel 2.3.1.2, 4.1.2.2 sowie 4.2.2 verwiesen.

6.1.3.1 Rohwaren Spot- und Terminpreise

Wie in Kapitel 4.2.2 festgelegt, steht Fluggesellschaften im Rahmen der Simulation ausschließlich Kerosin als Referenzprodukt zur Verfügung. Um den bilanziellen Anforderungen bezüglich des geografischen Zusammenhanges zwischen relevantem Streckenportfolio, physisch getanktem Kerosin und Referenzprodukt gerecht zu werden (siehe: Kapitel 4.1.2.1), wird darüber hinaus mit Jet USGC lediglich eine für Nordamerika relevante Kerosinpreisnotierung berücksichtigt (siehe: Kapitel 2.3.2.2).

Terminpreise werden am Markt je Terminmonat quotiert. Gemäß den in Kapitel 2.3.1.2 vorgestellten Annahmen beschreibt $Fuel_{T_0, \bar{T}}$ den erwarteten Marktpreis für Terminmonat $\bar{T}$ aus Sicht des Zeitpunktes T_0 .⁴³⁷ Da es im Simulationsmodell möglich ist, Derivate bis zu 35 Monate in die Zukunft zu handeln (siehe: Kapitel 4.2.1.1), werden je Sicherungszeitpunkt mindestens 36 Preispunkte (Spotpreis plus 35 Terminpreise) benötigt.⁴³⁸

Da diese Preispunkte für Jet USGC nicht direkt aus Bloomberg abgegriffen werden können, müssen sie jeweils durch manuelle Berechnungen bestimmt werden. Wie in Abbildung 8 dargestellt, kann der Kerosinpreis aus der Addition mehrerer marktgehandelter Preiskomponenten ermittelt werden.⁴³⁹ Daher werden zunächst die Börsenschlusspreise für an der NY-MEX gehandelte Future-Kontrakte auf das jeweils relevante Mitteldestillat (Heizöl oder Diesel) über den Ticker „HO“ in Bloomberg abgerufen. Aktuell werden unter diesem Ticker Preise für *New York Harbor Ultra Low Sulphur Diesel* (kurz: *NYH ULSD*) quotiert.⁴⁴⁰ Tagesendpreise des Tickers „HO“ werden von Bloomberg in US-Dollar je Barrel quotiert und sind pro Werktag verfügbar. Spot- sowie Terminpreise für 17 Terminmonate sind ab 1991 verfügbar. Ab 17.04.2007 sind auch Daten für die Terminmonate 18 bis 35 verfügbar und ab 30.04.2012 sind Daten für 43 Terminmonate verfügbar. Über den Ticker „WU“ können zudem in Bloomberg die Börsenschlusspreise für börsengehandelte Kontrakte auf die Preisdifferenz (*Jet Differential*) zwischen dem jeweils unter „HO“ erfassten Mitteldestillat und Jet USGC abgerufen werden.⁴⁴¹ Die Quotierung des Differentials erfolgt in US-Dollar je US-Gallone, weshalb zur Bestimmung der Preise in US-Dollar je Barrel die Preise gemäß Tabelle 54 manuell umgerechnet werden. Seit April 2004 sind für das Jet Differential für

⁴³⁶ Darauf verweist beispielsweise jetBlue Airways (2019): Vgl. jetBlue Airways (2019): S. 41.

⁴³⁷ Das Rollen der Kontrakte wird bei der Terminpreisbestimmung nicht berücksichtigt. Siehe: Kapitel 2.3.1.2.

⁴³⁸ Wie in Kapitel 2.3.1.2 dargestellt, werden in der Praxis die jeweiligen Kontrakte mit nächstmöglicher Lieferung als Spotpreise berücksichtigt. Wie ebenfalls dort diskutiert, werden die Preise der jeweils nachfolgenden Terminkontrakte als Terminpreise der Folgemonate berücksichtigt. Diese Logik findet in dieser Arbeit fortan ebenfalls Anwendung.

⁴³⁹ Zur Ermittlung von Rohöldestillatpreisen über Differentials siehe auch: Vgl. Clark (2014): S. 207 ff.

⁴⁴⁰ Der Ticker „HO“ referenziert durchweg auf die jeweils relevante Preisbenchmark für Mitteldestillate an der US-Ostküste. Bis Mai 2013 wurden unter dem Ticker die Preise von Kontrakten auf *Heating Oil* (auch: *No. 2 Fuel Oil*) mit Lieferung in New York Harbor quotiert. Seit Ende Mai 2013 werden unter dem Ticker Preise auf das nah verwandte aber weniger schwefelhaltige Produkt *NYH ULSD* quotiert. In Bloomberg selbst wird diese Anpassung in der Beschreibung zum Ticker erläutert. In Bloomberg finden sich ab dem 03.06.2013 die Preise für *NYH ULSD* unter dem Ticker „HO“. Um im weiteren Verlauf dieser Arbeit ein Wechseln der Bezeichnungen zu vermeiden, gilt, dass, sofern im weiteren Verlauf der Arbeit auf *NYH ULSD*-Kontrakte referenziert wird, damit jeweils die unter dem Ticker „HO“ firmierenden Preise gemeint sind. Sofern auf Preise vor Mai 2013 referenziert wird, handelt es sich demnach eigentlich um die Preise für Heizölkontrakte. Der Sachverhalt wird in Clark (2014) ebenfalls erläutert. Vgl. Clark (2014): S. 200 f.

⁴⁴¹ Die Preise stammen von der NYMEX. Da die Preise der Differentials jeweils gegenüber dem historisch unter „HO“ erfassten Produkt ermittelt wurden, hat die Änderung des unter Ticker „HO“ firmierenden Referenzproduktes (siehe: Fußnote 440) keinen Einfluss auf dieses Vorgehen. Gemäß Bloomberg-Beschreibung wird über „WU“ die Preisdifferenz zu Preisen für *US Gulf Jet 54 Fuel pipeline* dargestellt. Die Definition zur Preisbestimmung des Differentials findet sich auch auf der Website der CME-Group, zu welcher die NYMEX gehört: https://www.cmegroup.com/trading/energy/refined-products/gulf-coast-jet-fuel-vs-nymex-no-2-heating-oil-platts-spread-swap_contractSpecs_options.html (Stand 10.04.2021).

jeden Werktag Spot- sowie Terminpreise für 32 Terminmonate verfügbar.⁴⁴² Ab 11.10.2013 liegen die Daten für 35 Terminmonate vor. Die Tagesendpreise je Terminmonat von NYH ULSD und das Differential werden manuell addiert. Um Simulationen für einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, werden Differentials für die Terminmonate 33 bis 35 zwischen 2007 und 2013 durch lineare Extrapolation manuell errechnet. Über diese Herangehensweise werden tägliche reale Spotpreise und Terminpreiskurven für Jet USGC ab dem 17.04.2007 für 35 Terminmonate errechnet. Die beim Abgriff der Daten genutzte Logik zur Zuordnung von Ticker auf Monate und Produkte wird in Tabelle 68 im Anhang B I veranschaulicht. Im Simulationsmodell werden Sicherungen nur an Börsenhandelstagen – unter Berücksichtigung von Wochenende und Börsenfeiertagen⁴⁴³ – abgeschlossen. Sofern innerhalb der Terminpreiskurven einzelner solcher Handelstage Terminpreise nicht verfügbar sind, findet eine lineare Inter- oder Extrapolation zur Erzeugung von Datenpunkten statt. Sofern die ganze Terminpreiskurve eines Handelstages nicht verfügbar ist, werden die verfügbaren Daten des folgenden Börsenhandelstages genutzt. Zur Ermittlung von realisierten durchschnittlichen Spotpreisen einer Periode werden nur verfügbare Spotdaten herangezogen. Sofern für einzelne Werktage Spotpreise nicht vorliegen, werden diese nicht ergänzt.

6.1.3.2 Volatilitäten der Rohwarenfutures

Um die Randverteilung von $Fuel_T$ in der Zielfunktion in (5.8) korrekt bestimmen zu können, ist neben dem Wissen über den erwarteten Preis der Rohware auch Kenntnis über die Streuung der Zufallsvariable notwendig. Auch zur Berechnung fairer Preise für Derivate im Simulationsmodell muss die Varianz von $Fuel_T$ bekannt sein (siehe: Kapitel 3.3). Im Folgenden ist daher dargestellt, welche Varianzen als Parameter der Randverteilung von $Fuel_T$ in einem Simulationsmodell berücksichtigt werden müssen, welches auf realitätsnahe Optionspreise zurückgreifen soll.

Zur Bestimmung fairer Derivatepreise ist es in der Praxis üblich, dass *Volatilitäten*⁴⁴⁴ genutzt werden, die kommerzielle Marktdatenanbieter zur Verfügung stellen.⁴⁴⁵ Hintergründe hierzu sind im Anhang A IX. c) zu finden. Bloomberg stellt solche Daten grundsätzlich ebenfalls zur Verfügung, bietet aber keine eigenen Volatilitätsdaten für Kerosin-Futures auf Jet USGC. Der Grund hierfür ist die geringe Größe und Liquidität des zugehörigen Optionsmarktes. Daher wird in dieser Arbeit als Stellvertreter-Volatilität für Jet USGC auf die verfügbare Volatilität eines nah verwandten Rohwarenproduktes zurückgegriffen. Dieses Vorgehen wird von Bloomberg selbst ebenfalls angewandt. Bei Nutzung der in Bloomberg integrierten Funktionalität zur Bepreisung von Derivaten werden zur Bestimmung von fairen Optionspreisen auf Jet USGC-Futures die verfügbaren Volatilitäten der Futures auf NYH ULSD (Ticker: „HO“) als Stellvertreterwerte vorgeschlagen.⁴⁴⁶ Vor diesem Hintergrund

⁴⁴² Diese Nicht-Verfügbarkeit von Kerosinpreisen in Bloomberg vor 2004 ist der Grund, weshalb in Abbildung 1 abweichend einmalig Daten der *U.S. Energy Information Administration* berücksichtigt wurden.

⁴⁴³ Zur Bestimmung der relevanten Tage wird in dieser Arbeit der in *Wolfram Mathematica* hinterlegte Feiertagskalender der NYMEX genutzt.

⁴⁴⁴ Im Kontext der Optionsbewertung wird in der Regel der Terminus *Volatilität* genutzt. Diese Volatilität entspricht beim Handel von europäischen Derivaten auf Rohwarenfutures der Standardabweichung der Veränderung des Terminpreises und somit dem Parameter σ in (3.11). Vgl. Hull (2006): S. 286 f.

⁴⁴⁵ Clark (2014) befasst sich beispielsweise mit dem Rückgriff auf durch Datenanbieter zugeliferte Volatilitäten für Rohwaren in der Praxis. Vgl. Clark (2014): S. 205 ff.

⁴⁴⁶ Die Funktionalität zur Bepreisung von Derivaten wird nach Wahl eines Referenzproduktes durch Eingabe des Codes „OYML“ gestartet. Es wurde der Ticker „FSGJM“ genutzt, unter welchem Bloomberg Preise für Jet USGC quotiert. In der geöffneten Maske schlägt Bloomberg unter anderem den Rückgriff auf die für „HO“ erfassten Volatilitäten vor. Die direkte Nutzung des Tickers „FSGJM“ in dieser Arbeit ist nicht möglich, da erfasste Daten nur für einen sehr begrenzten historischen Zeitraum zur Verfügung stehen.

wird es als geeignete Lösung erachtet, in der vorliegenden Arbeit ebenfalls auf Volatilitäten des unter Bloomberg-Ticker „HO“ erfassten Mitteldestillates zurückzugreifen.

Volatilitäten werden von Bloomberg in einem Zeitpunkt T_0 ebenfalls für verschiedene Terminmonate quotiert. Demnach lassen sich auch für Volatilitäten ganze Volatilitätskurven aus Bloomberg abrufen. Das konkrete Vorgehen zum Abgriff dieser Volatilitätskurven wird aus Übersichtlichkeitsgründen im Anhang A IX. d) beschrieben. Volatilitätskurven werden ebenfalls für jeden Werktag ab dem 17.04.2007 aufbereitet. Die abgegriffenen Kurven enthalten jeweils Daten für 35 Terminmonate. Sofern notwendig, werden in Kurven einzelne fehlende Datenpunkte durch lineare Inter- oder Extrapolation manuell ermittelt. Sofern die ganze Volatilitätskurve eines Handelstages nicht verfügbar ist, werden im Rahmen von Simulationen die verfügbaren Daten des folgenden Börsenhandelstages berücksichtigt.

6.2 Aufstellen der Verteilungsfunktionen

In diesem Kapitel werden zunächst die Randverteilungen und zugehörigen Verteilungsparameter der beiden Zufallsvariablen $Fuel_{\bar{T}}$ (Kapitel 6.2.1) sowie $PUOF_{i,\bar{T}}$ (Kapitel 6.2.2) im Detail beschrieben. Im Anschluss daran wird in Kapitel 6.2.3 diskutiert, weshalb die multivariate logarithmische Normalverteilung im Rahmen des aufgestellten Modells die zu nutzende multivariate Verteilungsannahme darstellt.

6.2.1 Randverteilung der Rohwarenpreise

Das Kapitel setzt sich mit der Randverteilung der Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ auseinander. Kapitel 6.2.1.1 leitet die Randverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ her. Kapitel 6.2.1.2 befasst sich damit, welche Daten im Rahmen einer Simulation als Input der Randverteilung zu nutzen sind.

6.2.1.1 Aufstellen der Randverteilung für Rohwarenpreise

Wie bereits in Kapitel 5.1.2.3 definiert, handelt es sich bei $Fuel_{\bar{T}}$ um eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$. Zur ex-post Bestimmung des realisierten Durchschnittspreises $Fuel_{\bar{T}}$ sind die täglichen diskreten Realisierungen von $Fuel_t$ (für: $\tau < t \leq T$) innerhalb der Periode $\bar{T}$ von Relevanz (siehe: Abbildung 6 und (2.2)). Bei $Fuel_t$ handelt es sich ebenfalls um eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$. Konsistent zu den Grundlagen der Optionspreistheorie wird für die Zufallsvariable $Fuel_t$, welche sich auf einen einzelnen Erfüllungszeitpunkt t bezieht, angenommen, dass diese einem stochastischen Prozess folgt, welcher durch die geometrische Brownsche Bewegung beschreibbar ist. Hieraus folgt, dass die Preise von $Fuel_t$ einer logarithmischen Normalverteilung unterliegen.⁴⁴⁷

Für die weiteren Erläuterungen ist zu beachten, dass die inhaltliche Belegung der Verteilungsparameter μ und σ sich zwischen verschiedenen Quellen teils unterscheidet. Da nachfolgend Arbeiten mit unterschiedlicher Belegung der Variablen als Quellen genutzt werden, findet sich eine Erläuterung zu den Zusammenhängen zwischen Darstellungen in verschiedenen Quellen im Anhang A X. a). Die in dieser Arbeit gewählte Belegung der Variablen orientiert sich bei der Beschreibung der Verteilungsparameter für Rohwarenpreise an Hull (2006). Daher entspricht μ_{Fuel} der erwarteten *diskreten per annum Rendite* des Preises des

⁴⁴⁷ Die Annahme wurde bereits in Kapitel 3.3 diskutiert. Es wird auf die dort genannten Quellen verwiesen.

Referenzproduktes.⁴⁴⁸ Für diese gilt die Annahme $\mu_{Fuel} = 0$.⁴⁴⁹ Die Variable σ_{Fuel} beschreibt die auf ein Jahr skalierte Standardabweichung dieser Rendite. Die aus Bloomberg abgegriffenen Volatilitäten (siehe: Kapitel 6.1.3.2) entsprechen der Größe σ_{Fuel} .

Während unter diesen Voraussetzungen die Verteilung von $Fuel_t$ einfach analytisch bestimmt werden kann (siehe: Formel (A X.7) im Anhang A X. b)), resultiert die Herausforderung beim Aufstellen der Treibstoffpreis-Randverteilung für das Modell daraus, dass zur Beschreibung der Verteilung der Durchschnittspreiszufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ nicht die zukünftige Realisierung des Treibstoffpreises für einen Zeitpunkt, sondern der Durchschnitt der Realisierungen innerhalb eines Zeitraumes $\bar{T}$ von Relevanz ist. In Kapitel 3.3.2.2 wurde bereits diskutiert, dass die analytische Beschreibung der Verteilung einer so definierten Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ nicht möglich ist. Im Rahmen der Diskussion wurde in Kapitel 3.3.2.2 allerdings auch das Optionsbewertungsmodell von Turnbull und Wakeman (1991) gemäß der Darstellung in Clark (2014) sowie Haug (2007) vorgestellt, in welchen eine approximative Verteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ hergeleitet und berücksichtigt wird. Um Konsistenz zwischen den Verteilungsannahmen des Simulationsmodells und denen des genutzten Optionspreismodells herzustellen, muss demnach auf identische Verteilungsannahmen wie im Modell von Turnbull und Wakeman (1991) zurückgegriffen werden.

Gemäß Turnbull und Wakeman (1991) wird angenommen, dass der arithmetische Mittelwert der Realisierungen von logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen approximativ ebenfalls durch eine logarithmische Normalverteilung beschrieben werden kann. Im Anwendungsfall muss daher zum Aufstellen der approximierten Verteilung lediglich auf die adjustierte Volatilität (σ_{TW}) gemäß (3.13) (siehe: Kapitel 3.3.2.2) zurückgegriffen werden.⁴⁵⁰ Unter diesen Annahmen gilt approximativ für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$:

Logarithmische Normalverteilung von Fuel für einen Erfüllungszeitraum

$$Fuel_{\bar{T}} \sim LN\left(Fuel_{T_0, \bar{T}}, Fuel_{T_0, \bar{T}}^2 * (e^{T * \sigma_{TW}^2} - 1)\right) \quad (6.1)$$

wobei $Fuel_{T_0, \bar{T}}$ den Erwartungswert und $Fuel_{T_0, \bar{T}}^2 * (e^{T * \sigma_{TW}^2} - 1)$ die Varianz der logarithmischen Normalverteilung beschreiben.

Hintergrunderläuterungen sowie Zwischenschritte zur Herleitung der dargestellten logarithmischen Normalverteilung finden sich im Anhang A X. b). Darüber hinaus können ausgehend von der Darstellung in (6.1) die zugehörige Verteilungs- sowie die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bestimmt werden. Diese sind ebenfalls im Anhang A X. b) dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass Zeitpunkt T jeweils das Ende der Periode $\bar{T}$ erfasst.⁴⁵¹

6.2.1.2 Randverteilung der Rohwarenpreise im Simulationsmodell

Um Angaben zu Zeitpunkten und Zeiträumen im Modell korrekt zu berücksichtigen, sind diese in Jahren auszuweisen. Dabei wird zur Bestimmung von Jahresanteilen die Zählkonvention „Actual/365,25“ genutzt. Demnach wird für ein Kalenderjahr pauschal eine Dauer

⁴⁴⁸ Die Unterscheidung zwischen *diskreter* und *stetiger* Rendite ist beim Aufstellen der Verteilung von Relevanz. Da μ_{Fuel} in der vorliegenden Arbeit die erwartete *diskrete* Rendite beschreibt, folgt für den Erwartungswert der *stetigen* per annum Rendite: $\mu_{Fuel} - (\sigma_{Fuel}^2/2)$. Es ist möglich, dass unter dem Terminus *erwartete Rendite* in anderen Arbeiten abweichend auf die *stetige* Rendite referenziert wird. Hilfreiche Erläuterungen zur Unterscheidung der Renditen im Kontext der aufgestellten Verteilungsfunktion und zur Ableitung der Renditen aus dem originären stochastischen Prozess finden sich in: Hull (2006): S. 284 ff.

⁴⁴⁹ Vgl. Black (1976): S. 173 f. Annahme gilt, da Future als Referenzprodukt. Siehe auch: Kapitel 3.3.2.

⁴⁵⁰ Die Variable σ in (3.13) entspricht der hier als σ_{Fuel} dargestellten Standardabweichung.

⁴⁵¹ Vgl. Haug (2007): S. 186 ff. Siehe auch: Kapitel 3.3.2.2 und Veranschaulichung in Abbildung 6.

von 365,25 Tagen unterstellt.⁴⁵² Über diese Zählkonvention können die Ausprägungen der Parameter τ , $t_1, \dots, t_N$ und T (siehe auch: (3.13)) einfach bestimmt werden.⁴⁵³

Die Variable $Fuel_{T_0, \bar{T}}$ beschreibt den Terminpreis in US-Dollar pro Barrel für die Durchschnittspreisperiode $\bar{T}$ (jeweils ein Kalendermonat, siehe: Kapitel 4.2.3.1) aus Sicht des vorgelagerten Entscheidungszeitpunktes T_0 . Die von Bloomberg zur Verfügung gestellten Terminpreise können demnach als $Fuel_{T_0, \bar{T}}$ genutzt werden. Die Zuordnung der Terminpreise auf einzelne Terminmonate erfolgt gemäß der Darstellung in Kapitel 6.1.3.1.⁴⁵⁴

Wie in Kapitel 6.2.1.1 erläutert, wird zur Berechnung von σ_{TW} (3.13) genutzt. Gemäß dieser Formel sind als Input zur Bestimmung von σ_{TW} die Ausprägungen von τ , $t_1, \dots, t_N$, $T (\geq t_N)$ sowie σ_{Fuel} (in (3.13) allgemein dargestellt als σ) von Relevanz (siehe: Kapitel 3.3.2.2 sowie Abbildung 6). Die Zeitparameter τ und T werden jeweils durch das Festlegen des Erfüllungszeitraumes ($\bar{T}$) determiniert. Als abrechnungsrelevante Börsenhandelstage $t_1, \dots, t_N$ werden diejenigen Werktage innerhalb der Periode $\bar{T}$ bestimmt, für welche ex-post realisierte Rohwarensparpreise in Bloomberg verfügbar sind. Der Parameter σ_{Fuel} kann dem Bloomberg-Datensatz entnommen werden. Sofern $\bar{T}$ sich auf einen Kalendermonat bezieht, entspricht σ_{Fuel} der per annum Terminvolatilität dieses Monats aus Sicht des Zeitpunktes T_0 , sodass als Input die jeweilige Terminvolatilität gemäß den von Bloomberg zur Verfügung gestellten Daten genutzt werden kann.⁴⁵⁵ Die Zuordnung der Datenpunkte zu Terminmonaten erfolgt gemäß der in Kapitel 6.1.3.2 definierten Logik.

6.2.2 Randverteilung von PUOF

Dieses Kapitel setzt sich mit der Randverteilung der fluggesellschaftsspezifischen Zufallsvariable $PUOF_{i, \bar{T}}$ (siehe: Kapitel 5.1.2.7) auseinander. Während bezüglich der Verteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ bereits durch die Annahmen der Optionspreistheorie enge Grenzen gesetzt sind, gibt es für $PUOF_{i, \bar{T}}$ keinerlei Vorgaben, die beim Aufstellen einer realitätsnahen Verteilungsfunktion berücksichtigt werden müssen.

Gemäß King und Wallace (2012) führt der Versuch der analytischen Beschreibung einer Zufallsverteilung auf Basis von empirischen Beobachtungen vielmals zu einer simplifizierten Modellierung der Realität. Dennoch argumentieren King und Wallace (2012), dass das approximative Beschreiben von Zufallsverteilungen zur adäquaten Einbeziehung des Zufalls in einem Optimierungsmodell den alternativen Optimierungsansätzen unter ausschließlicher Nutzung von deterministischen Variablen in vielen Anwendungsfällen überlegen ist.⁴⁵⁶ Demnach ermutigen die Autoren dazu, Optimierungsmodelle eher unter Nutzung vereinfachter Zufallsverteilungen aufzustellen, als alternativ auf Modelle ohne Berücksichtigung real auftretender Zufallseffekte zurückzugreifen. Diese Motivation zur Nutzung von Zufallsvariablen in Simulationsmodellen steht ebenfalls im Einklang mit der Erläuterung von Hackl

⁴⁵² Alternative Zählkonventionen finden sich beispielsweise in Hull (2006). Siehe: Hull (2006): S. 129 ff.

⁴⁵³ Beispiel: Sicherung im Entscheidungszeitpunkt (T_0) 15.04.2016 für den Sicherungszeitraum Juli 2017. Hier entspricht τ dem Beginn des 01.07.2017 und T dem Ende des 31.07.2017. Im Beispiel gilt: $t_N = T$. Der Zeitpunkt t_1 beschreibt das Ende des ersten Börsenhandelstages der Periode $\bar{T}$ am 03.07.2017. Die Dauer zwischen T_0 und t_1 respektive T beträgt gemäß der gewählten Zählkonvention circa 1,23 Jahre (444 Tage) beziehungsweise circa 1,30 Jahre (472 Tage).

⁴⁵⁴ Siehe auch: Tabelle 68. Es sei außerdem abermals darauf hingewiesen, dass auf die Berücksichtigung des Rollens der Kontrakte bei der Bestimmung von Terminpreisen in dieser Arbeit verzichtet wird. Siehe hierzu die Erläuterungen in Kapitel 2.3.1.2 und dort insbesondere auch Fußnote 76.

⁴⁵⁵ Es sei angemerkt, dass es sich, unter der getroffenen Annahme, dass Zeitintervalle in Jahren dargestellt werden, bei der nach (3.13) ermittelten Volatilität (σ_{TW}) stets um die auf ein Jahr skalierte Volatilität handelt. Aus diesem Grund ist es zur Beschreibung der Randverteilung für einen beliebigen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ notwendig, die Varianz σ_{TW}^2 abermals mit T zu multiplizieren (siehe beispielsweise: (6.1)).

⁴⁵⁶ Vgl. King/Wallace (2012): S. 18 ff.

(2013), der argumentiert, dass es sich bei der Mehrzahl der in der Realität vorzufindenden ökonomischen Variablen eigentlich um stochastische Kennziffern handelt.⁴⁵⁷

In diesem Kapitel wird daher ein Weg aufgezeigt, mittels welchem eine Verteilung für $PUOF_{i,\bar{T}}$ hergeleitet werden kann. Es wird angenommen, dass in $T_0 < \tau$ die Ticketeinzahlungen $PUOF_{i,\bar{T}}$ von Fluggesellschaft i unbekannt sind (siehe: Kapitel 4.1.2.4). Allerdings wird unterstellt, dass in T_0 bereits Informationen vorliegen, die eine Aussage über die erwartete Ausprägung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ sowie über die Wahrscheinlichkeitsverteilung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ ermöglichen. Die folgende Herleitung hat das Ziel, solche Informationen zu identifizieren und zu quantifizieren, die bereits ex-ante einen Hinweis auf die Ausprägung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ liefern. Über diesen Weg soll eine analytische Beschreibung der Zufallsverteilung hergeleitet werden, die einerseits hinreichend genau die Realität widerspiegelt und gleichzeitig eine handhabbare Nutzung im Kontext der in dieser Arbeit behandelten Problemstellung ermöglicht. Mit Blick auf dieses Spannungsfeld wird der realwirtschaftliche Zufallsprozess im Rahmen der Herleitung teils simplifiziert.

Schematisch wird zur Herleitung der Verteilung nachfolgend das folgende Vorgehen genutzt: Zunächst werden über ein Regressionsmodell empirische Untersuchungen der historischen *in-sample* Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ durchgeführt (Kapitel 6.2.2.1). Anschließend findet eine Auseinandersetzung mit der Verteilung der unerklärten Residuen und Störgrößen im Regressionsmodell statt (Kapitel 6.2.2.2). Darauf aufbauend ist es möglich, *out-of-sample* Prognosen bezüglich der Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ zu errechnen (Kapitel 6.2.2.3), aus welchen Verteilungsfunktionen für $PUOF_{i,\bar{T}}$ hergeleitet werden können (Kapitel 6.2.2.4). Kapitel 6.2.2.5 diskutiert abschließend, welche Daten im Rahmen der Simulation als Input der Randverteilung genutzt werden müssen. Es sei bereits angemerkt, dass sich Teile der komplexen Herleitung der Verteilung aus Übersichtlichkeitsgründen im Anhang A X befinden. Auf zugehörige Hintergründe im Anhang wird jeweils hingewiesen.

Im Rahmen der Herleitung wird zudem teils $\bar{Q}$ statt $\bar{T}$ berücksichtigt. Die Periode $\bar{Q}$ umfasst ein Quartal. $\bar{Q}_0$ beschreibt stets das letzte Quartal innerhalb des *in-sample* Zeitraumes.

6.2.2.1 Das in-sample Regressionsmodell

Um im weiteren Verlauf von Kapitel 6.2.2 quantitative Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Zufallsvariable herleiten zu können, findet in diesem Kapitel zunächst eine empirische Untersuchung der historischen Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ statt.⁴⁵⁸ Ziel der Untersuchung ist es, ein Regressionsmodell aufzustellen, welches eine valide *in-sample* Schätzung der Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ ermöglicht. Auf diesem Modell aufbauend, werden dann *out-of-sample* Prognosen zur Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ erzeugt (siehe: Kapitel 6.2.2.3). Um *out-of-sample* Prognosen zur Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ aus dem *in-sample* Modell ableiten zu können, werden nur solche erklärenden Variablen betrachtet, deren Ausprägung in eine Periode $\bar{Q}$ bereits ex-ante in einem Entscheidungszeitpunkt T_0 , der vor Beginn der Periode $\bar{Q}$ liegt, als deterministisch anzusehen ist.

Es wird angenommen, dass $ASK_{i,\bar{Q}}$ (als Stellvertreter-Variable für die Angebotsmenge) und $Effizienz_{i,\bar{Q}}$ (als Stellvertreter-Variable für die Flottenentwicklung) solche Parameter darstellen, die Einfluss auf die Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ ausüben und bereits ex-ante durch

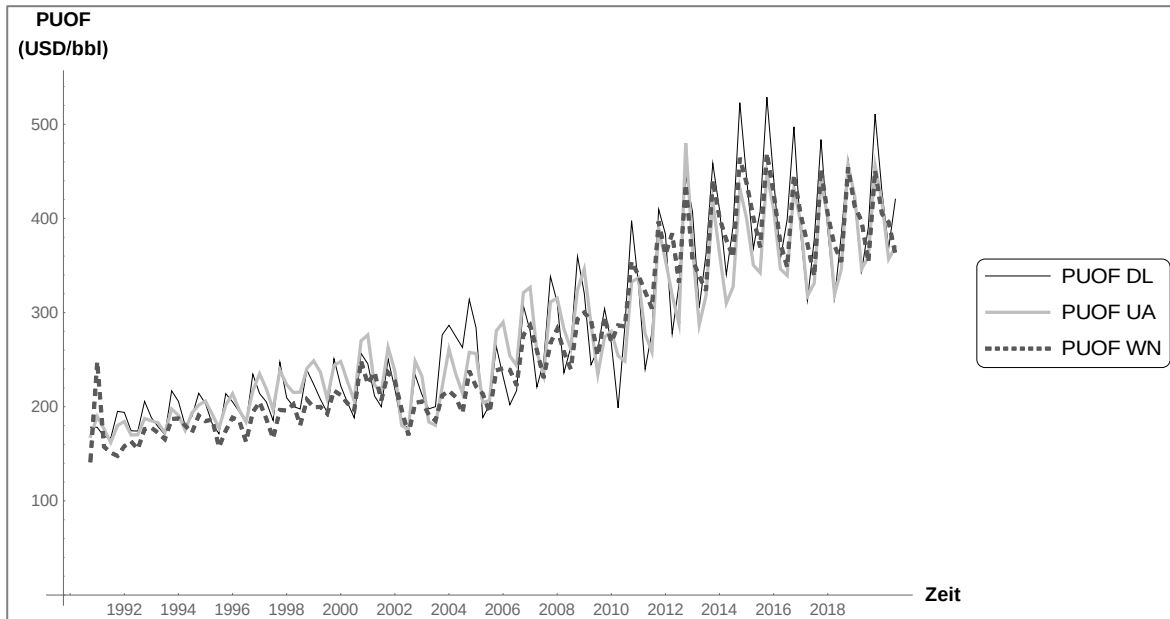
⁴⁵⁷ Vgl. Hackl (2013): S. 49.

⁴⁵⁸ Analysen werden zunächst für Quartale ($\bar{Q}$ statt $\bar{T}$) durchgeführt. Der Grund hierfür ist, dass der Einfluss möglicher Zufallseffekte, welche aus der in Kapitel 6.1.2.2 vorgestellten einfachen Verteilung von realen Quartalsdaten auf Monate resultieren können, in der empirischen ex-post Analyse eliminiert werden soll.

interne Entscheidungen einer Fluggesellschaft determiniert werden (siehe: Kapitel 2.1.3, 4.1.2.4 und 5.1.2.2). Darüber hinaus wird angenommen, dass auf Basis von Erfahrungswerten sowie unter Kenntnis der Flotten- und Flugplanentwicklung auch die durchschnittliche Absatzmenge einer zukünftigen Periode valide vorhergesagt werden kann. Als Stellvertreter-Variable für die Absatzmenge wird im Modell $SLF_{i,\bar{q}}$ berücksichtigt.

Um weitere mögliche erklärende Variablen zu identifizieren, stellt Abbildung 19 den historischen Verlauf von $PUOF_{i,\bar{q}}$ für drei Fluggesellschaften dar.

Abbildung 19 – Verlauf PUOF je Quartal (1990 bis 2019)



Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf der Variable $PUOF_{i,\bar{q}}$ (siehe: Formel (5.4)) in US-Dollar pro Barrel je Quartal von Q2 1990 bis Q4 2019 für die Gesellschaften *Delta Air Lines* (DL), *Southwest Airlines* (WN) und *United Airlines* (UA). Der entsprechende Verlauf für *American Airlines* (AA) ist in der erweiterten Darstellung in Abbildung 21 im Kapitel 6.2.2.4 zu finden.

Offensichtlich ist bei allen Gesellschaften eine strukturell wiederkehrende und über den gesamten Zeitraum vorzufindende Grundform der Entwicklung, welche als saisonales Muster interpretiert wird. Zur Erfassung der saisonalen Effekte im Modell werden daher Quartals-Dummy-Variablen ($QuartalDummy_{q,a}$) eingeführt.⁴⁵⁹ Von Relevanz ist außerdem die Beobachtung, dass bei allen Gesellschaften die absolute saisonale Schwankungsbreite mit Zunahme des nominalen Niveaus von $PUOF_{i,\bar{q}}$ ansteigt. In einem quantitativen Modell, welches starr über saisonale Effekte kontrolliert, sollten daher relative statt absolute Veränderungen von $PUOF_{i,\bar{q}}$ erfasst werden.

Ersichtlich ist darüber hinaus für alle Gesellschaften, dass Phasen, in welchen der langfristige Anstiegstrend des Niveaus von $PUOF_{i,\bar{q}}$ temporär unterbrochen wird, sich teils mit gesamtwirtschaftlichen Krisen, wie beispielsweise der Finanzkrise um das Jahr 2008, überschneiden. Solche ex-post identifizierbaren Krisen eint jedoch, dass eine ex-ante Vorhersage ihres zeitlichen Eintretens im Rahmen dieser Arbeit als nicht möglich angesehen wird, weshalb diese Effekte im Regressionsmodell nicht berücksichtigt werden.⁴⁶⁰

⁴⁵⁹ Vgl. Wooldridge (2009): S. 368 ff.

⁴⁶⁰ Während wirtschaftliche Krisen kurzfristig ggf. bereits antizipiert werden könnten, wird eine valide Vorhersage für bis zu drei Jahre (max. Sicherungshorizont) als nicht möglich angesehen. Daneben liefert auch die testweise Aufnahme einer Stellvertreter-Variable zur Erfassung makroökonomischer Entwicklungen im *in-sample* Regressionsmodell keine signifikanten Ergebnisse. Siehe: Anhang A X. c) und dort Regressionsmodell in (A X.17).

Als Methode zur Umsetzung der Analyse wird ein multivariates lineares Regressionsmodell genutzt.⁴⁶¹ Es wird das folgende Regressionsmodell aufgestellt:

Regressionsmodell zur Beschreibung der Quartalsänderung von PUOF

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \beta_{1,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \beta_{2,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \beta_{3,i} * \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a+2,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (6.2)$$

Zeitraum $\bar{Q}$ beschreibt jeweils ein spezifisches Quartal (Beispiel: Q4 2007). Index $q \in [1, 4]$ stellt allgemein dar, um welches Quartal es sich handelt (Beispiel: Q4). $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ beschreibt die *relative stetige* Veränderung zwischen $PUOF_{i,\bar{Q}}$ und $PUOF_{i,\bar{Q}-1}$. Es gilt:

Definition von Delta PUOF (stetige Veränderung)

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \log \left(\frac{PUOF_{i,\bar{Q}}}{PUOF_{i,\bar{Q}-1}} \right) \quad (6.3)$$

Diese Logik gilt inhaltsgleich zur Berechnung von $\Delta ASK_{i,\bar{Q}}$, $\Delta Effizienz_{i,\bar{Q}}$ und $\Delta SLF_{i,\bar{Q}}$. $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ stellt die Störgröße des Regressionsmodells dar, welche Abweichungen zwischen den im Modell errechneten Werten und echten Ausprägungen von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ erfasst. Die zu errechnenden Regressionskoeffizienten $\beta_{1,i}$ bis $\beta_{6,i}$ erfassen jeweils den Einfluss der ihnen in (6.2) zugeordneten erklärenden Variable auf die zu erklärende Variable ($\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$).

Saisonale Effekte werden über die binären Dummy-Variablen $QuartalDummy_{q,a}$ ($a = 2, \dots, 4$) berücksichtigt. $QuartalDummy_{q,a}$ nimmt den Wert 1 (0) an, sofern für eine Beobachtung q und a (nicht) identisch sind. Zur Vermeidung perfekter Multikollinearität werden lediglich Dummy-Variablen für drei Quartale berücksichtigt. Somit erfasst die zu errechnende Konstante $\beta_{0,i}$ die Veränderung von Quartal 4 des Vorjahres auf Quartal 1 des Folgejahres. Die Regressionskoeffizienten ($\beta_{4,i}$ bis $\beta_{6,i}$) der drei Dummy-Variablen erfassen die Differenz zwischen dieser Veränderung und dem jeweiligen Quartalseffekt.⁴⁶²

Beim Basisdatensatz (siehe: Kapitel 6.1.2) handelt es sich um einen Paneldatensatz, in welchem Zeitreihendaten für verschiedene Beobachtungsobjekte vorhanden sind. Da Einflüsse der erklärenden Variablen auf $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ bei einzelnen Gesellschaften unterschiedlich ausfallen können, werden Regressionsanalysen separat auf den Datensätzen aller vier einzelnen Fluggesellschaften durchgeführt. Folglich werden gesellschaftsindividuelle Regressionskoeffizienten ermittelt.

Bezüglich des historischen Zeitraums, über welchen Regressionsanalysen durchgeführt werden, folgt aus Kapitel 6.1.2, dass die für das Modell benötigten Daten aller Gesellschaften für den Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2019 prinzipiell vorliegen. Da es jedoch das Ziel der Regressionsanalyse ist, *in-sample* Ergebnisse zu erzeugen, die valide *out-of-sample* Prognosen der zu erklärenden Variable ermöglichen, welche dann zur Simulation von Treibstoffpreissicherungsgeschäften genutzt werden, soll nicht der gesamte verfügbare Zeitraum für die *in-*

⁴⁶¹ Auf die Prüfung der notwendigen Annahmen zur Nutzbarkeit des multivariaten linearen Regressionsmodells wird an dieser Stelle noch verzichtet. Diese findet sich nachfolgend in Kapitel 6.2.2.3. Zum Aufstellen des Modells wird zunächst ungeprüft angenommen, dass alle notwendigen Annahmen erfüllt sind, sodass es sich bei den im Modell ermittelten OLS-Schätzern um die *besten linearen erwartungstreuen Schätzer* handelt. Zur multivariaten linearen Regression sowie zu OLS-Schätzern siehe auch: Hackl (2013): S. 30 ff.; Wooldridge (2009): S. 68 ff., 102.

⁴⁶² Eine Regressionsgleichung unter Nutzung von vier Quartals-Dummies und Ausschluss von β_0 würde ökonomisch zu äquivalenten Ergebnissen führen, welche ggf. einfacher zu interpretieren wären. Allerdings wäre die Interpretation des Bestimmtheitsmaßes R^2 weniger trivial, wodurch Folgeüberlegungen erschwert würden. Daher wurde die zuvor vorgestellte Form der Darstellung gewählt. Vgl. Wooldridge (2009): S. 83 f.

sample Analyse berücksichtigt werden. Da der Zeitraum, für welchen prospektive Simulationen möglich sind, bereits durch die Verfügbarkeit von Marktdaten zu Rohwarenterminpreisen, die erst ab 2007 vollständig vorliegen (siehe: Kapitel 6.1.3), eingeschränkt ist, können für *in-sample* Auswertungen stets die Daten der Jahre 1990 bis 2006 uneingeschränkt berücksichtigt werden. Berücksichtigt man nur diesen Zeitraum für die *in-sample* Analyse, entspricht die erste für das *in-sample* Regressionsmodell relevante Beobachtung der Veränderung zwischen dem zweiten und dem dritten Quartal 1990. Die letzte relevante Beobachtung entspricht der Veränderung zwischen dem dritten und dem vierten Quartal 2006. In den Datensätzen befinden sich somit initial jeweils 66 fluggesellschaftsspezifische Quartalsänderungsbeobachtungen.⁴⁶³ Die unter Rückgriff auf diese Datensätze berechneten Ergebnisse der Regressionsanalyse je einzelner Fluggesellschaft finden sich in Tabelle 45 im Anhang A X. c). Weitere Hintergründe und alternative Spezifikationen der genutzten Regressionsgleichung finden sich ebenfalls im Anhang A X. c).

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen, dass Regressionskoeffizienten aller erklärenden Variablen in mindestens einer Regressionsanalyse statistisch hochsignifikant sind. Dies bedeutet, dass die Nullhypothese, dass einzelne erklärende Variablen keinen Einfluss auf $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ besitzen, für jede der erklärenden Variablen in mindestens einer der Analysen mit hoher statistischer Signifikanz abgelehnt werden kann. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Aufnahme aller erklärenden Variablen inhaltlich sinnvoll ist. Die Vorzeichen der Regressionskoeffizienten entsprechen durchweg dem erwarteten Wirkungszusammenhang. Neben der statistischen Signifikanz deuten die Ausprägungen der Regressionskoeffizienten auch darauf hin, dass alle erklärenden Variablen einen ökonomisch signifikanten Einfluss auf $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ ausüben.⁴⁶⁴ Weitere Ausführungen zur Interpretation der Regressionsergebnisse finden sich im Anhang A X. c).

Der über das Bestimmtheitsmaß *Adjusted R²* erfasste Erklärungsgehalt der Regressionsanalysen ist mit durchschnittlich etwa 81% (siehe: Tabelle 45) als hoch einzustufen.⁴⁶⁵ Allerdings folgt aus diesem *Adjusted R²* ebenfalls, dass etwa 19% der beobachteten Varianz von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ nicht durch das Modell erklärt werden können. Konkret verbleibt somit pro Gesellschaft folgende, nicht durch das Modell erklärte Standardabweichung:

Tabelle 5 – Unerklärter Teil der Varianz der PUOF-Veränderungen

	AA	DL	UA	WN
Zeitraum	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
Adj. R ²	75,0%	86,8%	76,6%	83,9%
Varianz gesamt	0,0116	0,0216	0,0138	0,0105
davon unerklärt	0,0029	0,0028	0,0032	0,0017
unerklärte Standardabweichung	0,0538	0,0533	0,0568	0,0410

Die Tabelle stellt die Varianz von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ je betrachtetem Datensatz dar. Außerdem sind der durch einfache Multiplikation mit R^2 naiv ermittelte unerklärte Teil der Gesamtvarianz sowie die sich ergebende unerklärte Standardabweichung dargestellt. Alle im Anhang A X. c) (siehe insbesondere: Fußnote 819) dargestellten Anmerkungen zur Einfachheit des Ansatzes besitzen Gültigkeit.

⁴⁶³ Vor dem Durchführen der Regressionsanalyse wurden zudem potenzielle Ausreißer in einzelnen Datensätzen über den Cook-Abstand identifiziert. Detaillierte Ausführungen zur Kürzung des Datensatzes, zu den Auswirkungen der Kürzung und zum Kriterium des Cook-Abstandes finden sich im Anhang A X. c).

⁴⁶⁴ Erläuterungen zur Relevanz der Unterscheidung zwischen ökonomischer und statistischer Signifikanz finden sich in Wooldridge (2009) und Ellis (2010). Als Synonym für ökonomische Signifikanz wird dort auch der Begriff *praktische Signifikanz* genutzt. Siehe: Ellis (2010): S. 3 ff.; Wooldridge (2009): S. 135 ff.

⁴⁶⁵ Bestimmtheitsmaße Regression siehe: Hackl (2013): S. 78 ff.; Wooldridge (2009): S. 40 f., 80 ff.

Die absolute, nicht über das Modell erklärte Standardabweichung, wird demnach sowohl vom Erklärungsgehalt des Regressionsmodells als auch von der Gesamtvarianz der zu erklärenden Variable beeinflusst. Aus der hohen Varianz von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ folgt daher, dass im Modell trotz des hohen Bestimmtheitsmaßes eine unerklärte Standardabweichung von durchschnittlich circa 5% in Bezug auf $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ verbleibt. Weitere Hintergründe und Beispielrechnungen bezüglich des Zusammenhangs zwischen Bestimmtheitsmaß und unerklärter Standardabweichung sind zusätzlich im Anhang A X. c) dargestellt.

Übergeordnet liefern die Ergebnisse des Kapitels somit ein ambivalentes Bild: Zum einen wurde ein Regressionsmodell aufgestellt, über welches relevante erklärende Variablen identifiziert und Ergebnisse mit hohem Bestimmtheitsmaß erzielt werden konnten. Gleichzeitig verbleibt jedoch selbst in der *in-sample* Untersuchung eine Unsicherheit bezüglich $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$, die darauf hindeutet, dass neben den im Regressionsmodell berücksichtigten erklärenden Faktoren weitere *in-sample* Effekte existieren, die einen Einfluss auf $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ ausüben. Eine adäquate – über die im Regressionsmodell erfassten Effekte hinausgehende – quantitative Erfassung dieser Effekte ist im begrenzten Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Die verbleibende Unsicherheit wird daher als Zufallseffekt betrachtet, über dessen Verteilung an dieser Stelle noch keine Informationen vorliegen.

6.2.2.2 Prüfung der Gauss-Markov-Annahmen

Zuvor wurde beim Aufstellen des Regressionsmodells ungeprüft angenommen, dass die Störgrößen ($\varepsilon_{i,\bar{Q}}$) Annahmen erfüllen, welche sicherstellen, dass es sich bei den errechneten OLS-Schätzern um die *besten linearen erwartungstreuen Schätzer* der Regressionskoeffizienten handelt. Damit nachfolgend aus der Regressionsanalyse eine valide Verteilungsfunktion für alle $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ hergeleitet werden kann, muss die Überprüfung der Korrektheit dieser getroffenen Annahmen nachgeholt werden.⁴⁶⁶

Zusammenfassend muss geprüft werden, ob die Störgrößen des Modells im gesamten Beobachtungszeitraum mit konstanter Varianz normalverteilt um den Erwartungswert 0 streuen. Es wird angenommen: $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$.⁴⁶⁷ Diese übergeordnete Annahme lässt sich in vier Teilannahmen splitten, welche gemeinsam zur Normalverteilungsannahme führen, aber jeweils separat analysiert werden. Matrix $\mathbf{X}_i$ erfasst fortan die beobachtbaren Ausprägungen der erklärenden Variablen für Fluggesellschaft i innerhalb des gesamten *in-sample* Zeitraumes (siehe: (A X.19) im Anhang A X. d)). Der Vektor $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}}$ umfasst die beobachtbaren Ausprägungen aller Regressoren für Fluggesellschaft i in einer *in-sample* Periode $\bar{Q}$.

Gauss-Markov-Annahmen für Zeitreihendaten

(6.4)	$E(\varepsilon_{i,\bar{Q}} \mathbf{X}_i) = 0$, für alle $\bar{Q}$	(Annahme: Erwartungswerte null)
(6.5)	$Var(\varepsilon_{i,\bar{Q}} \mathbf{X}_i) = Var(\varepsilon_i) = \sigma_{\varepsilon,i}^2$, für alle $\bar{Q}$	(Annahme: Homoskedastizität ⁴⁶⁸)
(6.6)	$Cov(\varepsilon_{i,\bar{Q}}, \varepsilon_{i,\bar{S}} \mathbf{X}_i) = 0$, für alle $\bar{Q} \neq \bar{S}$	(Annahme: Keine Autokorrelation ⁴⁶⁹)
(6.7)	$\varepsilon_{i,\bar{Q}} \mathbf{X}_i$ normalverteilt für alle $\bar{Q}$	(Annahme: Normalverteilung)

⁴⁶⁶ Es werden nachfolgend nur solche Annahmen im Detail diskutiert, die sich mit der Verteilung der Störgröße des Modells auseinandersetzen. Weitere Annahmen an das Regressionsmodell werden als erfüllt angenommen. Für weitere Hintergründe siehe: Hackl (2013): S. 63 ff.; Wooldridge (2009): S. 345 ff.

⁴⁶⁷ Da nachfolgend gezeigt wird, dass alle $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ je Gesellschaft i unabhängig von den Ausprägungen der erklärenden Variablen identisch verteilt sind, kann teils auf die Nennung von $\bar{Q}$ im Index verzichtet werden.

⁴⁶⁸ Hintergrunderläuterungen zu Homo- und Heteroskedastizität finden sich beispielsweise in: Hackl (2013): S. 70, 188 ff.

⁴⁶⁹ Hintergrunderläuterungen zur Autokorrelation finden sich beispielsweise in: Hackl (2013): S. 206.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Regressionskoeffizienten, welche zuvor über das Regressionsmodell ermittelt wurden, lediglich Schätzer ($\hat{\beta}_{j,i}, j = 0, \dots, 6$) der unbekannten echten Koeffizienten ($\beta_{j,i}, j = 0, \dots, 6$) darstellen. Durch die korrekte Nutzung des OLS-Modells ist jedoch sichergestellt, dass es sich bei den ermittelten Schätzern um erwartungstreue Schätzer der echten Koeffizienten handelt. Daher gilt: $E(\hat{\beta}_{j,i}) = \beta_{j,i}$.⁴⁷⁰

Die Schätzung von $\Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}}$ für Fluggesellschaft i ergibt sich in diesem Fall über:

Schätzung der PUOF-Quartalsveränderung

$$\Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}} = \hat{\beta}_{0,i} + \hat{\beta}_{1,i} \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \hat{\beta}_{2,i} \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \hat{\beta}_{3,i} \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \sum_{a=2}^4 \hat{\beta}_{a+2,i} * QuartalDummy_{q,a} \quad (6.8)$$

Beim so geschätzten Wert $\Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}}$ handelt es sich um den Schätzer des Erwartungswertes von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ bedingt auf die Ausprägungen der erklärenden Variablen.⁴⁷¹ Differenzen zwischen Schätzungen ($\Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}}$) und echten Beobachtungen ($\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$) werden als Residuen $u_{i,\bar{Q}}$ ($u_{i,\bar{Q}} = \Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} - \Delta \widehat{PUOF}_{i,q,\bar{Q}}$) bezeichnet.⁴⁷² Es gilt:

Residuen des Regressionsmodells

$$\begin{aligned} & (\beta_{0,i} - \hat{\beta}_{0,i}) + (\beta_{1,i} - \hat{\beta}_{1,i}) * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + (\beta_{2,i} - \hat{\beta}_{2,i}) * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + (\beta_{3,i} - \hat{\beta}_{3,i}) \\ & * \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a+2,i} - \hat{\beta}_{a+2,i}) * QuartalDummy_{q,a} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (6.9) \\ & = u_{i,\bar{Q}} \end{aligned}$$

Somit können Abweichungen ($u_{i,\bar{Q}}$) zwischen echten Beobachtungen und zugehörigen Schätzungen sowohl aus Differenzen zwischen geschätzten und echten Beta-Koeffizienten resultieren als auch auf die nicht beobachtbare Störgröße ($\varepsilon_{i,\bar{Q}}$) zurückzuführen sein.

Auf Basis dieser Voraussetzungen ist zu prüfen, ob die Annahmen unter (6.4) bis (6.7) im aufgestellten Regressionsmodell eingehalten werden. Die ausführliche Darstellung der Prüfung der einzelnen Annahmen findet sich im Anhang A X. d). Die wichtigsten Ergebnisse und Schritte sind nachfolgend aggregiert dargestellt.

Über die Prüfung der Annahme (6.4) wird sichergestellt, dass der Erwartungswert der Störgröße, unabhängig von den aus allen X_i gewählten Ausprägungen der Regressoren, stets null sein muss. Für die Prüfung dieser Annahme wird in den ökonometrischen Grundlagenwerken Hackl (2013) sowie Wooldridge (2009) kein Standardtestverfahren vorgestellt.⁴⁷³ Im Anhang A X. d) sind dennoch zwei Verfahren dargestellt, wie die Erfüllung der Annahme plausibilisiert werden kann. Die erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass (6.4) für alle gesellschaftsindividuellen Modelle als erfüllt angesehen werden kann.

Die Prüfung der Annahmen (6.5) und (6.6) entspricht einer Prüfung auf Vorliegen von Homoskedastizität und Nicht-Auftreten von Autokorrelation. Zur Überprüfung von (6.5) wird der *Breusch-Pagan-Test* genutzt. Mittels diesem wird das Vorliegen von Heteroskedastizität für alle Fluggesellschaftsdatensätze ausgeschlossen (siehe: Tabelle 46). (6.5) ist daher als erfüllt anzusehen. Über den *Durbin-Watson-Test* zur Identifizierung von Autokorrelation

⁴⁷⁰ Vgl. Wooldridge (2009): S. 88, 206 ff.

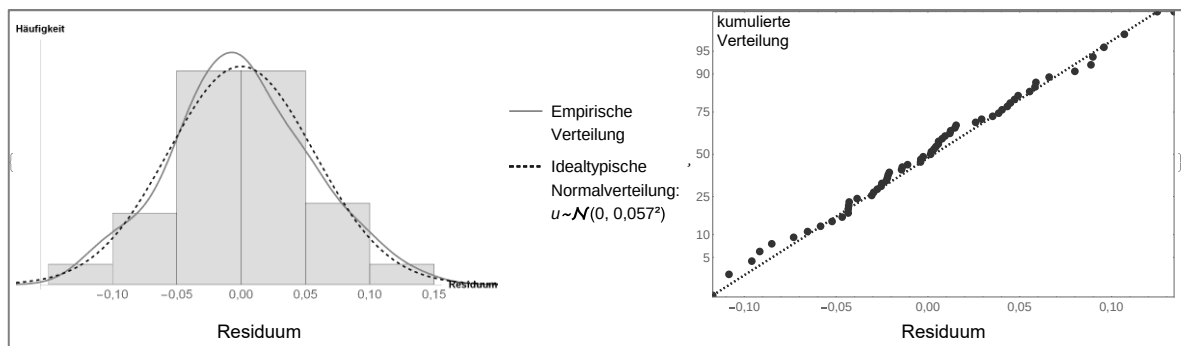
⁴⁷¹ Vgl. Wooldridge (2009): S. 206.

⁴⁷² Elementar ist an dieser Stelle die Unterscheidung zwischen den messbaren Residuen $u_{i,\bar{Q}}$ (engl. *Residuals*) und den bereits zuvor eingeführten, nicht beobachtbaren Störgrößen $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ (engl. *Errors* oder *Disturbances*). Vgl. Hackl (2013): S. 31 ff., 138 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 56 ff.

⁴⁷³ Vgl. Hackl (2013): S. 69 f.; vgl. Wooldridge (2009): S. 347 f.

erster Ordnung kann zudem für alle Gesellschaften gezeigt werden, dass in den Modellen entweder keine Autokorrelation vorliegt oder dass deren Nicht-Vorliegen nicht mit statistischer Signifikanz ausgeschlossen werden kann (siehe: Tabelle 46). (6.6) wird daher ebenfalls als erfüllt angesehen. Die Störgrößen des Modells streuen demnach für alle betrachteten Fluggesellschaften mit der über die Zeit konstanten stichprobenindividuellen Varianz $\sigma_{\varepsilon,i}^2$. Aus der Einhaltung der Annahmen (6.4) bis (6.6) folgt, dass es sich bei den über das OLS-Modell ermittelten Schätzern um die *besten linearen erwartungstreuen Schätzer* handelt. Diese Aussage gilt unabhängig von der konkreten Wahrscheinlichkeitsverteilung, welche den einzelnen Störgrößen zugrunde liegt.⁴⁷⁴ Für *statistische Inferenz*⁴⁷⁵ ist es jedoch zusätzlich notwendig, eine Annahme bezüglich der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu treffen. Hierzu schreibt Annahme (6.7) vor, dass für die Störgrößen die Normalverteilungsannahme (mit: $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$) Gültigkeit besitzen muss. Da die Normalverteilungsannahme beim Aufstellen eines Regressionsmodells unter Rückgriff auf OLS-Schätzer in der Literatur häufig ohne quantitative Prüfung als erfüllt angenommen wird, schlagen weder Hackl (2013) noch Wooldridge (2009) Standardtests zur Überprüfung der Annahme vor.⁴⁷⁶ Mangels Vorgaben aus der Literatur werden im Anhang A X. d) daher zwei Testverfahren eingeführt, mit Hilfe derer die Einhaltung von (6.7) grafisch sowie quantitativ überprüft werden kann. Die Ergebnisse der grafischen Analyse für *United Airlines* sind exemplarisch in Abbildung 20 dargestellt.

Abbildung 20 – Verteilung der Residuen: United Airlines (1990 bis 2006)



Die Abbildung stellt die Verteilung der Residuen der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar. Darstellung für *United Airlines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Als Schätzer der echten Störgrößen werden die Residuen der geschätzten Regression genutzt. In der linken Abbildung sind echte Beobachtungen der Residuen in einem Histogramm, eine errechnete idealtypische Verteilung sowie eine durch *Wolfram Mathematica* erzeugte empirische Verteilung dargestellt (siehe auch: Fußnote 837). In der rechten Abbildung sind im Wahrscheinlichkeitsnetz auf der y-Achse die Funktionswerte der kumulierten Verteilungsfunktion und auf der x-Achse die echten Ausprägungen der Residuen dargestellt. Weitere Erläuterungen siehe: Anhang A X. d). Darstellungen für andere Gesellschaften siehe: Abbildung 64 bis Abbildung 66 im Anhang B II.

Die erzielten Ergebnisse der grafischen und quantitativen Analyse im Anhang A X. d) deuten darauf hin, dass die Annahme der Normalverteilung der Daten für alle untersuchten Fluggesellschaften als vertretbar angesehen werden kann. Somit ist übergeordnet die Einhaltung der Annahmen (6.4) bis (6.7) als erfüllt anzusehen.

Folglich ist es möglich, über Rückgriff auf das Regressionsmodell in (6.2) Aussagen über die *in-sample* Ausprägung von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ zu tätigen.

⁴⁷⁴ Vgl. Wooldridge (2009): S. 173.

⁴⁷⁵ „[Statistische] Inferenz ... bedeutet, aus partiellen Informationen über eine Grundgesamtheit mittels wahrscheinlichkeitstheoretisch fundierter Methoden auf diese Grundgesamtheit rückzuschließen.“ Rinne (2003): S. 419.

⁴⁷⁶ Hackl (2013) stellt die Annahme in Kapitel 4.3 vor. Wooldridge (2009) setzt sich damit unter anderem in den Kapiteln 4.1 und 10.3 auseinander. Vgl. Hackl (2013): S. 66 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 117 ff., 351 ff.

6.2.2.3 Erwartungswert und Varianz der out-of-sample Prognose

In Kapitel 6.2.2.1 wurde gezeigt, dass die Schätzung der *in-sample* Entwicklung von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ für die Jahre 1990 bis 2006 über ein Regressionsmodell möglich, aber mit Unsicherheit behaftet ist. Um genauere Kenntnis über die Ausprägung der Unsicherheit zu erlangen, wurde in Kapitel 6.2.2.2 die Einhaltung der Gauss-Markov-Annahmen geprüft. Hierüber wurde es möglich, Aussagen bezüglich der *in-sample* Verteilung der zu erklärenden Variable herzuleiten. Darauf aufbauend wird nachfolgend dargestellt, wie die *in-sample* Ergebnisse für eine *out-of-sample* Prognose der Entwicklung der zu erklärenden Variable genutzt werden können. Es werden zunächst Punktprognosen für die *out-of-sample* Entwicklung errechnet und anschließend wird die Unsicherheit dieser Prognosen quantifiziert. Die ausführliche Herleitung der Ergebnisse dieses Kapitels findet sich aus Übersichtlichkeitsgründen im Anhang A X. e).⁴⁷⁷

Konsistent zu den Darstellungen vorangegangener Kapitel (siehe unter anderem: Kapitel 2.1.3) wird angenommen, dass die Ausprägungen der erklärenden Variablen jeweils für mindestens 35 Monate in die Zukunft als deterministisch anzusehen sind. Hiervon ausgehend wird im Rahmen der Herleitung vereinfachend unterstellt, dass im Entscheidungszeitpunkt T_0 , der sich in der letzten *in-sample* Periode $\bar{Q}_0$ befindet, bereits Gewissheit über alle $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+N}$ bis zum Quartal $\bar{Q}_0 + 12$ herrscht.⁴⁷⁸ Die Matrix der bereits in $\bar{Q}_0$ bekannten *out-of-sample* Ausprägungen der erklärenden Variablen in den Perioden $\bar{Q}_0 + 1$ bis $\bar{Q}_0 + N$ (mit $N \in [1, 12]$) wird durch $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ dargestellt (siehe: (A X.20) im Anhang A X. e)). Als $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+n}$ ⁴⁷⁹ wird die 1-Schritt-Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0 + n - 1$ und der Folgeperiode $\bar{Q}_0 + n$ erfasst. Als $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ wird die Mehrschritt-Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und Periode $\bar{Q}_0 + N$ für $N \in [1, 12]$ dargestellt.⁴⁸⁰ Unter Rückgriff auf (6.8) und mit Verweis auf die Herleitung im Anhang A X. e) kann so aus Sicht eines Prognosezeitpunktes T_0 , welcher sich innerhalb der Periode $\bar{Q}_0$ befindet, die Punktprognose von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ für Quartal $\bar{Q}_0 + N$ bedingt auf die Ausprägungen der erklärenden Variablen $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ beschrieben werden durch:

Mehrschritt-Punktprognose: $\Delta PUOF$ (out-of-sample für Quartale)

$$\begin{aligned} E_{T_0}(\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}) &= \sum_{n=1}^N \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n} = \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} \\ &= \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}, \quad 1 \leq N \leq 12 \end{aligned} \quad (6.10)$$

Dieses Modell zur Erzeugung der Punktprognose erlaubt eine quantitativ fundierte Einschätzung zukünftiger Veränderungen von PUOF. Allerdings konnten Auswertungen in Kapitel 6.2.2.1 zeigen, dass selbst *in-sample* Schätzungen über das Regressionsmodell nur mit Unsicherheit erstellt werden können. Diese Unsicherheit ist beim Aufstellen einer *out-of-sample* Prognose ebenfalls zu berücksichtigen. Für eine ausführliche Herleitung zur Quantifizierung der Unsicherheit wird abermals auf Anhang A X. e) verwiesen. Wie dort dargestellt und erläutert, sind beim Erstellen von Prognosen über das Regressionsmodell zwei

⁴⁷⁷ Eine Einführung zur Erstellung von Prognosen mittels Regressionsmodellen findet sich in Wooldridge (2009) Kapitel 6.4. Zusätzlich liefert Wooldridge (2009) in Kapitel 18.5 eine separate Darstellung des Themenkomplexes für Prognosen aus Zeitreihendaten. Hilfreiche, aber kürzere Ausführungen finden sich in Hackl (2013) Kapitel 8. Vgl. Hackl (2013): S. 138 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 206 ff., 645 ff.

⁴⁷⁸ Siehe hierzu auch die Erläuterungen im Anhang A X. e) sowie dort insbesondere in Fußnote 844.

⁴⁷⁹ Zur besseren Lesbarkeit wird in prospektiven Darstellungen auf die Nennung von q im Index verzichtet.

⁴⁸⁰ Die Nomenklatur und die entsprechenden Darstellungen im Index gelten identisch für die anderen betrachteten Variablen. Für $N = 1$ gilt somit: $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} = \Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$. Siehe auch: Anhang A X. e).

Unsicherheitsfaktoren (siehe auch: (6.9)) relevant: Die Varianz der Störgröße ($\sigma_{\varepsilon,i}^2$) und die Varianz der Punktschätzer ($var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1})$). Unter Berücksichtigung der im Anhang A X. e) dargestellten Annahmen, kann die Gesamtvarianz der Punktprognose als Summe der beiden einzelnen Varianzen dargestellt werden durch:

Mehrschritt-Prognose: Gesamtvarianz des Prognosefehlers

$$var(u_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}) = N * \sigma_{\varepsilon,i}^2 + \sum_{n=1}^N var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n}) = \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2, \quad (6.11)$$

$$1 \leq N \leq 12$$

Für die beobachtungsunabhängige Varianz der Störgröße ($\sigma_{\varepsilon,i}^2$) ist jeweils der Schätzer ($\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2$) gemäß Formel (A X.26) zu ermitteln. Die Varianz des beobachtungsabhängigen Stichprobenfehlers der Punktschätzer ($var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n})$) wird über Formel (A X.27) bestimmt. Beide Formeln sowie weitere Erläuterungen sind im Anhang A X. e) zu finden.

6.2.2.4 Die Verteilungsfunktion der out-of-sample Prognose

Aufbauend auf den Darstellungen des vorangegangenen Kapitels werden in diesem Kapitel Verteilungsfunktionen aufgestellt. Konkret werden drei Verteilungen hergeleitet: (1) Die Verteilungsfunktion für relative PUOF-Änderungen ($\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$), (2) die Verteilungsfunktion für absolute PUOF-Ausprägungen auf Quartalsebene ($PUOF_{i,\bar{Q}}$) sowie (3) die Verteilungsfunktion für absolute PUOF-Ausprägungen ($PUOF_{i,\bar{T}}$) auf Monatsebene. Es ist zu beachten, dass auch in diesem Kapitel lediglich zentrale Erkenntnisse vorgestellt werden. Ausführliche Darstellungen aller notwendigen Annahmen, Herleitungen und Hintergründe sind abermals im zugehörigen Anhang A X. f) zu finden.

Unter der Annahme der Gültigkeit der bereits diskutierten Normalverteilungsannahme für die Störgrößen und Punktschätzer und unter Verweis auf (6.10) (Erwartungswert) sowie (6.11) (Varianz) folgt für die Verteilung von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$:⁴⁸¹

Mehrschritt-Prognose $\Delta PUOF$: Normalverteilung

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N} \sim N(\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2), \quad (6.12)$$

$$1 \leq N \leq 12$$

Es gilt, dass die Darstellung der Verteilungen nur dann korrekt ist, wenn die in Kapitel 6.2.2.2 geprüften *in-sample* Annahmen Gültigkeit besitzen und angenommen wird, dass zwischen der *in-sample* und der *out-of-sample* Periode kein Strukturbruch bezüglich der durch das Regressionsmodell beschriebenen Zusammenhänge vorliegt. Ebenso gilt weiterhin, dass keine Unsicherheit bezüglich der Ausprägungen der erklärenden Variablen in allen *out-of-sample* Perioden $\bar{Q}_0 + N$ für $N \in [1, 12]$ existiert.

Ausgehend von (6.12) kann im nächsten Schritt die Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ je Quartal hergeleitet werden. Hierfür wird (6.3) zunächst umgeschrieben zu:⁴⁸²

Mehrschritt-Prognose: Umformung $\Delta PUOF$

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} = \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) - \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}), \quad 1 \leq N \leq 12 \quad (6.13)$$

Die in $\bar{Q}_0$ unbekannte Veränderung $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ entspricht somit der Differenz zwischen dem natürlichen Logarithmus der unbekannten Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ und dem

⁴⁸¹ Alle im Anhang A X. f) dargestellten Annahmen und Hintergründe werden hierfür als bekannt erachtet.

⁴⁸² Siehe auch: Formel (A X.38) sowie alle zugehörigen Anmerkungen im Anhang A X. f).

natürlichen Logarithmus der bekannten Realisierung $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$. Unter Berücksichtigung von (6.12), (6.13) und den Darstellungen im Anhang A X. f) kann auf Basis der in $\bar{Q}_0$ vorliegenden Informationen die Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ unter Rückgriff auf die bekannte Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ sowie bedingt auf die Ausprägungen der erklärenden Variablen $(\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N})$ beschrieben werden durch:

Mehrschritt-Prognose PUOF Quartal: Logarithmische Normalverteilung

$$PUOF_{i,\bar{Q}_0+N} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N} \sim LN \left(PUOF_{i,\bar{Q}_0} * e^{\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} + \frac{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2}{2}}, \right. \\ \left. e^{(2 * (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}) + \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2)} \right. \\ \left. * (e^{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2} - 1) \right), \quad 1 \leq N \leq 12 \quad (6.14)$$

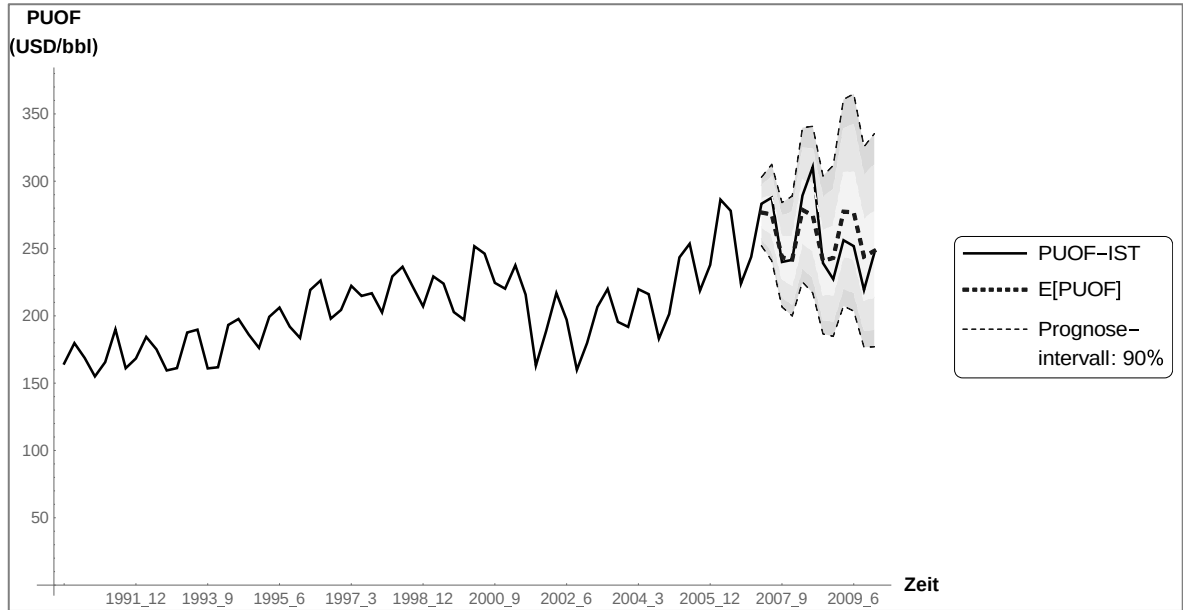
Die zugehörige nichtnegative integrierbare Dichtefunktion $g_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$ (siehe: (A X.40)) sowie die Verteilungsfunktion $G_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$ (siehe: (A X.41)) werden im Anhang A X. f) hergeleitet und vorgestellt. Sofern die dargestellten Annahmen Gültigkeit besitzen und die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion sowie die Verteilungsfunktion existieren, wurde gezeigt, dass es sich bei $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ bedingt auf $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ um eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ handelt, deren Realisierung im Erfüllungszeitraum $\bar{Q}_0 + N$ im vorgelagerten Zeitpunkt T_0 , der stets in der letzten *in-sample* Periode $\bar{Q}_0$ liegt, unbekannt ist.⁴⁸³

Da der Entwicklung der Variable eine beschreibbare Zufälligkeit zugrunde liegt (es lassen sich Erwartungswerte bestimmen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung um diese Erwartungswerte ist quantifizierbar), lassen sich unter Rückgriff auf das erarbeitete Instrumentarium allerdings bereits in T_0 Aussagen bezüglich der Wahrscheinlichkeit der zukünftigen Ausprägung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ treffen. Beispielhaft sind in Abbildung 21 für *American Airlines* PUOF-Prognosen für die Jahre 2007 bis 2009 aus Sicht von Q4 2006 dargestellt.

Die bislang hergeleitete Verteilung $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ bezieht sich auf die Ausprägung der Variable je Quartal ($\bar{Q}$). Da im Rahmen der Simulationsstudie jedoch der Abschluss von Treibstoffpreissicherungen für einzelne Monate ($\bar{T}$) simuliert werden soll, ist abschließend zu erörtern, wie aus diesen Quartalsverteilungen auf monatliche Verteilungen geschlossen werden kann. Zur Herleitung der Verteilung auf Monatsebene ($PUOF_{i,\bar{T}}$) wird eine pragmatische Lösung gesucht, die eine intuitive Nutzung im Rahmen der Simulation erlaubt und dabei eine für das Modell ausreichende Genauigkeit der Verteilung sicherstellt.⁴⁸⁴ Es wird daher festgelegt, dass die über Quartale durchgeführte *in-sample* Analyse nicht verändert wird und die Ergebnisse dieser Analyse zum Erstellen der *out-of-sample* Monatsprognose übernommen werden können. Matrix $\mathbf{X}_i$ bleibt unverändert. Es wird somit vereinfachend unterstellt, dass für die *in-sample* Analyse jeweils bereits alle Daten einer Periode $\bar{Q}_0$, in welcher sich Prognosezeitpunkt T_0 befindet, als bekannt erachtet werden.

⁴⁸³ Es wird vereinfachend unterstellt, dass in Zeitpunkt T_0 alle Realisierungen für $\bar{Q}_0$ bereits bekannt sind.

⁴⁸⁴ In Kapitel 6.1.2.1 wurde bereits dargestellt, wie BOTS-Daten, welche lediglich auf Quartalsebene zur Verfügung stehen, im Rahmen des Modells approximativ auf Monate zu verteilen sind.

Abbildung 21 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für American Airlines

Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf von $PUOF_{AA,\bar{Q}}$ (siehe: Formel (5.4)) in US-Dollar pro Barrel für *American Airlines* zwischen Q2 1990 und Q4 2009. Zusätzlich sind für $\bar{Q}_0 = Q4\ 2006$ für alle $N \in [1, 12]$ jeweils der Erwartungswert und das 90%-Prognoseintervall entsprechend der Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ in Formel (6.14) dargestellt.⁴⁸⁵ Der *out-of-sample* Zeitraum umfasst hier die Quartale Q1 2007 bis Q4 2009. Im Anhang B II finden sich in Abbildung 67 bis Abbildung 69 die Darstellungen für die drei anderen Fluggesellschaften.

Es wird des Weiteren festgelegt, dass der Monat, in welchem sich T_0 befindet, als $\bar{T}_0$ bezeichnet wird. Dieser liegt in Quartal $\bar{Q}_0$. Der Monat, für welchen Prognosen erfolgen, wird als $\bar{T}$ (auch: Erfüllungszeitraum) bezeichnet. $\bar{T}$ liegt stets im Quartal $\bar{Q}_0 + N$.

Unter Berücksichtigung dieser Nomenklatur werden zum Aufstellen von Prognosen für $PUOF_{i,\bar{T}}$ sowohl relative Veränderungen der erklärenden Variablen zwischen Quartalen (ab $Q_0 + 1$ bis $Q_0 + N - 1$) als auch zwischen Monaten und Quartalen (zwischen $\bar{T}_0$ und $\bar{Q}_0 + 1$ sowie $\bar{Q}_0 + N - 1$ und $\bar{T}_0$) berücksichtigt (siehe: Visualisierung in Abbildung 35). Um ein *out-of-sample* Prognosemodell für $PUOF_{i,\bar{T}}$ aufstellen zu können, sind darüber hinaus weitere Überlegungen notwendig, die im Anhang A X. f) diskutiert werden.

Sofern der Erwartungswert der relativen Veränderung zwischen $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ als $\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ und die zugehörige Varianz als $\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2$ definiert sind, lässt sich unter Berücksichtigung von (6.14) und Anhang A X. f) die Verteilung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ beschreiben als:⁴⁸⁶

Mehrschritt-Prognose PUOF Monat: Logarithmische Normalverteilung

$$PUOF_{i,\bar{T}} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{T}} \sim \text{LN} \left(PUOF_{i,\bar{T}_0} * e^{\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}} + \frac{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2}{2}}, \right. \\ \left. e^{(2 * (\log(PUOF_{i,\bar{T}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}) + \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2) * (e^{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2} - 1))}, \right) \quad (6.15)$$

$$2 \leq N \leq 12$$

⁴⁸⁵ Zur Erstellung der Prognosen wurde für den *in-sample* Zeitraum zwischen Q2 1990 und Q4 2006 das Regressionsmodell gemäß (6.2) aufgestellt. Die relevanten Koeffizientenschätzer sind somit in Tabelle 45 dargestellt.

⁴⁸⁶ Die Matrix $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{T}}$ enthält sowohl Informationen zu Quartalsveränderungen als auch zu Veränderungen zwischen Monats- und Quartalswerten (erste und letzte Zeile der Matrix) der erklärenden Variablen. Für weitere Erläuterungen wird auf die Darstellung im Anhang A X. f) verwiesen.

Die zugehörige Wahrscheinlichkeitsdichte- sowie die Verteilungsfunktion können ebenfalls entsprechend der Darstellung in (A X.40) und (A X.41) ermittelt werden.

Mögliche Ungenauigkeiten, die durch Vereinfachungen beim Aufstellen der Verteilung für das Modell entstehen, werden im Kontext des Gesamtmodells als vertretbar angesehen. Für Hintergründe und eine ausführlichere Diskussion wird auf Anhang A X. f) verwiesen.

6.2.2.5 Input in das Simulationsmodell und Beispiel zur Umsetzung

Als Inputdaten der Randverteilung werden die in Kapitel 6.1.2 vorgestellten BOTS-Daten genutzt. Der Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ umfasst im Rahmen der Simulation stets einen Kalendermonat und liegt in Quartal $\bar{Q}_0 + N$, welches ein auf $\bar{Q}_0$ (es gilt: $1 \leq N \leq 12$) folgendes Quartal beschreibt.⁴⁸⁷ Der Entscheidungszeitpunkt T_0 befindet sich stets in Monat $\bar{T}_0$, welcher in Quartal $\bar{Q}_0$ liegt (siehe: Abbildung 35). Es gilt weiterhin, dass $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ maximal 35 Monate auseinander liegen.

Wie in Kapitel 6.1.3 beschrieben, sind vor dem 17.04.2007 nicht alle Daten zu Rohwarenterminpreisen verfügbar, sodass der Entscheidungszeitpunkt (T_0) nie vor diesem Datum liegt. Im Rahmen einer Simulation wird zunächst stets das *in-sample* Regressionsmodell gemäß Kapitel 6.2.2.1 aufgestellt. Als Beobachtungszeitraum zum Aufstellen des Regressionsmodells werden jeweils alle verfügbaren Daten ab dem zweiten Quartal 1990 bis einschließlich des über die freie Wahl von T_0 determinierten Quartals $\bar{Q}_0$ genutzt.⁴⁸⁸ Ausgehend von den *in-sample* Regressionsergebnissen werden $\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ und $\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2$ gemäß den Darstellungen der vorangegangenen Kapitel berechnet. Anschließend kann die Verteilungsfunktion gemäß (6.15) aufgestellt werden. In dieser wird als deterministische Variable bereits die Realisierung $PUOF_{i,\bar{T}_0}$ für Monat $\bar{T}_0$ berücksichtigt.

Nachdem alle notwendigen Formeln definiert wurden und bekannt ist, wie die Inputdaten im Modell zu nutzen sind, wird das zuvor abstrakt beschriebene Vorgehen nachfolgend anhand eines Beispiels veranschaulicht. Exemplarisch wird über das Prognosemodell die Verteilung zukünftiger Ticketeinzahlungen der Gesellschaft *United Airlines* (UA) aus Sicht eines Entscheidungszeitpunktes (T_0) im Januar 2011 hergeleitet. Monat $\bar{T}_0$ entspricht somit dem Januar 2011.

Zunächst muss gemäß der Darstellung in Kapitel 6.2.2.1 das *in-sample* Regressionsmodell aufgestellt werden. Da der Entscheidungszeitpunkt im ersten Quartal 2011 ($\bar{Q}_0$) liegt, kann im Beispiel für die Regression auf alle gesellschaftsspezifischen Daten von *United Airlines* zwischen 1990 und dem ersten Quartal 2011 zurückgegriffen werden. Unter Nutzung des Regressionsmodells in (6.2) ergeben sich die folgenden Regressionskoeffizienten:

Tabelle 6 – Regressionsergebnisse PUOF: United Airlines (Beispiel 01/2011)

β_1 (ΔASK)	β_2 ($\Delta Effizienz$)	β_3 (ΔSLF)	β_0 (Effekt Q1)	β_4 (Dummy Q2)	β_5 (Dummy Q3)	β_6 (Dummy Q4)
-0,18	-0,27	0,89***	0,20***	-0,26***	-0,33***	-0,22***

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Regressionsanalyse aus (6.2) unter Berücksichtigung des Datensatzes von *United Airlines* zwischen 1990 und dem ersten Quartal 2011 dar. Der Datensatz enthält 77 Beobachtungen. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. $Adj. R^2 = 81,4\%$. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet.

⁴⁸⁷ Einhaltung in allen Simulationen durch Restriktionen zu minimalem Sicherungsende (siehe: Kapitel 4.2.1.3) sowie zu maximalem Sicherungshorizont (siehe: Kapitel 4.2.1.1) sichergestellt.

⁴⁸⁸ Somit beinhaltet das zur Verfügung stehende „Information Set“ bezüglich $PUOF_{i,\bar{T}_0}$ jeweils alle bis zum Entscheidungszeitpunkt vorliegenden *in-sample* Informationen, jedoch keine Informationen, welche aus Sicht des Entscheidungszeitpunktes in zukünftigen Quartalen und somit *out-of-sample* realisiert werden.

Anschließend ist zu definieren, für welche Zeiträume über das Modell Prognosen erstellt werden. Es wird festgelegt, dass aus dem Entscheidungszeitpunkt im Januar 2011 Prognosen für die Prognosemonate Januar 2012, Januar 2013 und Juni 2013 erstellt werden sollen. Unter Rückgriff auf die in (6.8) und (6.10) sowie in (A X.30) und (6.11) dargestellten Formeln, können mittels der errechneten Regressionsergebnisse für alle drei Prognosemonate die Parameter $\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ und $\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2$ bestimmt werden.⁴⁸⁹ Da im Prognosezeitpunkt zudem bereits die Ausprägung von $PUOF_{i,\bar{T}_0}$ für Januar 2011 bekannt ist ($PUOF_{UA,01/2011} = 381,78$), können die Verteilungen von $PUOF_{i,\bar{T}}$ aus Sicht des Januars 2011 für die Prognosemonate durch Einsetzen der Daten in (6.15) einfach bestimmt werden. Die errechneten Ausprägungen der relevanten Parameter für das Beispiel sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 – Bestimmung Verteilungsparameter: United Airlines (Beispiel 01/2011)

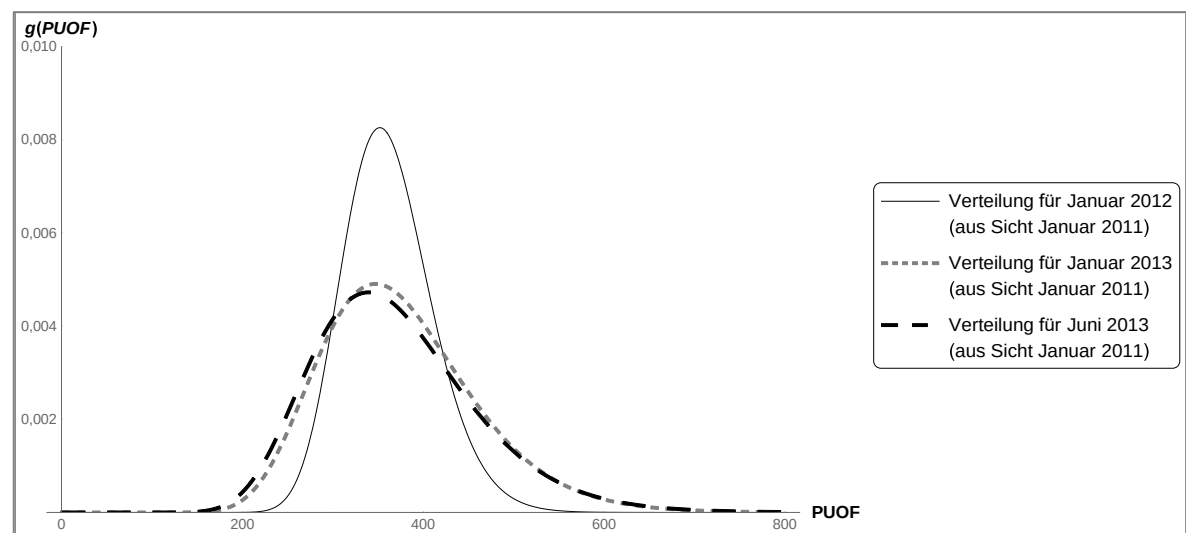
Prognosezeitraum ($\bar{T}$)	Januar 2012	Januar 2013	Juni 2013
$\mu_{\Delta PUOF,UA,01/2011,\bar{T}}$	-0,0628	-0,0425	-0,0595
$\sigma_{\Delta PUOF,UA,01/2011,\bar{T}}^2$	0,0185	0,0521	0,0585
Erwartungswert ($PUOF_{i,\bar{T}}$)	361,87	375,54	370,38
Standardabweichung ($PUOF_{i,\bar{T}}$)	49,45	86,81	90,88

Die Tabelle veranschaulicht anhand eines Beispiels für *United Airlines*, wie über das aufgestellte Modell Verteilungen für $PUOF_{i,\bar{T}}$ ermittelt werden können. Der Entscheidungszeitpunkt liegt im Januar 2011 ($\bar{T}_0$). Dargestellte Parameterausprägungen werden unter Rückgriff auf die in Tabelle 6 errechneten Regressionsergebnisse und durch Nutzung der in (6.8), (6.10), (A X.30) sowie (6.11) dargestellten Formeln ermittelt. Für Hintergründe zum Vorgehen wird auf die Kapitel 6.2.2.1 bis 6.2.2.5 sowie die zugehörigen Anhänge verwiesen.

Aus Sicht eines Entscheidungszeitpunktes im Januar 2011 ist $PUOF_{i,\bar{T}}$ für die drei Prognosemonate somit logarithmisch normalverteilt mit (siehe: (6.15)):

$PUOF_{UA,01/2012} \sim LN(361,87, 49,45^2)$, $PUOF_{UA,01/2013} \sim LN(375,54, 86,81^2)$ sowie $PUOF_{UA,06/2013} \sim LN(370,38, 90,88^2)$.⁴⁹⁰ Abbildung 22 visualisiert diese Verteilungen.

Abbildung 22 – Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion: United Airlines (Beispiel 01/2011)



Die Abbildung veranschaulicht exemplarisch drei Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der Zufallsvariable $PUOF_{i,\bar{T}}$ gemäß (6.15) für *United Airlines*. Der Entscheidungszeitpunkt liegt im Januar 2011. Die über das in Kapitel 6.2.2.1 bis 6.2.2.4 beschriebene Vorgehen errechneten Verteilungsparameter der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen sind für das Beispiel in Tabelle 7 dargestellt.

⁴⁸⁹ Es ist zu beachten, dass die Darstellungen in den genannten Formeln Prognosen für Quartale unterstellen. Der Übertrag auf den hier relevanten Fall für Monatsprognosen erfolgt gemäß den Erläuterungen in Kapitel 6.2.2.4 und Anhang A X. f).

⁴⁹⁰ Darstellung der Verteilungsfunktion gemäß Definition in Kapitel 6.2.2.4. Darstellung von Erwartungswert und Varianz der logarithmischen Normalverteilung in anderen Arbeiten teils abweichend. Siehe hierzu Diskussion im Anhang A X. a).

Sowohl in Tabelle 7 als auch in Abbildung 22 ist ersichtlich, dass die Prognoseunsicherheit mit der Verlängerung des Prognosezeitraums zunimmt. Diese Erhöhung der Unsicherheit ist ebenfalls im Beispiel für *American Airlines* in Abbildung 21 erkennbar.

6.2.3 Multivariate Verteilung: Rohwarenpreise und PUOF

In der Literatur weist beispielsweise Korn (2010) darauf hin, dass die realitätsnahe Modellierung der gemeinsamen Verteilung der Zufallsvariablen entscheidenden Einfluss auf die Güte einer ermittelten optimalen Sicherungsstrategie ausübt.⁴⁹¹

Nachdem bereits in Kapitel 5.3.3 das relevante Optimierungsmodell vorgestellt wurde, konnten in den Kapiteln 6.2.1 sowie 6.2.2 die Randverteilungen ermittelt werden, welche die Basis der multivariaten Verteilung darstellen. In Kapitel 6.2.3.1 wird nun ausgehend von den Randverteilungen die bivariate Verteilungsfunktion hergeleitet. In Kapitel 6.2.3.2 wird der relevante Korrelationskoeffizient separat untersucht. Daneben wird auf Anhang A X. i) verwiesen, in welchem als Hintergrund dargestellt ist, wie das Modell zu erweitern ist, wenn Sicherungen auch auf kerosinverwandte Rohwaren zulässig sind.

6.2.3.1 Die bivariate Verteilung

Nachdem die Randverteilungen der beiden Zufallsvariablen $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$ hergeleitet wurden, wird nun allgemein die Verteilung eines zweidimensionalen Vektors von Zufallsvariablen $\mathbf{Z}$ auf dem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ vorgestellt, welcher die gemeinsamen Ausprägungen eines Zufallsvariablenpaares auf dem $\mathbb{R}^2$ beschreibt. Wie von Brown und Toft (2002) hervorgehoben, stellt das Aufstellen und Beschreiben der gemeinsamen Verteilung der Zufallsvariablen eine der größten Herausforderungen im Rahmen des Prozesses der Ermittlung optimaler Sicherungsgeschäfte dar.⁴⁹²

Für die Herleitung kann entsprechend dem Vorgehen beim Aufstellen der eindimensionalen Verteilungen auch beim Aufstellen der bivariaten Verteilung zunächst auf die Eigenschaft zurückgegriffen werden, dass durch Logarithmieren von $Fuel_{\bar{T}}$ (siehe: (A X.10)) sowie $PUOF_{i,\bar{T}}$ (siehe: (A X.39)) Zufallsvariablen erzeugt werden, die der Normalverteilung unterliegen. Für diese kann der zweidimensionale Zufallsvariablenvektor $\mathbf{Y}$ erzeugt werden, welcher die gemeinsamen Ausprägungen des Zufallsvariablenpaares $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$ auf dem $\mathbb{R}^2$ beschreibt. Die erwartete Entwicklung und die Unsicherheit von $\mathbf{Y}$ werden durch den Erwartungsvektor ($\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{Y},\bar{T}}$) und die Kovarianzmatrix ($\boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{Y},\bar{T}}$) charakterisiert. Die zugehörigen Formeln für den Erwartungsvektor, die Kovarianzmatrix, die Korrelationsmatrix ($\mathbf{R}_{\mathbf{Y},\bar{T}}$) sowie die bivariate Normalverteilung mit $\mathbf{Y} \sim \mathcal{N}_2(\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{Y},\bar{T}}, \boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{Y},\bar{T}})$ sind im Anhang A X. g) in (A X.42) bis (A X.46) zu finden.

Während die logarithmierten Zufallsvariablen der bivariaten Normalverteilung gemäß der Darstellung in (A X.46) unterliegen, gilt auch im mehrdimensionalen Fall, dass das Zufallsvariablenpaar selbst einer bivariaten logarithmischen Normalverteilung unterliegt. Ausgehend von den vorliegenden Informationen zur Verteilung von $\mathbf{Y}$ kann die Verteilung des bivariat logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablenvektors $\mathbf{Z}$ hergeleitet werden. $\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{Y},\bar{T}}$ sowie $\boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{Y},\bar{T}}$ beschreiben weiterhin den Erwartungsvektor und die Kovarianzmatrix der

⁴⁹¹ Vgl. Korn (2010): S. 835 ff.

⁴⁹² Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306 ff. Im Rahmen ihrer Arbeit nutzen Brown und Toft (2002) selbst im Standardfall eine bivariate Normalverteilung. Testweise nutzen sie einmalig auch die bivariate logarithmische Normalverteilung. Andere Autoren nutzten außerdem die bivariate logarithmische Normalverteilung, eine Kombination aus Normalverteilung und logarithmischer Normalverteilung sowie Copula-Funktionen. Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 58 ff.; vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2015): S. 717 ff.; vgl. Oum/Oren (2009): S. 45 ff.

bivariaten Normalverteilung der durch Logarithmieren errechneten Zufallsvariablen. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $\mathbf{Z}$ kann dann allgemein dargestellt werden durch:⁴⁹³

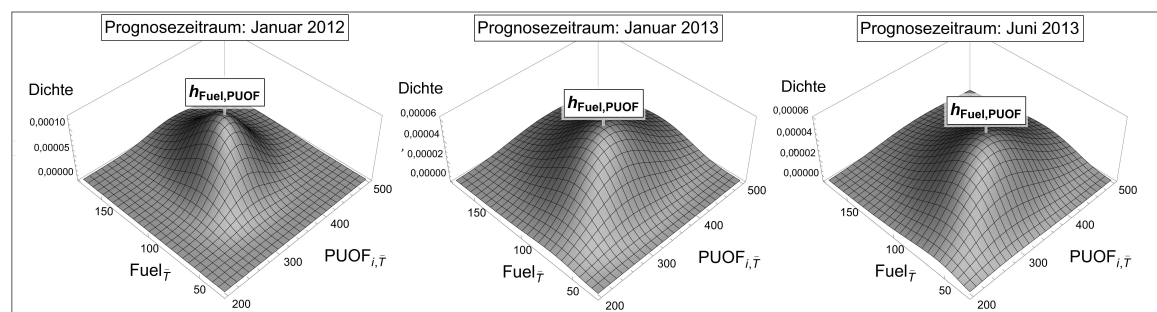
Bivariate logarithmische Normalverteilung: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$h_{\mathbf{Z}}(z_1, z_2, \mu_{y1}, \mu_{y2}, \sigma_{y1}, \sigma_{y2}, \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}) = \frac{e^{\frac{(\log(z_1) - \mu_{y1})^2 \sigma_{y2}^2 + (\log(z_2) - \mu_{y2})^2 \sigma_{y1}^2 - 2\rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}(\log(z_1) - \mu_{y1})(\log(z_2) - \mu_{y2})\sigma_{y1}\sigma_{y2}}{2(\rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}^2 - 1)\sigma_{y1}^2\sigma_{y2}^2}}}}{2\pi z_1 z_2 \sqrt{(1 - \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}^2)\sigma_{y1}^2\sigma_{y2}^2}}}, \quad z_1, z_2 > 0 \quad (6.16)$$

Es sei darauf verwiesen, dass sich in (6.16) aus Übersichtlichkeitsgründen lediglich allgemeine Darstellungen der Erwartungswerte (μ_{y1} und μ_{y2}), Varianzen (σ_{y1}^2 und σ_{y2}^2) und des Korrelationskoeffizienten ($\rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}$) finden. Im Anwendungsfall beschreiben die Variablen z_1 und z_2 Ausprägungen der nicht-logarithmierten Zufallsvariablen $PUOF_{i,\bar{T}}$ und $Fuel_{\bar{T}}$. Erwartungswerte, Varianzen und Korrelationskoeffizienten in (6.16) stellen die jeweiligen Ausprägungen der durch Logarithmieren errechneten normalverteilten Zufallsvariablen dar. Demnach können die einzusetzenden Parameter den Darstellungen von $\mu_{Y,\bar{T}}$ gemäß (A X.42) sowie $\Sigma_{Y,\bar{T}}$ gemäß (A X.44) entnommen werden. Der zugehörige Korrelationskoeffizient der logarithmierten (normalverteilten) Variablen findet sich in (A X.43) (siehe: Anhang A X. g)). Zum Zusammenhang zwischen Verteilungsparametern logarithmisch normalverteilter sowie normalverteilter Zufallsvariablen wird abermals auf die Hintergrunddarstellung im Anhang A X. a) verwiesen.

Es wird angenommen, dass es sich bei $\mathbf{Z}$ um einen Vektor stetiger Zufallsvariablen handelt. Die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion des zweidimensionalen Zufallsvariablenvektors wird für das Modell als $h_{Fuel, PUOF, i, \bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i, \bar{T}}, \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i, \bar{T}}))})$ definiert. Formel (A VI.7) wird als erfüllt angesehen und es gilt der in (A VI.10) allgemein dargestellte Zusammenhang zu den Randverteilungen. Die bivariate kumulierte Verteilungsfunktion wird an dieser Stelle aus Übersichtlichkeitsgründen nicht separat dargestellt. Es ist der allgemein in (A VI.8) dargestellte Zusammenhang zwischen Verteilungs- und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zu berücksichtigen.

Abbildung 23 – Bivariate Dichtefunktion: United Airlines (Beispiel 01/2011)



Die Abbildung veranschaulicht exemplarisch für das zuvor in 6.2.2.5 eingeführte Beispiel die drei Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen gemäß (6.16) unter Berücksichtigung der beiden Zufallsvariablen $PUOF_{i,\bar{T}}$ gemäß (6.15) sowie $Fuel_{\bar{T}}$ gemäß (6.1). Daten für *United Airlines*. Entscheidungszeitpunkt ist der 18.01.2011. Verteilungsparameter von $PUOF_{UA,\bar{T}}$ sind in Tabelle 7 dargestellt. Verteilungsparameter der Treibstoffpreiszufallsvariable gemäß Daten aus Bloomberg. Es ist jeweils ein Korrelationskoeffizient von $\rho = 0,3$ unterstellt.

Zur Veranschaulichung der so erzeugten bivariaten Verteilungsfunktion wird das zuvor in Kapitel 6.2.2.5 eingeführte Beispiel für *United Airlines* mit einem Entscheidungszeitpunkt

⁴⁹³ Angelehnt an Darstellung unter „Basic Examples“ in Handbuch zu *Wolfram Mathematica* unter: <https://reference.wolfram.com/language/ref/LogMultinormalDistribution.html> (Stand: 16.08.2022).

im Januar 2011 genutzt. Unter Rückgriff auf die in Tabelle 7 dargestellten Randverteilungen der Ticketpreiszufallsvariable für die Prognosezeiträume Januar 2012, Januar 2013 und Juni 2013 können unter Hinzuziehen der Marktdaten für Rohwaren (siehe: Kapitel 6.1.3) die resultierenden bivariaten Verteilungen in Abbildung 23 grafisch veranschaulicht werden.

6.2.3.2 Der Korrelationskoeffizient der bivariaten Verteilung

Im aufgestellten Modell stellt der in (6.16) berücksichtigte Korrelationskoeffizient der bivariaten Normalverteilung ($\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))}$, siehe auch: (A X.43) im Anhang A X. g)) die einzige Variable dar, deren Interpretation und Ermittlung bislang nicht diskutiert wurde. Dieser Pearson-Korrelationskoeffizient erfasst die Stärke des auf den Wertebereich $[-1, 1]$ skalierten Zusammenhangs zwischen der Entwicklung von $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$ zwischen T_0 und $\bar{T}$. Diese Erkenntnis ist im Fall der ökonomischen Interpretation des Zusammenhangs von entscheidender Bedeutung.

Balakrishnan und Lai (2009) zeigen, dass der Pearson-Korrelationskoeffizient (hier: $\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$) eines bivariat logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablenpaares (hier: $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$), deren Randverteilungen aus Normalverteilungen hergeleitet wurden (hier: $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$), bei gleichem Vorzeichen geringer ausgeprägt ist, als der Pearson-Korrelationskoeffizient der zugrundeliegenden bivariaten Normalverteilung (hier: $(\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))})$).⁴⁹⁴ Die mathematische Beschreibung sowie eine Visualisierung des Zusammenhangs zwischen den beiden Korrelationskoeffizienten finden sich mit Formel (A X.47) sowie Abbildung 36 im Anhang A X. h).

Die inhaltliche Notwendigkeit der Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen den Veränderungen von Treibstoffpreisen und Ticketeinzahlungen wurde initial bereits in Kapitel 4.1.2.4 diskutiert. Die dortige Diskussion aufgreifend, werden in dieser Arbeit die Ausprägungen des Korrelationskoeffizienten nicht empirisch ermittelt, sondern es wird auf Erkenntnisse der bestehenden Literatur zurückgegriffen. Bezüglich der konkreten Ausgestaltung des Parameters im Modell wird auf Kapitel 6.3.1.3 verwiesen.

Der Einfluss unterschiedlicher Korrelationen auf die Ausprägung der bivariaten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion wird zudem in Abbildung 70 im Anhang B II veranschaulicht.

6.3 Nebenbedingungen und Einschränkungen der Optimierung

In Kapitel 4 wurde zuvor dargelegt, wie die Aufgabenstellung des Erstellens einer Treibstoffpreissicherungsstrategie in einzelne Teilkomplexe heruntergebrochen werden kann (siehe: Abbildung 9). Mit dem Aufstellen des Optimierungsmodells, welches im Rahmen einer Simulation optimale Strikes für vorgegebene Instrumentenkombinationen ermittelt, wurde in Kapitel 5 anschließend der Kern des aufzustellenden Simulationsmodells vorgestellt. In Kapitel 6.3 werden nun die Nebenbedingungen dieses Optimierungsmodells eingeführt. Hierfür werden Nebenbedingungen schematisch drei Entstehungsfeldern zugeordnet, welche im Folgenden einzeln vorgestellt werden: exogene Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen (Kapitel 6.3.1), unternehmensinterne Entscheidungen (Kapitel 6.3.2) sowie weitere Nebenbedingungen zur effizienten Simulation mittels OPTA (Kapitel 6.3.3).

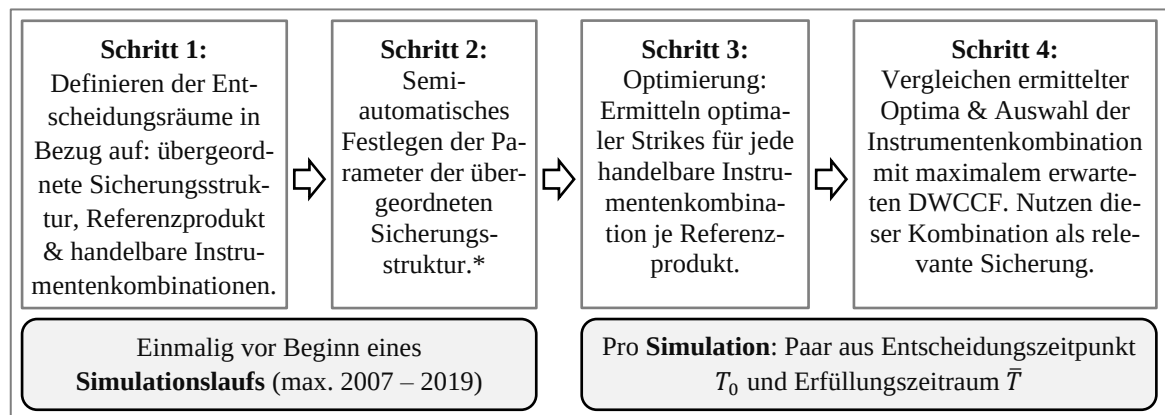
Gemäß der schematischen Darstellung in Abbildung 24 haben die Nebenbedingungen direkten Einfluss auf den dort genannten Schritt 3 sowie indirekt Einfluss auf Schritt 4.

⁴⁹⁴ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 530 ff.

Restriktionen bezüglich der übergeordneten Sicherungsstruktur, die primär Einfluss auf die Schritte 1 und 2 gemäß dem Schema in Abbildung 24 ausüben, werden in Kapitel 6.4 vorgestellt.

Konkretisierend wird für alle weiteren Kapitel zudem festgelegt und definiert, dass der Terminus einer *Simulation* sich nachfolgend jeweils auf die Ausführungen bezüglich eines einzelnen Entscheidungszeitpunktes (T_0) in Kombination mit einem einzelnen Erfüllungszeitraum ($\bar{T}$) bezieht. In Abgrenzung dazu umfasst ein *Simulationslauf* alle einzelnen *Simulationen*, welche für eine Fluggesellschaft und einen festgelegten historischen Zeitraum unter Berücksichtigung gleicher (in Schritt 1 und 2 determinierter) Vorgaben durch die genutzte Software (siehe: Kapitel 6.5.2) automatisch generiert werden.

Abbildung 24 – OPTA: Schema zur Erzeugung einer Sicherungsstrategie



Die Abbildung zeigt schematisch vier Schritte, die zum Durchführen der Simulationsstudie von Relevanz sind. *Abweichend zur schematischen Darstellung kann die jeweilige finanzielle Situation im Entscheidungszeitpunkt zudem teils beschränkenden Einfluss auf die übergeordnete Sicherungsstruktur ausüben und die vorab festgelegte Struktur somit zusätzlich temporär beschränken.⁴⁹⁵

6.3.1 Nebenbedingungen aus exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen

Ausführliche inhaltliche Erläuterungen zu exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen im Kontext der optimalen Treibstoffpreissicherung finden sich bereits in Kapitel 4.1.2. An dieser Stelle werden daher lediglich die mathematischen Darstellungen der Nebenbedingungen eingeführt, die aus allgemeinen regulatorischen Rahmenbedingungen (Kapitel 6.3.1.1), der individuellen finanziellen Situation einer Gesellschaft (Kapitel 6.3.1.2) sowie der Wettbewerbssituation des relevanten Marktes (Kapitel 6.3.1.3) resultieren.

6.3.1.1 Rechtliche und bilanzielle Rahmenbedingungen

Hintergründe zu rechtlichen und bilanziellen Rahmenbedingungen finden sich in Kapitel 4.1.2.1. Gemäß den dortigen Ausführungen gilt, dass im Simulationsmodell nur solche Derivategeschäfte erzeugt und erfasst werden dürfen, die bilanziell als effektive Cash-Flow-Hedges klassifiziert sind.⁴⁹⁶

In Kapitel 4.2.3.2 wurden bereits alle im Modell unter Einhaltung der bilanziellen Vorgaben handelbaren Derivatekombinationen (siehe: Tabelle 3) vorgestellt und es wurde dargestellt, welche Nettoprämieneinzahlungen für einzelne Derivatekombinationen zulässig sind. Mit

⁴⁹⁵ Allgemeine Anmerkung zu Schritt 4: Aufgrund des hohen systemseitigen Rechenaufwands im Rahmen der Optimierung werden erwartete DWC aus Praktikabilitätsgründen nur mit einer Genauigkeit von vier Nachkommastellen berechnet. Sofern in Einzelfällen im Rahmen dieser Genauigkeitsgrenzen identische Erwartungswerte für mehrere Instrumente existieren, wird das Instrument ausgewählt, welches in der Instrumentenaufzählung in Tabelle 3 zuerst genannt ist.

⁴⁹⁶ Da Sicherungen im Simulationsmodell in dieser Arbeit ausschließlich auf Kerosin abgeschlossen werden, stimmen die maßgeblichen Regularien nach ASC 815 und IFRS 9 bezüglich des untersuchten Sachverhalts in allen wesentlichen Punkten überein (siehe: Kapitel 4.1.2.1 sowie Anhang A IV. a)).

Verweis auf Kapitel 4.2.3.2 gilt gemäß den bilanziellen Vorgaben für die Reihenfolge der Strikes innerhalb einer einzelnen Instrumentenkombination w :

Nebenbedingung: Strike-Reihenfolge in Derivatekombinationen

$$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Long} < K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Short} < \left(K_{w,T_0,\bar{T}}^{Swap} \leq K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Long} \right) < K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Short} \quad (6.17)$$

Handelbare Derivatekombinationen bestehen jeweils nur aus einzelnen dieser Instrumente, beinhalten aber stets einen Forward oder einen Long Call (siehe: Tabelle 60 im Anhang B I).⁴⁹⁷ Die Nebenbedingung wird im Rahmen der Simulation immer berücksichtigt, wobei konkrete Ausprägungen jeweils von Marktpreisen im Entscheidungszeitpunkt abhängen.

6.3.1.2 Finanzielle Situation

In Kapitel 4.1.2.3 wurde erläutert, dass die finanzielle Situation einer Fluggesellschaft beim Abschluss von Treibstoffpreissicherungen zu berücksichtigen ist. Mit Verweis auf die dort dargestellten Hintergründe wird der Einfluss der finanziellen Situation im Simulationsmodell ebenfalls berücksichtigt. Zum einen wird die finanzielle Situation als Restriktion bei der Determinierung der übergeordneten Sicherungsstruktur berücksichtigt (siehe: Kapitel 6.4.1.2). Zum anderen wird im Rahmen der Optimierung die finanzielle Situation als entscheidender Parameter zur Bestimmung der Form der jeweiligen DWC-Funktion erfasst. Letzterer Sachverhalt wird in diesem Kapitel diskutiert.

In Kapitel 5.2.2 wurde die relevante DWC-Funktion hergeleitet (siehe: (5.11)) und es wurde erläutert, dass die finanzielle Situation einer Gesellschaft im Entscheidungszeitpunkt maßgeblichen Einfluss auf die konkrete Ausgestaltung dieser Funktion ausübt. Nachfolgend ist daher dargestellt, wie die finanzielle Situation einer Fluggesellschaft im Entscheidungszeitpunkt bei der Wahl der DWC-Parameter zu berücksichtigen ist.

Als Stellvertreter-Variable zur Beschreibung der finanziellen Situation einer Gesellschaft wird die Kennzahl $Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$ genutzt (siehe: Kapitel 6.1.2.3), die ein objektives Maß zur Erfassung der finanziellen Situation einer Fluggesellschaft darstellt. Da die Daten für $Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$ als Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit definiert sind (siehe: Kapitel 6.1.2.3), werden Daten für alle von Terminmonat zwölf abweichenden Sicherungshorizonte über Inter- oder Extrapolation ermittelt. Als Stützpunkte werden hierbei die bekannten Bloomberg-Daten für Monat zwölf sowie $Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}_0} = 0$ genutzt. Sofern Daten für einzelne Werktage nicht verfügbar sind, werden diese über Interpolation von verfügbaren Daten der angrenzenden Werktage berechnet.

Da darüber hinaus, wie in Kapitel 5.2.2 diskutiert, die Kapitalstruktur der Gesellschaft im Sicherungszeitpunkt Einfluss auf die Form der DWC-Funktion ausübt, wird außerdem der Verschuldungsgrad (VSG_{i,T_0}) von Gesellschaft i in T_0 berücksichtigt, mit:

Verschuldungsgrad eines Unternehmens

$$VSG_{i,T_0} = FK_{i,T_0} / (FK_{i,T_0} + EK_{i,T_0}) \quad (6.18)$$

Für Hintergründe zu den genutzten Daten und deren Verfügbarkeit wird auf die Darstellungen in Kapitel 6.1.2.3 sowie auf Tabelle 67 im Anhang B I verwiesen.

⁴⁹⁷ Gemäß der in (6.17) dargestellten Strike-Reihenfolge dürfen keine Instrumente gehandelt werden, die bei Geschäftsabschluss einen *inneren Wert* besitzen. Zum *inneren Wert* siehe: Anhang A III. b). Diese Restriktion ist notwendig, um die *bilanzielle Effektivität* der Sicherung bei Rückgriff auf *hypothetische Derivate* zu wahren (siehe Kapitel 4.1.2.1 und dort Fußnote 285). Da *hypothetische Derivate* in der vorliegenden Arbeit nicht im Detail diskutiert werden, ist die dargestellte Bedingung strenger als die Vorgaben, welche sich direkt aus den in Kapitel 4.1.2.1 diskutierten Hintergründen ergeben.

Unter Rückgriff auf diese Stellvertreter-Variablen wird ein Ansatz gewählt, der eine handhabbare Modellimplementierung ermöglicht. Angelehnt an *Credit Grade Bands* in Bloomberg (2020) werden zunächst drei Ausfallwahrscheinlichkeitsintervalle definiert, aus welchen jeweils die Parameter der DWC-Funktion abgeleitet werden.⁴⁹⁸ Die Intervalle umfassen Ausfallwahrscheinlichkeiten (1) von 0% bis 0,52% („geringe“), (2) über 0,52% bis 10,00% („mittlere“) sowie (3) über 10,00% („erhöhte“). Da gemäß Kapitel 5.2.2.2 Ineffizienzkosten aus der Finanzierungsstruktur mit Zunahme des Verschuldungsgrads ansteigen, erfolgt außerdem eine individuelle Adjustierung der DWC-Funktion über VSG_{i,T_0} . Die über dieses Vorgehen definierten DWC-Funktionen sind in Tabelle 74 im Anhang B I dargestellt.⁴⁹⁹ Zum Vergleich der Effekte, welche aus den unterschiedlichen Ausgestaltungen der DWC-Parameter resultieren, findet sich zudem in Abbildung 71 im Anhang B II eine Veranschaulichung dreier exemplarischer DWC-Funktionen.⁵⁰⁰

Im Gegensatz zu den anderen DWC-Parametern sind *Steuer* und γ unabhängig von der finanziellen Situation einer Gesellschaft. Um Vergleichbarkeit über Simulationsläufe hinweg zu ermöglichen, werden folgende einheitliche Ausprägungen der Parameter genutzt:

Nebenbedingungen: Standardwerte DWC-Steuer

$$\text{Steuer} = 0,2 \quad (\text{Allgemeine Restriktion: } 0 \leq \text{Steuer} \leq 1) \quad (6.19)$$

$$\gamma = 100 \quad (\text{Allgemeine Restriktion: } 0 < \gamma) \quad (6.20)$$

Die DWC-Nebenbedingungen werden im Rahmen der Simulation immer berücksichtigt, wobei konkrete Ausprägungen der DWC-Funktionen jeweils in großen Teilen von der unternehmensindividuellen Situation im jeweiligen Entscheidungszeitpunkt abhängen.

Darüber hinaus kann die finanzielle Situation einer Gesellschaft in der Praxis auch Einfluss auf den von einem Unternehmen zu zahlenden Derivatepreis nehmen (siehe Darstellung in Kapitel 4.1.2.3). Auf die Modellierung dieses Einflusses wird im Rahmen dieser Arbeit aus Komplexitätsgründen verzichtet. Im Anhang A XI. a) findet sich jedoch ergänzend eine ausführliche Diskussion dazu, wie dieser Einfluss ebenfalls als Nebenbedingung im Simulationsmodell berücksichtigt werden könnte. Daneben werden dort auch die Herausforderungen diskutiert, die aus einer solchen Berücksichtigung resultieren.

6.3.1.3 Wettbewerb und Weiterreichen von Treibstoffpreisänderungen

Zuvor wurde bereits diskutiert (siehe: Kapitel 4.1.2.4 und 5.1.2.7), dass die Fähigkeit, Treibstoffpreisänderungen an Kunden weiterzugeben, von großer Bedeutung für den ökonomischen Erfolg einer Fluggesellschaft ist. In der bestehenden Literatur zeigt die Arbeit von Scotti und Volta (2018), dass die Fähigkeit, einen Treibstoffpreisanstieg an Kunden weiterzureichen, primär durch die Wettbewerbssituation beeinflusst wird, in welcher sich eine Fluggesellschaft befindet. Die Ergebnisse von Scotti und Volta (2018) lassen den Schluss zu, dass die Fähigkeit, Treibstoffpreisanstiege über die Ticketpreise an Kunden weiterzugeben, mit Zunahme der Wettbewerbsintensität auf relevanten Strecken abnimmt.⁵⁰¹

⁴⁹⁸ Bloomberg (2020) ordnet Unternehmen auf Basis der Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeiten Ratings zu. Es werden 21 Ausfallwahrscheinlichkeitsintervalle in sog. *Credit Grades* übersetzt. *Credit Grades* werden in drei Gruppen unterteilt: *Investment Grade*, *High Yield* und *Distressed*. Zuordnung im Modell gemäß dieser Einteilung. Abbildung 59 im Anhang B II bietet eine Übersicht zum Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeiten je Gesellschaft. Vgl. Bloomberg (2020): S. 7.

⁴⁹⁹ Wie dort ersichtlich, ist zur Bestimmung der DWC-Funktion jeweils auch die von Sicherungsabschlüssen unabhängige Größe $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ zu berücksichtigen. Diese wird über (5.6) bestimmt.

⁵⁰⁰ Bezüglich der Ausprägungen einzelner DWC-Parameter gemäß Tabelle 74 wird auf die Darstellungen in Kapitel 5.2.2 sowie die zusätzlichen Erläuterungen im Anhang A XI. b) verwiesen. Dort sind praktische Beispiele dargestellt, an welche die Ausprägungen der DWC im Modell schematisch angelehnt wurden.

⁵⁰¹ Vgl. Scotti/Volta (2018): S. 42 ff.

Zur Berücksichtigung der Wettbewerbssituation in dieser Arbeit wird daher jeweils die historische Wettbewerbssituation im Zeitpunkt T_0 ermittelt. Diese wird aus der *4-Firm Concentration Ratio* (Variable: CR_{4,T_0}) eines Jahres auf dem inneramerikanischen Markt abgeleitet. Erläuterungen zur Interpretation und zur Berechnung der Variable finden sich im Anhang A XI. c). Der historische Verlauf der *4-Firm Concentration Ratio* für den inneramerikanischen Markt findet sich in Abbildung 37 sowie in Tabelle 75.

In Kapitel 6.2.3.2 wurde dargestellt, dass die quantitative Verknüpfung zwischen Ticketeinzahlungs- und Treibstoffpreisänderungen im Modell über den Korrelationskoeffizienten erfolgt. Es wird angenommen, dass die in Scotti und Volta (2018) gewonnenen Erkenntnisse auf die Abhängigkeit zwischen $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$ übertragbar sind. Daneben wird angenommen, dass Fluggesellschaften in der Praxis dazu in der Lage sind, eine valide Schätzung über die Wettbewerbssituation zwischen T_0 und dem Ende der Periode $\bar{T}$ abzugeben. Aus CR_{4,T_0} wird dann jeweils der Korrelationskoeffizient abgeleitet:

Tabelle 8 – Nebenbedingung: Korrelation und Wettbewerb

Wettbewerbsintensität	4-Firm Ratio (CR_{4,T_0})	$\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))}$
Schwach	(60%, 100%]	0,5
Moderat	(50%, 60%]	0,3
Hoch	[0%, 50%]	0,1

Die Tabelle stellt dar, welche Korrelationskoeffizienten im Modell auf Basis der *4-Firm Concentration Ratio* gewählt werden. Die Ausprägungen von $\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$ können jeweils gemäß (A X.47) bestimmt werden.⁵⁰²

Die Nebenbedingung wird im Rahmen jeder Simulation berücksichtigt, wobei die konkrete Ausprägung jeweils vom realen Wettbewerb im Entscheidungszeitpunkt abhängt.

6.3.2 Nebenbedingungen aus internen Entscheidungen

Ausführliche Erläuterungen zu internen Entscheidungen im Kontext der optimalen Treibstoffpreissicherung finden sich bereits in Kapitel 4.1.1. Im folgenden Kapitel werden die aus internen Entscheidungen abzuleitenden Nebenbedingungen in knapper Form vorgestellt. Für Hintergründe wird auf das genannte Kapitel verwiesen.

Bislang wurde im Rahmen der Modellentwicklung eine Herangehensweise vorgestellt, die direkt aus der Finanztheorie hergeleitet wird und mittels welcher Optima objektiv und unabhängig von individuellen Präferenzen handelnder Akteure ermittelt werden. In Kapitel 5.1.1 wurde argumentiert, dass dieser Ansatz gegenüber alternativen Herangehensweisen, welche subjektive Einschätzungen handelnder Akteure als Teil der Zielfunktion berücksichtigen, überlegen ist. Diese Argumentation besitzt weiterhin Gültigkeit. Allerdings sollte in einem realitätsnahen Modell dennoch berücksichtigt werden, dass die Gestaltung einer Sicherungsstrategie in der Praxis final auch durch aktive Entscheidungen von Individuen beeinflusst wird. Beeinflussungen können beispielsweise resultieren aus: (1) der Wahl des Prämienbudgets (Kapitel 6.3.2.1), (2) der Risikobereitschaft handelnder Akteure (Kapitel 6.3.2.2), (3) dem Verfolgen nachrangiger Sicherungsziele (Kapitel 6.3.2.3) oder (4) der Ausgestaltung der formalisierten Governance (Kapitel 6.3.2.4).

⁵⁰² Es ist zu beachten, dass die hier gewählte Verknüpfung von Wettbewerbssituation und Korrelationskoeffizient aus den in Scotti und Volta (2018) beobachteten Zusammenhängen zwischen Treibstoffpreisanstiegen und Ticketpreiserhöhungen abgeleitet ist. Beobachtete adverse ex-post Zusammenhänge im Treibstoffpreisverfallsszenario werden durch die gewählten Korrelationskoeffizienten gegebenenfalls nur unzureichend modelliert. Da bei Rückgriff auf bivariate Verteilungen jeweils nur ein Korrelationskoeffizient gewählt werden kann, ist allerdings keine Unterscheidung zwischen Treibstoffpreisanstiegs- und -verfallsszenarien möglich. Durch die in Tabelle 8 gewählte Zuordnung wird der Fokus im Rahmen der Modellierung willentlich auf die korrekte Berücksichtigung von Preisanstiegsszenarien gelegt. Vgl. Scotti/Volta (2018): S. 42 ff.

Für diese Faktoren wird unterstellt, dass eine objektiv richtige oder falsche Wahl bezüglich ihrer Ausgestaltung nicht existiert. Die subjektiv motivierte Ausgestaltung der Faktoren kann jedoch dazu führen, dass voneinander abweichende Sicherungsgeschäfte als objektiv ermittelte Optima zu berücksichtigen sind. Daher werden diese Einflussfaktoren, die aus den internen Entscheidungen von handelnden Akteuren im Unternehmen resultieren, in der vorliegenden Arbeit über Nebenbedingungen im Modell berücksichtigt.

6.3.2.1 Budgetbedingung

Wie in Kapitel 4.1.1.4 initial dargestellt, stellt die Höhe des zur Verfügung stehenden Prämienbudgets beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie einen frei zu wählenden Einflussfaktor dar. Vor diesem Hintergrund ist vor dem Abschluss eines jeden simulierten Geschäfts das zur Verfügung stehende Prämienbudget zu bestimmen.

Um Vergleichbarkeit über verschiedene Preisszenarien hinweg zu ermöglichen, wird das maximal verfügbare Prämienbudget ($Budget_{i,T_0,\bar{T}}$) in Prozent des Treibstoffpreismarktpreises definiert. Die prozentuale Angabe des Prämienbudgets in Zeitpunkt T_0 referenziert stets auf den Terminpreis des Referenzproduktes für Monat $\bar{T}$. Unter Berücksichtigung der Vorgaben aus Kapitel 4.1.2.1 (keine Geschäfte mit Nettoprämieneinzahlung) gilt für die absolut in T_0 für Monat $\bar{T}$ verfügbare Prämie in US-Dollar je Barrel ($Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}}$):

Prämienbudget in US-Dollar je Barrel

$$0 \leq Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}} \leq Budget_{i,T_0,\bar{T}} * Fuel_{T_0,\bar{T}}, \quad Budget_{i,T_0,\bar{T}} \geq 0 \quad (6.21)$$

wobei für jede handelbare Instrumentenkombination w zu beachten ist:

Nebenbedingung: Prämienzahlung je Instrumentenkombination

$$Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}} = \sum P_{w,T_0,\bar{T}}^{Call} + \sum P_{w,T_0,\bar{T}}^{Put} \quad (6.22)$$

$Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}}$ setzt sich somit jeweils aus der Nettosumme der Prämieein- sowie -auszahlungen aller Instrumente einer Instrumentenkombination w zusammen.

Es wird festgelegt, dass das verfügbare Prämienbudget im Simulationsmodell – sofern möglich – stets ausgeschöpft wird. Da für die beiden Handlungsalternativen *Keine Sicherung* und *Abschluss des Termingeschäftes* per Definition gilt: $Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}} = 0$, ist die Restriktion für diese Instrumente abweichend nicht zu berücksichtigen.⁵⁰³

Angelehnt an die Praxisbeobachtungen in Kapitel 4.1.1.4 können im Modell Prämienbudgets von 0%, 2% und 3% des jeweiligen Treibstoffpreises gewählt werden. $Budget_{i,T_0,\bar{T}}$ wird vor einem Simulationslauf manuell gewählt und ist für den gesamten Simulationslauf gültig. Die Ausprägung von $Prämie_{i,w,T_0,\bar{T}}$ hängt dann jeweils von den Marktgegebenheiten im Entscheidungszeitpunkt ab, sodass eine individuelle Ausgestaltung pro Simulation vorliegt.

6.3.2.2 Risikobereitschaft

Während angenommen wird, dass die gewählte Höhe des Prämienbudgets keine eindeutige Aussage über die Risikoaffinität einer Fluggesellschaft zulässt, gibt es eine Reihe von internen Entscheidungen, welche Fluggesellschaften beim Aufstellen einer Sicherungsstrategie

⁵⁰³ Daneben gilt: Sofern aufgrund anderer Nebenbedingungen beim Ausschöpfen des Prämienbudgets eine Instrumentenkombination nicht handelbar wäre, wird diese mit der maximalen geringeren Nettoprämie (≥ 0) gehandelt. Beispiel: Gemäß der Nebenbedingung in (6.17) darf der Strike des Long Calls nicht unter dem Terminpreis liegen. Falls dies bei Ausschöpfen des Prämienbudgets der Fall wäre, wird der Long Call mit Strike am Terminpreis und somit einer unter dem Prämienbudget liegenden Nettoprämie gehandelt.

treffen, die in einem direkten Zusammenhang zur Risikoaffinität der Gesellschaft stehen. Wie in Kapitel 4.1.1.3 festgelegt, wird die Risikobereitschaft einer Gesellschaft im Rahmen der Modellierung vorab auf einer vierstufigen Ordinalskala eingeordnet (siehe: Tabelle 1). Zur Berücksichtigung der Risikobereitschaft über eine Nebenbedingung wird zunächst quantifiziert, welcher Free-Cash-Flow ohne Sicherung beim Eintreten sehr unwahrscheinlicher und nachteiliger Entwicklungsszenarien der Zufallsvariablen realisiert würde. Über die Nebenbedingung wird dann sichergestellt, dass nur Sicherungsgeschäfte abgeschlossen werden dürfen, die selbst beim Eintreten dieses Entwicklungsszenarios das Einhalten eines (zu definierenden) Mindest-Free-Cash-Flows sicherstellen. Es wird angenommen, dass die Bereitschaft, nachteilige $FCF_{i,\bar{T}}$ in sehr unwahrscheinlichen Entwicklungsszenarien zugunsten vorteilhafter $E_{T_0}(DWCCF_{i,\bar{T}})$ zu akzeptieren, mit steigender Risikobereitschaft zunimmt.

Zur Formalisierung der Nebenbedingung wird der VaR (siehe: Kapitel 3.1.3) als objektives Risikomaß genutzt.⁵⁰⁴ Beim Aufstellen einer VaR-Nebenbedingung ist das Konfidenzniveau $\alpha_{VaR,FCF}$ von Relevanz, welches die gemeinsame Ausprägung beider Zufallsvariablen berücksichtigt. Als relevante unvorteilhafte Entwicklung der beiden Zufallsvariablen wird das starke Ansteigen der Rohwarenpreise bei gleichzeitiger unvorteilhafter Entwicklung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ definiert. Ausgehend von den Darstellungen in Kapitel 6.2.3.1 gilt:⁵⁰⁵

VaR-Nebenbedingung: Konfidenzniveau bivariater Fall

$$\begin{aligned} & (1 - \alpha_{VaR,FCF}) \\ &= \int_{x_{Fuel}}^{\infty} \int_0^{x_{PUOF}} h_{Fuel,PUOF,i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))}) \\ & \quad dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}, \quad x_{Fuel}, x_{PUOF} \geq 0 \end{aligned} \quad (6.23)$$

Nachfolgend wird als Standard stets $\alpha_{VaR,FCF} = 97,5\%$ berücksichtigt. Abweichend vom eindimensionalen Fall, in welchem über ein vordefiniertes α_{VaR} eindeutig der Grenzwert der Zufallsvariable aus dem Integral der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion berechnet werden kann, können im bivariaten Fall zahlreiche Kombinationen von x_{Fuel} und x_{PUOF} existieren, für welche die Gleichung lösbar ist. Zum Aufstellen der Nebenbedingung wird daher zunächst x_{Fuel} fixiert. Hierfür wird das Konfidenzniveau der univariaten Treibstoffpreisverteilung mit $\alpha_{VaR,Fuel}$ bezeichnet. Es wird festgelegt:⁵⁰⁶

VaR-Nebenbedingung: Konfidenzniveau Treibstoffpreiszufallsvariable

$$\alpha_{VaR,Fuel} = 1 - (1 - \alpha_{VaR,FCF}) * 4, \quad 0,75 < \alpha_{VaR,FCF} < 1 \quad (6.24)$$

Ausgehend von $\alpha_{VaR,Fuel}$ lässt sich über die Randverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ (siehe: (A X.13)) x_{Fuel} bestimmen. Anschließend kann über (6.23) x_{PUOF} bedingt auf x_{Fuel} berechnet werden. Da $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ vom Korrelationskoeffizienten abhängt, gilt für positive Korrelationskoeffizienten, dass $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ ceteris paribus mit zunehmendem Korrelationskoeffizienten ebenfalls größer wird. In Abbildung 72 im Anhang B II findet sich ein Beispiel zur Visualisierung des Einflusses des Korrelationskoeffizienten auf die Ausprägung von $x_{PUOF}|x_{Fuel}$.

⁵⁰⁴ In der Praxis wird der VaR beispielsweise von der Air France-KLM Group (2019) bei der Erfassung des Treibstoffpreisrisikos als quantitatives Risikomaß berücksichtigt. Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83.

⁵⁰⁵ Durch die Beschreibung der Zufallsvariablen über eine logarithmische Normalverteilung sind keine negativen Realisierungen der Zufallsvariablen möglich. Daher kann null als untere Integrationsgrenze genutzt werden.

⁵⁰⁶ Multiplikation mit Faktor 4 zur Berechnung eines sinnvollen $\alpha_{VaR,Fuel}$ frei gewählt. Aus $\alpha_{VaR,FCF} = 0,975$ folgt dann beispielsweise: $\alpha_{VaR,Fuel} = 0,90$. Dargestellte Grenzen für $\alpha_{VaR,FCF}$ zur Sicherstellung von $0 < \alpha_{VaR,Fuel} < 1$.

Nachdem Werte für x_{Fuel} und $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ bestimmt wurden, kann über (5.5) derjenige $FCF_{i,\bar{T}}$ ermittelt werden, welcher bei diesen Realisierungen der Zufallsvariablen ohne Treibstoffpreissicherung realisiert würde. Dieser wird als $FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^{KeineSicherung}$ bezeichnet. Es gilt, dass ohne Sicherung in $(1 - \alpha_{Var,FCF})$ Prozent aller Entwicklungsszenarien $FCF_{i,\bar{T}}$ unter diesem Referenzwert liegen wird. Wie zuvor diskutiert, wird der minimal erreichbare VaR im Anwendungsfall bei Abschluss des Swaps erzielt. Daher wird unter Berücksichtigung von x_{Fuel} und $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ stets auch $FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^{Swap}$ als Referenzwert errechnet. Anschließend wird zur Berücksichtigung des VaR als Nebenbedingung das folgende Vorgehen gewählt: Es werden jeweils ein absoluter sowie ein gegenüber dem VaR-optimalen Swap relativ errechneter Mindest-Free-Cash-Flow bestimmt, welche bei Abschluss einer Instrumentenkombination w und Eintreten von x_{Fuel} und $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ nicht unterschritten werden dürfen. Es gilt:

Tabelle 9 – Nebenbedingung: Risikobereitschaft und Value at Risk

Risikobereitschaft und Risikoaversion	Absolute Restriktion: $FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^w \geq$	Relative Restriktion: $FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^w \geq$
4 (=hohe Risikobereitschaft)	Keine Restriktion	Keine Restriktion
3 (=erhöhte Risikobereitschaft)	$Insotrigg_{i,\bar{T}}$	$\min\left(FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^{Swap} - 30, 0\right)$
2 (=erhöhte Risikoaversion)	$\max\left(-15, Insotrigg_{i,\bar{T}} + 5\right)$	$\min\left(FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^{Swap} - 15, 0\right)$
1 (=hohe Risikoaversion)	$\max\left(-5, Insotrigg_{i,\bar{T}} + 10\right)$	$\min\left(FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^{Swap} - 5, 0\right)$

Die Tabelle stellt die VaR-Nebenbedingungen je Risikobereitschaftsgruppe (siehe: Tabelle 1) dar. $FCF_{i,\bar{T},\alpha,Var}^w$ beschreibt jeweils den $FCF_{i,\bar{T}}$ einer Derivatekombination w beim Eintreten von x_{Fuel} und $x_{PUOF}|x_{Fuel}$. Bindend ist nach der Wahl einer Risikobereitschaftsgruppe in einem Entscheidungszeitpunkt jeweils die strengere der beiden Restriktionen.⁵⁰⁷ Zur Berechnung des Insolvenztriggers siehe Kapitel 5.2.2.4 sowie Formel (A VII.6).

Die VaR-Nebenbedingung wird im Rahmen einer Simulation immer berücksichtigt. Die konkrete Ausprägung hängt von den Marktgegebenheiten im Entscheidungszeitpunkt ab.

6.3.2.3 Sicherungsziele

Wie in Kapitel 4.1.1.2 diskutiert, werden in der Praxis nachrangige Sicherungsziele kommuniziert, die zur Erreichung des übergeordneten Ziels der Unternehmenswertmaximierung beitragen sollen (siehe: Tabelle 58). Im Modell können ebenfalls bis zu zwei nachrangige Sicherungsziele ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen in der Simulationsstudie vier der in Kapitel 4.1.1.2 definierten nachrangigen Sicherungsziele.⁵⁰⁸ Da die adäquate Verfolgung der gewählten Ziele allerdings über Einschränkungen der übergeordneten Sicherungsstruktur gesteuert wird, ist die Umsetzung im nachfolgenden Kapitel 6.4.2.3 dargestellt.

6.3.2.4 Governance

Darüber hinaus existiert in der Praxis zusätzlich die Notwendigkeit des Aufstellens von weiteren formalisierten Leitplanken, die aus der Nicht-Gleichheit von ergebnisverantwortlichen Akteuren, welche übergeordnet Sicherungsziele festlegen (Topmanagement), und praktisch ausführenden Akteuren (Derivatehändler) resultiert. Dieser Formalisierungszwang spiegelt

⁵⁰⁷ Ausnahme: Sofern im Entscheidungszeitpunkt die absolute Restriktion bereits für den VaR-optimalen Swap nicht eingehalten werden kann, besitzt ausschließlich die relative Restriktion Gültigkeit.

⁵⁰⁸ Das Ziel *Vermeiden von Nachteilen gegenüber Wettbewerbern* kann nicht ausgewählt werden, da sich aus diesem – ohne Analyse des Verhaltens der Wettbewerber – keine Handlungsempfehlung ableiten lässt. Das Ziel *Nutzen von Opportunitäten* wird aus Übersichtlichkeitsgründen ebenfalls nicht berücksichtigt.

sich in der Praxis in der Festlegung einer Governance wider.⁵⁰⁹ Als anekdotische Evidenz weisen beispielsweise Brown und Toft (2002) darauf hin, dass bei der testweisen Implementierung ihrer Strategie in einem Unternehmen die Grenzen der Entscheidungsfreiheit bereits vorab determiniert waren. Diese ergaben sich aus festgeschriebenen Regularien bezüglich der Sicherungsstrategie des Unternehmens.⁵¹⁰ In der vorliegenden Arbeit werden solche Governance-Vorgaben daher in Nebenbedingungen übersetzt. Es werden somit Nebenbedingungen eingeführt, welche sicherstellen, dass Entscheidungen handelnder Akteure (hier: des Optimierungsalgorithmus) lediglich innerhalb der vom Topmanagement gesetzten und genehmigten Handelsleitplanken getroffen werden können.

Die Übersicht zu allen Governance-Nebenbedingungen findet sich aus Übersichtlichkeitsgründen in Tabelle 76 im Anhang B I. Beim Abschluss einer Sicherung muss jeweils das gleichzeitige Einhalten aller dort dargestellten Nebenbedingungen garantiert sein. Da die praktische Ausgestaltung der Governance-Vorgaben sehr heterogen ausfallen kann, sind die Nebenbedingungen initial flexibel definiert. Um eine Vergleichbarkeit im Rahmen der nachfolgenden Simulationsstudien zu ermöglichen, sind zusätzlich bereits Standardausgestaltungen dargestellt, die im Rahmen dieser Arbeit durchgängig genutzt werden.

Die Nebenbedingungen werden in jeder Simulation berücksichtigt, wobei einzelne Nebenbedingungen gemäß Tabelle 76 in Abhängigkeit von Marktpreisen ausgestaltet sind.

6.3.3 Weitere allgemeine Nebenbedingungen

Neben den bislang vorgestellten Nebenbedingungen, die sich aus exogenen Einflüssen oder internen Entscheidungen herleiten lassen, werden im Rahmen der Modellumsetzung weitere Nebenbedingungen berücksichtigt, die mögliche Ergebnisse der Optimierung bereits vorab eingrenzen. Diese sind in Tabelle 10 dargestellt. Durch die Vorabverkleinerung des Ergebnisraumes wird die zur Berechnung optimaler Lösungen benötigte Rechenzeit signifikant verringert, sodass diese Einschränkungen das Durchführen einer umfassenden Simulationsstudie überhaupt erst ermöglichen.

Tabelle 10 – Verknappung Ergebnisraum: Randbedingungen Strikes und Prämie

Instrument	Restriktion
Long Put (Strike)	$K_{T_0, \bar{T}}^{Put, Long} \geq \max(20, Fuel_{T_0, \bar{T}} - 60)$
Short Put (Strike)	$K_{T_0, \bar{T}}^{Put, Short} \geq \max(20, Fuel_{T_0, \bar{T}} - 40)$
Short Put (Prämie)	$ P_{T_0, \bar{T}}^{Put, Short} \geq 0,10$
Short Call (Prämie)	$ P_{T_0, \bar{T}}^{Call, Short} \geq 0,10$

Die Tabelle stellt Randbedingungen (1) für die Lage der Strikes sowie (2) bezüglich der minimalen Prämie für einzelne Instrumente dar. Die Bedingungen besitzen beim Einsatz der Instrumente in jeder der handelbaren Instrumentenkombinationen Gültigkeit.

Durch die Bedingungen werden Geschäftsabschlüsse verboten, die Strikes in extremen Preislagen setzen und daher in der Praxis nicht von Relevanz sind. Zudem wird der Abschluss von Verkaufsoptionen, die nur eine sehr geringe Prämie generieren, eingeschränkt. Sofern Überschneidungen zu anderen Nebenbedingungen bestehen, besitzt stets die

⁵⁰⁹ In der Praxis legen exemplarisch die Air France-KLM Group (2019) und easyJet (2019) dar, dass übergeordnete Sicherungsstrategien durch ein Gremium des Topmanagements genehmigt werden, der praktische Handel der Sicherungsgeschäfte auf Arbeitsebene aber durch die jeweiligen Finanzabteilungen abgewickelt wird. Zudem beschreibt IAG (2019), dass Prüfmechanismen existieren, die sicherstellen, dass abgeschlossene Geschäfte in Einklang mit gültigen Vorgaben stehen. Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 83; vgl. easyJet (2019): S. 146, 167 ff.; vgl. IAG (2019): S. 103.

⁵¹⁰ Die zu beachtenden Einschränkungen hatte das Board of Directors vorab starr festgelegt. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1315.

restriktivere Bedingung Gültigkeit. Die Nebenbedingungen werden in jeder Simulation berücksichtigt. Einzelne Nebenbedingungen sind abhängig von Marktpreisen.

6.4 Weitere Restriktionen im Rahmen von Simulationen

Der Fokus der vorangegangenen Kapitel lag auf dem Aufstellen eines Optimierungsmodells, dessen Lösung es jeweils ermöglicht, optimale Strikes von Derivatekombinationen für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ aus der Sicht eines Entscheidungszeitpunktes T_0 zu ermitteln. Wie bereits diskutiert und in Abbildung 9, Abbildung 10 oder Abbildung 24 ersichtlich, stellt dieses Ermitteln optimaler Strikes im Rahmen des gesamten Sicherungsprozesses zwar eine entscheidende, aber dennoch nur eine von mehreren Teilfragestellungen dar.

Bevor über ein Optimierungsverfahren optimale Strikes errechnet werden können, müssen Entscheidungen bezüglich der Ausgestaltung der übergeordneten Sicherungsstruktur getroffen werden und es muss festgelegt werden, welche Derivatekombinationen im Rahmen der Optimierung überhaupt zur Verfügung stehen (siehe: Abbildung 10). Solche Entscheidungen sind in Abbildung 24 unter Schritt 1 und 2 erfasst. Welche Faktoren in der Modellumsetzung diese vorgelagerten Entscheidungen beeinflussen, wird in diesem Kapitel diskutiert.

Hierbei wird ein Ansatz gewählt, der sich eng an die Praxis anlehnt und gleichzeitig eine pragmatische Umsetzung im Rahmen des Modells ermöglicht. Da in Kapitel 4 bereits definiert wurde, welche Entscheidungsräume bezüglich der Ausgestaltung der einzelnen Parameter im Simulationsmodell grundsätzlich zur Verfügung stehen, ist in den folgenden Subkapiteln lediglich dargestellt, wie ein strukturiertes Betrachten praxisrelevanter Einflussfaktoren es ermöglicht, die jeweiligen Entscheidungsräume pro Anwendungsfall weiter zu verkleinern. Unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren stehen dann nur noch einzelne Ausgestaltungsmöglichkeiten bezüglich der Wahl der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur sowie der Instrumentenkombination zur Verfügung. Während die finale Wahl einer Instrumentenkombination nach dem Verkleinern des Entscheidungsraums dann in jeder Simulation über die zuvor vorgestellte Optimierung erfolgt, wird die Ausgestaltung der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur vor einem Simulationslauf stets aus dem verbleibenden Entscheidungsraum manuell gewählt.

Unter Verweis auf Kapitel 4 wird nachfolgend auf die Darstellung von Hintergründen verzichtet. Relevante Einschränkungen werden ebenfalls aus exogenen Einflussfaktoren (Kapitel 6.4.1) und internen Entscheidungen (Kapitel 6.4.2) abgeleitet. Da in beiden Kapiteln jeweils nur Faktoren vorgestellt werden, die im Modell einen relevanten Einfluss besitzen, können Darstellungen im Vergleich zur Übersicht in Kapitel 4 teils unvollständig erscheinen.

6.4.1 Restriktionen aus exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen

Hintergrunderläuterungen zu exogenen Faktoren und Rahmenbedingungen finden sich in Kapitel 4.1.2. An dieser Stelle ist dargestellt, welche exogenen Einflussfaktoren direkten Einfluss auf die übergeordnete Sicherungsstruktur ausüben können und aus welchen exogenen Einflussfaktoren Beschränkungen bezüglich der nutzbaren Instrumentenkombinationen resultieren. Es werden die bilanziellen Rahmenbedingungen (Kapitel 6.4.1.1) sowie der Einfluss der finanziellen Situation einer Gesellschaft (Kapitel 6.4.1.2) berücksichtigt.

6.4.1.1 Rechtliche und bilanzielle Rahmenbedingungen

In Kapitel 4.1.2.1 wurde bereits derjenige Entscheidungsraum definiert, welcher auf Basis bilanzieller Vorgaben für Fluggesellschaften in der Praxis existiert (siehe: Tabelle 40). Wie

zuvor festgelegt, gilt weiterhin, dass im Modell nur solche Geschäfte gehandelt werden dürfen, die bilanziell als effektive Cash-Flow-Hedges klassifiziert werden können.

Handelbare Derivatekombinationen: In Tabelle 3 wurde bereits eingegrenzt, welche Derivatekombinationen von Fluggesellschaften in der Praxis genutzt werden. Da alle dort aufgeführten Kombinationen gemäß den bilanziellen Vorgaben zu Sicherungszwecken eingesetzt werden dürfen, stehen diese initial auch im Rahmen aller Simulationen zur Verfügung.

Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur: Es wird unterstellt, dass Laufzeit und Volumen von Sicherungs- und Grundgeschäft stets übereinstimmen und dass es sich beim Grundgeschäft um eine erwartete und hochwahrscheinliche Transaktion handelt. In Kapitel 4.2.1 wurde zudem für jeden Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur bereits ein abgegrenzter Entscheidungsraum definiert, der die bilanziellen Anforderungen erfüllt und auf welchen im Rahmen von Simulationen zurückgegriffen werden kann.

6.4.1.2 Finanzielle Situation

Neben den in Kapitel 6.3.1 diskutierten Nebenbedingungen hat die finanzielle Situation einer Gesellschaft auch Einfluss auf das von einer Gesellschaft handelbare Instrumentenspektrum. Für Hintergründe wird auf die Kapitel 4.1.2.3 sowie 6.1.2.3 verwiesen.

Handelbare Derivatekombinationen: Es werden vier Ausfallwahrscheinlichkeitsintervalle definiert, die auf die individuelle Ausfallwahrscheinlichkeit einer Fluggesellschaft abstellen.⁵¹¹ Aus der Zuordnung zu einem solchen Intervall ergeben sich konkrete Handelsrestriktionen für Fluggesellschaften, die in Tabelle 11 dargestellt sind. Abgeleitet aus Praxisbeobachtungen wird angenommen, dass Kontrahenten bei erhöhtem Ausfallrisiko einer Fluggesellschaft nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr dazu bereit sind, solche Geschäfte mit dieser zu handeln, aus welchen in $\bar{T}$ Nettoauszahlungen der Fluggesellschaft resultieren können. Solche Geschäfte werden hier als *Netto-Zahler-Instrumente*⁵¹² definiert. Aus allen gemäß Tabelle 3 verfügbaren Derivatekombinationen sind lediglich der Long Call, der Call Spread sowie *Keine Sicherung* keine Netto-Zahler-Instrumente.

Tabelle 11 – Ausfallwahrscheinlichkeiten und Handelsrestriktionen

<i>Ausfallrisiko</i> _{$i, T_0, \bar{T}$}	Resultierende Restriktionen
[0,00%, 0,52%]	Keine Einschränkungen
(0,52%, 2,52%]	• Netto-Zahler-Instrumente: Maximale Laufzeit 2 Jahre • Restliche Position: Keine Einschränkungen
(2,52%, 10,00%]	• Netto-Zahler-Instrumente: Maximale Laufzeit 1 Jahr • Restliche Position: Keine Einschränkungen
(10,00%, 100,00%]	• Netto-Zahler-Instrumente: Nicht verfügbar • Restliche Position: Keine Einschränkungen

In der Tabelle sind die Handelsrestriktionen dargestellt, welche im Modell abhängig von der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Gesellschaft im Sicherungszeitpunkt Gültigkeit besitzen. Siehe hierzu auch Kapitel 6.3.1.2 und Abbildung 59 im Anhang B II.

Die Restriktionen gemäß Tabelle 11 werden in jeder Simulation berücksichtigt, wobei die Ausfallwahrscheinlichkeit jeweils pro Entscheidungszeitpunkt T_0 determiniert wird.⁵¹³

⁵¹¹ Abweichend von der Darstellung in Kapitel 6.3.1.2 wird das mittlere Ausfallwahrscheinlichkeitsintervall an dieser Stelle in zwei Intervalle gesplittet. Dies ermöglicht eine bessere Falldifferenzierung.

⁵¹² Im Rahmen der Simulationsstudie werden nur Geschäfte mit *deferred Prämie* betrachtet (siehe: Fußnote 363). Im Kontext des hier betrachteten Sachverhalts wird angenommen, dass *Netto-Zahler-Instrumente* durch das Risiko der zukünftigen Auszahlung der Fluggesellschaft aus dem Settlement definiert sind. Es wird demnach vereinfachend angenommen, dass das Zahlen von Prämie in $\bar{T}$ nicht maßgeblich ist.

⁵¹³ Wie bereits in den Anmerkungen zu Abbildung 24 dargestellt, kann die finanzielle Situation in einem Entscheidungszeitpunkt somit die generell in einem Simulationslauf verfügbaren Derivatekombinationen zusätzlich temporär eingrenzen.

6.4.2 Restriktionen aus internen Entscheidungen

Erläuterungen zu internen Entscheidungen, welche Einfluss auf die Treibstoffpreissicherungsstrategie nehmen, finden sich in Kapitel 4.1.1. In Kapitel 6.3.2 wurden zudem bereits Nebenbedingungen formuliert, welche aus internen Entscheidungen resultieren. An dieser Stelle wird zwischen Restriktionen, welche aus dem Determinieren des Prämienbudgets (Kapitel 6.4.2.1), dem Festlegen der Risikobereitschaft (Kapitel 6.4.2.2) sowie der Auswahl von Sicherungszielen (Kapitel 6.4.2.3) resultieren, unterschieden.

6.4.2.1 Budgetbedingung

Wie zuvor diskutiert (siehe: Kapitel 6.3.2.1), hat das zur Verfügung stehende Prämienbudget ($Budget_{i,T_0,\bar{r}}$) ebenfalls einen direkten Einfluss auf Möglichkeiten der Ausgestaltung der Treibstoffpreissicherungsstrategie. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass in Kapitel 4.1.1.4 bereits festgelegt wurde, dass nur solche Geschäfte gehandelt werden können, die zu einer Nettoprämienauszahlung oder einer Nettoprämie von null führen.

Handelbare Derivatekombinationen: Sofern das Prämienbudget null beträgt, können nur ausgewählte Instrumentenkombinationen gehandelt werden. In Tabelle 3 ist bereits dargestellt, welche Kombinationen in diesem Fall zur Verfügung stehen.

6.4.2.2 Risikobereitschaft

Die Risikobereitschaft einer Fluggesellschaft hat direkten Einfluss auf deren Treibstoffpreissicherungsstrategie. Daher wird in dieser Arbeit, wie in Kapitel 6.3.2.2 dargestellt, vor jedem Simulationslauf eine Risikobereitschaft aus der vierstufigen Ordinalskala in Tabelle 1 gewählt. Aus der Wahl der Risikobereitschaft werden, zusätzlich zu Nebenbedingungen (siehe: Kapitel 6.3.2.2), weitere Vorgaben bezüglich der Sicherungsstrategie abgeleitet.

Handelbare Derivatekombinationen: In Abhängigkeit von der gewählten Risikobereitschaft ist im Modell jeweils nur eine eingeschränkte Auswahl an Instrumenten nutzbar. Eine Gesellschaft kann jeweils alle Instrumentenkombinationen handeln, die der gewählten oder einer niedrigeren Risikobereitschaftsstufe zugeordnet sind (siehe: Tabelle 12).⁵¹⁴

Tabelle 12 – Restriktionen aus Risikobereitschaft

Risikobereitschaft	Max. Sicherungshorizont	Zielsicherungsgrad	Sicherungsende	Verfügbare Derivatekombinationen
1	24 Monate 35 Monate	90%	Keine Vorgabe	Long Call, Cap
2	24 Monate 35 Monate	70% 90%	Keine Vorgabe	+ Swap, 3-Way mit Put Spread
3	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	+ Call Spread, 3-Way mit Call Spread, 4-Way
4	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe	+ Keine Sicherung

Die Tabelle stellt die vier definierten Risikobereitschaftsgruppen (siehe: Tabelle 1) dar und ordnet diesen für das Modell jeweils Einschränkungen bezüglich der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur sowie der verfügbaren Instrumente zu. Bezüglich der verfügbaren Instrumente gilt, dass auch alle Instrumente genutzt werden dürfen, die geringeren Risikobereitschaften zugeordnet sind.

Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur: Ausgehend von der gewählten Risikobereitschaft sind im Modell für einzelne Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur

⁵¹⁴ Da keine Quellen zur Verknüpfung von Risikobereitschaften und Instrumenten vorliegen, ist die gewählte Zuordnung als subjektive Einschätzung zu verstehen. Extreme Ausgestaltungen der Strikes einzelner Instrumente könnten dazu führen, dass die gewählte Einordnung keine Gültigkeit mehr besitzt. Solche Extremfälle werden in dieser Arbeit nicht betrachtet.

ebenfalls nur eingeschränkte Ausgestaltungsoptionen verfügbar (siehe: Tabelle 12).⁵¹⁵ Sofern in Tabelle 12 keine Vorgaben bezüglich der Ausgestaltung einzelner Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur dargestellt sind, stehen weiterhin alle Ausprägungen dieser Parameter gemäß der in Kapitel 4.2.1 vorgestellten Auswahl zur Verfügung.

6.4.2.3 Sicherungsziele

Die nachrangigen Sicherungsziele haben ebenfalls einen direkten Einfluss auf die Treibstoffpreissicherungsstrategie. In dieser Arbeit werden vor jedem Simulationslauf bis zu zwei nachrangige Sicherungsziele ausgewählt (siehe: Kapitel 6.3.2.3). Aus der Wahl der Ziele resultieren im Modell Restriktionen bezüglich der Sicherungsstrategie.

Handelbare Derivatekombinationen: Im Modell dürfen nur solche Kombinationen gehandelt werden, die zum Erreichen der gewählten Ziele geeignet sind. Um dies sicherzustellen, wird ein Punkteschema eingeführt, welches die Übereinstimmung zwischen jedem Sicherungsziel und jeder verfügbaren Derivatekombination quantifiziert. Diese Zuordnung ist in Tabelle 61 im Anhang B I dargestellt. Da im Modell gleichzeitig bis zu zwei Ziele angestrebt werden können, für welche teils Zielkonkurrenz statt -kongruenz vorliegt, sind zum Handel stets nur solche Instrumentenkombinationen verfügbar, für welche über das Punkteschema in Summe ein positiver Wert ermittelt wird.⁵¹⁶

Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur: Wie in Kapitel 4.2.1 diskutiert, lassen sich kaum eindeutige Zusammenhänge zwischen Sicherungszielen und einzelnen Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur herstellen. Daher wird im Modell lediglich beim Anstreben des Ziels *Erhöhen der Planungssicherheit* stets ein Zielsicherungsgrad von 90% berücksichtigt.⁵¹⁷

6.5 Sonderfälle und ergänzende Informationen

Neben den bislang vorgestellten Nebenbedingungen und Restriktionen müssen im Rahmen der Umsetzung des Simulationsmodells Sondersachverhalte sowie weitere ergänzende Informationen berücksichtigt werden. Zunächst werden daher in diesem Kapitel die *Ausweichlösung* und die *Fall-Back-Lösung* (Kapitel 6.5.1) vorgestellt. Anschließend ist in Kapitel 6.5.2 dargestellt, weshalb der Rückgriff auf das Computerprogramm *Wolfram Mathematica* zur effizienten Durchführung von praxisnahen Simulationen notwendig und sinnvoll ist. Ergänzend findet sich im Anhang A XII. b) zudem eine Darstellung, die beschreibt, wie der Algorithmus mit Monaten ohne kompletten Sicherheitsaufbau umgeht.

6.5.1 Ausweichlösung und Fall-Back-Lösung

Durch die simultane Berücksichtigung aller zuvor vorgestellten Restriktionen und Nebenbedingungen können im Rahmen einzelner Simulationen Entscheidungssituationen entstehen, in denen keine Derivatekombinationen wählbar sind, die nicht gegen eine (oder mehrere)

⁵¹⁵ Einschränkungen werden nur für solche Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur vorgestellt, für welche im Modell verschiedene Ausprägungen gewählt werden können (siehe: Vorgaben in Kapitel 4.2.1). Die gewählten Einschränkungen sind zudem als subjektive Einschätzung zu verstehen. Gewählte Einschränkungen basieren auf der Annahme von Zusammenhängen, die im Regelfall in der Praxis existieren sollten.

⁵¹⁶ Beispielhaft stehen bei gleichzeitiger Wahl der Ziele (1) *Mitnahme Preisverfall* und (2) *Planungssicherheit* nur die Kombinationen: Long Call (+1 Punkt), Cap (+1) sowie Call Spread (+1) zur Auswahl. Siehe Schema in Tabelle 61.

⁵¹⁷ Die Einschränkung gilt auch dann, wenn das Ziel als eines von mehreren Zielen genannt wird. Zudem könnten in der Praxis beispielsweise auch aus den Zielen *Verringern der Volatilität* und *Nutzen von Opportunitäten* Einschränkungen bezüglich der Parameter *Frequenz* oder *Sicherungszeitpunkt* resultieren. Da in dieser Arbeit jedoch nur Studien ohne Rückgriff auf das Ziel *Nutzen von Opportunitäten* (siehe: Kapitel 6.3.2.3) sowie mit starren Vorgaben zu *Frequenz* und *Sicherungszeitpunkt* (siehe: Kapitel 4.2.1) durchgeführt werden, werden solche Restriktionen nicht vorgestellt und diskutiert.

Restriktion oder Nebenbedingung verstoßen. Konform zur Entscheidungssituation in der Praxis behalten in diesen Situationen alle aus exogenen Faktoren resultierenden Nebenbedingungen (siehe: Kapitel 6.3.1) und Restriktionen (siehe: Kapitel 6.4.1) ihre Gültigkeit.

Um solche Situationen unter diesen Voraussetzungen dennoch sinnvoll und realitätsnah lösen zu können, werden mit der *Ausweichlösung* und der *Fall-Back-Lösung* zwei Alternativen eingeführt. Instrumente, die im Rahmen von Simulationen als *Ausweich-* oder *Fall-Back-Lösung* gehandelt werden, sind im Output jeweils eindeutig gekennzeichnet.

Die *Ausweichlösung* greift in Situationen, in welchen der Handlungsspielraum aufgrund einer angespannten finanziellen Situation so stark beschränkt ist, dass Restriktionen aus Sicherheitszielen und/oder der Risikobereitschaft fallen gelassen werden müssen.

Die *Fall-Back-Lösung* greift in Situationen, in welchen ungünstig gewählte Sicherheitsziele und eine geringe Risikobereitschaft auf nachteilige Marktpreise treffen. In Extremfällen werden in solchen Situationen die Restriktion aus Sicherheitszielen und/oder der Risikobereitschaft verworfen, um als *Fall-Back-Lösung* den Abschluss des Swaps zu ermöglichen.

Detailliertere Erläuterungen zu den beiden Lösungen finden sich im Anhang A XII. a).

6.5.2 Wolfram Mathematica und das Lösen des Optimierungsproblems

Es ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen dieser Arbeit keine analytische Lösung zur Ermittlung von Optima über (5.16) oder (5.17) vorgestellt wird. Stattdessen wird zur Lösung des Doppelintegrals auf Methoden der numerischen Integration zurückgegriffen. Aus Effizienzgründen wird hierbei auf eine manuelle Suche nach der geeignetsten Integrationsmethode verzichtet und es wird stattdessen das Computerprogramm *Wolfram Mathematica* genutzt. Dieses beinhaltet ein umfassendes Paket zur numerischen Integration und wählt bei Durchführung der numerischen Integration jeweils automatisiert aus einer Vielzahl an zur Verfügung stehenden Integrationsverfahren die effizienteste Methode aus.⁵¹⁸ Dieser Rückgriff auf numerische Verfahren steht im Einklang mit der Arbeit von Bajo, Barbi und Romagnoli (2014), die beim Rückgriff auf die bivariate logarithmische Normalverteilung zur Berechnung von Optima eine Monte-Carlo-Simulation genutzt hatten.⁵¹⁹

Vorteile aus dem Nutzen von *Wolfram Mathematica* resultieren zudem daraus, dass alle Nebenbedingungen und Einschränkungen im Rahmen eines Simulationslaufs jeweils nur einmalig allgemein hinterlegt werden müssen. Diese werden dann im Rahmen des Simulationslaufs in jeder Simulation automatisch berücksichtigt. Zudem bietet *Wolfram Mathematica* umfassende Möglichkeiten zur quantitativen Analyse und Auswertung der Simulationsergebnisse, die im folgenden Kapitel 7 genutzt werden.

⁵¹⁸ Genutzt wird *Wolfram Mathematica* in der Version 12.3 (Veröffentlichung: Mai 2021). Die numerische Integration wird mit der Funktion *NIntegrate* aufgerufen. Für Hintergründe zur Funktion siehe Erläuterungen im Handbuch unter: <https://reference.wolfram.com/language/ref/NIntegrate.html?q=NIntegrate> (Stand: 14.05.2022).

⁵¹⁹ Andere Arbeiten, wie Brown und Toft (2002), die abweichend von diesem Vorgehen im Kontext der Optimierung analytische Lösungen erzeugen können, müssen demgegenüber weitere stark vereinfachende Annahmen im Rahmen der Modellierung unterstellen. Vgl. Bajo/Barbi/Romagnoli (2014): S. 58 ff.; vgl. Brown/Toft (2002): S. 1314 ff.; vgl. Oum/Oren (2009): S. 45 ff.

7 Simulationsstudien – Experimente und Ergebnisse

Nachdem das Gesamtmodell erarbeitet wurde, befasst sich Kapitel 7 mit der Durchführung von Simulationsstudien unter Rückgriff auf das definierte Simulationsmodell. Es handelt sich somit um den Übergang vom programmierten zum experimentellen Modell, wobei die Versuchsdurchführung die Anwendung des Modells unter Rückgriff auf den zugrundeliegenden realen Sachverhalt darstellt. Die experimentelle Ergebniserzeugung sowie das Aufbereiten der Simulationsergebnisse stellen den Endpunkt der Durchführung einer Simulationsstudie dar.⁵²⁰ Um die Verlässlichkeit der erzielten Ergebnisse zu bestätigen, muss das Modell zudem verifiziert und validiert werden. Über dieses Vorgehen kann objektive Akzeptanz für die über das Modell erzeugten Ergebnisse geschaffen werden, sodass es vertretbar ist, ausgehend vom Modell Handlungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten.⁵²¹

Konkret sieht das Experimentdesign in Kapitel 7 daher vor, dass das programmierte Modell unter Rückgriff auf reale Inputdaten der Vergangenheit sowie unter Berücksichtigung aller zuvor eingeführten Nebenbedingungen und Restriktionen zunächst im Rahmen einer *out-of-sample* Analyse den Abschluss von ex-ante optimalen Sicherungen für zahlreiche historische Zeitpunkte und Zeiträume simuliert. Die Sicherungen werden anschließend aus der ex-post Perspektive analysiert. Das Vorgehen wird nachfolgend auch als *Backtesting* bezeichnet.

In Kapitel 7.1 steht hierbei die einzelne Sicherung sowie die individuelle DWC-Funktion einer Sicherung im Fokus der Betrachtung. Die Analyse beleuchtet die Praxistauglichkeit des entwickelten Modells und beantwortet die Frage danach, ob über den gewählten Optimierungsansatz bereits ex-ante Sicherungen identifiziert werden können, welche sowohl ex-ante als auch ex-post zur Verbesserung des (erwarteten) DWCCF beitragen. Im Anschluss daran befasst sich Kapitel 7.2 damit, den kumulierten Einfluss aller zu einem Stichtag abgeschlossenen Sicherungen auf den Unternehmenswert zu quantifizieren. Abweichend zur Analyse in Kapitel 7.1 stehen dabei das gesamte Sicherungsportfolio sowie die einheitliche DWC-Funktion an einem Stichtag im Fokus der Betrachtung.

7.1 OPTA in der Praxis (Statische DWC-Funktionen)

In diesem Kapitel werden für alle vier betrachteten Fluggesellschaften unterschiedliche Sicherungsstrategien simuliert und ex-ante sowie ex-post analysiert. Kapitel 7.1.1 befasst sich hierfür zunächst mit der experimentellen Erzeugung der Sicherungsgeschäfte und widmet sich der Frage, ob durch die Nutzung des aufgestellten Optimierungsmodells ex-ante Sicherungen identifiziert werden können, welche den erwarteten DWCCF im Vergleich zur Alternative der Nicht-Sicherung verbessern. Im Anschluss daran befasst sich Kapitel 7.1.2 mit der ex-post Analyse der erzeugten Sicherungen, bevor Kapitel 7.1.3 zur Validierung des Modells quantitativ die Übereinstimmung von ex-ante Vorhersagen und ex-post Realisierungen bezüglich des Einflusses der erzeugten Treibstoffpreissicherungen analysiert.

Es ist zu berücksichtigen, dass alle Analysen im Rahmen dieses Kapitels unter Rückgriff auf Standardeinstellungen⁵²² durchgeführt werden und dass alle Größen ausschließlich in der

⁵²⁰ Vgl. Balci (1998): S. 337, 343 ff.

⁵²¹ Durch Verifikation und Validierung kann die Glaubwürdigkeit des Modells untermauert werden. Formale Beweise können durch eine Simulationsstudie in der Regel nicht erbracht werden. Vgl. Balci (1998): S. 335 ff., 345 ff.

⁵²² Wie zuvor festgelegt, gilt somit unter anderem: (1) Sicherungen werden nur auf Jet USGC gehandelt, (2) es findet keine Anpassung des Derivatepreises aufgrund der finanziellen Situation statt, (3) Governance-Nebenbedingungen sind Tabelle 76 zu entnehmen, (4) Sicherungen finden monatlich statt (*Frequenz*) und (5) Sicherungszeitpunkte werden ex-ante festgelegt.

skalierten Einheit US-Dollar pro Barrel betrachtet werden.⁵²³ Es sei zudem abermals auf die Definitionen von *Simulation* und *Simulationslauf* in Kapitel 6.3 verwiesen.

7.1.1 Ex-ante Analyse optimaler Sicherungsstrategien

In Kapitel 7.1 werden auf Basis einer heterogenen Auswahl an internen Entscheidungen für alle vier betrachteten Fluggesellschaften insgesamt 96 unterschiedliche Sicherungsstrategien simuliert und ex-ante analysiert. Konkret legt Kapitel 7.1.1.1 zunächst fest, welche unterschiedlichen internen Entscheidungen zur Erzeugung der 96 Sicherungsstrategien betrachtet werden. Danach erläutert Kapitel 7.1.1.2 das Simulationsvorgehen, bevor in Kapitel 7.1.1.3 ein Beispiel zur Identifikation einer ex-ante optimalen Sicherung vorgestellt wird. Anschließend werden die über das Simulationsmodell erzeugten Sicherungen deskriptiv beschrieben (Kapitel 7.1.1.4) und es wird quantitativ eruiert, ob der Abschluss der simulierten Sicherungen eine Verbesserung der ex-ante erwarteten DWCCF bewirkt (Kapitel 7.1.1.5 und 7.1.1.6).

7.1.1.1 Interne Entscheidungen und die Auswahl betrachteter Fälle

Wie zuvor bereits diskutiert, wird die Wahl optimaler Sicherungsinstrumente sowohl von exogenen Einflussfaktoren als auch von internen Entscheidungen beeinflusst. Während externe Einflüsse im selben Entscheidungszeitpunkt je Fluggesellschaft über alle Simulationen hinweg identisch ausgeprägt sind, können unterschiedliche interne Entscheidungen zu abweichenden Ergebnissen bezüglich des als Optimum identifizierten Geschäfts in einem Entscheidungszeitpunkt führen. Daher werden zu Analysezwecken Simulationen für eine Fluggesellschaft unter Rückgriff auf verschiedene, zufällig gewählte Kombinationen von internen Entscheidungen wiederholt durchgeführt.⁵²⁴

Die Wahl der Modellparameter bezüglich interner Entscheidungen erfolgt einmalig vor dem Start eines Simulationslaufs (siehe: Schritte 1 und 2 in Abbildung 24). Da die Bestimmung aller optimalen Sicherungen für einen kompletten Simulationslauf (maximal umfasster Zeitraum: 2007 bis 2019) vielfach mehr als einen Tag Rechenzeit in Anspruch nimmt, wird ein zweistufiges Verfahren zur Ermittlung optimaler Sicherungsgeschäfte genutzt, wobei in beiden Stufen unterschiedliche Modellparameter gewählt werden müssen:⁵²⁵

1. *Clusterberechnung*: Hierfür sind lediglich (1) Fluggesellschaft, (2) Risikobereitschaft sowie (3) Prämienbudget zu wählen. Auf die vorgelagerte Clusterberechnung entfallen im Durchschnitt mehr als 99% der Rechenzeit eines Simulationslaufs.
2. *Fallberechnung*: Wahl der (4) Sicherungsziele sowie der (5) restlichen Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur. Die *Fallberechnung* wird unter Rückgriff auf eine vorgelagerte *Clusterberechnung* durchgeführt. Demnach sind die Fluggesellschaft, die Risikobereitschaft und das Prämienbudget bereits fixiert. Auf die *Fallberechnung* entfallen im Durchschnitt weniger als 1% der Rechenzeit eines Simulationslaufs.

Für Clusterberechnungen werden je Fluggesellschaft zwei Risikobereitschaften und zwei Budgetrestriktionen gewählt, sodass pro einzelner Gesellschaft vier beziehungsweise in Summe 16 separate Clusterberechnungen durchgeführt werden (siehe: Tabelle 13).⁵²⁶

⁵²³ Durch Skalierung können Verzerrungen durch (1) saisonale Schwankungen von Treibstoffverbrauchsmengen oder (2) Veränderungen der Größe einer Fluggesellschaft eliminiert werden. Des Weiteren ermöglicht die Nutzung skalierten Werte den Vergleich zwischen Fluggesellschaften und Analysezeiträumen.

⁵²⁴ Zufällige und heterogene Wahl von Kombinationen, da andernfalls bei Modelltests im Rahmen einer Simulationsstudie das Risiko von Verzerrungen durch Voreingenommenheit der Testenden besteht. Vgl. Balci (1998): S. 347.

⁵²⁵ Relevante Rechenzeiten der Simulationsstudie lassen sich in Tabelle 84 im Anhang B I ablesen.

⁵²⁶ Jede der vier Risikobereitschaften wird zweimal berücksichtigt. Bei acht Fallpaaren ist eine gleichhäufige Nutzung der drei Budgetrestriktionen nicht möglich. Daher werden die beiden Extremwerte (0% und 3%) je dreimal berücksichtigt.

Für die Fallberechnung werden je Fluggesellschaft zwei Kombinationen von nachrangigen Sicherungszielen⁵²⁷ sowie zwei Kombinationen aus maximalem Sicherungshorizont und Sicherungsende gewählt.⁵²⁸ Zudem wird für jede der beiden Kombinationen von Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur eine neutrale Fallberechnung ohne nachrangige Sicherungsziele ergänzt (siehe: Tabelle 13). Nach jeder der 16 Clusterberechnungen erfolgen somit sechs Fallberechnungen, sodass in Summe 96 Simulationsläufe für alle Fluggesellschaften beziehungsweise 24 Simulationsläufe pro Fluggesellschaft durchgeführt werden. Zur eindeutigen Abgrenzung wird jedem dieser 96 Simulationsläufe eine Identifikationsnummer von 1 bis 96 zugeordnet. Zur Vereinfachung werden diese 96 Simulationsläufe nachfolgend auch als Fall 1 bis Fall 96 bezeichnet. Die genaue Zuordnung ist Tabelle 84 (siehe: Anhang B I) zu entnehmen.

Tabelle 13 – Interne Entscheidungen für Cluster- und Fallberechnungen

Fluggesellschaft	AA						DL						WN						UA					
Erster T_0	15.05.2007						15.08.2007						15.05.2007						15.03.2010					
Clusterberechnungen																								
Risikobereitschaft	2		4		1		2		1		3		3		4									
Budget $_{i,T_0,\bar{r}}$ (in %)	0	3	0	3	0	3	0	3	2	3	2	3	0	2	0	2								
Fallberechnungen																								
Sicherungsziele (max. 2)	PrV PrS		Plan VV		-		PrV Plan		PrS VV		-		PrV VV		PrV PrS		-		PrS		Plan		-	
Sicherungsende	6	12	6	12	6	12	6	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	6
Max. Horizont	24	24	24	24	24	24	24	35	24	35	24	35	18	35	18	35	18	35	18	18	18	18	18	18

Die Tabelle stellt dar, in welchem Zeitpunkt über das Modell erstmals Sicherungen für eine Gesellschaft abgeschlossen werden können. Sicherungen werden stets am 15. Kalendertag eines Monats gehandelt (siehe: Kapitel 4.2.1.5). Zudem ist dargestellt, (1) für welche Parameterkonstellationen Clusterberechnungen durchgeführt werden und (2) für welche Konstellationen von Sicherungszielen und Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur (Auswahl: Sicherungsende und maximaler Sicherungshorizont) Fallberechnungen durchgeführt werden. Angaben zu Sicherungsende und maximalem Horizont sind in Monaten. Sicherungen sind ex-ante determiniert (Sicherungszeitpunkte) und finden monatlich statt ($Frequenz = 1$). Für eine vollständige Darstellung aller aus dieser Auswahl resultierenden Simulationsläufe siehe: Tabelle 84 (Anhang B I).⁵²⁹

Des Weiteren werden Ergebnisse der sechs Fälle je Clusterberechnung teils gemeinsam betrachtet. Zur übergeordneten Benennung solcher nah verwandten Fälle wird der Begriff *Cluster* genutzt. Clustern werden zur Identifikation ebenfalls Nummern zugeordnet (Cluster 1 bis Cluster 16). Die Zuordnung von Fällen zu Clustern findet sich ebenfalls in Tabelle 84.

7.1.1.2 Simulationsvorgehen und Erfassung der Sicherungen eines Simulationslaufs

Bevor Simulationsergebnisse erzeugt, vorgestellt und diskutiert werden können, wird zunächst das Simulationsvorgehen detaillierter erläutert.

Bezüglich des Vorgehens zur Erzeugung einzelner Simulationen sowie ganzer Simulationsläufe wird allgemein auf die Darstellung in Abbildung 24 (siehe: Kapitel 6.3) verwiesen, in welcher der zugehörige Prozess bereits auf vier schematische Schritte heruntergebrochen wurde. Das Experimentdesign sieht vor, dass das programmierte Modell unter Rückgriff auf reale Inputdaten der Vergangenheit (siehe: Kapitel 6.1) sowie unter Berücksichtigung aller

⁵²⁷ Wie in Kapitel 6.3.2.3 festgelegt, stehen vier nachrangige Sicherungsziele in der Simulationsstudie zur Auswahl.

⁵²⁸ Um in der Simulationsstudie eine heterogene Auswahl an internen Entscheidungen zu berücksichtigen, werden ebenfalls unterschiedliche Kombinationen von Sicherungszielen und Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur gewählt. Da – bei Rückgriff auf die gewählte Modellierungslogik – die Wahl des Zielsicherungsgrades keinen Einfluss auf die Wahl des optimalen Sicherungsgeschäftes ausübt, werden Zielsicherungsgrade bei der Auswahl der Sicherungsgeschäfte sowie in der ex-ante Analyse (siehe: Kapitel 7.1.1.5) zunächst nicht berücksichtigt. Im Rahmen der ex-post Analyse (siehe: Kapitel 7.1.2) werden unterschiedliche Zielsicherungsgrade je Simulationslauf eingeführt und berücksichtigt.

⁵²⁹ Abkürzungen der Sicherungsziele in Tabelle 13: *Schaffen von Planungssicherheit* = Plan; *Verringern von Volatilität* = VV; *Schutz vor Treibstoffpreisanstieg* = PrS; *Partizipation an Treibstoffpreisverfall* = PrV.

zuvor eingeführten Nebenbedingungen und Restriktionen (siehe: Kapitel 6.3 und 6.4) im Rahmen einzelner Simulationen den Abschluss von ex-ante optimalen Sicherungen aus Sicht historischer Zeitpunkte $T_{0,n}$ für Erfüllungszeiträume $\bar{T}_s$ (wobei $\bar{T}_s$ mit τ_s beginnt und mit T_s endet und gilt: $T_{0,n} < \tau_s \leq T_s$, siehe: Abbildung 6) identifiziert. Die Sicherungszeitpunkte und Erfüllungszeiträume werden dabei gemäß den Vorgaben der übergeordneten Sicherungsstruktur eines Simulationslaufs ermittelt und es werden in jedem Zeitpunkt $T_{0,n}$ für alle relevanten Erfüllungszeiträume $\bar{T}_s$ optimale Sicherungen identifiziert. Alle Modellentscheidungen in $T_{0,n}$ werden dabei streng nach einer *out-of-sample* Methodik getroffen, sodass in einem Sicherungszeitpunkt jeweils ausschließlich Informationen zur Verfügung stehen, die in der Praxis in diesem Zeitpunkt ebenfalls zur Verfügung gestanden hätten. Sofern der implementierte Algorithmus im Rahmen dieses Vorgehens realitätsgetreue und praxisrelevante Sicherungen identifiziert, für welche über das aufgestellte Optimierungsmodell ein ex-ante Vorteil errechnet werden kann, entspricht dies der Verifikation des aufgestellten Modells. Ein praktisches Beispiel für eine Simulation findet sich in Kapitel 7.1.1.3.

Innerhalb eines Simulationslaufs existieren mehrere Sicherungen, die für einen identischen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ zu unterschiedlichen Zeitpunkten $T_{0,n}$ abgeschlossen werden. Das Analyseverfahren sieht daher vor, dass pro Derivatekombination w , die für den Zeitraum $\bar{T}_s$ gehandelt wird, zunächst der ex-ante Erwartungswert sowie die ex-post Realisierung errechnet werden. Anschließend werden, unter Berücksichtigung aller für $\bar{T}_s$ gehandelten Derivate, durchschnittliche Sicherungsergebnisse je Barrel Kerosin für Zeitraum $\bar{T}_s$ berechnet. Die Betrachtung solcher auf US-Dollar pro Barrel skalierter Durchschnittswerte je Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ steht in Kapitel 7.1 im Fokus der Betrachtung. Durch die Skalierung der Daten auf US-Dollar pro Barrel können Verzerrungen von Ergebnissen durch saisonale Schwankungen der Treibstoffverbrauchsmengen oder durch Veränderungen der Größe einer Fluggesellschaft vermieden werden. Die Nutzung skalierten Werte erlaubt ebenso den einfachen Vergleich zwischen verschiedenen Fluggesellschaften und unterschiedlichen Zeiträumen.

7.1.1.3 Beispiel zum Durchführen einer Simulation

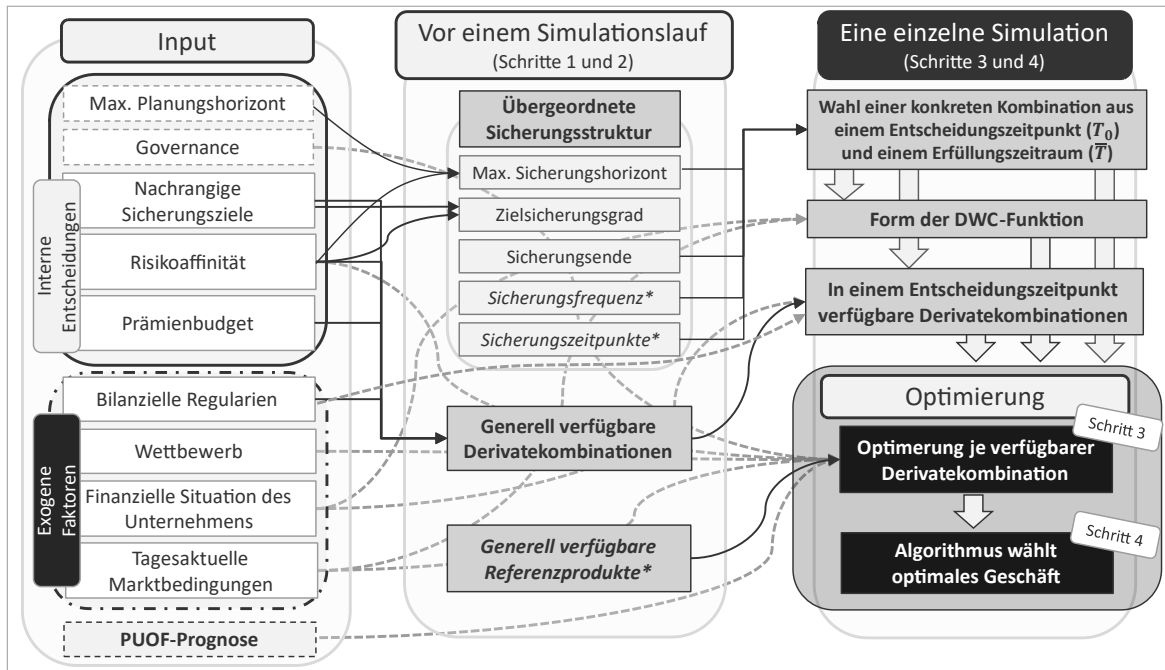
In diesem Kapitel wird anhand eines praktischen Beispiels veranschaulicht, wie auf Basis des zuvor hergeleiteten Simulationsmodells Schritt für Schritt die Identifikation eines ex-ante optimalen Sicherungsgeschäftes erfolgt. Zur Visualisierung des komplexen in OPTA hinterlegten Algorithmus veranschaulicht Abbildung 25 nachfolgend in einem Flussdiagramm, wie interne und externe Inputgrößen in OPTA verarbeitet werden und auf welche Parameter und Entscheidungsprozesse diese Inputgrößen im Modell Einfluss nehmen. Zudem orientieren sich die Beispielerläuterungen strukturell an Abbildung 24 (siehe: Kapitel 6.3), in welcher das Erstellen der Sicherungsstrategie auf vier Schritte heruntergebrochen wurde.

1. Manuelle Auswahl ohne Einschränkungen (für gesamten Simulationslauf)

Vor dem Start eines Simulationslaufs ist auszuwählen, für welche Fluggesellschaft dieser durchgeführt wird. Entsprechend der Wahl wird auf die echten ökonomischen Kennziffern dieser Gesellschaft zurückgegriffen. Für das Beispiel wird *Delta Air Lines* gewählt.

Anschließend wird der Zeitraum gewählt, welchen der Simulationslauf umfasst. Für *Delta Air Lines* kann der Abschluss von Sicherungsgeschäften mittels OPTA zwischen dem frühesten Entscheidungszeitpunkt am 15.08.2007 (siehe: Tabelle 13) und dem spätesten Erfüllungszeitraum im Dezember 2019 durchgeführt werden. Die Wahl von Fluggesellschaft und Zeitraum sind der Darstellung in Abbildung 24 und Abbildung 25 inhaltlich vorgelagert.

Abbildung 25 – Der Prozess der Treibstoffpreissicherung (Flussdiagramm)



Die Abbildung zeigt (angelehnt an Abbildung 9) schematisch die Einflüsse aller Inputgrößen in OPTA auf nachgelagerte Entscheidungen. Solche Einflüsse können sich in Form von Nebenbedingungen (Kapitel 6.3) oder Restriktionen (Kapitel 6.4) ausdrücken. Zur Abgrenzung zwischen *Simulation* und *Simulationslauf* siehe: Kapitel 6.3. Die Schritte 1 bis 4 beziehen sich auf die Darstellung gemäß Abbildung 24. Direkte Einflüsse von Inputgrößen auf eine *Simulation* werden durch gestrichelte Pfeile dargestellt. Parameter, die mit * gekennzeichnet sind, werden in dieser Arbeit mit Standardeinstellungen befüllt. Daher ist kein Zusammenhang zu Inputs dargestellt.

Erst nach der Wahl dieser beiden Kriterien sind Entscheidungen zu treffen, die in Abbildung 24 unter *Schritt 1* zusammengefasst sind. In diesem *Schritt 1* müssen zunächst drei interne Entscheidungen getroffen werden:

- (1) Wie risikoaffin ist das Unternehmen? Zur Wahl stehen die vier Stufen gemäß Tabelle 1.
- (2) Welche nachrangigen Sicherungsziele verfolgt das Unternehmen? Wie in Kapitel 6.3.2.3 festgelegt, können bis zu zwei nachrangige Sicherungsziele gewählt werden.⁵³⁰
- (3) Welches Prämienbudget steht zur Verfügung (siehe: Kapitel 6.3.2.1)?

Es werden zudem die Standardvorgaben bezüglich des Referenzproduktes (siehe: Kapitel 4.2.2), der Sicherungszeitpunkte sowie der -frequenz (siehe: Kapitel 4.2.1) berücksichtigt. Die Ausgestaltungen aller genannten Parameter im Beispiel sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14 – Beispiel: Aktive Entscheidungen ohne Einschränkungen

Entscheidungskategorie	Auswahl im Beispiel
Fluggesellschaft	Delta Air Lines
Relevanter Zeitraum (Daten maximal verfügbar)	15.08.2007 (erster Entscheidungszeitpunkt) bis Dezember 2019 (letzter Erfüllungszeitraum)
Risikobereitschaft	2
Sicherungsziele	(1) Schutz vor Preisanstieg und (2) Verringerung von Volatilität
Budgetrestriktion	$Budget_{i,T_0,\bar{T}} = 0\%$
Referenzprodukt	Jet US Gulf Coast (Standardeinstellung)
Sicherungszeitpunkte	Ex-ante determiniert (Standardeinstellung)
Sicherungsfrequenz	Monatlich (eine Sicherung pro Monat) (Standardeinstellung)

Die Tabelle stellt für das vorgestellte Beispiel die Auswahl bezüglich aller Entscheidungen dar, die ohne die Berücksichtigung von vorangegangenen Entscheidungen getroffen werden können. Die Auswahl entspricht Fall 37 der Gesamtanalyse (siehe: Tabelle 84).

⁵³⁰ Es ist zu berücksichtigen, dass stets eine Gleichgewichtung der gewählten Ziele unterstellt wird, sodass die Reihenfolge der Zielnennung keine Aussage über deren Wertigkeit erlaubt. Zu Sicherungszielen siehe auch: Kapitel 4.1.1.2.

2. Auswahl aus erzeugten Entscheidungsräumen (für gesamten Simulationslauf)

Anschließend müssen Parameter gewählt werden, deren Entscheidungsraum bereits durch die zuvor getroffene Wahl begrenzt wurde. Der erste Teil der folgenden Darstellung entspricht weiterhin dem Auswahlprozess, der in Abbildung 24 unter *Schritt 1* erfasst ist.

Aus der Wahl von Risikobereitschaft 2 ergeben sich Implikationen bezüglich der verfügbaren Ausgestaltungsmöglichkeiten des maximalen Sicherungshorizontes, des Zielsicherungsgrades sowie der handelbaren Instrumentenkombinationen (siehe: Tabelle 12). Daneben können gewählte Ziele das nutzbare Instrumentenspektrum (siehe: Tabelle 61) sowie den Zielsicherungsgrad (siehe: Kapitel 6.4.2.3) einschränken. Die gewählte Prämie von 0% beschränkt zudem zusätzlich das nutzbare Instrumentenspektrum (siehe: Tabelle 3).

Tabelle 15 – Beispiel: Weitere Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur

Entscheidungskategorie	Verfügbarer Entscheidungsraum nach internen Entscheidungen (Schritt 1)	Auswahl im Beispiel (Schritt 2)
Sicherungsende	3, 6 oder 12 Monate	6 Monate
Maximaler Sicherungshorizont	24 oder 35 Monate	24 Monate
Zielsicherungsgrad	70% oder 90%	90%
Handelbare Instrumentenkombinationen	Swap, Collar oder 3-Way mit Put Spread	Wahl im Rahmen einer jeden Simulation durch OPTA

Die Tabelle stellt für das Beispiel die Auswahl bezüglich aller Entscheidungen dar, die unter Berücksichtigung der vorgelagerten Entscheidungen (siehe: Tabelle 14) getroffen werden können. Für das Sicherungsende gibt es keine vorgelagerten Einschränkungen.

Nachdem der zur Verfügung stehende Entscheidungsraum je Parameter abgegrenzt wurde, können die für den Simulationslauf zu nutzenden Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur gewählt werden. Diese Wahl entspricht *Schritt 2* in Abbildung 24. Die für das Beispiel getroffene Auswahl findet sich in Tabelle 15.

3. Vorbereitung der einzelnen Sicherung (eine Simulation)

Da erst an dieser Stelle eine einzelne Simulation innerhalb des Simulationslaufs betrachtet wird, sind nun ein Entscheidungszeitpunkt ($T_{0,n}$) und ein Erfüllungszeitraum ($\bar{T}_s$) für die Beispielsimulation zu wählen. Exemplarisch wird an dieser Stelle die Sicherung im Detail untersucht, die im Januar 2011 für den Januar 2012 gehandelt wird. Entscheidungszeitpunkt ist somit Dienstag, der 18.01.2011.⁵³¹

Anschließend ist die Zeitspanne zwischen Entscheidungszeitpunkt ($T_{0,n}$) und dem Ende des Erfüllungszeitraums ($\bar{T}_s$) gemäß Zählkonvention (siehe: Kapitel 6.2.1.2) zu berechnen. Diese beträgt im Beispiel 1,03 Jahre.⁵³² Zudem sind die Parameter $t_1, \dots, t_N$ zu determinieren und es ist jeweils deren zeitlicher Abstand zum Entscheidungszeitpunkt zu berechnen.⁵³³

Nun können die Randverteilungen und die bivariate Verteilung bestimmt werden. Zur Beschreibung der Randverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ ist der Terminpreis von Jet USGC für Januar 2012 per 18.01.2011 relevant. Dieser betrug 115,39 US-Dollar je Barrel ($Fuel_{T_0, \bar{T}}$). Die adjustierte Volatilität (σ_{TW}) wird über (3.13) bestimmt. Im Beispiel gilt: $\sigma_{TW} = 0,26$. Die Randverteilung von $PUOF_{DL, T_0, \bar{T}}$ wird gemäß den Vorgaben in Kapitel 6.2.2 bestimmt.⁵³⁴ Für das

⁵³¹ Gemäß Kapitel 4.2.1.5 werden Sicherungen standardmäßig jeweils am 15. Kalendertag eines Monats gehandelt. Es wird allerdings stets überprüft, ob es sich beim 15. Kalendertag um einen Werktag handelt (im Beispiel war der 15.01.2011 ein Samstag). Sofern der Entscheidungszeitpunkt auf ein Wochenende oder einen Börsenfeiertag fällt, findet der Handel zudem am nachfolgenden Werktag statt (im Beispiel war Montag, der 17.01.2011, ein Börsenfeiertag – Martin Luther King Day).

⁵³² Zwischen 18.01.2011 und 31.01.2012 liegen 378 Tage. Gemäß Zählkonvention werden diese durch 365,25 dividiert.

⁵³³ Hierbei wird die in Kapitel 6.2.1.2 im Detail vorgestellte Vorgehensweise genutzt. Auf eine Darstellung aller identifizierten Einzeltage wird im Rahmen des Beispiels aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet.

⁵³⁴ Für die *in-sample* Regression werden Ist-Daten von DL zwischen 1990 und dem ersten Quartal 2011 berücksichtigt.

Beispiel werden als Input der Verteilung $E_{T_0}(PUOF_{DL,\bar{T}}) = 408,60$ USD/bbl sowie $\sigma_{\Delta PUOF,DL,T_0,\bar{T}} = 0,13$ berechnet. Zur Berechnung der bivariaten Verteilungsfunktion wird zudem die Information zur Wettbewerbssituation im Entscheidungszeitpunkt benötigt. Aus $CR_{4,T_0} = 49,6\%$ folgt, dass eine hohe Wettbewerbsintensität herrscht, weshalb als Korrelationskoeffizienten ein Wert von 0,1 zu wählen ist (siehe: Tabelle 8). Mit diesem Wissen kann die bivariate Verteilungsfunktion aufgestellt werden (siehe: Kapitel 6.2.3).

Anschließend wird die DWC-Funktion gemäß (5.11) aufgestellt. Hierfür wird zunächst die Ausfallwahrscheinlichkeit der Fluggesellschaft zwischen T_0 und T erfasst. Diese liegt bei 0,81% und entspricht einer *mittleren Ausfallwahrscheinlichkeit* (siehe: Tabelle 74). Der Verschuldungsgrad beträgt 67% (siehe: Kapitel 6.3.1.2). Mit diesen Daten und unter Rückgriff auf Tabelle 74 sowie Formel (A VII.6) können die Parameter der DWC-Funktion errechnet werden. Diese sind in Tabelle 16 dargestellt.

Des Weiteren wird über (5.6) der erwartete Free-Cash-Flow für den Erfüllungszeitraum berechnet. Im Beispiel gilt: $E_{T_0}(FCF_{DL,\bar{T}}) = 85,54$ USD/bbl.

Zudem muss die VaR-Nebenbedingung (siehe: Kapitel 6.3.2.2) berücksichtigt werden. Im Beispiel gilt $x_{Fuel} = 156,08$ USD/bbl (siehe: (A X.13)) sowie $x_{PUOF}|x_{Fuel} = 379,33$ USD/bbl (siehe: (6.23)). Es folgt ein Referenzwert von $FCF_{DL,\bar{T},\alpha,VaR}^{Swap} = 62,13$ USD/bbl und gemäß Tabelle 9 gilt demnach die Nebenbedingung: $FCF_{DL,\bar{T},\alpha,VaR}^W \geq 0$ USD/bbl.⁵³⁵

Tabelle 16 – Beispiel: Input und Vorabberechnungen für eine Simulation

Entscheidungskategorie	Ausgestaltung
Entscheidungszeitpunkt T_0	Dienstag, 18.01.2011
Erfüllungszeitraum $\bar{T}$	Januar 2012
Prämienbudget in US-Dollar	$Prämie_{DL,W,T_0,\bar{T}} = 0,00$
Zeiträume	Zeitraum zwischen T_0 und T : 1,03 Jahre (378 Tage)
Randverteilung Treibstoff	$Fuel_{T_0,\bar{T}} = 115,39$, $\sigma_{TW} = 0,26$
Randverteilung PUOF	$E_{T_0}(PUOF_{DL,\bar{T}}) = 408,60$, $\sigma_{\Delta PUOF,DL,T_0,\bar{T}} = 0,13$
Wettbewerbssituation	$CR_{4,T_0} = 49,6\%$, $\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{DL,\bar{T}}))} = 0,1$
Ausfallwahrscheinlichkeit ⁵³⁶	$Ausfallrisiko_{DL,T_0,\bar{T}} = 0,81\%$
Kapitalstruktur	$VSG_{DL,T_0} = 67\%$
Insolvenztrigger	$Insotrigger_{DL,T_0,\bar{T}} = -35,47$
Parameter der DWC-Funktion	$TrigInso_{DL,T_0,\bar{T}} = -12,47$, $TrigPosF_{DL,T_0,\bar{T}} = 110,49$, $TrigNegF_{DL,T_0,\bar{T}} = 60,60$, $maxInso_{DL,T_0,\bar{T}} = 15$, $maxPosF_{DL,T_0,\bar{T}} = 7,5$, $maxNegF_{DL,T_0,\bar{T}} = 10$, $SteigInso_{DL,T_0,\bar{T}} = 0,2$, $SteigPosF_{DL,T_0,\bar{T}} = 0,125$, $SteigNegF_{DL,T_0,\bar{T}} = 0,125$
Free-Cash-Flow-Parameter	$ErlösRest_{DL,\bar{T}} = 284,05$, $AufwandRest_{DL,\bar{T}} = 470,33$
Erwarteter Free-Cash-Flow	$E_{T_0}(FCF_{DL,\bar{T}}) = 85,54$
VaR-Nebenbedingung	$FCF_{DL,\bar{T},\alpha,VaR}^W \geq 0$
Governance-Nebenbedingung	$govNB_1 = 30$, $govNB_2 = 40$, $govNB_3 = 35$, $govNB_5 = 40$, $govNB_6 = 20$; $govNB_4, govNB_7, govNB_8$: siehe Tabelle 76
Verknappung Ergebnisraum	$K_{T_0,\bar{T}}^{Put,Long} \geq 55,39$, $K_{T_0,\bar{T}}^{Put,Short} \geq 75,39$, $P_{T_0,\bar{T}}^{Put,Short} \geq 0,1$, $P_{T_0,\bar{T}}^{Call,Short} \geq 0,1$

Die Tabelle stellt für das vorgestellte Beispiel mit Delta Air Lines für den Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011 und den Erfüllungszeitraum Januar 2012 die Ausgestaltung der für die Optimierung relevanten Parameter dar. Alle zuvor bereits getroffenen Einschränkungen und Darstellungen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Indizes der Variablen sind aus Gründen der Lesbarkeit teils nicht dargestellt.

⁵³⁵ Zunächst werden die absolute (hier: $FCF_{DL,\bar{T},\alpha,VaR}^W \geq -15$ USD) sowie die relative (hier: $FCF_{DL,\bar{T},\alpha,VaR}^W \geq 0$ USD/bbl) VaR-Restriktion bestimmt. Gemäß Kapitel 6.3.2.2 entfaltet aber stets nur die Restriktivere der beiden ihre Wirkung.

⁵³⁶ Über die Darstellung im Fließtext hinausgehend, ist stets zu prüfen, ob aus der Ausfallwahrscheinlichkeit weitere Restriktionen gemäß Tabelle 11 resultieren. Im Beispiel resultieren aus den Vorgaben in Tabelle 11 keine Einschränkungen.

Darüber hinaus sind die Governance-Nebenbedingungen⁵³⁷ (siehe: Kapitel 6.3.2.4 und Tabelle 76) und die Nebenbedingungen zur Verknappung des Ergebnisraumes (siehe: Kapitel 6.3.3 und Tabelle 10) auszugestalten. Gewählte Werte finden sich ebenfalls in Tabelle 16.⁵³⁸

4. Bestimmen des ex-ante optimalen Geschäfts (eine Simulation)

Nachdem alle notwendigen Parameter determiniert wurden, kann nun die eigentliche Optimierung je Derivatekombination, welche in Abbildung 24 als *Schritt 3* definiert wurde, für die beispielhafte Simulation durchgeführt werden. Hierbei werden für jede noch zur Wahl stehende Derivatekombination (siehe: Tabelle 15) optimale erwartete DWC und erwartete DWCCF berechnet (siehe: Kapitel 5.3).⁵³⁹ Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt. Für alle Derivatekombinationen werden über die Optimierung die Strikes ermittelt, für welche, unter Berücksichtigung aller vorgestellten Nebenbedingungen und Restriktionen, die erwarteten DWC minimal und folglich die erwarteten DWCCF maximal sind. Zusätzlich sind als Referenzwert Erwartungswerte ohne den Abschluss einer Sicherung dargestellt. Nachdem die Optima für jede verfügbare Derivatekombination separat ermittelt wurden, folgt derjenige Schritt, welcher in Abbildung 24 als *Schritt 4* bezeichnet wird. Ausgehend von den in Tabelle 17 dargestellten Ergebnissen, wählt der Algorithmus das DWCCF-maximale Geschäft. Demnach sollte unter Berücksichtigung der getroffenen internen Entscheidungen am 18.01.2011 für den Januar 2012 ein Swap mit einem Strike von 115,39 US-Dollar pro Barrel (entspricht dem Terminpreis $Fuel_{T_0, \bar{T}}$) als optimale Sicherung gehandelt werden. Im Vergleich zur Alternative der Nicht-Sicherung führt der Abschluss dieses Geschäfts zu einer Erhöhung des erwarteten DWCCF beziehungsweise einer Reduktion der erwarteten DWC um 0,52 US-Dollar pro gesichertem Barrel Kerosin.⁵⁴⁰

Tabelle 17 – Beispiel: Optima nutzbarer Instrumentenkombinationen

Derivatekombination	Lage der optimalen Strikes	$E_{T_0}(DWC_{DL, T_0, \bar{T}}^w)$	$E_{T_0}(DWCCF_{DL, T_0, \bar{T}}^w)$	$FCF_{DL, \bar{T}, \alpha, VaR}^w$
Keine Sicherung	-	5,79	79,75	29,58 ☒
Swap	$K_{T_0, \bar{T}}^{Swap} = 115,39$	5,28	80,27	62,13 ☒
Collar	$K_{T_0, \bar{T}}^{LC} = 128,58$ $K_{T_0, \bar{T}}^{SP} = 105,38$	5,29	80,26	51,57 ☒
3-Way mit Put Spread	$K_{T_0, \bar{T}}^{LC} = 134,73$ $K_{T_0, \bar{T}}^{SP} = 105,38$ $K_{T_0, \bar{T}}^{LP} = 85,38$	5,33	80,21	46,65 ☒

Die Tabelle stellt für das Beispiel die über *Wolfram Mathematica* ermittelten optimalen Strikes (k_w) für alle handelbaren Instrumentenkombinationen w sowie resultierende Erwartungswerte in der Einheit US-Dollar pro gesichertem Barrel Kerosin dar. In der letzten Spalte ist der jeweilige FCF im Fall des Eintretens der VaR-Extrembewegungen dargestellt. ☒ visualisiert, dass der jeweilige Wert die VaR-Nebenbedingung (hier: $FCF_{t, T, \alpha, VaR}^w \geq 0$) erfüllt. Der Abschluss von *Keine Sicherung* ist im Beispiel aufgrund von vorgelagerten Restriktionen aus Risikobereitschaft nicht möglich. Die Werte sind daher nur zu Vergleichszwecken dargestellt.

Nachdem eine optimale Sicherung gewählt wurde, identifiziert OPTA im Rahmen eines Simulationslaufs über das zum Beispiel identische Schema Sicherungen für alle weiteren Kombinationen aus Entscheidungszeitpunkten und Erfüllungszeiträumen. Es würden somit auf Basis der gewählten übergeordneten Sicherungsstruktur für den Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011 auch für alle anderen Monate zwischen August 2011 (Sicherungsende) und

⁵³⁷ Für die Governance-Nebenbedingungen werden die Standardeinstellungen gemäß Tabelle 76 berücksichtigt.

⁵³⁸ Alle in Kapitel 6 eingeführten, aber hier ungenannten Nebenbedingungen und Restriktionen, sind ebenfalls gültig.

⁵³⁹ Wie in Kapitel 6.5.2 dargelegt, wird zur Ermittlung der Optima auf Methoden der numerischen Integration zurückgegriffen. Aus Effizienzgründen wird hierbei das Computerprogramm *Wolfram Mathematica* zur Bestimmung von Lösungen genutzt. Für Hintergründe zu diesem Vorgehen wird auf die Erläuterungen in Kapitel 6.5.2 verwiesen.

⁵⁴⁰ Die Quantifizierung der Verringerung erwarteter DWC als Kriterium zur Messung der Güte einer Sicherungsstrategie wird beispielsweise auch in Korn (2010) berücksichtigt. Vgl. Korn (2010): S. 841 ff.

Januar 2013 (maximaler Sicherungshorizont) weitere 17 Derivatekombinationen gehandelt. Eine Auswahl von identifizierten Sicherungen ist in Tabelle 77 im Anhang B I dargestellt. Anschließend würden zum nächsten Entscheidungszeitpunkt (hier: 15.02.2011) wieder Derivatekombinationen für 18 einzelne Erfüllungszeiträume gemäß dem beschriebenen Vorgehen identifiziert und gehandelt. Weitere Erläuterungen zur Ausweitung des Beispiels auf einen gesamten Simulationslauf finden sich im Anhang A XIII. b).

Es sei zudem darauf hingewiesen, dass es sich bei der dargestellten Beispielsimulation um eine einzelne Simulation des Simulationslaufs handelt, der in der Gesamtanalyse als *Fall 37* erfasst ist (siehe: Tabelle 84). Wie in Tabelle 84 ersichtlich, werden im Rahmen dieser Arbeit für *Fall 37* insgesamt 3.712 einzelne Derivatekombinationen über das hier skizzierte Vorgehen identifiziert. Die Gesamtheit aller für einen Fall erzeugten Sicherungen wird nachfolgend auch als (Sicherungs-) Portfolio bezeichnet. In *Fall 37* besteht das Portfolio somit aus 3.712 einzelnen Derivatekombinationen. Die Rechenzeit zur systemseitigen Identifikation des gesamten Portfolios für *Fall 37* beträgt etwa 44 Stunden (2.636 Minuten).

7.1.1.4 Deskriptive Beschreibung der erzeugten Sicherungsgeschäfte

Wie in Kapitel 7.1.1.1 festgelegt, werden in dieser Arbeit 96 verschiedene Simulationsläufe berücksichtigt. Die Portfolios dieser Simulationsläufe umfassen im Durchschnitt je Simulationslauf über 2.400 und in Summe 232.780 einzelne Derivatekombinationen. Diese Kombinationen werden in Tabelle 84 im Anhang B I lediglich in aggregierter Form vorgestellt.

Tabelle 18 – Beispiel United Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 81)

Interne Entscheidungen und Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur										
Sicherungsziel(e)	Risikobereitschaft		Prämie	Frequenz	Sicherungsende		Max. Horizont			
Erhöhen Planungssicherheit	3		2%	1 x Monat	3 Monate		18 Monate			
Anzahl der durch OPTA gehandelten Instrumente je Erfüllungszeitraum										
Erfüllungszeiträume in ...	oS	Sw	LC	Col	CS	Cap	3CS	3PS	4W	Σ
2010	0	21	0	0	0	0	0	0	0	21
2011	1	124	0	2	0	2	14	0	1	144
2012	0	6	0	115	0	13	18	23	5	180
2013	0	9	0	11	0	1	3	67	89	180
2014	0	0	0	5	0	0	85	14	76	180
2015	0	3	0	3	0	1	148	4	21	180
2016	0	7	0	24	0	2	138	8	1	180
2017	0	6	0	17	0	0	128	5	24	180
2018	0	5	0	7	0	0	152	1	15	180
2019	0	9	0	3	0	1	166	0	1	180
Summe	1	190	0	187	0	20	852	122	233	1605
davon: FNB / Fall-Back	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/0

Die Tabelle zeigt als Beispiel das für *United Airlines* in Fall 81 erzeugte Sicherungsportfolio. Derivatekombinationen sind den zugehörigen Erfüllungszeiträumen zugeordnet und werden aggregiert auf Jahresebene ausgewiesen. Die Anzahl der Sicherungen, die entgegen bestehenden internen Restriktionen aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden müssen (*Auswehlösung*, siehe: Kapitel 6.5.1), sind als „davon FNB“ gekennzeichnet (siehe: Kapitel 6.4.1.2). Ein Rückgriff auf die *Fall-Back-Lösung* ist nicht notwendig (siehe: Kapitel 6.5.1). Abbildung 77 im Anhang B II visualisiert die Daten der Tabelle zusätzlich grafisch.

Bei jeder dort genannten Derivatekombination handelt es sich um die Sicherung, welche vom Algorithmus gemäß dem in Kapitel 7.1.1.3 skizzierten Vorgehen in einer einzelnen Simulation ausgewählt wurde. Die systemseitige Rechenzeit zur Erzeugung aller in Tabelle 84 enthaltenen Sicherungen betrug insgesamt mehr als 3,5 Wochen.⁵⁴¹

⁵⁴¹ Die Gesamtrechenzeit ergibt sich nicht aus der Summe der in Tabelle 84 dargestellten Rechenzeiten je Simulationslauf, da prozessual vorgelagerte *Clusterberechnungen* mehrfach für bis zu sechs *Fallberechnungen* genutzt werden können

Zur beispielhaften Veranschaulichung der erzeugten Ergebnisse findet sich in Tabelle 18 die ausführliche Darstellung zu abgeschlossenen Sicherungsinstrumenten je Kalenderjahr für einen exemplarisch ausgewählten Simulationslauf für *United Airlines*.

Zusätzlich finden sich in Tabelle 81 bis Tabelle 83 im Anhang B I drei weitere solcher Beispielübersichten für die restlichen drei Fluggesellschaften. Im Anhang B II finden sich in Abbildung 74 bis Abbildung 77 grafische Visualisierungen zu diesen Beispielfällen.

An dieser Stelle werden, ausgehend von den Darstellungen in Tabelle 18 und in Tabelle 81 bis Tabelle 84, zunächst die erzeugten Sicherungen je Fluggesellschaft deskriptiv beschrieben. Hierbei werden vor allem Unterschiede zwischen den für eine Gesellschaft gehandelten 24 Sicherungsportfolien herausgearbeitet. Da die Sicherungen für eine Fluggesellschaft stets auf Basis identischer exogener Einflüsse erzeugt werden, müssen solche Unterschiede in Sicherungsportfolien aus abweichenden internen Entscheidungen oder divergierenden Ausprägungen der Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur resultieren.

Tabelle 19 – Erzeugte Sicherungen: Übersicht je Fluggesellschaft

	AA	DL	WN	UA
Nummern der Fälle	1 bis 24	25 bis 48	49 bis 72	73 bis 96
Nummern der Cluster	1 bis 4	5 bis 8	9 bis 12	13 bis 16
Anzahl Derivatekombinationen je Fall	1602 / 2457	2403 / 3712	2115 / 4240	1266 / 1605
Ø Rechenzeit je Fall (in Stunden)	25,2	36,5	38,5	22,5
Maximale Rechenzeit für einen Fall (in Stunden)	37,8	49,8	57,7	26,7

Die Tabelle zeigt Daten je Fluggesellschaft zu den 96 über OPTA erzeugten Sicherungsportfolien. Die Anzahl der Sicherungen wird durch die Wahl der übergeordneten Sicherungsstruktur determiniert. Für Details zu allen 96 Fällen siehe: Tabelle 84 (Anhang B I).

Über alle 24 Simulationsläufe für *American Airlines* hinweg, wird jede der neun⁵⁴² nutzbaren Derivatekombinationen mindestens einmal vom Algorithmus als Optimum identifiziert. In den 24 Simulationsläufen werden 22 unterschiedliche Sicherungsportfolien erzeugt.⁵⁴³ Es zeigt sich somit die Heterogenität der in der Praxis genutzten Sicherungsalternativen auch im entwickelten Modell, wobei unterschiedliche Sicherungen primär durch abweichende individuelle interne Entscheidungen begründet sind. So ist ersichtlich, dass die Bereitschaft zur Zahlung von Prämie, eine höhere Risikobereitschaft sowie der Verzicht auf nachrangige Sicherungsziele die Heterogenität des Instrumentenspektrums erhöhen.

Eine weitere Beobachtung für *American Airlines* ist, dass teils Instrumente gehandelt werden müssen, die der Algorithmus initial nicht als optimales Instrument gewählt hätte (siehe Darstellung zu *Ausweidlösung* und *Fall-Back-Lösung* in Kapitel 6.5.1).

Der Rückgriff auf die *Fall-Back-Lösung* ist primär dann notwendig, wenn das verfügbare Instrumentenspektrum durch interne Entscheidungen stark verknappt wurde (kein Prämienbudget) und gleichzeitig eine geringe Risikobereitschaft gewählt wurde. In dem für *American Airlines* am stärksten eingeschränkten Fall 1 (keine Prämie und Risikobereitschaft 2) wird daher für 22% aller Derivatekombinationen auf die Fall-Back-Lösung zurückgegriffen. Daneben hat auch die finanzielle Situation Einfluss auf die abgeschlossenen Geschäfte. Wie in Abbildung 59 (siehe: Anhang B II) ersichtlich, befand sich *American Airlines* bis Mitte 2013 nahezu durchgängig in einer angespannten finanziellen Situation. Aus diesem Grund werden für diesen Zeitraum zahlreiche Sicherungen abgeschlossen, die initial nicht als

(siehe: Kapitel 7.1.1.1). Erfasst man lediglich die Rechendauer für den zeitintensivsten Fall je Cluster (siehe: Tabelle 66), ergibt sich bereits eine Gesamtrechnenzeit von 36.349 Minuten. Dies entspricht etwa 3,6 Wochen.

⁵⁴² Siehe Auswahl gemäß Tabelle 3. Da die Wahl von *Keine Sicherung* auch eine Handelsentscheidung sein kann, wird *Keine Sicherung* an dieser Stelle sowie im weiteren Verlauf des Kapitels jeweils als eigene Sicherungsalternative gezählt.

⁵⁴³ Die Fälle 3 und 5 sowie 4 und 6, welche alle in einem Cluster liegen, handeln identische Portfolien.

optimale Sicherung identifiziert worden waren.⁵⁴⁴ Erwähnenswert ist zudem, dass bei einer internen Entscheidung gegen eine Nettoprämienzahlung aufgrund der Restriktion aus der finanziellen Situation vielfach nur *Keine Sicherung* gewählt werden kann (Beispiel: Fall 13). Sofern die Gesellschaft zur Nettoprämienzahlung bereit ist, kann stattdessen jedoch auch auf die Alternativen Long Call oder Call Spread zurückgegriffen werden (Beispiel: Fall 21). Die Ergebnisse für *Delta Air Lines* zeigen eine im Vergleich zu *American Airlines* weniger heterogene Instrumentenauswahl. Über alle Simulationsläufe hinweg werden für *Delta Air Lines* lediglich fünf der neun verfügbaren Instrumentenkombinationen initial als Optima identifiziert.⁵⁴⁵ Die Homogenität der Abschlüsse lässt sich darauf zurückführen, dass für *Delta Air Lines* lediglich Risikobereitschaft 1 und 2 berücksichtigt werden, wodurch die Instrumentenauswahl bereits vorab eingeschränkt ist. Vor diesem Hintergrund werden für die 24 Fälle auch lediglich 10 unterschiedliche Sicherungsportfolien erzeugt.⁵⁴⁶ Äquivalent zu den Beobachtungen für *American Airlines* gilt, dass die Bereitschaft zur Zahlung von Prämie sowie die Risikobereitschaft maßgeblichen Einfluss auf das gehandelte Instrumentenspektrum ausüben. Demgegenüber spielen die nachrangigen Sicherungsziele nur eine untergeordnete Rolle. Sowohl mit als auch ohne Prämie werden unter Risikobereitschaft 1 jeweils für alle nachrangigen Sicherungsziele identische Sicherungsportfolien gehandelt. Wird Risikobereitschaft 1 gewählt und gleichzeitig keine Prämie gezahlt (siehe: Cluster 5), werden mit *Keine Sicherung* und Swaps gar ausschließlich Instrumente gehandelt, die gegen geltende Restriktionen verstoßen. Der Grund für dieses Verhalten ist, dass unter Risikobereitschaft 1 lediglich Long Calls oder Caps gehandelt werden dürften (siehe: Tabelle 61). Da beide Instrumente jedoch eine Prämienzahlung erfordern, finden sich die genannten Abschlüsse. Für Risikobereitschaft 2 ergeben sich im Kontrast zu diesem Verhalten in Teilen unterschiedliche Sicherungsportfolien. Der Grund dafür ist die Erweiterung des handelbaren Instrumentenspektrums durch die höhere Risikoaffinität.

Wie in Abbildung 59 im Anhang B II ersichtlich, befand sich auch *Delta Air Lines* etwa bis Anfang 2013 in einer angespannten finanziellen Situation. Vor diesem Hintergrund müssen für zahlreiche Entscheidungszeitpunkte ebenfalls Restriktionen aus der finanziellen Situation berücksichtigt werden. In Kombination mit den starken Instrumentenrestriktionen aufgrund der geringen Risikobereitschaft sowie der teilweisen Nicht-Bereitschaft zur Zahlung von Prämie führt die Berücksichtigung dieser Einschränkungen dazu, dass zwischen 14% (332 von 2403) und 29% (1084 von 3712) aller Abschlüsse durch Restriktionen aus der finanziellen Situation beeinflusst werden. Dies betrifft primär die Jahre 2010 und 2011.⁵⁴⁷

Für *Southwest Airlines* handelt OPTA jede der neun handelbaren Derivatekombinationen mindestens einmal, wobei *Keine Sicherung* nur zwangsweise aufgrund der finanziellen Restriktionen gewählt wird. Insgesamt werden 16 unterschiedliche Sicherungsportfolien erzeugt.⁵⁴⁸ Wie bei *Delta Air Lines* führen die starken Instrumentenrestriktionen aus der Wahl von Risikobereitschaft 1 auch bei *Southwest Airlines* dazu, dass der Algorithmus unabhängig von den gewählten Sicherungszielen stets identische Instrumente abschließt. Da *Southwest*

⁵⁴⁴ In der Detaildarstellung zu Fall 19 in Tabelle 81 ist ersichtlich, dass der Einfluss der finanziellen Situation vor allem die Jahre 2010 bis 2013 betrifft. Für Fall 19 wird in den Jahren 2010, 2011 und 2013 aufgrund der Restriktion am häufigsten das Instrument *Keine Sicherung* abgeschlossen, obwohl dieses gemäß gewählter Risikobereitschaft nicht erlaubt wäre.

⁵⁴⁵ Nicht gehandelt werden: 3-Way mit Call Spread und 4-Way. *Keine Sicherung* und Call Spread werden zudem ausschließlich aufgrund von Restriktionen aus der finanziellen Situation abgeschlossen.

⁵⁴⁶ Identische Sicherungsportfolien: Fälle 25, 27, 29 und 39, Fälle 26, 28, 30 und 40, Fälle 31, 33 und 35, Fälle 32, 34 und 36, Fälle 37 und 40, Fälle 38 und 39, Fälle 43 und 47 sowie Fälle 44 und 48.

⁵⁴⁷ Es ist zu beachten, dass die Restriktion stets im Entscheidungszeitpunkt greift, wobei durch diese auch zeitlich spätere Erfüllungszeiträume betroffen sein können. Dies lässt sich auch in Tabelle 82, welche für Fall 37 erstellt wurde, erkennen.

⁵⁴⁸ Identische Sicherungsportfolien ergeben sich ausschließlich unter Risikobereitschaft 1. Identische Portfolien finden sich für: Fälle 49, 51 und 53, Fälle 50, 52 und 54, Fälle 55, 57 und 59, Fälle 56, 58 und 60.

Airlines jedoch durchweg zur Zahlung von Prämie bereit ist, können auch unter Risikobereitschaft 1 in der überwiegenden Mehrheit der Abschlüsse Instrumente gehandelt werden, die konform zu allen Nebenbedingungen und Restriktionen ausgestaltet sind.⁵⁴⁹

Abweichend von den vorherigen Beobachtungen führt die Erhöhung des Prämienbudgets bei *Southwest Airlines* nicht zu einer Erhöhung der Anzahl an unterschiedlichen gehandelten Instrumenten. Allerdings ist ersichtlich, dass ceteris paribus bei einem Prämienbudget von 3% anteilig mehr Long Calls und Call Spreads abgeschlossen werden, wohingegen bei 2% Prämie anteilig mehr Collars, 3-Ways (mit Call- und Put-Spread) sowie 4-Ways abgeschlossen werden. Das geringere Prämienbudget führt demnach eher zum Abschluss von Instrumenten, denen ein größeres Risiko bei Preisverfall oder -anstieg innewohnt.⁵⁵⁰ Bezüglich der Sicherungsziele ist ersichtlich, dass beim Verzicht auf nachrangige Sicherungsziele eine heterogenere Auswahl an Instrumenten gehandelt wird.

Übergeordnet fällt zudem auf, dass aufgrund der historisch entspannteren finanziellen Situation von *Southwest Airlines* (siehe: Abbildung 59) im Vergleich zu den beiden zuvor untersuchten Fluggesellschaften weniger Instrumente gehandelt werden, die gegen Nebenbedingungen oder Restriktionen verstoßen. Unter Risikobereitschaft 3 können beispielsweise in etwa 90% der Abschlüsse uneingeschränkt optimale Sicherungen gehandelt werden.

Für *United Airlines* wird jede der verfügbaren neun Derivatekombinationen mindestens einmal als Optimum identifiziert. Es werden 16 unterschiedliche Sicherungsportfolien erzeugt.⁵⁵¹ Abweichend von den Ergebnissen für *American Airlines* sowie *Delta Air Lines* resultiert die Gleichheit einzelner Portfolien bei *United Airlines* allerdings primär aus den gewählten hohen Risikoaffinitäten (Risikobereitschaft 3 und 4), wodurch dem Algorithmus vielfach nahezu das komplette Instrumentenspektrum zum Handel zur Verfügung steht. Daneben üben die Bereitschaft zur Zahlung von Prämie sowie die Sicherungsziele maßgeblichen Einfluss auf die Heterogenität des gehandelten Instrumentenspektrums aus.

Zwischen den verschiedenen gewählten Risikobereitschaften können überwiegend lediglich geringe Unterschiede bezüglich der Portfolioausgestaltung identifiziert werden. Eine Ausnahme ergibt sich beim Verzicht auf nachrangige Sicherungsziele: In diesen Fällen ist es dem Algorithmus ausschließlich unter Risikobereitschaft 4 erlaubt, das Instrument *Keine Sicherung* abzuschließen. Von dieser Möglichkeit macht der Algorithmus am häufigsten in Fall 89 mit 686 Sicherungen (43% aller Sicherungen) Gebrauch, wobei die Abschlüsse nahezu ausschließlich Erfüllungszeiträume ab dem Jahr 2015 betreffen.⁵⁵²

Bemerkenswert ist außerdem, dass für *United Airlines* nur in einzelnen Fällen Sicherungen gehandelt werden, die keine initialen Optima darstellen.⁵⁵³ Gründe hierfür sind der erst im Jahr 2010 beginnende Untersuchungszeitraum (siehe: Kapitel 6.1.2.3), die vergleichsweise gute finanzielle Situation von *United Airlines* (siehe: Abbildung 59) sowie der im Vergleich kürzeste maximale Sicherungshorizont von durchgängig 18 Monaten.

Auf einer gesellschaftsunabhängigen Ebene ist darüber hinaus erwähnenswert, dass der Algorithmus in denjenigen Fällen, in welchen es ihm erlaubt ist (Fälle: 17, 18, 23, 24, 89, 90, 95 und 96), teils das Instrument *Keine Sicherung* als Optimum identifiziert. Hierbei ist zu beachten, dass sich in diesen Fällen durchweg über 90% der willentlichen Nicht-

⁵⁴⁹ Exemplarisch können im extremen Fall 50 unter Risikobereitschaft 1 in 73% der Fälle Instrumente gehandelt werden, die gegen keine Restriktion / Nebenbedingung verstoßen. In Fall 59, dem ebenfalls Risikobereitschaft 1 zugrunde liegt, können sogar in 94% der Fälle konforme Instrumente gehandelt werden.

⁵⁵⁰ Vergleich unter anderem: Fälle 64 und 70, Fälle 65 und 71 oder Fälle 66 und 72.

⁵⁵¹ Identische Sicherungsportfolien: Fälle 73, 75 und 77, Fälle 74, 76 und 78, Fälle 79 und 83, Fälle 80 und 84, Fälle 85 und 87 sowie Fälle 86 und 88.

⁵⁵² Die Wahl von *Keine Sicherung* entfällt in 637 von 686 Fällen (93%) auf Erfüllungszeiträume ab dem Jahr 2015.

⁵⁵³ Je Fall eine Sicherung, die gegen Nebenbedingungen / Restriktionen verstößt (<0,1% aller Sicherungen).

Sicherungen auf Erfüllungszeiträume beziehen, welche die Jahre ab 2015 betreffen.⁵⁵⁴ Wie zuvor bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, beendeten in der Praxis *American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines* tatsächlich um das Jahr 2015 ihre Treibstoffpreissicherungsaktivitäten. Die über das Modell erzeugten Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass die in der Praxis beobachtete Entscheidung zur Beendigung der Sicherungsaktivität durch das entwickelte Simulationsmodell nachvollzogen und fundiert werden kann. Eine solche quantitative Fundierung des in der Praxis beobachteten Handelns wird, soweit bekannt, über das aufgestellte Simulationsmodell erstmalig ermöglicht. Der aufgedeckte Zusammenhang wird daher im weiteren Verlauf dieser Arbeit noch weitergehend diskutiert.

Übergeordnet deuten die in diesem Subkapitel vorgestellten Ergebnisse darauf hin, dass das in dieser Arbeit aufgestellte Modell korrekt ist. Gemäß Balci (1998) begründet sich die Modellverifikation aus der Korrektheit des aufgestellten Modells.⁵⁵⁵

7.1.1.5 Analyse der ex-ante erwarteten DWCCF für den gesamten Zeitraum

Wie im Verlauf der bisherigen Arbeit ausführlich diskutiert, wird über den Abschluss von Sicherungen ex-ante die Maximierung des erwarteten DWCCF angestrebt. Hierdurch kann gemäß der vorgestellten Theorie die Maximierung des Unternehmenswertes im Entscheidungszeitpunkt T_0 erreicht werden (siehe: Kapitel 5.3.1). Ob die Erhöhung des erwarteten DWCCF durch den Einsatz von Derivaten im Modell tatsächlich möglich ist, wird unter Rückgriff auf die erzeugten 96 Simulationsläufe in diesem Kapitel untersucht.⁵⁵⁶

In der ex-ante Analyse wird für jede einzelne in Fall h getroffene Sicherungsentscheidung und somit für jede einzelne Kombination aus einem Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n}$ und einem Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ jeweils $E_{T_{0,n}}(DWCCF_{\bar{T}_s})$ gemäß (5.8) für die durch OPTA ausgewählte Derivatekombination w (hier dargestellt als: $E_{T_{0,n}}(DWCCF_{w,h,\bar{T}_s})$) sowie für den Referenzfall ohne Sicherung (hier dargestellt als: $E_{T_{0,n}}(DWCCF_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.})$) berechnet. Um den Einfluss der Derivatekombination w zu quantifizieren, werden für jede Derivatekombination w anschließend jeweils beide Werte voneinander subtrahiert und nach $T_{0,n}$ diskontiert.⁵⁵⁷

Im nächsten Schritt werden alle Sicherungen, die in einem Fall h zu verschiedenen Entscheidungszeitpunkten $T_{0,n}$ (mit: $n = 1, \dots, N$) für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (ein Kalendermonat) gehandelt wurden, gemeinschaftlich betrachtet. Pro Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ wird der arithmetische Mittelwert über alle diskontierten Erwartungswertdifferenzen zwischen bester Sicherung und Nicht-Sicherung gebildet. Zur Beschreibung der erzeugten Kennziffer wird die Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ eingeführt, die definiert ist als:

DWCCF-Erwartungswertkennziffer pro Fall und Erfüllungszeitraum

$$\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{E_{T_{0,n}}(DWCCF_{w,h,\bar{T}_s}) - E_{T_{0,n}}(DWCCF_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.})}{WACC_{i,T_{0,n}}} \right) \quad (7.1)$$

Der Index h bestimmt, um welchen der 96 Fälle es sich handelt (siehe: Tabelle 84). Der Index s definiert einen konkreten Erfüllungszeitraum. Die Sicherungszeitpunkte $T_{0,n}$ (mit:

⁵⁵⁴ Die Detailergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit nicht separat ausgewiesen, können aber eingesehen werden. Beispiel I: siehe Fußnote 552 (UA), Beispiel II: Fall 23 (AA): *Keine Sicherung* (ohne FNB): 773. Davon ab 2015: 773 (entspricht 100%). Beispiel III: Fall 95 (UA). *Keine Sicherung* (ohne FNB): 624. Davon ab 2015: 581 (entspricht 93%).

⁵⁵⁵ Vgl. Balci (1998): S. 336.

⁵⁵⁶ Wie in Kapitel 5.3.3 dargestellt, resultieren Differenzen der erwarteten DWCCF aus Differenzen der erwarteten DWC.

⁵⁵⁷ Zum theoretischen Hintergrund siehe auch: Kapitel 5.3.1 und dort (5.12). Es ist zu beachten, dass in der ex-ante Analyse jeweils erwartete DWCCF pro gesichertes Barrel bestimmt werden, sodass der Sicherungsgrad keinen Einfluss ausübt.

$n = 1, \dots, N$) beschreiben alle Sicherungszeitpunkte, in welchen für den Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ in Fall h Sicherungen abgeschlossen wurden. N beschreibt somit die Anzahl der für Monat $\bar{T}_s$ gehandelten Sicherungen. $WACC_{i,T_{0,n}}$ erfasst den WACC für Fluggesellschaft i im Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n}$.⁵⁵⁸ Index i ordnet die jeweilige Beobachtung einer Fluggesellschaft zu. Da Fall h sich stets eindeutig auf eine Fluggesellschaft i bezieht, wird bei anderen Variablen, sofern h bereits genannt ist, auf die Darstellung von i im Index verzichtet. Um eine Aggregationsform zu erreichen, welche die Darstellung und vergleichende Diskussion von Ergebnissen für alle 96 Fälle ermöglicht, wird außerdem pro Fall h die Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ eingeführt:

DWCCF-Erwartungswertkennziffer pro Fall

$$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h) = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s}) \quad (7.2)$$

Es wird festgelegt, dass $s = 1$ jeweils den ersten für Fall h relevanten Erfüllungszeitraum (frühestens: September 2007) und S den letzten für Fall h relevanten Erfüllungszeitraum (spätestens: Dezember 2019) determiniert ($s = 1, \dots, S$).⁵⁵⁹ Über (7.2) wird somit unter Berücksichtigung des gesamten historischen Zeitraums (maximal 2007 bis 2019) sowie aller für einen Fall erzeugten Sicherungen eine einzelne aggregierte Kennziffer zur Quantifizierung des durchschnittlichen ex-ante Vor- oder Nachteils⁵⁶⁰ der Sicherungen in Fall h erzeugt. Im Anhang A XIII. b) findet sich ein Beispiel zur Veranschaulichung der Berechnung. Tabelle 20 zeigt die Ausprägungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ exemplarisch für vier beispielhaft ausgewählte Fälle. Die Ausprägungen der Kennziffer für alle anderen der 96 in dieser Arbeit erzeugten Fälle sind in Tabelle 84 im Anhang B I zu finden. In Tabelle 22 findet sich zudem eine Übersicht über extreme Ausprägungen der Kennziffer.

Tabelle 20 – Erwartungswertdifferenzen ausgewählter Fälle (gesamter Zeitraum)

Fall	Cluster	Airline	Risiko	Prämie	Ziele ⁵⁶¹	Sicherungs- ende	Max. Horizont	Anzahl Sicherungen	$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$
19	4	AA	4	3%	PrS & PrV	6 Monate	24 Monate	2457	0,20 (☑)
37	7	DL	2	0%	PrS & VV	6 Monate	35 Monate	3712	0,20 (☑)
56	10	WN	1	3%	PrV & VV	3 Monate	35 Monate	4240	0,64 (☑)
81	14	UA	3	2%	Plan	3 Monate	18 Monate	1605	0,23 (☑)

Die Tabelle zeigt ex-ante Ergebnisse bezüglich der aggregierten Kennziffer $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ für vier Beispielfälle. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Erwartungswertvorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Detaillierte Ergebnisse für alle 96 in dieser Arbeit betrachteten Fälle finden sich in Tabelle 84 (Anhang B I). Ergebnisse für $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert. Ergebnisse für zwei separate Zeiträume finden sich auch in Tabelle 23.

Als weitere Ebene der Aggregation wird zudem für alle in einem Cluster zusammengefassten Fälle der arithmetische Mittelwert der $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ berechnet. Wie in Kapitel 7.1.1.1 definiert, umfasst ein Cluster jeweils die sechs Fälle einer Fluggesellschaft, denen die identische Risikobereitschaft sowie die identische Budgetrestriktion zugrunde liegen (siehe: Zuordnung in Tabelle 84). Der arithmetische Mittelwert der sechs $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ je Cluster

⁵⁵⁸ Der WACC ist unabhängig vom individuellen Fall h je Gesellschaft i definiert. Siehe: Kapitel 6.1.2.3.

⁵⁵⁹ Es gilt, dass $s = 1$ beispielsweise in Fall 1 (Fall 96) Dezember 2007 (Oktober 2010) entspricht. Demgegenüber werden $s = S$ unterschiedliche Zahlen zugeordnet. S referenziert aber stets auf Dezember 2019. Da Sicherungen frühestens per 15.05.2007 gehandelt werden dürfen und das Sicherungsende minimal bei drei Monaten liegt, werden maximal 148 Monate von September 2007 bis Dezember 2019 in einer Analyse berücksichtigt. In solchen Fällen gilt: $s = 1, \dots, 148$.

⁵⁶⁰ $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h) > 0$ zeigt einen durchschnittlichen Vorteil aus Sicherungen in Fall h an (siehe: (7.1) und (7.2)).

⁵⁶¹ Zur Bezeichnung der Sicherungsziele werden folgende Abkürzungen genutzt: Schaffen von Planungssicherheit = Plan; Verringern von Volatilität = VV; Schutz vor Treibstoffpreisanstieg = PrS; Partizipation an Treibstoffpreisverfall = PrV.

findet sich in Tabelle 21. In Tabelle 85 (siehe: Anhang B I) findet sich zudem eine erweiterte Darstellung der Clusteranalyse, die zusätzliche Informationen enthält.

Die zentrale Erkenntnis der übergeordneten Analyse auf Clusterebene ist zunächst, dass für alle 16 betrachteten Cluster mit Bezug auf die erwarteten DWCCF Vorteile aus dem Abschluss der Sicherungen generiert werden (siehe: Tabelle 21). Gemäß aufgestelltem Modell ist der Einsatz von Treibstoffpreissicherungen somit im Durchschnitt in allen 16 Clustern ökonomisch rational und vorteilhaft.

Tabelle 21 – Erwartungswertdifferenzen je Cluster (gesamter Zeitraum)

	AA					DL					WN					UA				
Cluster	1	2	3	4	AA Gesamt	5	6	7	8	DL Gesamt	9	10	11	12	WN Gesamt	13	14	15	16	UA Gesamt
Risiko	2		4			1		2			1		3			3		4		
Prämie	0%	3%	0%	3%		0%	3%	0%	3%		2%	3%	2%	3%		0%	2%	0%	2%	
$\varnothing$ ΔE_{T_0}	0,10 (☑)	0,13 (☑)	0,13 (☑)	0,17 (☑)	0,13 (☑)	0,08 (☑)	0,17 (☑)	0,19 (☑)	0,24 (☑)	0,17 (☑)	0,65 (☑)	0,65 (☑)	0,67 (☑)	0,67 (☑)	0,66 (☑)	0,21 (☑)	0,22 (☑)	0,22 (☑)	0,23 (☑)	0,22 (☑)

Die Tabelle zeigt in der Zeile „ $\emptyset \Delta E_{T_0}$ “ für jeweils sechs Fälle (= ein Cluster) den arithmetischen Mittelwert der $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ unter Berücksichtigung des gesamten Untersuchungszeitraumes. Detailergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 84. Tabelle 84 kann zudem die Zuordnung einzelner Fälle zu Clustern entnommen werden. In der jeweiligen Spalte „Gesamt“ sind Durchschnittswerte über die 24 Fälle einer Fluggesellschaft dargestellt. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einem Erwartungswertvorteil aus Sicherungen entspricht, ist dies durch ☑ visualisiert. Ergebnisse sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert. Tabelle 85 (Anhang B I) erweitert die Tabelle.

Interessant ist zudem die Beobachtung, dass für alle vier Fluggesellschaften bei fixem Prämienbudget stets bei der Wahl der höheren Risikobereitschaft größere erwartete DWCCF-Vorteile vorliegen (Beispiel: Cluster 1 vs. Cluster 3). Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass eine Verringerung der Risikobereitschaft stets zu Einschränkung der Handlungsalternativen führt, wodurch gegebenenfalls Sicherungen, die einen vorteilhaften Erwartungswert aufweisen, nicht gehandelt werden können.

Hervorzuheben ist zudem die Beobachtung, dass für drei Fluggesellschaften (*American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines*) bei identischer Risikobereitschaft jeweils bei der Wahl der höheren Prämie stärkere Erwartungswertvorteile erzielt werden (Beispiel: Cluster 1 vs. Cluster 2). Demgegenüber sind bei *Southwest Airlines* die Ergebnisse für unterschiedliche Prämienzahlungen pro Risikobereitschaft identisch (Beispiel: Cluster 11 vs. Cluster 12). Es wird angenommen, dass der Grund für die abweichenden Beobachtungen darin liegt, dass für *Southwest Airlines* ausschließlich Sicherungsstrategien mit positiver Nettoprämienzahlung untersucht werden (hier: 2% oder 3%). Für die anderen drei Gesellschaften werden demgegenüber auch Sicherungsstrategien mit 0% Prämienzahlung untersucht (Beispiel: Cluster 7 und Cluster 15). Demnach resultieren Nachteile bezüglich des Erwartungswertes bei identischer Risikobereitschaft aus dem Verzicht auf das Zahlen von Nettoprämie.

Neben einer übergeordneten Analyse der Ergebnisse je Cluster können auch aus der Analyse der einzelnen Ergebnisse pro Fall Erkenntnisse abgeleitet werden. Die Ergebnisse pro Fall für alle 96 untersuchten Fälle finden sich in Tabelle 84 im Anhang B I. Vorgestellt werden an dieser Stelle lediglich zentrale Beobachtungen, welche über die Darstellungen im Rahmen der Clusteranalyse hinausgehen.⁵⁶² Hervorzuheben sind daher zunächst zentrale Beobachtungen bezüglich des Sicherungsendes sowie des maximalen Sicherungshorizontes:

⁵⁶² Es ist zu berücksichtigen, dass zentrale Beobachtungen nie für alle vier Fluggesellschaften vorgestellt werden. Der Grund hierfür ist, dass Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur innerhalb aller 24 Fälle für eine Gesellschaft teils nicht verändert werden, sodass keine Aussagen bezüglich des Einflusses dieser Parameter für die Gesellschaft getroffen werden können. Exemplarisch ist bei *American Airlines* der maximale Sicherungshorizont über alle 24 Fälle identisch.

Bei *American Airlines* sowie *United Airlines* können stets bei der Wahl des näher am Entscheidungszeitpunkt liegenden Sicherungsendes Vorteile bezüglich der erwarteten DWCCF erzielt werden (Beispiele: Fall 1 vs. Fall 2 oder Fall 73 vs. Fall 74).⁵⁶³ Darüber hinaus können bei *Delta Air Lines* in jedem (Beispiel: Fall 37 vs. Fall 38) und bei *Southwest Airlines* in der Mehrzahl⁵⁶⁴ (Beispiel: Fall 49 vs. Fall 50) der untersuchten Fälle bei der Wahl des kürzeren Sicherungshorizontes vorteilhafte erwartete DWCCF erzielt werden. Beide Beobachtungen lassen sich darauf zurückführen, dass die Stärke des Einflusses der Restriktionen aus der finanziellen Situation mit der Laufzeit eines Derivates bei Geschäftsabschluss zunimmt. Daher wirken sich die Restriktionen aus der finanziellen Situation stärker nachteilig auf Sicherungsstrategien aus, die ein weiter vom Sicherungszeitpunkt entfernt liegendes Sicherungsende beziehungsweise einen längeren maximalen Sicherungshorizont aufweisen.

Auffällig ist zudem, dass bei Rückgriff auf Risikobereitschaft 4 jeweils in den Fällen ohne Nennung von nachrangigen Sicherungszielen die vorteilhaftesten erwarteten DWCCF vorliegen (Beispiele: Fall 22 vs. Fall 24 oder Fall 93 vs. Fall 95). Demnach führt die maximale Instrumentenflexibilität bei Nicht-Nennung von Sicherungszielen offenbar zu einer Verbesserung der erwarteten DWCCF unter Risikobereitschaft 4. Bei einer geringeren Risikobereitschaft sind solche Vorteile hingegen nicht durchgängig zu beobachten (Beispiel: Fall 3 vs. Fall 5 oder Fall 76 vs. Fall 78). Der Grund hierfür ist, dass die geringere Risikobereitschaft bereits beschränkend auf das verfügbare Instrumentenspektrum einwirkt.

Tabelle 22 – Extrema der Erwartungswertkennziffern (gesamter Zeitraum)

	AA	DL	WN	UA
Maximum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$	0,26 (Fall/Fälle: 23)	0,31 (44/48)	0,71 (72)	0,25 (95)
Minimum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$	0,00 (2/14)	0,04 (25/27/29/39)	0,64 (50/52/56/58/60/62/64)	0,19 (74/76/78)
Maximum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$	1,53 (Januar 2008)	1,61 (April 2009)	2,94 (Juni 2009)	1,81 (Juni 2011)
Minimum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$	-0,58 (Dezember 2016)	-0,96 (September 2018)	-0,41 (Oktober 2019)	-0,12 (Oktober 2018)

Die Tabelle zeigt Extremausprägungen der Erwartungswertkennziffern zur Beurteilung des Vor- oder Nachteils von Sicherungen. Ergebnisse von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ beziehen sich auf Durchschnittsergebnisse für einen Fall (Berechnung gemäß (7.2)). In Klammern ist dargestellt, für welchen Fall / welche Fälle die Ausprägung der Kennziffer vorliegt. Detailergebnisse sind in Tabelle 84 zu finden. Extremausprägungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ beziehen sich auf einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (Berechnung gemäß (7.1)). In Klammern ist dargestellt, in welchem Kalendermonat die Ausprägung der Kennziffer vorliegt.⁵⁶⁵ Globale Extrema je Kennziffer sind zudem fett markiert.

7.1.1.6 Analyse der ex-ante erwarteten DWCCF mit Periodentrennung

Nachdem Ergebnisse bezüglich des Erwartungswertes zunächst für den gesamten historischen Beobachtungszeitraum gemeinschaftlich betrachtet wurden, scheint es erstrebenswert, zu untersuchen, ob diese gesamthafte Berücksichtigung des kompletten bis zu 13 Jahre umfassenden Zeitraums nicht gegebenenfalls dazu führt, ökonomisch relevante Effekte zu übersehen. Folglich gilt es herauszufinden, ob der zuvor beobachtete Vorteil der Sicherungen zeitkonstant über alle beobachteten Perioden hinweg vorliegt oder ob etwa zeitlich eingrenz- bare abweichende Ergebnisse beobachtet werden können. Zur möglichen Aufdeckung

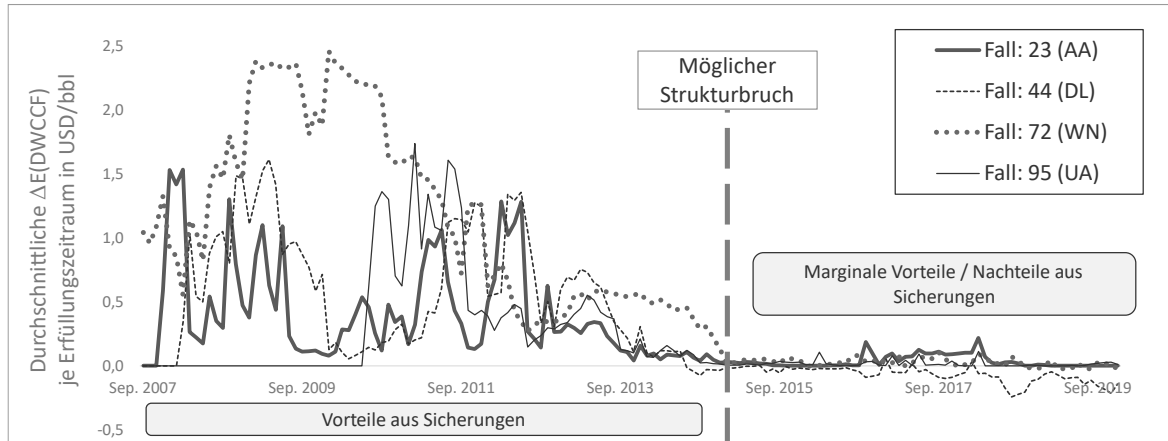
⁵⁶³ Für eine Übersicht zu den schematischen Auswirkungen der ceteris paribus Anpassungen einzelner Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur auf ex-ante Erwartungswertdifferenzen siehe: Tabelle 94 (Anhang B I). Auf das wiederholte Verweisen auf diese Tabelle wird nachfolgend verzichtet.

⁵⁶⁴ Entgegen den Beobachtungen bei anderen Gesellschaften finden sich allerdings auch Fallpaare mit gleichen Ergebnissen (Beispiel: Fall 63 vs. Fall 64) sowie ein Paar mit Vorteilen für den längeren Sicherungshorizont (Fall 71 vs. Fall 72).

⁵⁶⁵ Einzelne Ausprägungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ je Fall h und Zeitraum $\bar{T}_s$ werden darüber hinaus in dieser Arbeit weder in Tabelle 84 noch an anderer Stelle ausgewiesen. Ergebnisse zur Kennziffer können eingesehen werden.

solcher Effekte sind in Abbildung 26 pro Fluggesellschaft jeweils alle $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ je Kalendermonat für einen beispielhaft gewählten Fall je Fluggesellschaft dargestellt.⁵⁶⁶ Übergeordnet ist in Abbildung 26 erkennbar, dass ex-ante Vorteile durch den Abschluss von Sicherungen primär im chronologisch früheren Bereich des berücksichtigten Zeitraums erzielt werden. Gemäß visueller Analyse könnte zudem etwa um die Jahre 2014 beziehungsweise 2015 ein Strukturbruch in den Daten existieren.

Abbildung 26 – Durchschnittliche erwartete DWCCF-Differenzen (Beispiele 1)



Die Abbildung veranschaulicht Erwartungswertdifferenzen pro Erfüllungszeitraum zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung (Variable: $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$, siehe: (7.1)) für den ex-ante durchschnittlich vorteilhaftesten Fall je Gesellschaft (siehe: Tabelle 22). Werte größer null induzieren einen Vorteil aus Sicherungen. Inputparameter der vier aufgeführten Fälle gemäß Tabelle 84 im Anhang B I.⁵⁶⁷ Die identische Darstellung für den nachteiligsten Fall je Gesellschaft findet sich in Abbildung 78 im Anhang B II.

Interessanterweise lassen sich mit Blick auf den inneramerikanischen Markt reale ökonomische Daten finden, welche diese Strukturbruchhypothese untermauern: Primär in den frühen 2010er Jahren fand auf dem inneramerikanischen Markt eine starke Marktkonsolidierung statt. Als letzter großer Unternehmenszusammenschluss dieser Phase kann die Verschmelzung von *American Airlines* und *US Airways* angesehen werden, welche zwischen 2013 und Anfang 2015 umgesetzt wurde.⁵⁶⁸ Auch empirisch lässt sich der Effekt der Konsolidierung messen. Gemäß der *4-Firm Concentration Ratio* herrschte im Jahr 2015 auf dem inneramerikanischen Markt erstmals⁵⁶⁹ eine Wettbewerbsintensität, die gemäß Kapitel 6.3.1.3 als *schwache Wettbewerbsintensität* definiert ist. Darüber hinaus deuten die in Tabelle 66 (siehe: Anhang B I) dargestellten jährlichen Ausprägungen des FCF ohne Sicherung deutlich darauf hin, dass es den vier betrachteten Fluggesellschaften nach Abschluss der Konsolidierung möglich war, ökonomisch profitabler zu agieren. Bei allen vier Gesellschaften liegt der auf US-Dollar pro Barrel skalierte durchschnittliche FCF für die Jahre nach der Konsolidierung (ab 2015) deutlich über dem FCF vor dem Ende der Konsolidierung (bis 2014).⁵⁷⁰ Da sowohl die Wettbewerbsintensität (siehe: Kapitel 4.1.2.4) als auch die Höhe des erwarteten FCF (siehe: Kapitel 5.2.2.4) Einfluss auf die optimale Gestaltung einer Sicherungsstrategie ausüben, scheint eine Analyse optimaler Sicherungen unter Trennung von Zeiträumen

⁵⁶⁶ Es wurde je Fluggesellschaft jeweils der Fall h mit dem maximalen beobachteten $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ ausgewählt (siehe: Tabelle 22). In Abbildung 78 im Anhang B II findet sich zudem die identische Darstellung für die vier nachteiligsten Fälle.

⁵⁶⁷ Es ist zu berücksichtigen, dass die Darstellung nicht vom gewählten Sicherungsgrad beeinflusst wird.

⁵⁶⁸ Andere zentrale Zusammenschlüsse dieser Phase waren die Verschmelzung von *Northwest* und *Delta Air Lines* (2008-2009), *Continental* und *United Airlines* (2010-2012) sowie *AirTran* und *Southwest Airlines* (2011-2015). Die Zeitspannen beziehen sich jeweils auf den Zeitraum zwischen Ankündigung der Verschmelzung und Nutzung eines einheitlichen IATA-Codes. Vgl. Ciliberto/Cook/Williams (2019): S. 4, 19.

⁵⁶⁹ Bezogen auf den in dieser Arbeit erfassten Zeitraum ab dem Jahr 1990. Siehe: Tabelle 75 im Anhang B I.

⁵⁷⁰ Durchschnittlichen FCF vor Sicherung in US-Dollar je Barrel: *American Airlines*: -4,02 (bis 2014), 56,13 (ab 2015). *Delta Air Lines*: 42,71 (bis 2014), 90,34 (ab 2015). *Southwest Airlines*: 20,01 (bis 2014), 71,48 (ab 2015). *United Airlines*: 8,53 (bis 2014), 65,08 (ab 2015). Zugehörige Daten siehe: Tabelle 66 im Anhang B I.

unterschiedlicher Wettbewerbsintensität wünschenswert. Mit Blick auf die erstmalig veränderte Klassifizierung der *4-Firm Concentration Ratio* und unter Berücksichtigung der realen Unternehmenszusammenschlüsse auf dem inneramerikanischen Markt wird daher eine Teilung des Datensatzes in zwei chronologisch getrennte Teildatensätze vorgenommen: Teildatensatz 1 umfasst alle Erfüllungszeiträume bis Dezember 2014 (Zeitraum 1). Teildatensatz 2 umfasst alle Erfüllungszeiträume ab Januar 2015 (Zeitraum 2). Unter Rückgriff auf diese Teildatensätze wird über (7.2) jeweils separat für Zeitraum 1 und für Zeitraum 2 pro Fall h die Kennziffer $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ bestimmt.⁵⁷¹ Ergebnisse je Teildatensatz für diejenigen vier Beispielfälle, die bereits in Tabelle 20 untersucht worden waren, finden sich in Tabelle 23. Ergebnisse für alle anderen 92 Fälle sind in Tabelle 84 dargestellt.

Tabelle 23 – Erwartungswertdifferenzen ausgewählter Fälle (getrennte Datensätze)

Fall	Cluster	Airline	Zeitraum 1	$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ (Zeitraum 1)	Zeitraum 2	$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ (Zeitraum 2)
19	4	AA	2007 – 2014	0,39 (☑)	2015 – 2019	-0,06 (☒)
37	7	DL	2008 – 2014	0,47 (☑)	2015 – 2019	-0,15 (☒)
56	10	WN	2007 – 2014	1,13 (☑)	2015 – 2019	-0,07 (☒)
81	14	UA	2010 – 2014	0,50 (☑)	2015 – 2019	-0,01 (☒)

Die Tabelle zeigt ex-ante Ergebnisse bezüglich der aggregierten Kennziffer $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ für vier Beispielfälle, getrennt nach Berücksichtigung der Daten für Zeitraum 1 und 2. Ergebnisse der Fälle für den gesamten Datensatz sowie Informationen zu den einzelnen Fällen finden sich in Tabelle 20. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Erwartungswertvorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Detaillierte Ergebnisse für alle 96 in dieser Arbeit betrachteten Fällen finden sich in Tabelle 84 (Anhang B I). Zeiträume beziehen sich auf Erfüllungszeiträume. Unterschiede bezüglich des Beginns von Zeitraum 1 resultieren aus der Datenverfügbarkeit (siehe: Kapitel 6.1.2). Ergebnisse für $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert.

Des Weiteren werden anhand der zuvor zur Beschreibung von Tabelle 21 vorgestellten Logik auch unter Rückgriff auf die beiden Teildatensätze Kennziffern für jeden der beiden Zeiträume je Cluster ermittelt. Zentrale Ergebnisse je Cluster sind in Tabelle 24 dargestellt. In Tabelle 86 im Anhang B I findet sich zudem eine erweiterte Clusteranalyse.

Tabelle 24 – Erwartungswertdifferenzen je Cluster (getrennte Datensätze)

	AA				DL				WN				UA			
Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\varnothing \Delta E_{T_0}$ (bis 2014)	0,28 (☑)	0,30 (☑)	0,28 (☑)	0,30 (☑)	0,48 (☑)	0,49 (☑)	0,50 (☑)	0,51 (☑)	1,14 (☑)	1,12 (☑)	1,14 (☑)	1,13 (☑)	0,48 (☑)	0,48 (☑)	0,48 (☑)	0,49 (☑)
$\varnothing \Delta E_{T_0}$ (ab 2015)	-0,16 (☒)	-0,09 (☒)	-0,07 (☒)	-0,02 (☒)	-0,47 (☒)	-0,28 (☒)	-0,24 (☒)	-0,15 (☒)	-0,06 (☒)	-0,04 (☒)	-0,01 (☒)	0,00 (☒)	-0,03 (☒)	-0,01 (☒)	-0,01 (☒)	0,00 (☒)

Die Tabelle zeigt für jeweils sechs Fälle (= ein Cluster) den arithmetischen Mittelwert der $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ unter Berücksichtigung des jeweiligen Teildatensatzes (bis 2014 sowie ab 2015). Ergebnisse je Cluster für den gesamten Datensatz sowie Informationen zu den Clustern finden sich in Tabelle 21. Ergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 84. Tabelle 84 kann zudem die Zuordnung einzelner Fälle zu Clustern entnommen werden. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Erwartungswertvorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Ergebnisse sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert. Tabelle 86 im Anhang B I erweitert die Tabelle.

Die in Tabelle 23 und Tabelle 84 (Ergebnisse je Fall) sowie in Tabelle 24 und Tabelle 86 (Ergebnisse je Cluster) dargestellten Ergebnisse sind die Basis für die folgende Diskussion.⁵⁷²

Der Blick auf die aggregierten Ergebnisse auf Clusterebene zeigt, dass in Zeitraum 1 in allen 16 betrachteten Clustern durchschnittlich Vorteile aus dem Abschluss von Sicherungen resultieren (siehe: Tabelle 24). Demgegenüber entstehen in Zeitraum 2 in 14 Clustern im Durchschnitt Nachteile bezüglich der erwarteten DWCCF aus dem Abschluss von

⁵⁷¹ Bei der nach Zeiträumen getrennten Berechnung über (7.2) gilt, dass für Zeitraum 1 stets $s = 5$ Dezember 2014 zugeordnet wird. Für Zeitraum 2 wird $s = 1$ stets Januar 2015 und $s = 5$ stets Dezember 2019 zugeordnet.

⁵⁷² Es wird zudem auf Tabelle 94 im Anhang B I verwiesen, in welcher die hier diskutierten schematischen Zusammenhänge zwischen Parametern und Erwartungswerten in einer übersichtlichen Form je Zeitraum dargestellt sind.

Sicherungen (siehe: Tabelle 24). Der Betrag der durchschnittlichen Vorteile in Zeitraum 1 liegt zudem pro Cluster über dem Betrag der durchschnittlichen Vorteile im gesamten Untersuchungszeitraum (siehe: Tabelle 21) sowie über dem Betrag der Nachteile in Zeitraum 2.

Die zentrale Beobachtung der Auswertung mit getrennten Datensätzen ist daher, dass die Ergebnisse die aus Abbildung 26 abgeleitete Hypothese übergeordnet untermauern: Während in Zeitraum 1 stets vorteilhafte $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ durch den Abschluss von Sicherungen erzielt werden, gelingt dies ab 2015 nur noch in wenigen Fällen. Demnach legen die erzielten Ergebnisse nahe, dass der Einsatz von Treibstoffpreissicherungen von 2007 bis 2014 auf einem Markt mit einer *hohen oder moderaten Wettbewerbsintensität* (siehe: Tabelle 75) aus der ex-ante Perspektive im Durchschnitt stark vorteilhaft und damit ökonomisch rational war. Demgegenüber konnten durch den Einsatz von Sicherungen zwischen 2015 und 2019 auf einem Markt mit *schwacher Wettbewerbsintensität* nur noch geringe Vorteile oder gar Nachteile generiert werden, sodass der Einsatz von Sicherungen, gemäß dem aufgestellten Modell, teils als ökonomisch nachteilig einzustufen ist.

Ausgehend von diesen übergeordneten und zentralen Beobachtungen offenbaren die Ergebnisse der Clusteranalyse mit getrennten Zeiträumen auch weitere interessante Details:⁵⁷³

Bei der Clusteranalyse unter Berücksichtigung des gesamten Datensatzes wurde zuvor gezeigt, dass bei fixem Prämienbudget stets bei Wahl der höheren Risikobereitschaft effektiver erwartete DWCCF-Vorteile erzielt werden (siehe: Kapitel 7.1.1.5). Nach der Trennung des Datensatzes hat sich dieser Vorteil aus dem Erhöhen der Risikobereitschaft in Zeitraum 1 bei allen vier Fluggesellschaften stark verringert oder ist verschwunden (Beispiel: Cluster 1 vs. Cluster 3). Demgegenüber finden sich in Zeitraum 2 durchweg bei allen Fluggesellschaften Vorteile aus dem Erhöhen der Risikobereitschaft (Beispiel: Cluster 5 vs. Cluster 7). Demnach erweist sich die größere Handelsflexibilität, welche aus einer höheren Risikobereitschaft folgt, vor allem in Zeitraum 2 in einem Marktumfeld, in welchem durch Sicherungen per se nur geringe Vorteile oder gar Nachteile erzielbar sind, als besonders nutzbringend.

Zudem wurde in der Analyse für den gesamten Datensatz gezeigt, dass bei identischer Risikobereitschaft das Zahlen einer positiven Nettoprämie zu Erwartungswertvorteilen führt (siehe: Kapitel 7.1.1.5). Diese Beobachtung besitzt überwiegend auch nach der Trennung des Datensatzes in beiden Zeiträumen für die drei betroffenen Fluggesellschaften (*American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines*) Gültigkeit.⁵⁷⁴ Allerdings ist der Vorteil, welcher aus dem Zahlen von Nettoprämie generiert werden kann, in Zeitraum 2 nahezu durchweg stärker ausgeprägt als in Zeitraum 1 (Beispiel: Cluster 5 vs. Cluster 6).⁵⁷⁵ Es zeigt sich abermals, dass die größere Handelsflexibilität, welche hier aus der Bereitschaft zur Zahlung einer Nettoprämie resultiert, vor allem in dem für Sicherungsabschlüsse schwierigen Marktumfeld innerhalb von Zeitraum 2 das Eingehen von überlegenen Sicherungen erlaubt.

Äquivalent zum Vorgehen in Kapitel 7.1.1.5 werden darüber hinaus auch an dieser Stelle zusätzlich ausgewählte zentrale Beobachtungen aus der Analyse einzelner Fälle vorgestellt.⁵⁷⁶ Die Ergebnisse je Zeitraum für jeden der 96 Fälle sind in Tabelle 84 enthalten. In Tabelle 25 findet sich zudem eine Übersicht über Extrema der zentralen Kennziffern.

⁵⁷³ Alle diskutierten Ergebnisse für Cluster finden sich in Tabelle 24. Weitere Details zu Clustern siehe auch: Tabelle 86.

⁵⁷⁴ Lediglich bei *United Airlines* finden sich für Cluster 11 und 12 in Zeitraum 1 identische Ergebnisse. Ergebnisse für *Southwest Airlines* sind nicht berücksichtigt, da stets Nettoprämie gezahlt wird. Siehe hierzu: Diskussion in Kapitel 7.1.1.5.

⁵⁷⁵ Lediglich bei *United Airlines* findet sich im Vergleich von Cluster 15 und 16 sowohl bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 1 sowie bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 2 ein Vorteil aus größerer Prämie von 0,01 USD pro Barrel.

⁵⁷⁶ Beobachtungen je Fall werden abermals nicht für alle vier Fluggesellschaften vorgestellt. Siehe hierzu: Fußnote 562.

Zunächst ist hervorzuheben, dass in Zeitraum 1 in jedem der 96 Fälle durch den Abschluss von Sicherungen die durchschnittlichen erwarteten DWCCF im Vergleich zur Nicht-Sicherung verbessert werden (siehe: Tabelle 84). Für *Southwest Airlines* und *United Airlines* findet sich zudem in Zeitraum 1 in keinem Fall ein einzelner Monat, in welchem durch den Abschluss von Sicherungen Nachteile bezüglich der erwarteten DWCCF entstehen (siehe: Tabelle 25 und dort Minimumbeobachtungen je Monat $\bar{T}_s$ für Zeitraum 1).

Demgegenüber finden sich in Zeitraum 2 nur in 13 von 96 Fällen durchschnittliche Vorteile aus Sicherungen (*American Airlines*: 4 Fälle, *Southwest Airlines*: 5 Fälle, *United Airlines*: 4 Fälle, siehe: Tabelle 84). Auffällig ist, dass allen diesen 13 Fällen Risikobereitschaft 3 oder 4 zugrunde liegt und dass in 12 der 13 Fälle keine nachrangigen Sicherungsziele genannt werden. Demnach kann auch mit Blick auf die einzelnen Fälle gezeigt werden, dass eine größere Handelsflexibilität, welche aus einer hohen Risikobereitschaft sowie aus dem Verzicht auf nachrangige Sicherungsziele resultiert, insbesondere in der Phase schwachen Wettbewerbs ab 2015 (siehe: Kapitel 6.3.1.3) das Eingehen solcher Sicherungen ermöglicht, die aus der ex-ante perspektive als vorteilhafter einzustufen sind.

Tabelle 25 – Extrema der Erwartungswertkennziffern (getrennte Datensätze)

	AA		DL		WN		UA	
Zeitraum	bis 2014	ab 2015	bis 2014	ab 2015	bis 2014	ab 2015	bis 2014	ab 2015
Maximum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$	0,42 (u.a. Fall 21)	0,04 (23)	0,59 (u.a. 44)	-0,07 (u.a. 44)	1,17 (u.a. 66)	0,03 (72)	0,51 (u.a. 89)	0,02 (u.a. 90)
Minimum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$	0,16 (14)	-0,22 (2)	0,42 (u.a. 25)	-0,49 (u.a. 25)	1,10 (69)	-0,09 (u.a. 50)	0,46 (u.a. 74)	-0,03 (u.a. 74)
Maximum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$	1,53 (01/2008)	0,28 (10/2016)	1,61 (04/2009)	0,06 (01/2017)	2,94 (06/2009)	0,16 (03/2018)	1,81 (06/2011)	0,14 (03/2018)
Minimum $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$	-0,02 (10/2011)	-0,58 (12/2016)	-0,28 (09/2014)	-0,96 (09/2018)	0,01 (12/2014)	-0,41 (10/2019)	0,01 (12/2014)	-0,12 (10/2018)

Die Tabelle zeigt Extremausprägungen der Erwartungswertkennziffern zur Beurteilung des Vor- oder Nachteils von Sicherungen bei separatem Rückgriff auf Daten für Zeitraum 1 (2007-2014) und Zeitraum 2 (2015-2019). Ergebnisse für $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ beziehen sich auf Durchschnittsergebnisse für einen Fall (Berechnung gemäß (7.2)). In Klammern ist jeweils genannt, für welchen Fall die extreme Ausprägung der Kennziffer vorliegt. Sofern mehrere Fälle betroffen sind, ist ein Beispiel genannt. Detaillierergebnisse finden sich in Tabelle 84. Extremausprägungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ beziehen sich auf einen einzelnen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (Berechnung gemäß (7.1)). In Klammern ist dargestellt, in welchem Kalendermonat die Ausprägung vorliegt.⁵⁷⁷ Globale Extrema je Kennziffer sind zudem fett markiert.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Analyse unter Berücksichtigung des gesamten Datensatzes Indizien dafür gefunden, dass ein näher am Entscheidungszeitpunkt liegendes Sicherungsende (*American Airlines* und *United Airlines*) sowie ein kürzerer maximaler Sicherungshorizont (*Delta Air Lines* und *Southwest Airlines*) im Durchschnitt zu vorteilhafteren erwarteten DWCCF führen (siehe: Kapitel 7.1.1.5). Beim Blick auf die einzelnen Fälle lassen sich diese Beobachtungen für Zeitraum 1 und für Zeitraum 2 überwiegend bestätigen.⁵⁷⁸

Als zentrale Erkenntnis der ex-ante-Analyse kann zusammenfassend geschlussfolgert werden, dass das entwickelte Modell starke Hinweise darauf liefert, dass etwa ab 2015 durch den Abschluss von Treibstoffpreissicherungen auf dem inneramerikanischen Markt keine

⁵⁷⁷ Einzelne Ausprägungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ je Fall h und Zeitraum $\bar{T}_s$ werden darüber hinaus in dieser Arbeit weder in Tabelle 84 noch an anderer Stelle ausgewiesen. Ergebnisse zur Kennziffer können eingesehen werden.

⁵⁷⁸ Abweichungen hiervon finden sich für *Southwest Airlines* in Zeitraum 1, in welchem Sicherungen mit einem längeren maximalen Sicherungshorizont im Durchschnitt vorteilhafte Erwartungswertdifferenzen generieren (Beispiel: Fall 69 vs. Fall 70). Der Grund für diese Beobachtung ist, dass die finanzielle Situation von *Southwest Airlines* in Zeitraum 1 – im Vergleich zu den anderen Gesellschaften – überwiegend entspannt war (siehe: Abbildung 59), sodass in Zeitraum 1 auch bei einem längeren maximalen Sicherungshorizont nur geringe Restriktionen aus der finanziellen Situation auf Geschäftsabschlüsse für *Southwest Airlines* einwirken. Daher ist es *Southwest Airlines* in Zeitraum 1 als einziger Gesellschaft möglich, Marktkonditionen, die teils Vorteile für Sicherungen mit längerer Laufzeit ermöglichen, tatsächlich zu nutzen.

(oder nur noch geringe) DWCCF-Erwartungswertvorteile mehr generiert werden können. Die wichtigsten Gründe für diese Beobachtung sind eine entspanntere allgemeine Wettbewerbssituation sowie eine individuelle Verbesserung der wirtschaftlichen Lage aller vier beobachteten Fluggesellschaften. Während die Entspannung der Wettbewerbssituation dazu beiträgt, dass die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von nachteiligen Treibstoffpreisen und Ticketerlösen sich verringert (siehe: Abbildung 72), führt die Verbesserung der wirtschaftlichen Situation zu höheren erwarteten FCF (Beispiel siehe: Abbildung 83) sowie zu geringeren Ausfallwahrscheinlichkeiten der Gesellschaften (siehe: Abbildung 59). Letztere Veränderungen tragen dazu bei, dass die verbleibende Varianz zukünftiger FCF nur noch geringe DWCCF nach sich zieht, wodurch der Vorteil der Sicherung im Rahmen der Erwartungswertanalyse vielfach verloren geht. Aus diesem Grund wählt der Algorithmus, sofern ihm diese Auswahlmöglichkeit offensteht (Voraussetzung: Risikobereitschaft 4 und keine nachrangigen Ziele), im Rahmen der Simulationsstudie ab 2015 situativ aktiv gar die Handelsalternative *Keine Sicherung* aus (siehe: Kapitel 7.1.1.4). Wie bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, kann diese Handlungsweise der Nicht-Sicherung bei *American Airlines*, *Delta Air Lines* sowie *United Airlines* seit circa 2015 tatsächlich in der Realität beobachtet werden. Über das entwickelte Modell kann diese reale Entscheidung zur Beendigung der Sicherung somit – soweit bekannt – erstmals in einer wissenschaftlichen Arbeit begründet und quantitativ fundiert werden. Die zeitliche Übereinstimmung von realem Handeln und Modellvorgaben kann zudem als starkes Indiz für die Praxistauglichkeit des Modells und dessen Einsatzfähigkeit auf einem realen Markt angesehen werden.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Fluggesellschaften allen voran in wettbewerbsintensiven Phasen durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen Vorteile bezüglich der erwarteten DWCCF im Vergleich zur Alternative der Nicht-Sicherung generieren können. Sofern die zuvor dargestellten finanztheoretischen Grundlagen zur Unternehmensbewertung als praktisch relevant angesehen werden (siehe: Kapitel 5.3), ist davon auszugehen, dass über das implementierte Modell tatsächlich Sicherungen identifiziert werden, die dazu beitragen, Unternehmenswert zu schaffen. Zudem lassen sich die relevanten Erwartungswertveränderungen über das aufgestellte Modell und die durchgeführte Studie quantifizieren. Soweit bekannt, konnten Erkenntnisse zu prospektiven Einflüssen von Treibstoffpreissicherungen bislang nur vergleichenden empirischen Studien entnommen werden. Darüber hinaus ist es über das aufgestellte Modell sogar möglich, Aussagen bezüglich des relativen Vor- oder Nachteils von unterschiedlich ausgestalteten Sicherungsstrategien zu treffen, Unterschiede zwischen verschiedenen Strategien zu quantifizieren und wesentliche Einflussfaktoren aus der Vielzahl an wählbaren Parametern einer Sicherungsstrategie zu identifizieren. Final lässt die Gesamtheit der ex-ante Beobachtungen den Schluss zu, dass das aufgestellte ex-ante Modell korrekt ist und realitätsgetreue sowie praktisch relevante Sicherungsgeschäfte identifiziert. Diese Beobachtung dient der Verifikation des Modells.⁵⁷⁹

7.1.2 Ex-post Analyse optimaler Sicherungsstrategien

Im vorangegangenen Kapitel konnte gezeigt werden, dass es über das aufgestellte Modell möglich ist, unter Berücksichtigung heterogener interner Entscheidungen und externer Rahmenbedingungen solche Sicherungsstrategien zu erzeugen, die ex-ante das übergeordnete Ziel der Erhöhung der erwarteten DWCCF erfolgreich erreichen. Damit das Modell

⁵⁷⁹ Vgl. Balci (1998): S. 336 ff. Gemäß Balci (1998) kann etwa bereits das Aufstellen eines ausführbaren Computerprogramms der Verifikation des Modells dienen.

praktische Relevanz besitzt, ist es darüber hinaus jedoch notwendig, dass eine theoretisch hergeleitete ex-ante Verbesserung auch zu einer praktischen ex-post Verbesserung des DWCCF führt. Um diesen Zusammenhang in Kapitel 7.1.3 näher untersuchen zu können, werden nachfolgend zunächst ex-post Ergebnisse erzeugt und untersucht. Hierfür befasst sich Kapitel 7.1.2.1 im ersten Schritt mit der Beschreibung des Analyseverfahrens, bevor die Kapitel 7.1.2.2 (Cluster) sowie 7.1.2.3 (Fall) sich auf unterschiedlichen Aggregationsebenen der Beschreibung der ex-post Ergebnisse widmen. Im Rahmen des Kapitels wird ebenfalls auf die 96 Fälle zurückgegriffen, die in Kapitel 7.1.1.1 eingeführt wurden.

7.1.2.1 Beschreibung des ex-post Analyseverfahrens

Auch für diese Analyse wird jede einzelne in einem Sicherungszeitpunkt $T_{0,n}$ für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ gehandelte Treibstoffpreissicherung w als kleinste Betrachtungseinheit berücksichtigt. Zudem werden die ex-post bekannten Realisierungen $Fuel_{\bar{T}_s}$ sowie $PUOF_{i,\bar{T}_s}$ herangezogen. Mit Hilfe dieser lässt sich für Periode $\bar{T}_s$ über (5.5) die Realisierungen von $FCF_{i,\bar{T}_s}$ inklusive Sicherung w sowie für den zugehörigen Referenzfall ohne Sicherung berechnen. Ausgehend von $FCF_{i,\bar{T}_s}$ werden über (5.11) die realisierten $DWC_{i,\bar{T}_s}$ je Sicherung w sowie für den zugehörigen Referenzfall ohne Sicherung bestimmt. Hierbei wird auf die jeweilige Ausgestaltung der DWC-Funktion aus dem Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n}$ der Sicherung zurückgegriffen. Abschließend lässt sich über (5.7) der realisierte $DWCCF_{i,\bar{T}_s}$ in US-Dollar pro Barrel sowohl unter Berücksichtigung von Sicherung w als auch für den Referenzfall ohne Sicherung berechnen.

Es ist zu beachten, dass abweichend von der ex-ante Analyse in der ex-post Analyse zur Bestimmung von $FCF_{i,\bar{T}_s}$ der Zielsicherungsgrad berücksichtigt wird.⁵⁸⁰ Bezüglich der im Rahmen der Analyse unterstellten Zielsicherungsgrade gilt: Sofern gemäß den Restriktionen aus Risikobereitschaft (siehe: Kapitel 6.3.2.2) und Sicherungszielen (siehe: Kapitel 6.3.2.3) für einen Fall mehr als ein Zielsicherungsgrad genutzt werden dürfte, werden jeweils zwei unterschiedliche Zielsicherungsgrade berücksichtigt (siehe: Kapitel 4.2.1.2). Für solche Fälle werden ex-post Analyseergebnisse je genutztem Zielsicherungsgrad errechnet. Hierdurch steigt die Anzahl der betrachteten Simulationsläufe in der ex-post Analyse von zuvor 96 auf 148. Zur Kennzeichnung der 148 Simulationsläufe wird weiterhin auf die zuvor eingeführten Fallnummern 1 bis 96 zurückgegriffen. Da somit für einen Fall ex-post Ergebnisse unter Rückgriff auf zwei unterschiedliche Zielsicherungsgrade vorliegen können, wird der relevante Zielsicherungsgrad SG , sofern dies für die Diskussion notwendig ist, zusätzlich eindeutig benannt. Im Referenzfall ohne Sicherung ist der Zielsicherungsgrad irrelevant. Gewählte Zielsicherungsgrade je Fall sind in Tabelle 87 im Anhang B I dargestellt.

Unter Hinzuziehen des Zielsicherungsgrades SG wird für Fall h der realisierte DWCCF der Periode $\bar{T}_s$ inklusive der Realisierung von Sicherung w , die in Zeitpunkt $T_{0,n}$ gehandelt wurde, fortan als $DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ dargestellt. $DWCCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$ beschreibt den zugehörigen Referenzwert ohne Sicherung. Beide Größen werden auf US-Dollar pro Barrel skaliert. Die realisierten DWCCF für alle Sicherungsgeschäfte w , die in einem Simulationslauf h mit identischem Zielsicherungsgrad SG zu verschiedenen Entscheidungszeitpunkten $T_{0,n}$ (mit:

⁵⁸⁰ Um die skalierte Analyseeinheit USD pro Barrel und den Modellrahmen nicht zu verlassen, wird zunächst das Sicherungsergebnis pro gesichertem Barrel ($HedgeResult_{i,\bar{T}_s}(Fuel_{\bar{T}_s}, k_w)$) gemäß den Vorgaben in Kapitel 5.1.2.3 berechnet. Anschließend wird dieses mit dem Sicherungsgrad multipliziert und dann in (5.5) eingesetzt. Hieraus folgt, dass beispielsweise bei einem durch eine Sicherung pro Barrel realisierten Sicherungsergebnis von 2 USD und einem Zielsicherungsgrad von 50% lediglich 1 USD als Sicherungsergebnis zur Bestimmung des FCF nach Sicherung in (5.5) berücksichtigt wird.

$n = 1, \dots, N$) für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (ein Kalendermonat) gehandelt wurden, werden zunächst einzeln errechnet und anschließend gemeinschaftlich analysiert.

Hierfür wird pro Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ eine Kennziffer zur Beschreibung der durchschnittlichen Differenz zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung errechnet. Zur Beschreibung der erzeugten Kennziffer wird die Variable $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ eingeführt. Diese ist definiert als:

DWCCF-Realisierungskennziffer pro Fall und Erfüllungszeitraum

$$\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(DWCCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s} - DWCCF_{h,T_0,n,\bar{T}_s}^{KeineSich.} \right) \quad (7.3)$$

Der Index h determiniert, um welchen der 96 Fälle es sich handelt (siehe: Tabelle 84). Der Index SG gibt an, welcher Zielsicherungsgrad für die Beobachtung von Relevanz ist. Für Erläuterungen zu den Variablen n und N sowie s und S (siehe: (7.4)) wird auf die Darstellungen zu (7.1) und (7.2) in Kapitel 7.1.1.5 verwiesen. Im Anhang A XIII. a) findet sich zudem ein anschauliches Beispiel zur Berechnung realisierter DWCCF.

Um eine Aggregationsform zu erreichen, welche die gemeinschaftliche Darstellung und Diskussion von Ergebnissen aller Fälle ermöglicht, wird in der ex-post Analyse zudem ebenfalls eine aggregierte Kennziffer je Fall h mit Zielsicherungsgrad SG berechnet. Zur Beschreibung dieser Kennziffer wird die Variable $\Delta DWCCF_{h,SG}$ eingeführt. Diese ist definiert als:

DWCCF-Realisierungskennziffer pro Fall

$$\Delta DWCCF_{h,SG} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s} \quad (7.4)$$

Ausgehend von den Beobachtungen der ex-ante Analyse (siehe: Kapitel 7.1.1.6) wird der Untersuchungszeitraum zudem unterteilt, sodass für jeden Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in der ex-post Analyse drei separate Ergebnisse für (1) den gesamten historischen Zeitraum (maximal 2007 bis 2019), (2) den Zeitraum bis Dezember 2014 sowie (3) den Zeitraum ab Januar 2015 erzeugt werden.⁵⁸¹ Die über dieses Vorgehen ermittelten Ergebnisse für vier Beispielfälle finden sich in Tabelle 28. Ergebnisse für alle anderen Fälle und Zielsicherungsgrade sind in Tabelle 87 im Anhang B I dargestellt.

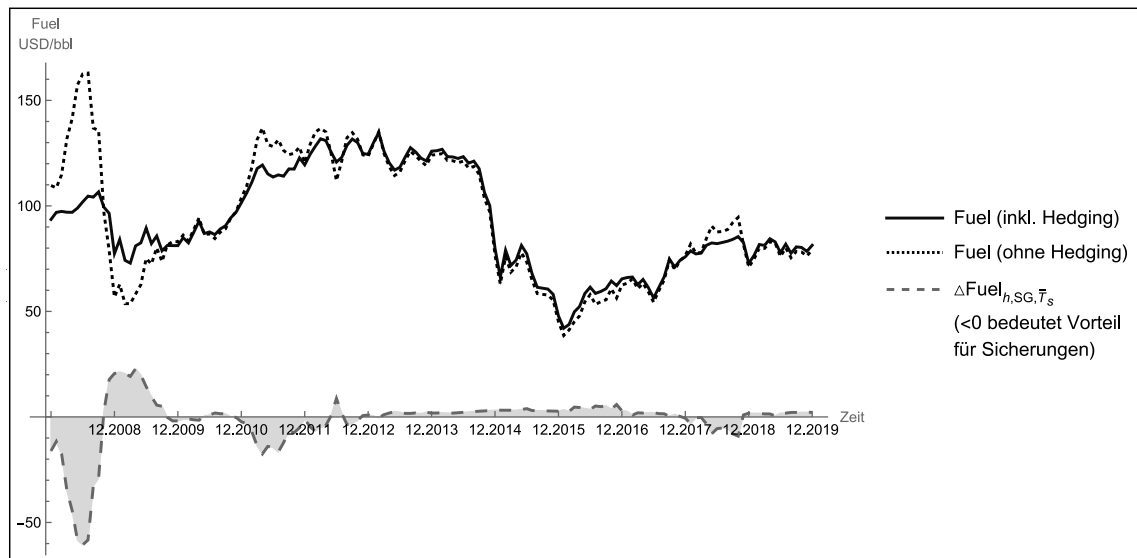
Zusätzlich werden über das methodisch gleiche Vorgehen die durchschnittlichen Differenzen zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung für Treibstoffaufwand ($\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s}$ und $\Delta Fuel_{h,SG}$), FCF ($\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ und $\Delta FCF_{h,SG}$) und DWC ($\Delta DWC_{h,SG,\bar{T}_s}$ und $\Delta DWC_{h,SG}$) für den gesamten sowie die beiden Teilzeiträume ermittelt und in Tabelle 87 ausgewiesen.⁵⁸²

Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge finden sich im Anhang B II zudem für einen Beispielfall pro Fluggesellschaft⁵⁸³ grafische Zeitreihendarstellungen der monatlichen Realisierungen. Dargestellt sind die monatlichen Verläufe von $\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s}$ (Abbildung 80 bis Abbildung 82), $\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ (Abbildung 83 bis Abbildung 86) sowie $\Delta DWC_{h,SG,\bar{T}_s}$ (Abbildung 87 bis Abbildung 90). Die Darstellung von $\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s}$ für den für *American Airlines* gewählten Beispielfall 19 findet sich exemplarisch in Abbildung 27.

⁵⁸¹ Wie im Rahmen der ex-ante Analyse bereits diskutiert, gilt bei Berücksichtigung des gesamten Zeitraums, dass $s = 1$ jeweils den ersten für Fall h relevanten Erfüllungszeitraum (frühestens: September 2007) und S den letzten für Fall h relevanten Erfüllungszeitraum (spätestens: Dezember 2019) determiniert ($s = 1, \dots, S$). Bei der nach Zeiträumen getrennten Betrachtung gilt, dass in Zeitraum 1 stets $s = S$ Dezember 2014 zugeordnet wird. In Zeitraum 2 wird $s = 1$ stets Januar 2015 und $s = S$ stets Dezember 2019 zugeordnet.

⁵⁸² Die Formeln zur Berechnung der sechs Parameter sind im Anhang A XIII. a) in (A XIII.1) bis (A XIII.6) dargestellt.

⁵⁸³ Berücksichtigt sind die vier Fälle, welche zuvor bereits in Kapitel 7.1.1.4 in Tabelle 20 als Beispiele genutzt wurden.

Abbildung 27 – American Airlines (Fall 19): Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum

Die Abbildung visualisiert für Fall 19 (*American Airlines* – siehe Zuordnung in Tabelle 84) den auf Barrel skalierten realisierten Treibstoffpreis nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses als „*Fuel (inkl. Hedging)*“. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Als Referenzwert ist der Marktpreis für die Kerosinnotierung (*Jet USGC*) als „*Fuel (ohne Hedging)*“ dargestellt. Zusätzlich ist jeweils die Differenz zwischen den beiden Werten dargestellt, welche der Größe $\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_S}$ (hier: $\Delta Fuel_{19,90\%,\bar{T}_S}$) entspricht.

Äquivalent zur ex-ante Analyse werden zudem jeweils die Ergebnisse aller Fälle innerhalb eines Clusters zusammengefasst und Durchschnittswerte je Cluster⁵⁸⁴ errechnet. Zentrale ex-post Ergebnisse je Cluster sind in Tabelle 26 ($\Delta DWCCF_{h,SG}$) sowie in Tabelle 27 ($\Delta FCF_{h,SG}$ und $\Delta DW C_{h,SG}$) dargestellt. Darüber hinaus finden sich im Anhang B I noch detailliertere Darstellungen zu den ex-post Ergebnissen je Cluster (siehe: Tabelle 88 bis Tabelle 93).

7.1.2.2 Analyse der ex-post realisierten Ergebnisse auf Clusterebene

Übergeordnet scheinen die Ergebnisse der ex-post Analyse weniger eindeutig als die Ergebnisse der ex-ante Analyse. Bei Berücksichtigung des gesamten Datensatzes (Zeitraum 2007 bis 2019) finden sich unter den 16 betrachteten Clustern neun Cluster, für welche durch den Abschluss der Sicherungen im Durchschnitt ex-post der DWCCF erhöht werden kann (siehe: Tabelle 26). Beim Blick auf die Durchschnittsdaten je Fluggesellschaft zeigt sich zudem, dass bei drei von vier Fluggesellschaften über den gesamten Zeitraum hinweg im Durchschnitt der realisierte DWCCF durch die Sicherung verbessert wird (siehe: Tabelle 88).

Tabelle 26 – Realisierte DWCCF-Differenzen je Cluster (alle Zeiträume)

	AA				DL				WN				UA			
Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\varnothing \Delta DWCCF$ (Gesamt)	-0,21 (☒)	0,57 (☒)	-0,06 (☒)	0,86 (☒)	-2,87 (☒)	0,61 (☒)	-1,49 (☒)	0,01 (☒)	-0,12 (☒)	0,02 (☒)	-0,01 (☒)	0,10 (☒)	-0,07 (☒)	0,64 (☒)	0,27 (☒)	0,70 (☒)
$\varnothing \Delta DWCCF$ (bis 2014)	2,28 (☒)	2,37 (☒)	1,77 (☒)	2,27 (☒)	0,84 (☒)	1,41 (☒)	1,26 (☒)	1,08 (☒)	0,35 (☒)	0,64 (☒)	0,76 (☒)	0,75 (☒)	3,33 (☒)	2,66 (☒)	3,42 (☒)	2,72 (☒)
$\varnothing \Delta DWCCF$ (ab 2015)	-3,62 (☒)	-1,89 (☒)	-2,29 (☒)	-1,09 (☒)	-7,93 (☒)	-0,49 (☒)	-5,25 (☒)	-1,45 (☒)	-1,13 (☒)	-0,89 (☒)	-1,15 (☒)	-0,84 (☒)	-3,03 (☒)	-1,13 (☒)	-2,47 (☒)	-1,05 (☒)

Die Tabelle zeigt den arithmetischen Mittelwert von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ je Cluster unter Rückgriff auf den genannten (Teil-) Datensatz. „Gesamt“ umfasst alle Daten von 2007 bis 2019. Informationen zu Clustern finden sich in Tabelle 21. Ergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 87. Die Zuordnung einzelner Fälle zu Clustern kann Tabelle 84 entnommen werden. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Vorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☒ visualisiert. Ergebnisse sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert. Zielsicherungsgrade sind berücksichtigt. Tabelle 88 (gesamter Zeitraum) und Tabelle 89 (Teildatensätze) im Anhang B I erweitern die Tabelle und zeigen unter anderem auch durchschnittliche Ergebnisse je Fluggesellschaft und Zeitraum.

⁵⁸⁴ In einem Cluster befinden sich jeweils sechs Fälle (siehe: Tabelle 84). Sofern für einen Fall zwei unterschiedliche Zielsicherungsgrade vorliegen (siehe: Tabelle 87), werden für die Berechnung von Durchschnittswerten je Cluster in der ex-post Analyse mehr als sechs Simulationsläufe berücksichtigt. Zur Methodik siehe auch: Erläuterungen zu Tabelle 21.

Daneben zeigen die separaten Ergebnisse für $\Delta FCF_{h,SG}$ sowie $\Delta DW C_{h,SG}$ (siehe: Tabelle 27) ein teils abweichendes Bild. Während für die 16 Cluster lediglich in sieben Fällen ein Vorteil aus Sicherungen bezüglich der durchschnittlichen realisierten FCF über den gesamten Zeitraum vorzufinden ist, können durch Sicherungen in 14 der 16 Cluster Vorteile bezüglich der realisierten DWC generiert werden. Da FCF-Nachteile vielfach absolut stärker als die DWC-Vorteile ausgeprägt sind, führt dies zum dargestellten Bild bezüglich des DWCCF. Erwähnenswert ist jedoch, dass in den Clustern 8 (*Delta Air Lines*) und 12 (*Southwest Airlines*) der DWC-Vorteil einen FCF-Nachteil überlagert, sodass bezüglich der übergeordneten Zielgröße des DWCCF Vorteile aus Sicherungen entstehen.

Des Weiteren zeigen sich beim Blick auf den gesamten Untersuchungszeitraum in den 16 Clustern Muster, die bereits in der ex-ante Analyse in Kapitel 7.1.1.5 zu erkennen waren: Bei allen vier Fluggesellschaften werden bei fixer Risikobereitschaft jeweils bei Wahl des höheren Prämienbudgets vorteilhafte DWCCF erzielt. Ebenso gilt im Quervergleich der Clusterergebnisse nahezu durchweg⁵⁸⁵, dass ceteris paribus bei identischem Prämienbudget jeweils bei Wahl der höheren Risikobereitschaft vorteilhaftere DWCCF erzeugt werden.⁵⁸⁶

Tabelle 27 – Realisierte FCF- und DWC-Differenzen je Cluster (alle Zeiträume)

	AA				DL				WN				UA			
Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ΔFCF (Gesamt)	-0,50 (☒)	0,19 (☑)	-0,13 (☒)	0,48 (☑)	-2,92 (☒)	0,48 (☑)	-1,52 (☒)	-0,10 (☒)	0,00	0,04 (☑)	-0,18 (☒)	-0,08 (☒)	-0,24 (☒)	0,58 (☑)	0,11 (☑)	0,64 (☑)
ΔFCF (bis 2014)	1,80 (☑)	1,73 (☑)	1,44 (☑)	1,64 (☑)	0,96 (☑)	1,24 (☑)	1,15 (☑)	0,94 (☑)	0,75 (☑)	0,67 (☑)	0,47 (☑)	0,42 (☑)	3,19 (☑)	2,63 (☑)	3,25 (☑)	2,67 (☑)
ΔFCF (ab 2015)	-3,64 (☒)	-1,92 (☒)	-2,28 (☒)	-1,12 (☒)	-8,22 (☒)	-0,55 (☒)	-5,17 (☒)	-1,52 (☒)	-1,10 (☒)	-0,88 (☒)	-1,12 (☒)	-0,82 (☒)	-3,22 (☒)	-1,21 (☒)	-2,63 (☒)	-1,12 (☒)
$\Delta DW C$ (Gesamt)	-0,29 (☑)	-0,38 (☑)	-0,19 (☑)	-0,38 (☑)	-0,05 (☑)	-0,12 (☑)	-0,13 (☑)	-0,15 (☑)	0,13 (☒)	0,02 (☒)	-0,16 (☑)	-0,18 (☑)	-0,17 (☑)	-0,06 (☑)	-0,16 (☑)	-0,06 (☑)
$\Delta DW C$ (bis 2014)	-0,48 (☑)	-0,64 (☑)	-0,32 (☑)	-0,63 (☑)	0,13 (☒)	-0,17 (☑)	-0,05 (☑)	-0,18 (☑)	0,19 (☒)	0,03 (☒)	-0,29 (☑)	-0,32 (☑)	-0,14 (☑)	-0,03 (☑)	-0,17 (☑)	-0,05 (☑)
$\Delta DW C$ (ab 2015)	-0,02 (☑)	-0,02 (☑)	0,01 (☒)	-0,02 (☑)	-0,29 (☑)	-0,06 (☑)	-0,25 (☑)	-0,11 (☑)	0,03 (☒)	0,01 (☒)	0,03 (☒)	0,02 (☒)	-0,19 (☑)	-0,08 (☑)	-0,16 (☑)	-0,07 (☑)

Die Tabelle zeigt den arithmetischen Mittelwert von $\Delta FCF_{h,SG}$ und $\Delta DW C_{h,SG}$ je Cluster unter Rückgriff auf den genannten (Teil-) Datensatz.⁵⁸⁷ „Gesamt“ umfasst alle Daten von 2007 bis 2019. Informationen zu Clustern finden sich in Tabelle 21. Ergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 87. Die Zuordnung einzelner Fälle zu Clustern kann Tabelle 84 entnommen werden. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Vorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Ergebnisse sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert. Zielsicherungsgrade sind berücksichtigt. Tabelle 90 und Tabelle 91 (gesamter Zeitraum) sowie Tabelle 92 und Tabelle 93 (Teildatensätze) im Anhang B I erweitern die Tabelle und zeigen unter anderem Durchschnittsergebnisse je Fluggesellschaft und Zeitraum.

Daneben werden Clusterergebnisse nach Trennung des Datensatzes auf Zeitraum 1 und Zeitraum 2 genutzt, um zu überprüfen, ob die in Kapitel 7.1.1.5 aufgestellte Strukturbruchhypothese auch in der ex-post Analyse haltbar ist. Zur Unterstützung der Analyse findet sich in Abbildung 28 eine Darstellung des Verlaufs der realisierten monatlichen $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$ für vier Beispielfälle⁵⁸⁸.

In Abbildung 28 ist ersichtlich, dass das Auftreten von realisierten Vorteilen durch den Abschluss von Sicherungen visuell weniger stark einem chronologischen Bereich des gesamten erfassten Zeitraums zugeordnet werden kann als dies im Rahmen der ex-ante Analyse (siehe:

⁵⁸⁵ Lediglich für *Delta Air Lines* findet sich bei einem Prämienbudget von 3% für Risikobereitschaft 2 ein geringerer DWCCF-Vorteil als für Risikobereitschaft 1.

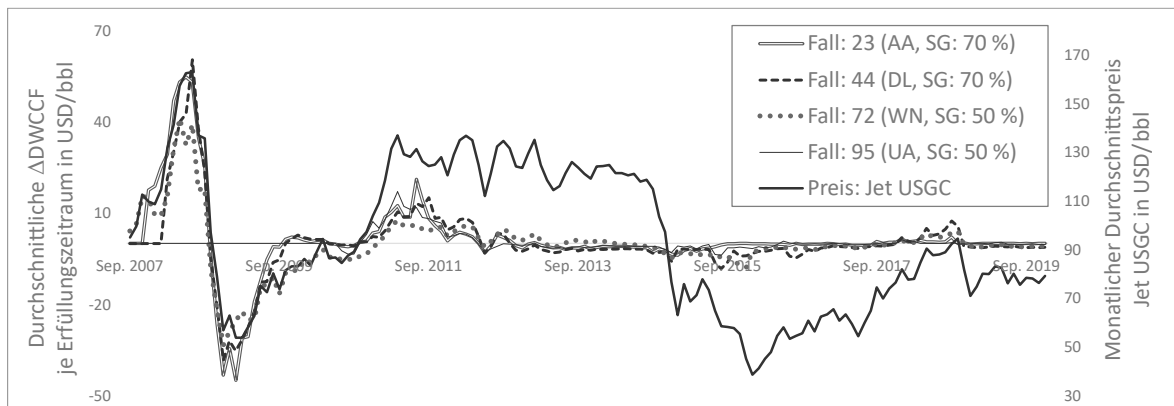
⁵⁸⁶ Für eine Übersicht zu schematischen Auswirkungen der ceteris paribus Anpassungen einzelner Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur auf ex-post Ergebnisse wird auf Tabelle 94 im Anhang B I verwiesen. Auf das wiederholte Verweisen auf Tabelle 94 wird in der Folge verzichtet.

⁵⁸⁷ Die Berechnung der Kennziffern erfolgt gemäß (A XIII.5) und (A XIII.6) im Anhang A XIII. a). Es ist zu berücksichtigen, dass für $\Delta DW C_{h,SG}$ negative Werte der Kennziffer auf einen Vorteil aus Sicherungen hindeuten.

⁵⁸⁸ Es werden die vier Fälle berücksichtigt, die auch in Abbildung 26 (siehe: Kapitel 7.1.1.6) dargestellt sind.

in Abbildung 26) der Fall war. Um zu plausibilisieren, ob dieser Eindruck sich auch quantitativ bestätigen lässt, ist die Analyse unter zeitlicher Trennung der Datensätze daher weiterhin von entscheidender Bedeutung.

Abbildung 28 – Durchschnittliche realisierte DWCCF-Differenzen (Beispiele 1)



Die Abbildung veranschaulicht auf der linken y-Achse $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_S}$ für die vier zuvor für Abbildung 26 ausgewählten Beispielsimulationläufe (zur Zuordnung siehe auch: Tabelle 84). Werte größer null induzieren einen Vorteil aus Sicherungen. Auf der rechten y-Achse sind pro Kalendermonat durchschnittliche realisierte Treibstoffpreise für Jet USGC in US-Dollar je Barrel dargestellt. Eine identische Darstellung für den nachteiligsten Fall je Gesellschaft findet sich in Abbildung 79 im Anhang B II.

Bei ausschließlicher Berücksichtigung der Ergebnisse bezüglich des DWCCF je Cluster wird die zuvor im Rahmen der Erwartungswertanalyse aufgestellte Strukturbruchhypothese durchweg unterstützt (siehe: Tabelle 26). Während in Zeitraum 1 durch optimale Sicherungen in allen 16 Clustern realisierte DWCCF verbessert werden, ist in Zeitraum 2 in keinem Cluster ein Vorteil durch Sicherungen nachweisbar.

Daneben liegen auch in der getrennten Analyse pro Zeitraum bei gleicher Risikobereitschaft beim Zahlen von (mehr) Prämie mehrheitlich⁵⁸⁹ größere DWCCF-Vorteile vor (Beispiel: Cluster 1 vs. Cluster 2). Auch bezüglich der bei identischem Prämienbudget gewählten Risikobereitschaft ergibt sich ein ähnliches Bild wie zuvor: In beiden Zeiträumen finden sich in der Mehrzahl der Beobachtungen⁵⁹⁰ Vorteile bei der Wahl der höheren Risikobereitschaft (Beispiel: Cluster 14 vs. Cluster 16).⁵⁹¹

Bezüglich der beiden Komponenten, aus welchen der DWCCF resultiert, ist interessant, dass die beobachtete Struktur je Zeitraum ebenso in der Analyse von $\Delta FCF_{h,SG}$ (siehe: Tabelle 27) vorliegt. Demnach können im Durchschnitt pro Cluster innerhalb von Zeitraum 1 durch Sicherungen stets Verbesserungen des FCF erzielt werden, während in Zeitraum 2 Sicherungen im Durchschnitt stets FCF-Nachteile generieren. Dieser Unterschied zwischen den Perioden kann über die in Abbildung 28 dargestellte Treibstoffpreisentwicklung innerhalb der beiden Perioden erklärt werden: Da ex-post Vorteile aus Sicherungen mit Bezug auf den FCF primär in einem steigenden Preisumfeld generiert werden können, sind innerhalb von Zeitraum 1 der steile Preisanstieg in 2007 und 2008 sowie der kontinuierliche Preisanstieg zwischen 2009 und 2011 kausal für Ergebnisse bezüglich $\Delta FCF_{h,SG}$ verantwortlich. Ebenso zeigt sich in Zeitraum 2, dass ein überwiegend fallendes Preisumfeld zu FCF-Nachteilen aus Sicherungen führen kann. Die konkrete Höhe der Nachteile resultiert jedoch jeweils aus der individuellen Sicherungsstrategie. So ist ersichtlich, dass die FCF-Nachteile insbesondere in Clustern mit Nullprämienzahlung stark ausgeprägt sind (Beispiel: -8,22 US-Dollar pro

⁵⁸⁹ Abweichungen hiervon: *Delta Air Lines*: Zeitraum 1, Cluster 7 und 8. *Southwest Airlines*: Zeitraum 1, Cluster 11 und 12. *United Airlines*: Zeitraum 1, Cluster 13 und 14 sowie Cluster 15 und 16.

⁵⁹⁰ Abweichungen hiervon: *American Airlines*: Zeitraum 1, Cluster 1 und 3 sowie Cluster 2 und 4. *Delta Air Lines*: Zeitraum 1 und 2, Cluster 6 und 8. *Southwest Airlines*: Zeitraum 2, Cluster 9 und 11.

⁵⁹¹ Für eine Übersicht zu den aufgedeckten schematischen Zusammenhängen siehe auch: Tabelle 94 im Anhang B I.

Barrel in Cluster 5 mit Prämie 0%). Der Grund hierfür ist offenkundig: Ohne Nettoprämienzahlung können nur Instrumentenkombinationen gehandelt werden, bei denen ein Schutz gegen Preisanstieg mit einer Limitierung des möglichen Preisverfalls erkauft wird (siehe: Tabelle 3). Die im Fall eines starken Preisverfalls resultierenden signifikanten ökonomischen Nachteile einer solchen Limitierung zeigen sich deutlich bei der Analyse für Zeitraum 2.

Bezüglich der realisierten DWC ist zunächst ersichtlich, dass Vor- oder Nachteile aus DWC in Zeitraum 2 im Betrag tendenziell⁵⁹² geringer ausgeprägt sind als in Zeitraum 1 (siehe: Tabelle 27). Der Grund hierfür ist, dass in Zeitraum 2 eine geringere Wettbewerbsintensität herrschte (siehe: Tabelle 75) und gleichzeitig die wirtschaftliche Situation aller vier Fluggesellschaften – im Vergleich zu Zeitraum 1 – vorteilhaft war (siehe: Tabelle 66). Mit Blick auf die Herleitung und Ausgestaltung von DWC-Funktionen (siehe: Kapitel 6.3.1.2) führt diese Konstellation dazu, dass in Zeitraum 2 eine größere Toleranz bezüglich FCF-Abweichungen bis zum Auftreten von DWC besteht (siehe auch: Kapitel 7.1.1.6).

Darüber hinaus ergibt sich ein differenziertes Bild bezüglich der realisierten DWC, welches eine Analyse unter Berücksichtigung von Effekten je Fluggesellschaft notwendig macht:

Für *American Airlines* sowie *United Airlines* können durch Sicherungen in allen Clustern des ersten Zeitraums DWC vermieden werden. Die Kombination aus verbesserten FCF und verbesserten DWC führt zur übergeordneten Verbesserung des DWCCF. Demgegenüber zeigt sich in Zeitraum 1 für *Delta Air Lines* und *Southwest Airlines* ein leicht abweichendes Bild: Während im Gesellschaftsdurchschnitt zwar ebenfalls DWC-Vorteile erzielt werden (siehe: Tabelle 93), finden sich in den drei Clustern 5, 9 und 10 DWC-Nachteile aus Sicherungen. Diese drei Cluster eint, dass ihnen Risikobereitschaft 1 zugrunde liegt. Bei dieser Risikobereitschaft ist lediglich der Abschluss von sehr wenigen Instrumenten erlaubt.⁵⁹³ Demnach führen die sehr strengen Restriktionen unter Risikobereitschaft 1 in Zeitraum 1 ex-post zu nachteiligen DWC.

In Zeitraum 2 lassen sich sowohl für *Delta Air Lines* und *United Airlines* in allen sowie für *American Airlines* in drei von vier Clustern durch den Abschluss von Sicherungen vorteilhafte DWC erzielen. Abweichend dazu finden sich für *Southwest Airlines* in Zeitraum 2 für alle Cluster DWC-Nachteile, welche in ihrer absoluten Ausprägung allerdings sehr gering ausfallen (0,01 USD pro Barrel bis 0,03 USD pro Barrel). Als Grund für diese Nachteile kann die Kombination aus einem langanhaltenden Preisverfall in Zeitraum 2 mit dem langen maximalen Sicherungshorizont von 35 Monaten genannt werden.⁵⁹⁴

Übergeordnet wird zudem beobachtet, dass sowohl in Zeitraum 1 als auch in Zeitraum 2 Effekte aus FCF abweichende Effekte aus DWC stets überlagern (Beispiel: Cluster 5), so dass das zuvor beschriebene eindeutige Bild für realisierte DWCCF-Differenzen entsteht. Allerdings gelingt es beispielsweise in Cluster 14 in Zeitraum 2, den durchschnittlichen FCF-Nachteil von 1,21 US-Dollar pro Barrel durch vorteilhafte DWC um 7% zu reduzieren.

⁵⁹² Die Beobachtung gilt nicht in den Clustern 5, 7, 13, 14 und 16 (siehe: Tabelle 27).

⁵⁹³ Es sei angemerkt, dass in Cluster 5 keine und in Cluster 9 nur eine geringe Nettoprämie gezahlt wird, weshalb der Algorithmus (entgegen den Restriktionen aus der Risikobereitschaft, siehe hierzu: Kapitel 6.5.1) vielfach zur Wahl von *Keine Sicherung* oder *Swap* gezwungen wird. Siehe: Tabelle 84.

⁵⁹⁴ Während einzelne Simulationsläufe erst in Kapitel 7.1.2.3 analysiert werden, sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass sich für *Southwest Airlines* unter allen Simulationsläufen mit dem kürzeren Sicherungshorizont (hier: 18 Monate) lediglich zwei Fälle (Fälle 55 und 65 jeweils 90% Zielsicherungsgrad) finden, für welche in Zeitraum 2 DWC-Nachteile (jeweils 0,01 USD pro Barrel) vorliegen. Demgegenüber findet sich bei der Wahl des längeren Sicherungshorizontes (hier: 35 Monate) nur für einen Fall (Fall 68) kein DWC-Nachteil (siehe: Tabelle 87).

7.1.2.3 Analyse der ex-post realisierten Ergebnisse auf Einzelfallebene

Nachdem über die Beschreibung der Clusterergebnisse erste allgemeine Beobachtungen bezüglich der Zusammenhänge zwischen Sicherungen, Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur und Realisierungen von FCF, DWC und DWCCF beschrieben werden konnten, bedarf es zum Gewinn weitergehender Erkenntnisse einer Analyse der einzelnen Fälle. Ex-post Ergebnisse zu DWCCF-Differenzen für vier Beispielfälle und jeweils einen Zielsicherungsgrad finden sich in Tabelle 28. Ergebnisse für alle anderen Fälle, Zielsicherungsgrade und Parameter sind in Tabelle 87 im Anhang B I dargestellt. Darüber hinaus findet sich in Tabelle 29 eine Übersicht über extreme Ausprägungen der DWCCF-Kennziffern.

Um eine strukturierte Beschreibung der erzielten Simulationsergebnisse zu ermöglichen, werden nachfolgend zunächst zentrale Ergebnisse je Fluggesellschaft separat diskutiert. Betrachtet werden dabei ausschließlich DWCCF-Differenzen. Ergebnisse zu FCF- und DWC-Differenzen werden in diesem Kapitel aus Übersichtlichkeitsgründen nicht behandelt, finden sich aber für alle untersuchten Fälle in Tabelle 87. Es sei zudem darauf hingewiesen, dass, wie in der ex-ante Analyse, auch an dieser Stelle lediglich Beobachtungen zu Fällen vorge stellt und diskutiert werden, die Erkenntnisse ermöglichen, welche über die Darstellungen der vorherigen Clusteranalyse hinausgehen.

Tabelle 28 – Realisierte Differenzen ausgewählter Fälle (alle Zeiträume)

Fall	Cluster	Airline	Zielsicherungsgrad	$\Delta DWCCF_{h,SG}$ (2007 – 2019)	$\Delta DWCCF_{h,SG}$ (2007 – 2014)	$\Delta DWCCF_{h,SG}$ (2015 – 2019)
19	4	AA	90%	1,90 (☑)	3,96 (☑)	-1,01 (☒)
37	7	DL	70%	-1,10 (☒)	1,01 (☑)	-3,99 (☒)
56	10	WN	90%	0,01 (☑)	0,63 (☑)	-0,90 (☒)
81	14	UA	90%	0,11 (☑)	2,63 (☑)	-2,17 (☒)

Die Tabelle zeigt ex-post Ergebnisse bezüglich der aggregierten Kennziffer $\Delta DWCCF_{h,SG}$ für vier Beispielfälle getrennt nach Berücksichtigung der Daten für den gesamten Zeitraum, Zeitraum 1 und Zeitraum 2. Weitere Informationen zur Ausgestaltung der einzelnen Fälle finden sich in Tabelle 20. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen realisierten Vorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Detaillierte Ergebnisse für alle in dieser Arbeit betrachteten Fälle finden sich in Tabelle 87 (Anhang B I). Sofern mehr als ein Zielsicherungsgrad je Fall verfügbar ist (siehe: Tabelle 87), wurde beispielhaft ein Zielsicherungsgrad gewählt. Zeiträume beziehen sich auf Erfüllungszeiträume. Ergebnisse für $\Delta DWCCF_{h,SG}$ sind auf die Einheit US-Dollar pro Barrel Kerosin skaliert

Für *American Airlines* zeigen sich in den Untersuchungen für alle Zeiträume in der überwiegenden Mehrheit der Beobachtungen ex-post DWCCF-Vorteile für ein näher am Entscheidungszeitpunkt liegendes Sicherungsende (Beispiel⁵⁹⁵: Fall 1 vs. Fall 2).⁵⁹⁶ Die für *American Airlines* ex-post erzielten Ergebnisse bezüglich des Sicherungsendes stehen somit in Einklang mit den Beobachtungen zu ex-ante Erwartungswerten in Kapitel 7.1.1.5.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass sich in allen betrachteten Zeiträumen, die mini- und maximalen Beobachtungen für $\Delta DWCCF_{h,SG}$ jeweils für Fälle finden, denen Risikobereitschaft 4 zugrunde liegt (Fälle 14, 16, 19 und 24, siehe: Tabelle 29). Entgegen den ex-ante Beobachtungen, in welchen aus einer erhöhten Risikobereitschaft stets vorteilhafte Erwartungswerte generiert wurden (siehe: Kapitel 7.1.1.5), zeigt dies, dass eine höhere Risikobereitschaft neben größeren Chancen auch größere Risiken mit sich bringt. Während es auf Basis des definierten Algorithmus immanent ist, dass die maximale Risikobereitschaft im Rahmen der Erwartungswertanalyse ex-ante zu vorteilhafteren Sicherungsabschlüssen führt,

⁵⁹⁵ Beim Vergleich zweier Fälle (hier: Fall 1 vs. Fall 2) werden stets Realisierungen unter Rückgriff auf identische Sicherungsgrade verglichen. Dies gilt ebenso für nachfolgende Darstellungen in diesem Kapitel.

⁵⁹⁶ Die Aussage bezieht sich auf den Vergleich von jeweils zwei Fällen mit identischer Risikobereitschaft, identischem Prämienbudget, identischen nachrangigen Sicherungszielen und identischem Zielsicherungsgrad. Abweichungen vom beschriebenen Zusammenhang finden sich lediglich in Zeitraum 1 für Fall 1 vs. Fall 2 mit 90% Sicherungsgrad sowie in Zeitraum 2 für Fall 17 vs. Fall 18 (beide Sicherungsgrade) und Fall 23 vs. Fall 24 (beide Sicherungsgrade).

zeigt sich in dieser Analyse demnach, dass aus einer hohen Risikobereitschaft ex-post auch stark nachteilige Realisierungen resultieren können. Diese Erkenntnis konnte in der vorangegangenen ex-post Clusteranalyse (siehe: Kapitel 7.1.2.2), in welcher stets ausschließlich Durchschnittswerte für mehrere Fälle betrachtet wurden, noch nicht gewonnen werden.

Für *Delta Air Lines* kann sowohl in den Untersuchungen für den gesamten Zeitraum als auch für Zeitraum 1 bezüglich $\Delta DWCCF_{h,SG}$ durchweg ein Vorteil für einen kürzeren Sicherungshorizont gezeigt werden (Beispiel: Fall 43 vs. Fall 44).⁵⁹⁷ Diese Beobachtung deckt sich mit den Beobachtungen der ex-ante Analyse in Kapitel 7.1.1.5. Abweichend hierzu ergibt sich in Zeitraum 2 ein heterogenes Bild, welches keine eindeutigen Vor- oder Nachteile für einzelne Sicherungshorizonte erkennen lässt.

In Kapitel 7.1.1.4 wurde zuvor bereits dargelegt, dass OPTA für *Delta Air Lines* in sechs Fällen (alle vier Fälle in Cluster 5 sowie die Fälle 39 und 40) keine optimalen Sicherungen über den programmierten Algorithmus auswählen kann, sondern – aufgrund von sehr ungünstig gewählten internen Entscheidungen – stets zur Auswahl von *Keine Sicherung* oder *Swap* gezwungen wird. Eine zentrale Beobachtung der ex-post Fallanalyse für *Delta Air Lines* ist in diesem Kontext, dass für jeden Zeitraum die nachteiligste Beobachtung von $DWCCF_{h,SG}$ aus diesen sechs Fällen stammt (unter anderem Fall 25, siehe: Tabelle 29). Schließt man diese sechs Fälle von der Analyse aus, verringert sich bei Berücksichtigung des gesamten Beobachtungszeitraums der durchschnittliche $DWCCF$ -Nachteil für *Delta Air Lines* von -0,89 US-Dollar pro Barrel (siehe: Tabelle 88) um knapp 75% auf -0,23 US-Dollar pro Barrel. Erwähnenswert ist zudem, dass auch bei Berücksichtigung der restlichen 72 Fälle der anderen drei Fluggesellschaften für den gesamten Zeitraum sowie für Zeitraum 2 die global nachteiligsten Ergebnisse bezüglich $DWCCF_{h,SG}$ weiterhin auf diese sechs Fälle zurückgeführt werden können (siehe: Tabelle 29). Mögliche Verzerrungen aus diesen Fällen sollten daher beim Blick auf die Daten für *Delta Air Lines* stets berücksichtigt werden.

Tabelle 29 – Extrema der realisierten $DWCCF$ -Differenzen (alle Zeiträume)

		AA	DL	WN	UA
Maximum $\Delta DWCCF_{h,SG}$	2007 – 2019	1,90 (Fall 19 & SG 90%)	0,84 (46 & 90%)	0,55 (69 & 70%)	1,33 (96 & 90%)
	2007 – 2014	3,96 (19 & 90%)	1,81 (u.a. 38 & 90%)	1,50 (63 & 70%)	4,75 (90 & 90%)
	2015 – 2019	-0,11 (24 & 70%)	-0,42 (46 & 90%)	-0,29 (61 & 50%)	-0,43 (95 & 50%)
Minimum $\Delta DWCCF_{h,SG}$	2007 – 2019	-1,56 (16 & 90%)	-3,21 (u.a. 25 & 90%)	-1,12 (66 & 70%)	-0,16 (u.a. 75 & 90%)
	2007 – 2014	0,88 (14 & 70%)	0,55 (u.a. 25 & 90%)	-0,28 (66 & 70%)	1,55 (u.a. 79 & 50%)
	2015 – 2019	-5,12 (16 & 90%)	-8,34 (u.a. 25 & 90%)	-2,35 (66 & 70%)	-4,01 (u.a. 76 & 90%)

Die Tabelle zeigt Extremausprägungen der Realisierungskennziffer zur Beurteilung des Vor- oder Nachteils von Sicherungen, getrennt nach Berücksichtigung der Daten für den gesamten Zeitraum, Zeitraum 1 und Zeitraum 2. Ergebnisse für $\Delta DWCCF_{h,SG}$ beziehen sich auf Durchschnittsergebnisse für einen gesamten Fall (Berechnung gemäß (7.4)). In Klammern ist jeweils dargestellt, für welchen Fall h und welchen Zielsicherungsgrad (SG) die extreme Ausprägung der Kennziffer vorliegt. Sofern mehrere Fälle betroffen sind, ist ein Beispiel genannt. Globale Extrema je Zeitraum sind fett markiert. Details zu allen Fällen und Zielsicherungsgraden finden sich in Tabelle 87.

Für *Southwest Airlines* wurde in Kapitel 7.1.1.5 gezeigt, dass ex-ante in der Mehrzahl der Beobachtungen Erwartungswertvorteile aus kürzeren Sicherungshorizonten resultieren. Bei Rückgriff auf den gesamten Beobachtungszeitraum sowie auf Zeitraum 1 finden sich hierzu

⁵⁹⁷ Die Aussage bezieht sich auf den Vergleich von jeweils zwei Fällen mit identischer Risikobereitschaft, identischem Prämienbudget, identischen nachrangigen Sicherungszielen und identischem Zielsicherungsgrad.

in der ex-post Analyse keine eindeutigen Ergebnisse. Die Ergebnisse für Zeitraum 2 deuten demgegenüber in der Mehrzahl⁵⁹⁸ der Beobachtungen darauf hin, dass der beschriebene Zusammenhang ex-post ebenfalls vorliegt (Beispiel: Fall 49 vs. Fall 50).⁵⁹⁹ Die für verschiedene Zeiträume voneinander abweichenden Beobachtungen lassen sich über die realisierten Treibstoffpreisentwicklungen (siehe: Abbildung 28) erklären: Generell führt ein weiter vom Entscheidungszeitpunkt entfernter maximaler Sicherungshorizont dazu, dass chronologisch früher Sicherungen für Kalendermonate abgeschlossen werden. Da sich in Zeitraum 2 ein starker Treibstoffpreisverfall findet, wirken sich in diesem Zeitraum die chronologisch früheren Absicherungen zu durchschnittlich höheren Preisen nachteilig auf die erfassten DWCCF-Differenzen aus. In Zeitraum 1 finden sich demgegenüber zwischen 2007 und 2014 starke Treibstoffpreisanstiege sowie ein extremer Preisverfall, wodurch die genannten uneindeutigen Ergebnisse zu Stande kommen.

Für *United Airlines* war im Rahmen der ex-ante Analyse zuvor ein Vorteil für Sicherungen mit kürzerem Sicherungsende detektiert worden (siehe: 7.1.1.5). Mit Blick auf die ex-post Ergebnisse findet sich dieser Zusammenhang für $\Delta DWCCF_{h,SG}$ allerdings nur in Zeitraum 2 (Beispiel: Fall 79 vs. Fall 80). Demgegenüber finden sich für den gesamten Zeitraum sowie für Zeitraum 1 jeweils Vorteile für das weiter entfernte Sicherungsende (Beispiel: Fall 73 vs. Fall 74).⁶⁰⁰ Die voneinander abweichenden Beobachtungen lassen sich ebenfalls über die realisierten Treibstoffpreisentwicklungen (siehe: Abbildung 28) erklären: Generell führt ein weiter vom Entscheidungszeitpunkt entferntes Sicherungsende dazu, dass chronologisch früher größere Treibstoffmengen gesichert werden.⁶⁰¹ Da die Treibstoffpreise in dem für *United Airlines* relevanten Teil⁶⁰² von Zeitraum 1 signifikant anstiegen, ermöglicht ein weiter entferntes Sicherungsende die chronologisch frühere Absicherung größerer Anteile der geplanten Treibstoffmenge zu niedrigeren Preisen. Demgegenüber war Zeitraum 2 durch einen starken Preisverfall geprägt, sodass in diesem Zeitraum aus der früheren Absicherung von größeren Anteilen der Treibstoffmenge in der ex-post Sicht Nachteile resultieren.

Der Blick auf historische Treibstoffpreisbewegungen erlaubt es zudem, eine relevante gesellschaftsübergreifende Beobachtung zu erklären: Die genaue Untersuchung der Ergebnisse für Zeitraum 2 offenbart, dass sich bei denjenigen drei Gesellschaften, welche im Modell teils keine Nettoprämie zahlen, in Zeitraum 2 starke Unterschiede zwischen den durchschnittlichen $\Delta DWCCF_{h,SG}$ für Fälle mit positiver Nettoprämie gegenüber den Fällen ohne Nettoprämie finden. Für *American Airlines* ergibt sich als Durchschnitt von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ über alle Fälle und Zielsicherungsgrade ohne Nettoprämie in Zeitraum 2 ein Wert von -2,96 US-Dollar pro Barrel. Demgegenüber liegt der Durchschnitt aller Fälle und Zielsicherungsgrade mit 3% Prämie bei -1,49 US-Dollar pro Barrel. Für *Delta Air Lines* liegen die entsprechenden Werte bei -6,26 US-Dollar pro Barrel (ohne Nettoprämie) und -1,09 US-Dollar pro Barrel (3% Prämie) und für *United Airlines* ergeben sich Durchschnittswerte von -2,75 US-Dollar pro Barrel (ohne Nettoprämie) im Vergleich zu -1,09 US-Dollar pro Barrel (2% Prämie).⁶⁰³ Die Ergebnisse zeigen, dass der Verzicht auf das Zahlen von Nettoprämie

⁵⁹⁸ Der Zusammenhang liegt in 8 von 12 Fallpaaren vor (siehe: Tabelle 87). Bei drei Paaren (Fall 55 vs. 56, Fall 57 vs. 58 und Fall 59 vs. 60), für welche der gegenteilige Zusammenhang vorliegt, beträgt die Differenz lediglich 0,02 USD/bbl.

⁵⁹⁹ Die Aussage bezieht sich auf den Vergleich von jeweils zwei Fällen mit identischer Risikobereitschaft, identischem Prämienbudget, identischen nachrangigen Sicherungszielen und identischem Zielsicherungsgrad.

⁶⁰⁰ Die Aussage bezieht sich auf den Vergleich von jeweils zwei Fällen mit identischer Risikobereitschaft, identischem Prämienbudget, identischen nachrangigen Sicherungszielen und identischem Zielsicherungsgrad.

⁶⁰¹ Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der in Kapitel 4.2.1.4 dargestellten Formel (4.1).

⁶⁰² Es ist zu beachten, dass Sicherungen für *United Airlines* durch OPTA erst ab dem 15.03.2010 (siehe: Tabelle 13) abgeschlossen werden können. Demgegenüber werden Sicherungen z.B. für *American Airlines* bereits ab 2007 abgeschlossen.

⁶⁰³ Die genannten Werte lassen sich unter Rückgriff auf die Ergebnisse je Fall und Sicherungsgrad in Tabelle 88 errechnen.

insbesondere die Möglichkeit zum Handel von Instrumenten beschneidet, welche in einem Preisverfallsszenario eine (teilweise) Preisverfallmitnahme erlauben. Daher zeigen sich die Vorteile aus der Zahlung einer positiven Nettoprämie insbesondere in einem durch überwiegend fallende Treibstoffpreise geprägten Umfeld und Zeitraum.

Zusammenfassend liefern die in diesem Kapitel diskutierten Ergebnisse Indizien, die – äquivalent zu den Ergebnissen der ex-ante Analyse (siehe: Kapitel 7.1.1) – darauf hindeuten, dass auch in der ex-post Analyse allen voran die Bereitschaft zur Zahlung von Prämie vielfach mit einer durchschnittlichen Verbesserung der DWCCF-Differenzen einhergeht. Ebenso deuten die erfassten Ergebnisse im Durchschnitt darauf hin, dass eine höhere Risikobereitschaft sowie ein kürzerer Sicherungshorizont ex-post im Vergleich zu vorteilhaften DWCCF-Differenzen beitragen. Ergebnisse bezüglich des Sicherungsendes sind hingegen nicht eindeutig. Die genannten Zusammenhänge können allerdings lediglich als anekdotische Evidenz verstanden werden, deren konkrete Erfüllung im Einzelfall von einer Vielzahl von weiteren Einflussfaktoren (unter anderem wirtschaftliche Situation der Gesellschaft, zugrundeliegende Treibstoffpreisbewegung, Ausprägungen der anderen Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur) beeinflusst wird. Für eine quantitativ fundiertere Darstellung der Zusammenhänge wird auf die Auswertung in Kapitel 7.1.3 verwiesen.

Als zentrale Erkenntnis zeigt darüber hinaus auch die ex-post Analyse eindeutig, dass die in der Praxis von *American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines* um das Jahr 2015 getroffene Entscheidung, keine Treibstoffpreissicherungen mehr abzuschließen (siehe: Kapitel 4.1), über das Modell als vorteilhaft eingestuft wird. Diese schematische Einschätzung gilt unabhängig von der konkreten Ausgestaltung einer möglichen Sicherungsstrategie. Während die Unterstützung der praktischen Entscheidung zur Nicht-Sicherung durch das Modell im Rahmen der ex-ante Analyse primär auf eine Kombination aus einer Verringerung der allgemeinen Wettbewerbssituation sowie einer Verbesserung der individuellen wirtschaftlichen Lage zurückgeführt werden konnte (siehe: Kapitel 7.1.1.6), muss im Rahmen der ex-post Analyse zusätzlich die Treibstoffpreisentwicklung zwischen 2015 und 2019 Erwähnung finden. Der in diesem Zeitraum beobachtete Treibstoffpreisrückgang begünstigt maßgeblich den Vorteil der Nicht-Sicherung zwischen 2015 und 2019, wodurch im Rahmen der ex-post Analyse Ergebnisse erzielt werden, welche die praktische Entscheidung zur Nicht-Sicherung unterstützen. Es sei darauf verwiesen, dass dieser erst ex-post beobachtbare Effekt im Kontext der Entscheidung zur prospektiven Beendigung der Sicherungsaktivität weder durch das Modell noch durch die drei Gesellschaften antizipiert werden konnte, so dass der ex-post Vorteil der getroffenen Entscheidung in Teilen auch dem Faktor Glück zugeschrieben werden muss. Um das real beobachtete Verhalten der drei Fluggesellschaften über das in dieser Arbeit entwickelte Simulationsmodell quantitativ zu fundieren und zu rationalisieren, sollten primär weiterhin die mittels des Modells erzielten ex-ante Ergebnisse berücksichtigt werden.

7.1.3 Übergeordnete Analyse erwarteter und realisierter DWCCF

Im Rahmen der vorangegangenen Kapitel 7.1.1 sowie 7.1.2 konnten unter Rückgriff auf die Ergebnisse der einzelnen Simulationsläufe bislang lediglich deskriptive Beschreibungen der erzielten ex-ante (siehe: Tabelle 84) sowie der ex-post (siehe: Tabelle 87) Ergebnisse in Bezug auf erwartete und realisierte DWCCF-Differenzen vorgestellt werden. Um das aufgestellte Simulationsmodell zu validieren, muss abschließend zusätzlich untersucht werden, ob statistisch belegbar aus einer durch den Einsatz von Sicherungen verursachten ex-ante Erhöhung von erwarteten DWCCF auch eine ex-post Erhöhung der realisierten DWCCF

folgt.⁶⁰⁴ Zudem war es auf Basis der zuvor genutzten Analysemethoden bislang noch nicht möglich, statistisch belastbare Aussagen darüber zu treffen welche ex-ante beeinflussbaren Faktoren aus der ex-post Sicht einen signifikanten Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg einer Sicherungsstrategie ausüben. Dies wird in Kapitel 7.1.3 ebenfalls nachgeholt.

Um gleichzeitig verschiedene Einflussfaktoren zu berücksichtigen und eine Aussage über deren möglichen Einfluss auf realisierte DWCCF-Differenzen treffen zu können, wird ein multivariates lineares Regressionsmodell aufgestellt.⁶⁰⁵ Dieses ist wie folgt definiert:

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 * DL\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 \\ & * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_5 * Risiko_h + \beta_6 * Budget_h \\ & + \beta_7 * S.Ende_h + \beta_8 * S.Horizont_h + \beta_9 * SG_{h,SG} + \beta_{10} \\ & * PrS\_dummy_h + \beta_{11} * PrV\_dummy_h + \beta_{12} * VV\_dummy_h + \beta_{13} \\ & * Plan\_dummy_h + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned} \quad (7.5)$$

Der Index h determiniert, auf welchen der 96 Fälle sich eine Beobachtung bezieht, wobei aus der Zuordnung zu einem Fall h auch folgt, auf welche Fluggesellschaft sich die Beobachtung bezieht. Die Ausgestaltungen aller Fälle sind Tabelle 84 im Anhang B I zu entnehmen. Der Index SG gibt an, welcher Sicherungsgrad für die jeweilige Beobachtung von Relevanz ist. Die zu erklärende Variable $\Delta DWCCF_{h,SG}$ beschreibt unter Berücksichtigung des Sicherungsgrades den durchschnittlichen ex-post Vor- oder Nachteil der abgeschlossenen Sicherungen für Fall h gemäß (7.4).⁶⁰⁶ Die erklärende Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ beschreibt den durchschnittlichen ex-ante Vor- oder Nachteil der Sicherungen für Fall h gemäß (7.2).⁶⁰⁷

Unter Berücksichtigung der zuvor vorgestellten deskriptiven Ergebnisse wird angenommen, dass die Stärke des Einflusses von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ auf $\Delta DWCCF_{h,SG}$ gegebenenfalls bei verschiedenen Fluggesellschaften unterschiedlich ausgeprägt ist. Daher wird das Regressionsmodell so spezifiziert, dass dieses gesellschaftsindividuelle Stärken des Zusammenhangs erfassen kann. Dies geschieht durch Rückgriff auf binäre Gesellschafts-Dummy-Variablen: AA_dummy_h , DL_dummy_h , WN_dummy_h und UA_dummy_h . Diese nehmen den Wert 1 (andernfalls 0) an, sofern h der jeweiligen Fluggesellschaft zuzuordnen ist. Da die Dummy-Variablen im Regressionsmodell mit der erklärenden Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ multipliziert werden, folgt, dass die zu errechnenden Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4 gesellschaftsindividuell den Zusammenhang zwischen erwarteten und realisierten DWCCF-Differenzen offenlegen.⁶⁰⁸ Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4 mit positivem (negativem) Vorzeichen und statistischer Signifikanz deuten auf einen von null unterscheidbaren

⁶⁰⁴ Laut Balci (1998) steht bei der Validierung des Modells die Frage danach im Mittelpunkt, ob das Modell sich entsprechend der Studienziele verhält und somit, ob das richtige Modell („right model“) erstellt wurde. Vgl. Balci (1998): S. 336.

⁶⁰⁵ Für eine Diskussion zu Hintergründen multivariater Regressionsmodelle wird auf die ausführliche Darstellung in Kapitel 6.2.2 sowie im zugehörigen Anhang A X verwiesen. Beim Aufstellen des Modells wird an dieser Stelle zunächst ungeprüft angenommen, dass alle Annahmen zum Aufstellen eines solchen Modells erfüllt sind, sodass es sich bei den ermittelten OLS-Schätzern um die besten linearen erwartungstreuen Schätzer handelt. Eine inhaltliche Diskussion zur Korrektheit der Annahmen findet sich im Anhang A XIII. d). Dort wird auch näher erläutert, wieso das genutzte Regressionsdesign mit gleichzeitigem Rückgriff auf vier Dummy-Variablen sowie einen Achsenabschnitt für den vorliegenden Anwendungsfall eine geeignete Modellierungsalternative darstellt. Vgl. Hackl (2013): S. 30 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 68 ff., 102.

⁶⁰⁶ Die beobachteten Ausprägungen der Kennziffer für alle Fälle und Sicherungsgrade finden sich in Tabelle 87.

⁶⁰⁷ Die beobachteten Ausprägungen der Kennziffer für alle Fälle finden sich in Tabelle 84. Wie in Kapitel 7.1.1.5 dargestellt, ist die Größe jeweils unabhängig vom gewählten Sicherungsgrad definiert.

⁶⁰⁸ Durch die Multiplikation werden sogenannte „Interaction Terms“ erzeugt. Vgl. Wooldridge (2009): S. 238 ff.

positiven (negativen) Zusammenhang zwischen erwarteten $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ und realisierten $\Delta DWCCF_{h,SG}$ für die betroffene Fluggesellschaft hin. Der jeweilige Regressionskoeffizient selbst gibt gesellschaftsindividuell an, welche Veränderung von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ im Durchschnitt aus einer Steigerung von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ um eins resultiert.⁶⁰⁹

Die weiteren erklärenden Variablen beschreiben unter anderem die Risikobereitschaft ($Risiko_h$), das gewählte Prämienbudget ($Budget_h$), das Sicherungsende ($S.Ende_h$), den maximalen Sicherungshorizont ($S.Horizont_h$) sowie den Zielsicherungsgrad ($SG_{h,SG}$). Die binären Sicherungsziel-Dummy-Variablen PrS_dummy_h (Schutz vor Preisanstieg), PrV_dummy_h (Partizipation an Preisverfall), VV_dummy_h (Vermindern der Volatilität) sowie $Plan\_dummy_h$ (Erhöhen der Planungssicherheit) nehmen den Wert 1 an, sofern in Fall h das jeweilige nachrangige Sicherungsziel verfolgt wird (andernfalls 0).⁶¹⁰ Die Ausgestaltung aller erklärenden Variablen pro Beobachtung folgt aus der Fallzuordnung über den Index h sowie aus dem gewählten Zielsicherungsgrad SG . Die zu errechnenden Regressionskoeffizienten β_5 bis β_{13} beschreiben jeweils den Einfluss der ihnen in (7.5) zugeordneten erklärenden Variable auf die zu erklärende Variable $\Delta DWCCF_{h,SG}$. Der zu errechnende Koeffizient β_0 entspricht dem konstanten y-Achsenabschnitt. $\varepsilon_{h,SG}$ stellt die Störgröße des Regressionsmodells dar, welche Abweichungen zwischen errechneten Werten und tatsächlich beobachteten Ausprägungen von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ erfasst.

Die Rohdaten liegen originär als Paneldatensatz vor, in welchem individuelle Zeitreihendaten pro Fall h mit Sicherungsgrad SG für jeden historischen Zeitraum $\bar{T}_s$ verfügbar sind. Da das Regressionsmodell gemäß der Darstellung in (7.5) jedoch auf einen aggregierten Wert je Fall und Zielsicherungsgrad ($\Delta DWCCF_{h,SG}$ statt $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$) zurückgreift, entfällt in der Regressionsanalyse die Zeitreihenkomponente des Datensatzes. Bei dem in der Regressionsanalyse berücksichtigten Datensatz handelt es sich folglich um einen Querschnittsdatsatz mit 148 Beobachtungen (siehe: Kapitel 7.1.2.1). Das Zurückgreifen auf einen Querschnittsdatsatz ist deshalb hilfreich, weil so auf das Einführen zusätzlicher erklärender Variablen zur Kontrolle über mögliche zeitabhängige Effekte (Beispiele: Saisonalität, allgemeine Konjunktur, finanzielle Situation) verzichtet werden kann.⁶¹¹ Um dennoch adäquat auf zuvor beobachtete zeitabhängige Unterschiede (siehe: Kapitel 7.1.1.6) zu kontrollieren, wird die Regressionsanalyse drei Mal durchgeführt. In den drei einzelnen Auswertungen werden jeweils unterschiedliche $\Delta DWCCF_{h,SG}$ gemäß (7.4) sowie $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ gemäß (7.2) berücksichtigt, welche unter Rückgriff auf Daten für die drei zuvor eingeführten Zeiträume (1) 2007 bis 2019, (2) 2007 bis 2014 und (3) 2015 bis 2019 bestimmt wurden.⁶¹²

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen finden sich in Tabelle 30. Diese zeigen, dass die Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4 in elf von zwölf Fällen statistisch hochsignifikant sind und das erwartete positive Vorzeichen aufweisen. Es zeigt sich demnach mit hoher

⁶⁰⁹ Alternative Modellformulierung: Durch Nutzen der Gesellschaftsdummies aber ohne Multiplikation mit der erklärenden Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ würde ein Modell formuliert, welches ebenfalls individuelle Effekte pro Gesellschaft detektiert. Ein solches Modell wäre jedoch – abweichend zum Modell gemäß (7.5) – nicht dazu in der Lage, individuelle Steigungen der Regressionsgerade je Fluggesellschaft offenzulegen. In einem solchen Modell müssten zudem entweder β_0 oder eine der vier Dummy-Variablen aus der Regressionsgleichung eliminiert werden. Vgl. Wooldridge (2009): S. 225 ff.

⁶¹⁰ Die Werte der Regressionskoeffizienten β_9 bis β_{13} , welche den binären Sicherungsziel-Dummy-Variablen zugeordnet sind, spiegeln demnach die konstante Differenz von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ zum Referenzfall wider, welcher der Nicht-Nennung von nachrangigen Sicherungszielen entspricht. Vgl. Wooldridge (2009): S. 225 ff.

⁶¹¹ Erläuterungen zu den verschiedenen Arten von Datensätzen finden sich beispielsweise in Wooldridge (2009): S. 444 ff.

⁶¹² Hintergründe zur Auswahl der drei Zeiträume finden sich in Kapitel 7.1.1 und 7.1.2. Dort finden sich gleichfalls alle Erläuterungen zur Berechnung der beiden Kennziffern je Zeitraum. Wie zuvor ebenfalls bereits dargestellt, liegt der erste Erfüllungszeitraum nicht in allen Fällen im Jahr 2007. In solche Fälle beginnen die relevanten Zeiträume erst nach dem Jahr 2007. Alle in den Regressionsanalysen berücksichtigten Daten sind zudem in Tabelle 84 und Tabelle 87 zu finden.

statistischer Signifikanz, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Höhe der ex-ante errechneten DWCCF-Differenzen und der Höhe von ex-post realisierten DWCCF-Differenzen aus Sicherungen besteht. Diese Beobachtung ist für *American Airlines*, *Delta Air Lines* sowie *United Airlines* stabil über alle drei beobachteten Zeiträume. Für *Southwest Airlines* findet sich dieses Ergebnis ebenfalls für die Betrachtungen zum ersten Zeitraum sowie bei Berücksichtigung des gesamten Datensatzes. Für den zweiten Zeitraum findet sich ein Regressionskoeffizient mit einem negativen Vorzeichen (-8,49). Demnach liegt im Durchschnitt dieses Datensatzes für *Southwest Airlines* ein abweichender Zusammenhang vor. Übergeordnet deuten die erzielten Ergebnisse (elf hochsignifikante Ergebnisse mit erwartetem Vorzeichen) für den Zusammenhang zwischen ex-ante Prognosen und ex-post Realisierungen dennoch darauf hin, dass eine Verbesserung von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ im Durchschnitt zu einer Erhöhung der realisierten $\Delta DWCCF_{h,SG}$ führt.

Tabelle 30 – Regressionsergebnisse: Prognosequalität OPTA (alle Ergebnisse)

	2007 - 2019	2007 – 2014	2015 - 2019
Beobachtungen	148	148	148
$\beta_1 (AA * \Delta E_{T_0})$	13,90***	15,20***	6,82**
$\beta_2 (DL * \Delta E_{T_0})$	7,14***	8,78***	6,28***
$\beta_3 (WN * \Delta E_{T_0})$	3,08***	4,57***	-8,49**
$\beta_4 (UA * \Delta E_{T_0})$	14,21***	14,63***	19,99***
β_0 (y-Achse)	-3,49***	-7,50***	-0,78
β_5 (Risiko)	-0,04	0,07	0,06
β_6 (Budget)	28,96***	-6,91**	73,81***
β_7 (S.Ende)	0,18***	0,35***	0,03
β_8 (S.Horizont)	-0,01	0,01	-0,04***
β_9 (SG)	0,09	2,08***	-1,61***
β_{10} (PrS)	-0,06	0,11	-0,04
β_{11} (PrV)	0,73***	0,42***	0,36
β_{12} (VV)	-0,09	0,02	-0,54**
β_{13} (Plan)	-0,49***	0,07	-0,73**
R^2	77%	82%	77%
Adj. R^2	74%	80%	75%

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Regressionsgleichung aus (7.5) dar. Die Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf heteroskedastie-robuste White-Standardfehler. Erläuterungen hierzu siehe: Anhang A XIII. d). Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet.

Neben der statistischen Signifikanz deuten die Ausprägungen der vier Regressionskoeffizienten ebenso darauf hin, dass Veränderungen von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ einen ökonomisch signifikanten Einfluss auf $\Delta DWCCF_{h,SG}$ ausüben. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die detektierten Einflüsse je Fluggesellschaft teils unterschiedlich ausfallen. So liegen alle Ausprägungen von β_1 zwischen 6,82 und 15,20. Dies bedeutet, dass im Rahmen der Untersuchungen zu *American Airlines* ceteris paribus eine Erhöhung von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ um 0,1 US-Dollar pro Barrel zu einer durchschnittlichen Erhöhung der realisierten $\Delta DWCCF_{h,SG}$ von 0,68 bis 1,52 US-Dollar pro Barrel führt. Die Ergebnisse für andere Fluggesellschaften liegen absolut teils unter den für *American Airlines* erzielten Ergebnissen. Dennoch gilt auch

für diese, dass die errechneten Ausprägungen der Regressionskoeffizienten durchweg auf die ökonomische Signifikanz der Ergebnisse hindeuten.⁶¹³

Da es sich bei einem Modell lediglich um die Abstraktion der Realität handelt, kann im Rahmen der Validierung der Ergebnisse einer Simulationsstudie kein binäres Ergebnis erzielt werden, welches besagt, dass ein aufgestelltes Modell in der Praxis vollkommen korrekt oder vollkommen falsch ist. Stattdessen können die über das Modell erzielten Ergebnisse es aber ermöglichen, die Glaubwürdigkeit des aufgestellten Modells einzuschätzen und diese in ein Verhältnis zum praktischen Nutzen des Modells zu setzen.⁶¹⁴ Die durch das Simulationsmodell erzeugten Ergebnisse werden anhand der Regressionsergebnisse als ökonomisch nützlich (Vorzeichen und Ausprägung der Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4) eingestuft. Zusätzlich besitzen die erzielten Ergebnisse eine hohe Glaubwürdigkeit (statistische Signifikanz der Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4). Ausgehend von dieser Beobachtung und unter Verweis auf die Ausführungen zur Validierung eines Simulationsmodells in Balci (1998) wird geschlussfolgert, dass diese Ergebnisse der Regressionsanalyse darauf hindeuten, dass das richtige und geeignete Simulationsmodell aufgestellt wurde. In diesem Fall sind die Regressionsergebnisse als Validierung des aufgestellten Simulationsmodells anzusehen.⁶¹⁵

Obwohl neben β_1 , β_2 und β_4 für keinen Regressionskoeffizienten über alle drei Untersuchungen hinweg statistisch signifikante Ergebnisse mit durchweg identischem Vorzeichen identifiziert werden, finden sich auch für die weiteren erklärenden Variablen und die zugehörigen Regressionskoeffizienten bemerkenswerte Ergebnisse:

Zunächst deutet das in allen drei Analysen negative Vorzeichen für β_0 darauf hin, dass nur durch den naiven Abschluss von Sicherungen im Durchschnitt DWCCF-Nachteile entstehen.⁶¹⁶ Diese Nachteile können jedoch durch die intelligente Wahl von Parametern der übergeordneten Sicherungsstruktur, die Nennung sinnvoller übergeordneter Sicherungsziele und das ex-ante Vorliegen von $E_{T_0}(DWCCF_h)$ -Vorteilen überkompensiert werden.⁶¹⁷

Daneben liegen alleinig für β_7 (Sicherungsende) und β_{11} (Sicherungsziel: *Partizipation am Preisverfall*) über alle drei Analysen hinweg konsistente (positive) Vorzeichen der Regressionskoeffizienten vor. Die beiden Regressionskoeffizienten besitzen zudem jeweils in zwei Analysen statistische Signifikanz.

Für β_7 (Sicherungsende) finden sich signifikante Ergebnisse für den gesamten Zeitraum sowie für Zeitraum 1: Demnach kann ein weiter entferntes Sicherungsende in einem steigenden

⁶¹³ Wie bereits in Fußnote 464 (siehe: Kapitel 6.2.2.1) dargestellt, wird für Erläuterungen zur Unterscheidung zwischen ökonomischer und statistischer Signifikanz auf Ellis (2010) sowie Wooldridge (2009) verwiesen. Als Methode zur Quantifizierung der ökonomischen Signifikanz (auch: *praktische Signifikanz*) schlägt Ellis (2010) die Bestimmung der Effektstärke (engl. *effect size*) vor. Als quantitative Maße zur Bestimmung der Effektstärke in multivariaten Regressionsmodellen nennt Ellis (2010) unter anderem *Adj. R²* (gesamtes Modell) sowie Cohens *f²* (einzelne erklärende Variablen). Sowohl die erzielten Ergebnisse für *Adj. R²* (siehe: Diskussion am Ende dieses Kapitels und Tabelle 30) als auch für Cohens *f²* (siehe: Diskussion im Anhang A XIII. d) und dort Tabelle 51) deuten darauf hin, dass ein ökonomisch signifikanter Zusammenhang vorliegt. Vgl. Ellis (2010): S. 3 ff., 12, 14 f., 19; vgl. Wooldridge (2009): S. 135 ff.

⁶¹⁴ Vgl. Balci (1998): S. 346.

⁶¹⁵ Vgl. Balci (1998): S. 336 ff., 376 ff. Gemäß Balci (1998) befasst sich die Modellvalidierung im Kern mit „*building the model right*“. Die Einschätzung setzt zudem die Gültigkeit des genutzten Regressionsmodells voraus, welche erst nachfolgend in diesem Kapitel sowie im Anhang A XIII. d) diskutiert wird.

⁶¹⁶ Eine sinnvolle Interpretation von β_0 ist aufgrund des gewählten Regressionsdesigns nicht möglich. β_0 ist ein fiktiver Wert, welcher vorliegt, wenn (1) keine nachrangigen Sicherungsziele genannt werden, (2) für alle Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur 0 gewählt wird und (3) keine Fluggesellschaft gewählt wird oder gilt: $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h) = 0$.

⁶¹⁷ Beispiel für *American Airlines* und den gesamten Zeitraum: Aus $E_{T_0}(DWCCF_h) = 0,1$ USD pro Barrel resultiert ein geschätzter ex-post Vorteil für $\Delta DWCCF_{h,SG}$ von 1,39 USD pro Barrel ($\beta_1 = 13,90$). Wählt man zusätzlich (1) Prämienbudget: 3% ($\beta_6 = 28,96$), (2) Sicherungsende: 6 Monate ($\beta_7 = 0,18$) und (3) nachrangiges Sicherungsziel: *Partizipation am Preisverfall* ($\beta_{11} = 0,73$) resultiert in Summe ein geschätzter ex-post Vorteil von: 1,39 ($= \beta_1 * 0,1$) + 0,87 ($= \beta_6 * 3\%$) + 1,08 ($= \beta_7 * 6$) + 0,73 ($= \beta_{11}$) = 4,07 USD pro Barrel. Dieser Vorteil ist 0,58 USD pro Barrel größer als der über β_0 erfasste initiale Nachteil der Sicherung von 3,49 USD pro Barrel. Für die einzelnen Koeffizienten siehe: Tabelle 30.

Preisumfeld DWCCF-Vorteile generieren, während die erzielten Ergebnisse im fallenden Preisumfeld (Zeitraum 2) statistisch und ökonomisch insignifikant sind. Des Weiteren liefern die Ergebnisse für β_{11} (durchweg positives Vorzeichen mit ökonomischer Signifikanz sowie in zwei Zeiträumen hohe statistische Signifikanz) starke Indizien dafür, dass durch die Aufnahme des nachrangigen Sicherungsziels *Partizipation am Preisverfall* Vorteile bezüglich der realisierten $\Delta DWCCF_{h,SG}$ in verschiedenen Preisumfeldern erzielt werden können. Für die verbleibenden erklärenden Variablen sind die Vorzeichen der Regressionskoeffizienten nicht über alle Untersuchungen hinweg konsistent und besitzen teils keine statistische Signifikanz. Übergeordnet ist davon auszugehen, dass diese Beobachtungen insbesondere durch die sehr unterschiedlichen Treibstoffentwicklungen in den betrachteten Zeiträumen ausgelöst werden. Demnach könnten in einem überwiegend steigenden Preisumfeld (Zeitraum 1) andere Zusammenhänge existieren als in einem Umfeld, das von einem starken Treibstoffpreisverfall dominiert wird (Zeitraum 2).

Für β_5 (Risikobereitschaft) werden Regressionskoeffizienten mit alternierenden Vorzeichen und ohne statistische Signifikanz gefunden. Zudem besitzen die Ergebnisse nur eine sehr geringe ökonomische Signifikanz.⁶¹⁸

Für β_6 (*Budget*) sind die Ergebnisse über den gesamten Zeitraum sowie für Zeitraum 2 statistisch und ökonomisch hochsignifikant und konsistent zu den zuvor in Kapitel 7.1.2.3 vorgestellten Erkenntnissen. Demnach scheinen vor allem in Phasen starken Preisverfalls Sicherungsstrategien, denen eine höhere Prämie zugrunde liegt, Vorteile zu generieren. Abweichend davon liegen für Zeitraum 1 statistisch signifikante Ergebnisse mit negativem Vorzeichen vor, die darauf hindeuten, dass in Phasen eines Preisanstiegs (Zeitraum 1) ex-post Vorteile aus einer höheren Prämienzahlung gegebenenfalls entfallen.

Für β_8 (*Sicherungshorizont*) findet sich nur für Zeitraum 2 ein statistisch signifikantes Ergebnis mit negativem Vorzeichen. Obgleich dieses Ergebnis eine geringe ökonomische Signifikanz besitzt, ist das Vorzeichen dennoch konsistent zu den in Kapitel 7.1.2.3 diskutierten schematischen Beobachtungen und deutet darauf hin, dass eine Verkürzung des Sicherungshorizontes $\Delta DWCCF_{h,SG}$ in einem fallenden Preisumfeld gegebenenfalls verbessert.⁶¹⁹

Für β_9 (*Zielsicherungsgrad*) finden sich stark unterschiedliche Ergebnisse für Zeitraum 1 und Zeitraum 2. Während in Zeitraum 1 ein statistisch und ökonomisch signifikanter Vorteil durch die Wahl eines höheren Zielsicherungsgrades beobachtet wird, liegt ein solcher Vorteil in Zeitraum 2 bei der Wahl eines geringeren Zielsicherungsgrades vor.⁶²⁰ Der Grund für diese Beobachtung ist naheliegend: Während ein hoher Zielsicherungsgrad in einem steigenden Preisumfeld (Zeitraum 1) einen besseren Schutz gegen hohe Treibstoffpreise verspricht, erlaubt ein niedriger Zielsicherungsgrad in einem fallenden Preisumfeld (Zeitraum 2) eine bessere Partizipation am Treibstoffpreisverfall.

Für β_{10} (Sicherungsziel: *Schutz vor Preisanstieg*) finden sich ausschließlich Ergebnisse, die keine statistische und ökonomische Signifikanz aufweisen.

⁶¹⁸ Beispiel: Aus $\beta_5 = 0,07$ (Zeitraum 1) folgt, dass eine Erhöhung der Risikobereitschaft von 2 auf 3 zu einer durchschnittlichen Verbesserung von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ in Höhe von 0,07 USD pro Barrel führt. Bezüglich der Interpretation der Ergebnisse ist zudem darauf hinzuweisen, dass unter Risikobereitschaft 4 der Abschluss von *Keine Sicherung* möglich ist. Da $\Delta DWCCF_{h,SG}$ die Abweichung zwischen dem Ergebnis der Sicherung und dem Ergebnis der Alternative der Nicht-Sicherung erfasst, führt der Abschluss von *Keine Sicherung* somit zwangsweise zu einer geringen Ausprägung von $\Delta DWCCF_{h,SG}$.

⁶¹⁹ Beispiel: Aus $\beta_8 = -0,04$ folgt, dass die Erweiterung des Sicherungshorizontes von 18 auf 24 Monate zu einer durchschnittlichen Verschlechterung von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ in Höhe von 0,24 USD je Barrel führt.

⁶²⁰ Aus dem statistisch signifikanten Wert $\beta_9 = 2,08$ (Zeitraum 1) folgt beispielsweise, dass eine Erhöhung des Sicherungsgrades von 50% auf 90% die $\Delta DWCCF_{h,SG}$ im Durchschnitt um 0,83 USD pro Barrel (= $(90\% - 50\%) \cdot \beta_9$) verbessert. Der Effekt ist ökonomisch signifikant und daher relevant.

Für β_{12} (Sicherungsziel: *Vermindern der Volatilität*) finden sich insignifikante Ergebnisse für den Gesamtzeitraum und für Zeitraum 1. Für Zeitraum 2 liegen hingegen statistisch und ökonomisch hochsignifikante Ergebnisse mit negativem Vorzeichen vor. Die Ergebnisse für Zeitraum 2 zeigen somit, dass in einem fallenden Preisumfeld relevante Nachteile bezüglich realisierter $\Delta DWCCF_{h,SG}$ aus der Nennung des nachrangigen Sicherungsziels *Vermindern der Volatilität* (β_{12}) resultieren können.

Für β_{13} (Sicherungsziel: *Erhöhen der Planungssicherheit*) finden sich statistisch und ökonomisch insignifikante Ergebnisse für Zeitraum 1, wohingegen für Zeitraum 2 sowie den Gesamtzeitraum statistisch und ökonomisch signifikante Ergebnisse mit negativem Vorzeichen vorliegen. Da Zeitraum 2 maßgeblich von einer Preisverfallsphase gekennzeichnet ist, zeigen die Ergebnisse des Modells somit, dass in einem fallenden Preisumfeld Nachteile bezüglich realisierter $\Delta DWCCF_{i,h,SG}$ aus der Nennung des nachrangigen Sicherungsziels *Erhöhen der Planungssicherheit* (β_{13}) resultieren.

Darüber hinaus ist der über das Bestimmtheitsmaß *Adjusted R²* erfasste Erklärungsgehalt der Regressionsanalysen mit durchschnittlich 76% als hoch einzustufen.⁶²¹ Dies bedeutet, dass über das Regressionsmodell ein großer Teil der durchschnittlichen realisierten DWCCF-Differenz zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung erklärt werden kann.

Bei der Interpretation der vorgestellten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass bislang ungeprüft angenommen wurde, dass das aufgestellte Regressionsmodell grundlegende Annahmen erfüllt, die es ermöglichen, die zuvor diskutierten Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Prüfung dieser Annahmen ist im Anhang A XIII. d) zu finden. Die dort dargestellten Ergebnisse deuten übergeordnet darauf hin, dass notwendige Annahmen eingehalten werden und dass die in (7.5) gewählte Regressionsanalyse in allen betrachteten Zeiträumen am besten zur Beschreibung von $\Delta DWCCF_{h,SG}$ geeignet ist.

Vor diesem Hintergrund lässt sich zum Abschluss des Kapitels das Fazit ziehen, dass die durchgeführten Regressionsanalysen starke Indizien dafür liefern, dass im Durchschnitt aus dem Einsatz solcher Sicherungen, die gemäß OPTA ex-ante die erwarteten DWCCF erhöhen, auch eine ex-post Erhöhung der realisierten DWCCF folgt.⁶²² Zur Vollständigkeit sei allerdings auch darauf hingewiesen, dass mit Blick auf die geringe Anzahl an erfassten Beobachtungen (148 je Regressionsanalyse) insbesondere bezüglich der absoluten Höhe dieses Einflusses eine Restunsicherheit verbleibt. Für eine vertiefte Analyse des Zusammenhanges wäre es daher hilfreich, das Regressionsmodell zu erweitern und beispielsweise unter Rückgriff auf $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_S}$ statt $\Delta DWCCF_{h,SG}$ als zu erklärende Variable neu zu spezifizieren.⁶²³ Auf diese oder ähnliche Erweiterungen des Regressionsmodells wurde im Rahmen des begrenzten Umfangs dieser Arbeit verzichtet.

7.2 Der Unternehmenswert (Dynamische DWC-Funktionen)

Unter Berücksichtigung der Modellannahmen wurde in Kapitel 7.1 gezeigt, dass im Durchschnitt eine durch den Abschluss von Treibstoffpreissicherungen ex-ante ausgelöste Erhöhung des erwarteten DWCCF auch ex-post eine durchschnittliche Erhöhung des DWCCF begünstigt. Gemäß den in Kapitel 3 und 5 vorgestellten theoretischen Grundlagen ist anzunehmen, dass aus dieser Beobachtung folgt, dass durch Treibstoffpreissicherungen

⁶²¹ Bestimmtheitsmaße der Regression siehe: Hackl (2013): S. 78 ff.; Wooldridge (2009): S. 40 f., 80 ff.

⁶²² Diese Aussage ergibt sich vor allem daraus, dass für β_1 bis β_4 nahezu ausschließlich positive Regressionskoeffizienten mit hoher statistischer Signifikanz vorgefunden werden können.

⁶²³ Im Rahmen dieses Kapitels wurde bereits erläutert, dass eine solche Erweiterung das Einführen zusätzlicher erklärender Variablen zur Kontrolle über mögliche zeitabhängige Effekte notwendig machen würde.

Unternehmenswert geschaffen wird. Auf Basis dieser Ausgangslage setzt sich Kapitel 7.2 mit der Frage danach auseinander, wie stark der Einfluss ist, den die im Rahmen der Simulationsstudie erzeugten Treibstoffpreissicherungen auf den Unternehmenswert ausüben.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung beschreibt Kapitel 7.2.1 zunächst die Methodik zur Quantifizierung von Unternehmenswertdifferenzen über das Simulationsmodell. Im Anschluss daran erläutert Kapitel 7.2.2, welche Fälle in der Analyse Berücksichtigung finden, bevor Kapitel 7.2.3 die Analyseergebnisse vorstellt und diskutiert.

7.2.1 Methodik und die Berücksichtigung des Gesamtportfolios

Im Rahmen der Modellerstellung wurde zuvor erläutert, dass übergeordnet durch die Treibstoffpreissicherung das Ziel der Unternehmenswertsteigerung angestrebt wird (siehe: Kapitel 4.1.1.2). Um in der Simulationsstudie Aussagen bezüglich der Erreichung dieses Ziels treffen zu können, wird in diesem Kapitel berechnet, wie groß die Differenz zwischen dem Wert eines Unternehmens ohne Hedging im Vergleich zum Wert des Unternehmens unter Berücksichtigung der von OPTA gewählten Sicherungen in verschiedenen Zeitpunkten ist. Als Hintergrund für die Unternehmenswertberechnungen wird auf die Darstellungen zum Unternehmenswert in Kapitel 5.3.1 und insbesondere Formel (5.13) zurückgegriffen. Zudem werden als Basis der Berechnungen weiterhin die in Kapitel 7.1 erzeugten und detailliert beschriebenen Sicherungsportfolios der Fälle 1 bis 96 genutzt.

Angelehnt an bestehende empirische Arbeiten (siehe: Kapitel 3.1.2 und 3.2), wird als zentrale quantitative Kennziffer der Analyse die durch Hedging verursachte Änderung des Unternehmenswertes in Prozent bestimmt.⁶²⁴ Zur Beschreibung des prozentualen Einflusses von Hedging auf den Unternehmenswert bei Rückgriff auf Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in einem Zeitpunkt T_m wird die neue Variable $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ eingeführt. Zusätzlich wird als zweite Kennziffer zur Quantifizierung des Einflusses von Sicherungen auf den Unternehmenswert die Variable $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ eingeführt. Diese beschreibt den absoluten Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert in US-Dollar bei Rückgriff auf Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG in einem Zeitpunkt T_m . Für beide neuen Kennziffern gilt, dass Werte größer null anzeigen, dass durch Hedging ein Unternehmenswertvorteil erzielt wird. Werte kleiner null deuten auf einen Nachteil aus Hedging hin.⁶²⁵

Um unter Berücksichtigung von (5.13) Werte für $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ sowie $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ bestimmen zu können, ist es zunächst notwendig, eine neue Analysemethodik einzuführen, die sich in Teilen von der zuvor in Kapitel 7.1 angewandten Methodik unterscheidet. Zur Bestimmung von erwarteten und realisierten DWCCF unter Berücksichtigung einer einzelnen Derivatekombination w wurden in Kapitel 7.1 ausschließlich Informationen aus dem Sicherungszeitpunkt der Derivatekombination ($T_{0,n}$) sowie Informationen zum konkreten Realisierungszeitraum der Derivatekombination ($\bar{T}_s$) berücksichtigt. Somit wurde für jede Derivatekombination w auch zur Bestimmung der realisierten DWCCF statisch auf die bereits in $T_{0,n}$ determinierte DWC-Funktion zurückgegriffen. Während diese Herangehensweise zur Beurteilung des in Kapitel 7.1 untersuchten Zusammenhanges zwischen dem für eine Derivatekombination w erwarteten und dem für diese Derivatekombination w realisierten

⁶²⁴ Diese Methodik nutzen beispielsweise: Allayannis/Weston (2001), Carter/Rogers/Simkins (2006a), Graham/Rogers (2002) oder MacKay/Moeller (2007). Für Hintergründe siehe: Kapitel 3.1.2 sowie 3.2.

⁶²⁵ Beispiel: Sofern die relative Kennziffer für Fall h an einem Stichtag den Wert +10% (-10%) annimmt, bedeutet dies, dass an diesem Stichtag durch die Sicherungen in Fall h der Unternehmenswert – im Vergleich zur Alternative ohne Sicherung – um 10% erhöht (verringert) ist. Zur Beschreibung aller relevanten Fälle h siehe: Kapitel 7.1 sowie Tabelle 84.

Einfluss von Treibstoffpreissicherungen auf den DWCCF sinnvoll ist, nutzt die nachfolgende Unternehmenswertanalyse eine abweichende Methodik.

Zentral für die folgende Unternehmenswertanalyse ist, dass es sich bei dieser jeweils um eine Stichtagsbetrachtung in einem Zeitpunkt T_m handelt, weshalb im Rahmen einer jeden Analyse stets alle in Zeitpunkt T_m bekannten Informationen zu berücksichtigen sind. Zur Quantifizierung des Einflusses von Sicherungen auf den Wert des Unternehmens müssen daher zunächst jeweils alle Derivatekombinationen w (mit: $w = 1, \dots, W$) berücksichtigt werden, die in einem Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n} \leq T_m$ gehandelt wurden und sich zum Zeitpunkt T_m noch im Bestand der Gesellschaft befinden ($T_m < T_s$)⁶²⁶. Praktisch müssen zur Bestimmung des Einflusses von Hedging auf den Unternehmenswert im Zeitpunkt T_m erwartete DWCCF gemäß (5.8) unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller dieser Derivatekombinationen sowie ohne Einbeziehung von Derivaten berechnet und miteinander verglichen werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich zwischen den unterschiedlichen Entscheidungszeitpunkten der im Bestand befindlichen Sicherungsgeschäfte $T_{0,n}$ und dem Stichtag T_m neue Informationen offenbaren können (gilt für: $T_{0,n} < T_m$), die dynamisch verarbeitet werden müssen. Bei solchen Informationen kann es sich um neue Informationen bezüglich aller Variablen handeln, die zur Berechnung von erwarteten DWCCF zu berücksichtigen sind.⁶²⁷ Abweichend zu vorherigen Analysen können Derivatekombinationen daher nun auch einen von null unterscheidbaren Einfluss auf den erwarteten FCF (siehe: (5.6)) ausüben.⁶²⁸ Des Weiteren müssen neue DWC-Funktionen bestimmt werden, welche alle im Zeitpunkt T_m bekannten Informationen widerspiegeln.

Ausgehend von diesen Voraussetzungen lässt sich zunächst die Kennziffer $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ berechnen, welche den absoluten Einfluss von Hedging auf den Unternehmenswert in US-Dollar bei Rückgriff auf die Sicherungen aus Fall h mit Zielsicherungsgrad SG im Zeitpunkt T_m quantifiziert. Die detaillierte Darstellung der einzelnen Schritte und Formeln zur Herleitung der Kennziffer findet sich im Anhang A XIV. a). Im Zeitpunkt T_m liegen absolute Unternehmenswertvorteile durch Sicherungen vor, sofern gilt: $\Delta Vabs_{h,SG,T_m} > 0$.

Um anschließend $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ zu bestimmen, wird der Quotient zwischen $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ und dem im Zeitpunkt T_m am Markt beobachteten Wert (*Entity Value*) des Unternehmens i (V_{i,T_m}) ermittelt.⁶²⁹ Aus Vereinfachungsgründen wird hierbei unterstellt, dass V_{i,T_m} jeweils dem Referenzwert des Unternehmens ohne Hedging entspricht. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass reale Daten für V_{i,T_m} sich jeweils auf die gesamte Fluggesellschaft beziehen, während $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ auf Basis von Kennziffern errechnet wird, die sich nur auf den inneramerikanischen Passagierverkehr beziehen (siehe: Kapitel 6.1.2). Daher darf V_{i,T_m} nur pro rata berücksichtigt werden, weshalb folgt:⁶³⁰

⁶²⁶ Der Zeitpunkt T_s beschreibt für jede Sicherung das Ende des Erfüllungszeitraumes $\bar{T}_s$. Siehe auch: Abbildung 6.

⁶²⁷ Aus neuen Informationen kann beispielsweise folgen (Liste nicht vollständig): $Fuel_{T_{0,n},\bar{T}_s} \neq Fuel_{T_m,\bar{T}_s}$, $VSG_{i,T_{0,n}} \neq VSG_{i,T_m}$, $Insotrigger_{i,T_{0,n},\bar{T}_s} \neq Insotrigger_{i,T_m,\bar{T}_s}$ oder auch $CR_{4,T_{0,n}} \neq CR_{4,T_m}$.

⁶²⁸ Dies gilt für Derivate, die in einem Zeitpunkt $T_{0,n} < T_m$ gehandelt wurden. Der Grund ist, dass bei Abschluss eines Derivates die Prämie des Derivates der erwarteten zukünftigen Ein- oder Auszahlung entspricht (siehe: Kapitel 3.3). Da die Prämie in $T_{0,n}$ fixiert wurde, kann in T_m die Summe aus in $T_{0,n}$ bestimmter Prämie und in T_m erwartetem Sicherungsergebnis ungleich null sein. Die Prämie ist an dieser Stelle zu berücksichtigen, da zuvor festgelegt wurde, dass in OPTA nur Sicherungen mit *deferred Prämie* gehandelt werden dürfen. Siehe hierzu: Kapitel 5.1.2.3 sowie dort Fußnote 363.

⁶²⁹ Die Unternehmenswerte können Bloomberg entnommen werden. Für Hintergründe zu den genutzten Daten siehe: Kapitel 6.1.2.3. Zur Unterscheidung zwischen *Equity Value* und *Entity Value* siehe: Kapitel 3.1.1. V_{i,T_m} wird auf Basis der verfügbaren Daten jeweils am Stichtag 31.12 abgerufen (siehe: Kapitel 6.1.2.3). In den Analysen des aktuellen Kapitels werden daher allen Zeitpunkten T_m innerhalb von Jahr $\bar{Y}$ die Daten am Stichtag 31.12. des Jahres $\bar{Y}$ zugeordnet.

⁶³⁰ $KontRatio_{i,\bar{T}}$ beschreibt für Fluggesellschaft i den prozentualen Anteil der Passagiere auf inneramerikanischen Flügen im Verhältnis zu allen Passagieren der Fluggesellschaft in Periode $\bar{T}$. $KontRatio_{i,\bar{T}}$ wurde bereits zur Verteilung von

Relative Wertänderung durch Hedging (Entity-Value-Ansatz)

$$\Delta Vrel_{h,SG,T_m} = \frac{\Delta Vabs_{h,SG,T_m}}{V_{i,T_m} * KontRatio_{i,T_m}} \quad (7.6)$$

Im Zeitpunkt T_m liegen relative Unternehmenswertvorteile durch Sicherungen vor, sofern gilt: $\Delta Vrel_{h,SG,T_m} > 0$.

Daneben werden über das inhaltsgleiche Vorgehen die Kennziffern $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$ sowie $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$ berechnet. Formeln, Herleitungen und weitere Erläuterungen zu diesen Kennziffern finden sich im Anhang A XIV. b).

7.2.2 Ausgewählte Fälle und betrachteter Zeitraum

In Kapitel 7.1 wurden zuvor Sicherungsportfolien für insgesamt 96 unterschiedliche Fälle erzeugt und analysiert. In Kapitel 7.2 wird lediglich eine Auswahl dieser 96 Fälle berücksichtigt. Der Grund für diese Einschränkung ist, dass die Berechnung gemäß der in diesem Kapitel genutzten Methodik für einen Fall im Durchschnitt der durchgeführten Untersuchungen zwölf Stunden Rechenzeit in Anspruch nimmt.⁶³¹ Daher wird für die Unternehmenswertanalyse aus jedem der 16 Cluster (siehe: Kapitel 7.1.1.1) jeweils ein Muster-Fall ausgewählt. Somit werden vier Fälle je Fluggesellschaft berücksichtigt. Um Verzerrungen der Ergebnisse durch eine aktive Vorauswahl von über- oder unterlegenen Fällen zu vermeiden, werden die Fälle anhand von vorgegebenen Kriterien selektiert: Es werden jeweils vier Fälle berücksichtigt, die in Kapitel 7.1 innerhalb ihres Clusters bezüglich $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ die besten (Fälle 9, 44, 72 und 89) sowie die schlechtesten (Fälle 2, 39, 56 und 94) ex-ante Ergebnisse für den gesamten Untersuchungszeitraum aufweisen (siehe: Tabelle 84). Außerdem werden jeweils vier Fälle berücksichtigt, welche die besten (Fälle: 19, 28, 63 und 84) sowie die schlechtesten (Fälle: 16, 33, 52 und 75) ex-post Ergebnisse in Bezug auf $\Delta DWCCF_{h,SG}$ für den gesamten Untersuchungszeitraum erzielen (siehe: Tabelle 87).⁶³² Es wurde zudem beachtet, dass unter jedem der vier Kriterien ein Fall pro Fluggesellschaft erfasst ist.

Pro ausgewähltem Fall werden Unternehmenswertdifferenzen jeweils zum Ende eines jeden Quartals berechnet, wobei als Stichtag der Analyse stets der letzte Börsenhandelstag des Quartals genutzt wird.⁶³³ Da im Rahmen der Simulationsstudie keine Sicherungen vor dem 15.05.2007 gehandelt werden (siehe: Tabelle 13), fällt der frühestmögliche Stichtag auf den 30.06.2007.⁶³⁴ Da keine Sicherungen für Erfüllungszeiträume nach Dezember 2019 abgeschlossen werden, fällt der letzte Stichtag auf den 30.09.2019. Somit werden maximal 50 Quartalsstichtage bei der Analyse eines einzelnen Falles berücksichtigt und an einem

VerbFlug_T auf Verkehrsgebiete genutzt (siehe: Kapitel 6.1.2.1 und Anhang A IX. a)). Daten für *KontRatio_{i,T}* stehen pro Quartal zur Verfügung. Allen Zeitpunkten T_m innerhalb von Quartal Q werden hier Daten des Quartals Q zugeordnet.

⁶³¹ Unter den 16 betrachteten Fällen liegt die maximale benötigte Rechenzeit bei rund 24 Stunden (Fall 72). Die minimale Rechenzeit beträgt rund 4 Stunden (Fall 89). Die Dauer der Auswertung wird primär durch die Anzahl der an einzelnen Stichtagen im Bestand befindlichen Sicherungsgeschäfte determiniert. Diese Anzahl wird wiederum maßgeblich vom Sicherungsende sowie dem maximalen Sicherungshorizont in einem Fall beeinflusst.

⁶³² Sofern für einzelne Fälle h in Kapitel 7.1 unterschiedliche Sicherungsgrade SG berücksichtigt wurden, wird für das ex-post Kriterium jeweils der Sicherungsgrad zugrunde gelegt, der bei Erreichung des Kriteriums vorliegt. Bei den gemäß ex-ante Kriterium gewählten Fällen wird, sofern mehr als ein Sicherungsgrad zur Verfügung steht, für die vier vorteilhaften Fälle der niedrigere und für die vier nachteiligen Fälle der höhere Zielsicherungsgrad berücksichtigt. Sofern Fälle auch in einer anderen Kategorie hätten gewählt werden können, bemisst sich die Wahl des Zielsicherungsgrades an der Kriteriums-Zuordnung im Fließtext. Sofern mehrere Fälle in einem Cluster identische Ergebnisse aufweisen, wird ein Fall ausgewählt.

⁶³³ Derivate für den Monat, in welchem Stichtag T_m liegt, werden nicht berücksichtigt (folgt aus: $T_m < T_s$). Dies gilt auch dann, wenn der letzte Börsenhandelstag vor dem letzten Kalendertag eines Monats liegt. Hier gilt $T_m < T_s$ nicht streng.

⁶³⁴ Abweichende früheste Stichtage: *Delta Air Lines* 30.09.2007 und *United Airlines* 31.03.2010. Siehe: Tabelle 13.

Stichtag werden gleichzeitig maximal 624 im Bestand befindliche Sicherungen analysiert.⁶³⁵ Um Verzerrungen aus unvollständigen Sicherungsportfolien zu Beginn und am Ende der analysierten Zeitreihen zu vermeiden, wird außerdem festgelegt, dass jeweils nur solche Stichtage berücksichtigt werden, an welchen das Sicherungsportfolio mehr als 50% der Sicherungen im Bestand hat, die bei vollständiger Regelsicherung für den betrachteten Fall zu erwarten sind.⁶³⁶ Fortan verweist T_1 (Beispiel: 30.06.2007) auf den ersten und T_M (Beispiel: 30.09.2019) auf den letzten relevanten Stichtag eines Falles (allgemein: T_m) unter Beachtung dieser Regel.

7.2.3 Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse

Als Ausgangspunkt der folgenden Analyse werden zunächst gemäß der in Kapitel 7.2.1 beschriebenen Methodik für alle 16 ausgewählten Fälle und pro Fall für alle in Kapitel 7.2.2 festgelegten Stichtage T_m (mit: $m = 1, \dots, M$) zwischen 2007 und 2019 Werte für $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ und $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ berechnet.

Um eine einfachere Vergleichbarkeit aller 16 untersuchten Fälle zu ermöglichen, wird zudem pro Fall h jeweils der arithmetische Mittelwert über alle $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ sowie über alle $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ der Stichtage T_m (mit: $m = 1, \dots, M$) berechnet. Für Fall h mit Sicherungsgrad SG lässt sich die neu definierte relative Variable $\Delta Vrel_{h,SG}$ wie folgt errechnen:

Durchschnittliche relative Unternehmenswertdifferenzen je Fall

$$\Delta Vrel_{h,SG} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vrel_{h,SG,T_m}) \quad (7.7)$$

Über das inhaltsgleiche Vorgehen wird die durchschnittliche absolute Unternehmenswertdifferenz $\Delta Vabs_{h,SG}$ berechnet. Zudem werden die durchschnittlichen Einflüsse der Teilkomponenten FCF ($\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF} / \Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$) und DWC ($\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC} / \Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$) über diese Methode quantifiziert. Die zugehörigen Formeln finden sich im Anhang A XIV. d). Ausgehend von den Beobachtungen in Kapitel 7.1 werden Durchschnittswerte zusätzlich jeweils auch separat über alle Stichtage ermittelt, (1) die innerhalb des Zeitraums bis Dezember 2014 sowie (2) zwischen Januar 2015 und Dezember 2019 liegen.⁶³⁷

Zur Veranschaulichung sind Ergebnisse von $\Delta Vrel_{h,SG}$ für einen Beispielfall pro Fluggesellschaft in Tabelle 31 dargestellt. Alle weiteren Ergebnisse finden sich in Tabelle 99 (relativer Einfluss) und Tabelle 100 (absoluter Einfluss) im Anhang B I. Dort sind zudem je Fall h auch Extrema der Kennziffern für einzelne Stichtage T_m dargestellt.

Darstellungen von Ergebnissen je Stichtag T_m finden sich zudem in Übersichtsgrafiken je Fluggesellschaft. Exemplarisch zeigen Abbildung 29 und Abbildung 30 für *American Airlines* relative und absolute Einflüsse der Sicherungen auf den Unternehmenswert pro Fall und Stichtag. Identische Darstellungen für die anderen drei Gesellschaften finden sich mit Abbildung 92 bis Abbildung 97 im Anhang B II.

⁶³⁵ Die maximalen 624 Sicherungen finden sich für die Fälle 52, 56 und 72.

⁶³⁶ Ein Beispiel zur Veranschaulichung und Erläuterung dieser Regelung findet sich im Anhang A XIV. c).

⁶³⁷ Für Zeitraum 1 gilt folglich, dass $m = M$ stets dem 31.12.2014 zugeordnet wird. In Zeitraum 2 wird $m = 1$ stets dem Stichtag 31.03.2015 und $m = M$ spätestens dem Stichtag 30.09.2019 zugeordnet.

Tabelle 31 – Einfluss der Sicherung auf den Unternehmenswert (ausgewählte Fälle)

Fall	Airline	Zielsicherungsgrad	$\Delta Vrel_{h,SG}$ (2007 - 2019)	$\Delta Vrel_{h,SG}$ (2007 - 2014)	$\Delta Vrel_{h,SG}$ (2015 - 2019)
9	AA	90%	1,07% (☑)	1,91% (☑)	-0,35% (☒)
33	DL	90%	-0,67% (☒)	-0,08% (☒)	-1,68% (☒)
72	WN	50%	0,57% (☑)	0,96% (☑)	-0,11% (☒)
89	UA	50%	0,17% (☑)	0,43% (☑)	-0,08% (☒)

Die Tabelle veranschaulicht relative Unternehmenswertdifferenzen gemäß (7.7) für vier Beispielfälle getrennt nach Berücksichtigung aller Quartalsstichtage (1) innerhalb des gesamten Zeitraums, (2) innerhalb von Zeitraum 1 sowie (3) innerhalb von Zeitraum 2. Die Zuordnung der Fallnummern ist Tabelle 84 zu entnehmen. Sofern die Ausprägung der Kennziffer einen Vorteil aus Sicherungen darstellt, ist dies durch ☑ visualisiert. Detaillierte Ergebnisse für alle 16 betrachteten Fälle finden sich in Tabelle 99 im Anhang B I.

Nachfolgend befassen sich die Kapitel 7.2.3.1 (relativer Einfluss) und 7.2.3.2 (absoluter Einfluss) mit der Analyse und Diskussion der erzielten Ergebnisse. Kapitel 7.2.3.3 ordnet die Ergebnisse abschließend in den Kontext bestehender wissenschaftlicher Arbeiten ein.

7.2.3.1 Relative Unternehmenswertdifferenzen

Als Startpunkt der Analyse zu relativen Unternehmenswertdifferenzen findet sich in Tabelle 32 eine schematische Übersicht, die relative Vor- und Nachteile aus Sicherungen in einer aggregierten Form zusammenfasst. Pro Zelle der Tabelle wird an erster Stelle ausgewiesen, in wie vielen der vier Fälle pro Fluggesellschaft $\Delta Vrel_{h,SG}$ einen durchschnittlichen Vorteil durch Sicherungen anzeigt ($\Delta Vrel_{h,SG} > 0$). An zweiter Stelle ist die Anzahl an Fällen dargestellt, in welchen ein Nachteil durch Sicherungen vorzufinden ist ($\Delta Vrel_{h,SG} < 0$).

Die Einzelergebnisse pro Fall, welche Tabelle 32 zugrunde liegen, finden sich in Tabelle 99 im Anhang B I. Ergänzend finden sich in Tabelle 33 und Tabelle 36 zudem Informationen zu durchschnittlichen Ergebnissen je Fluggesellschaft sowie zu Extrema der Unternehmenswertdifferenzen. Die in den genannten Tabellen dargestellten Ergebnisse bezüglich relativer Unternehmenswertdifferenzen werden nachfolgend gemeinschaftlich beschrieben.

Tabelle 32 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung I

Kennziffer	Zeitraum	# Fälle Vorteil Sicherung / # Fälle Nachteil Sicherung				
		AA	DL	WN	UA	Gesamt
$\Delta Vrel_{h,SG}$	2007-2019	Vorteil: 4 / Nachteil: 0	2 / 2	4 / 0	4 / 0	14 / 2
	2007-2014	4 / 0	3 / 1	4 / 0	4 / 0	15 / 1
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$	Extrema	4 / 0	4 / 0	4 / 0	4 / 0	16 / 0

Die Tabelle gibt an erster Stelle je Zelle an, in wie vielen Fällen ein Vorteil aus Sicherungen vorliegt. Nach dem Zeichen „/“ ist dargestellt, in wie vielen Fällen ein Nachteil aus Sicherungen vorliegt. Vorteile der Sicherung bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}$ ergeben sich aus $\Delta Vrel_{h,SG} > 0$. Nachteile ergeben sich aus $\Delta Vrel_{h,SG} < 0$. Die Zeiträume determinieren m und M bei der Berechnung von $\Delta Vrel_{h,SG}$ gemäß (7.7). Für |Extrema| werden die Beträge des maximalen Vor- sowie Nachteils an einem Stichtag ($\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$) je Fall h miteinander verglichen. Je Fluggesellschaft werden vier Fälle untersucht. Sofern die hier dargestellte Summe aus der Anzahl von Vor- und Nachteilen kleiner als vier ist, liegt teils eine Differenz von null vor. Die zugrundeliegenden Detailergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 99 im Anhang B I.

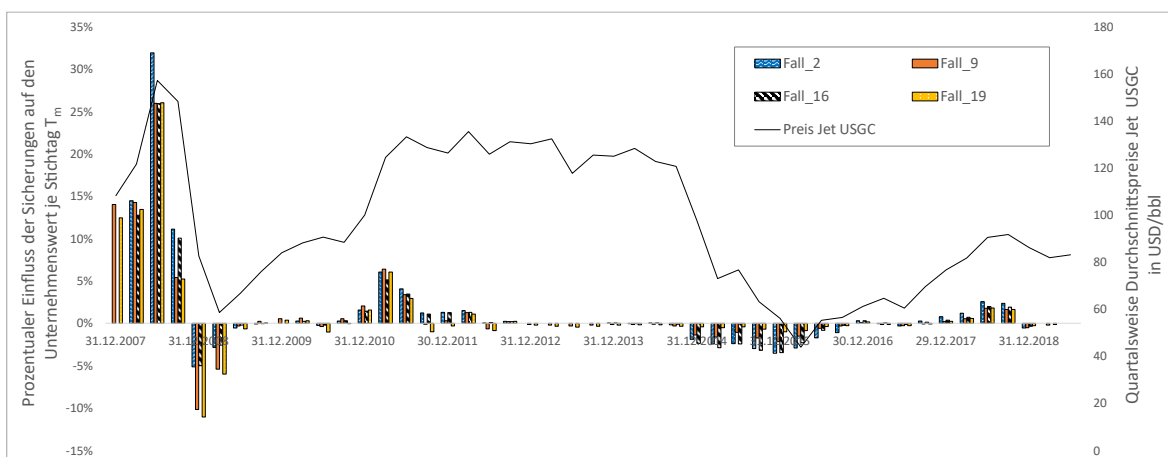
Ersichtlich ist in Tabelle 32 zunächst, dass unter Berücksichtigung des gesamten Zeitraums in 14 von 16 Fällen (Quote: 88%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen Unternehmenswert geschaffen wird ($\Delta Vrel_{h,SG} > 0$). Über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt der durchschnittliche Einfluss auf den Unternehmenswert dabei für einzelne Fälle zwischen maximal 1,20% (Fall 2 – *American Airlines*) und minimal -0,67% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im Durchschnitt aller 16 Fälle ergibt sich ein relativer Unternehmenswertvorteil von 0,34% (siehe: Tabelle 99).

Unter den 16 ausgewählten Fällen werden fünf Fälle berücksichtigt, bei welchen ein Sicherungshorizont von 35 Monaten vorliegt (Fälle 33 und 39 – *Delta Air Lines* sowie Fälle 52,

56 und 72 – *Southwest Airlines*). Unter diesen finden sich wiederum vier Fälle, denen ein Sicherungsgrad von 90% zugrunde liegt (Fälle 33, 39, 52 und 56). Auffällig bei der Interpretation der Ergebnisse ist, dass beide Fälle, in welchen keine Vorteile aus Sicherungen generiert werden, unter diesen Fällen zu finden sind (Fälle 33, 39) und dass auch derjenige Fall, welcher unter allen restlichen Fällen den geringsten relativen Vorteil erzielt, ebenfalls dieser Fallgruppe entstammt (Fall 56). Es ist zudem erwähnenswert, dass die Fälle 33 und 39, welche als einzige auf durchschnittliche Unternehmenswertnachteile aus Sicherungen hindeuten, beide auf *Delta Air Lines* referenzieren. Es wurde zuvor in Kapitel 7.1 bereits diskutiert, dass OPTA für *Delta Air Lines* aufgrund der Kombination aus einer sehr geringen ausgewählten Risikobereitschaft, der Existenz von starken finanziellen Restriktionen und einem teils eingeschränkten Budget vielfach zum Abschluss nicht-optimaler Sicherungen gezwungen wird. Da unter Verweis auf die Diskussion in Kapitel 7.1 bezweifelt werden kann, ob Händler in der Praxis solche Sicherungen tatsächlich handeln würden, werden nachfolgende Analysen zu Vergleichszwecken jeweils zusätzlich auch ohne Berücksichtigung der Fälle für *Delta Air Lines* berechnet. Exkludiert man aus den genannten Gründen die vier Fälle für *Delta Air Lines*, steigt der durchschnittliche Vorteil aus Sicherungen über alle Fälle und für den gesamten Untersuchungszeitraum auf 0,49% (zuvor: 0,34%).

Bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 1 beziehungsweise Zeitraum 2 finden sich bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}$ Vorteile aus Sicherungen in 15 (Zeitraum 1, Quote: 94%) beziehungsweise in null (Zeitraum 2) Fällen. Die Höhe des durchschnittlichen Einflusses der Sicherungen auf den Unternehmenswert liegt im ersten Untersuchungszeitraum für alle Fälle zwischen 2,26% (Fall 2 – *American Airlines*) und -0,08% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im zweiten Untersuchungszeitraum variiert der durchschnittliche Unternehmenswertnachteil zwischen -0,03% (Fall 19 – *American Airlines*) und -1,68% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Während verteilt über die 16 Fälle in Zeitraum 1 im Durchschnitt ein Unternehmenswertvorteil durch Sicherungen in Höhe von 0,89% vorliegt, findet sich im zweiten Untersuchungszeitraum ein durchschnittlicher Nachteil von -0,54%. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, steigt der Vorteil in Zeitraum 1 auf 1,04%. In Zeitraum 2 verringert sich der Nachteil auf -0,38%.

Abbildung 29 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (AA)



Die Abbildung veranschaulicht für die vier für *American Airlines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m . Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 99 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für Jet US Gulf Coast je Quartal dargestellt.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass der Betrag des maximalen Vorteils bezüglich eines einzelnen Stichtages T_m in jedem untersuchten Fall über dem Betrag des maximalen Nachteils des gleichen Falles liegt (Beispiel: 31,94% vs. -5,12% in Fall 2). Im Durchschnitt liegt

der Betrag des maximalen Vorteils pro Fall um 9 Prozentpunkte über dem Betrag des maximalen Nachteils desselben Falles (siehe: Tabelle 99). Der über alle Fälle hinweg maximale Stichtagswert für $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ beträgt 31,94% und wird für *American Airlines* (Fall 2) am Stichtag 30.06.2008 gemessen. Der maximal an einem Stichtag vorliegende Nachteil findet sich mit -24,42% für *Southwest Airlines* (Fall 56 – Stichtag 31.12.2008).

Tabelle 33 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Extrema an einem Stichtag

	AA	DL	WN	UA
Maximum $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$	31,9% (Fall 2 / 30.06.2008)	10,3% (28 / 30.06.2008)	31,7% (52 / 30.06.2008)	9,7% (84 / 31.03.2011)
Minimum $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$	-11,1% (19 / 31.12.2008)	-7,5% (39 / 31.12.2015)	-24,4% (56 / 31.12.2008)	-3,3% (75 / 29.06.2012)

Die Tabelle zeigt pro Fluggesellschaft die Extremaausprägungen von $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ an einem einzelnen Stichtag T_m unter Berücksichtigung aller relevanten Stichtage über den gesamten Beobachtungszeitraum. Berechnung der Kennziffer gemäß (7.6). In Klammern ist jeweils dargestellt, für welchen Fall h und an welchem Stichtag die extreme Ausprägung der Kennziffer vorliegt. Globale Extrema sind fett markiert. Details zu allen 16 betrachteten Fällen finden sich in Tabelle 99.

Auf eine ausführliche Diskussion zu den Ergebnissen der beiden einzelnen Komponenten ($\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$), welche in Summe die relative Unternehmenswertdifferenz determinieren, wird an dieser Stelle verzichtet. Eine Beschreibung und Diskussion der erzielten Ergebnisse findet sich im Anhang A XIV. e).

7.2.3.2 Absolute Unternehmenswertdifferenzen

Da in der bestehenden Literatur überwiegend der relative Einfluss von Sicherungen auf den Unternehmenswert untersucht wurde, wird auch in dieser Arbeit die relative Unternehmenswertdifferenz als führende Größe betrachtet.⁶³⁸ Um den wissenschaftlichen Diskurs zu erweitern und Zusammenhänge zwischen absoluten und relativen Unternehmenswertdifferenzen offenzulegen, werden an dieser Stelle allerdings zusätzlich relevante Ergebnisse bezüglich der absoluten Unternehmenswertdifferenzen vorgestellt und diskutiert.

Als Hintergrund zur Diskussion wird auf Tabelle 100 im Anhang B I verwiesen, in welcher Detailergebnisse zum absoluten Einfluss der Sicherung auf den Unternehmenswert je Fall dargestellt sind. Eine Zusammenfassung von Ergebnissen bietet Tabelle 34. In Tabelle 35 sind zudem pro Fluggesellschaft Extrema der absoluten Unternehmenswertdifferenzen zu einzelnen Stichtagen dargestellt. Die in den genannten Tabellen erfassten Ergebnisse bezüglich absoluter Unternehmenswertdifferenzen werden nachfolgend gemeinsam beschrieben.

Tabelle 34 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung I

Kennziffer	Zeitraum	# Fälle Vorteil Sicherung / # Fälle Nachteil Sicherung				
		AA	DL	WN	UA	Gesamt
$\Delta Vabs_{h,SG}$	2007-2019	Vorteil: 4 / Nachteil: 0	1 / 3	1 / 3	2 / 2	8 / 8
	2007-2014	4 / 0	2 / 2	3 / 1	4 / 0	13 / 3
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$	Extrema	4 / 0	1 / 3	4 / 0	4 / 0	13 / 3

Die Tabelle gibt an erster Stelle je Zeile an, in wie vielen Fällen ein Vorteil aus Sicherungen vorliegt. Nach dem Zeichen „/“ ist dargestellt, in wie vielen Fällen ein Nachteil aus Sicherungen vorliegt. Vorteile der Sicherung bezüglich $\Delta Vabs_{h,SG}$ ergeben sich aus $\Delta Vabs_{h,SG} > 0$. Nachteile ergeben sich aus $\Delta Vabs_{h,SG} < 0$. Die Zeiträume determinieren m und M bei der Berechnung von $\Delta Vabs_{h,SG}$ (siehe: Formel (A XIV.13)). Für |Extrema| werden die Beträge des maximalen Vor- sowie Nachteils an einem Stichtag ($\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$) je Fall h miteinander verglichen. Je Fluggesellschaft werden vier Fälle untersucht. Sofern die hier dargestellte Summe aus der Anzahl von Vor- und Nachteilen kleiner als vier ist, liegt teils eine Differenz von null vor. Die zugrundeliegenden Detailergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 100 im Anhang B I.

⁶³⁸ Beispielarbeiten sind: Allayannis/Weston (2001), Graham/Rogers (2002), Carter/Rogers/Simkins (2006a), MacKay/Moeller (2007) oder auch Korn (2010). Siehe: Kapitel 3.1 und 3.2.

Ersichtlich ist zunächst in Tabelle 34, dass unter Berücksichtigung des gesamten Untersuchungszeitraums nur in acht von 16 Fällen (Quote: 50%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen absolut Unternehmenswert geschaffen wird ($\Delta Vabs_{h,SG}$). Für relative Unternehmenswertdifferenzen ($\Delta Vrel_{h,SG}$) fanden sich zuvor in 14 Fällen (Quote: 88%) durchschnittliche Vorteile aus Sicherungen. Erwähnenswert ist zudem, dass drei der acht vorteilhaften Fälle auf Risikobereitschaft 4 zurückgreifen (Fälle 16 und 19 – *American Airlines* sowie Fall 89 – *United Airlines*).

Die Höhe des durchschnittlichen absoluten Einflusses der Sicherungen auf den Unternehmenswert über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 59 Millionen US-Dollar (Fall 19 – *American Airlines*) und -201 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Während zuvor für den relativen Einfluss ein durchschnittlicher Vorteil in Höhe von 0,34% durch den Abschluss von Sicherungen detektiert wurde, ergibt sich für absolute Werte im Durchschnitt der 16 Fälle über den gesamten Untersuchungszeitraum ein Nachteil von -28 Millionen US-Dollar (siehe: Tabelle 100). Exkludiert man die vier Fälle für *Delta Air Lines*, verbleibt weiterhin ein Nachteil von -5 Millionen US-Dollar (zuvor Vorteil: 0,49%).

Bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 1 beziehungsweise Zeitraum 2 finden sich bezüglich $\Delta Vabs_{h,SG}$ Vorteile aus Sicherungen in 13 (Zeitraum 1, Quote: 81%) beziehungsweise in null (Zeitraum 2) Fällen. Die Höhe des durchschnittlichen absoluten Einflusses der Sicherungen auf den Unternehmenswert in Zeitraum 1 liegt für alle Fälle zwischen 161 Millionen US-Dollar (Fall 2 – *American Airlines*) und -52 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). In Zeitraum 2 variiert der durchschnittliche Unternehmenswertnachteil zwischen -10 Millionen US-Dollar (Fall 89 – *United Airlines*) und -452 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Während in Zeitraum 1 im Durchschnitt der 16 Fälle ein Vorteil aus Sicherungen von 44 Millionen US-Dollar vorliegt, findet sich im zweiten Untersuchungszeitraum ein durchschnittlicher Nachteil von -147 Millionen US-Dollar. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, steigt der Vorteil in Zeitraum 1 auf 55 Millionen US-Dollar. In Zeitraum 2 verringert sich der durchschnittliche Nachteil auf -103 Millionen US-Dollar.

Tabelle 35 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Extrema an einem Stichtag

	AA	DL	WN	UA
Maximum $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$	2.433 (Fall 2 / 30.06.2008)	1.183 (28 / 30.06.2008)	2.612 (52 / 30.06.2008)	578 (84 / 31.03.2011)
Minimum $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$	-1.000 (2 / 31.12.2015)	-2.178 (39 / 31.12.2015)	-2.012 (56 / 31.12.2008)	-379 (75 / 31.12.2014)

Die Tabelle zeigt pro Fluggesellschaft die Extremaausprägungen von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ in Millionen US-Dollar an einem einzelnen Stichtag T_m unter Berücksichtigung aller Stichtage über den gesamten Zeitraum. Berechnung der Kennziffer gemäß (A XIV.4). In Klammern ist jeweils genannt, für welchen Fall h und an welchem Stichtag die extreme Ausprägung der Kennziffer vorliegt. Globale Extrema sind fett markiert. Details zu allen 16 betrachteten Fällen finden sich in Tabelle 100.

Lag im Rahmen der Analyse des relativen Unternehmenswerteinflusses in jedem untersuchten Fall h der Betrag des maximalen Unternehmenswertvorteils an einem Stichtag über dem Betrag des maximalen Unternehmenswertnachteils an einem Stichtag, gilt dies bei der Betrachtung von absoluten Unternehmenswertdifferenzen (Kennziffer: $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$) nur noch in 13 von 16 Fällen. Der über alle Fälle hinweg maximale Stichtagswert für $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ beträgt 2.612 Millionen US-Dollar (Fall 52 – *Southwest Airlines*, Stichtag 30.06.2008). Der maximale Nachteil an einem Stichtag liegt bei -2.178 Millionen US-Dollar (Fall 39 – *Delta Air Lines*, Stichtag 31.12.2015). Bemerkenswert ist, dass dieser maximale Nachteil in eine Zeitspanne fällt, in welcher der absolute Unternehmenswert im historischen Vergleich sehr hoch war (siehe: Tabelle 67). Auch bei *American Airlines* (Fall 2 / 31.12.2015) und *United*

Aufgrund der hohen realen Unternehmensmarktwerte um das Jahr 2015 (siehe: Tabelle 67) resultieren aus diesen absoluten Nachteilen bezüglich $\Delta V_{abs,h,SG,T_m}$ jedoch im historischen Vergleich nur moderate Nachteile bezüglich der relativen Kennziffer $\Delta V_{rel,h,SG,T_m}$. Diese Beobachtung gilt insbesondere für *American Airlines* und *Southwest Airlines*. Exemplarisch führt bei *American Airlines* (*Southwest Airlines*) in Fall 2 (Fall 52) ein absoluter Nachteil in Höhe von -1.000 (-1.744) Millionen US-Dollar am 31.12.2015 (31.12.2015) lediglich zu einem relativen Unternehmenswertnachteil von -3,5% (-6,3%). Demgegenüber führt beispielhaft bei *American Airlines* (*Southwest Airlines*) in Fall 2 (Fall 72) ein im Betrag deutlich geringerer absoluter Vorteil in Höhe von 804 (1.575) Millionen US-Dollar am 30.09.2008 (30.06.2008) zu einem im Betrag etwa um den Faktor drei höheren relativen Unternehmenswertvorteil von 11,1% (19,1%). Gut ersichtlich sind die chronologischen Diskrepanzen zwischen den Ausprägungen der Amplituden von absoluten und relativen Vor- und Nachteilen im grafischen Vergleich der Fälle je Fluggesellschaft (siehe: Abbildung 29 und Abbildung 30 sowie Abbildung 92 bis Abbildung 97 im Anhang B II). In den Abbildungen ist zudem ersichtlich, dass starke absolute Nachteile aus Treibstoffpreissicherungen primär in Phasen auftreten, in welchen Kerosinpreise im historischen Vergleich günstig waren.

Auf Basis dieser Beobachtungen und unter Berücksichtigung der in Tabelle 67 dargestellten historischen Verläufe der Unternehmenswerte kann für den beobachteten historischen Zeitraum gezeigt werden, dass vergleichsweise hohe absolute Nachteile aus Sicherungen primär in Zeitperioden entstehen, in welchen ohnehin vergleichsweise hohe absolute Unternehmenswerte vorzufinden sind. Gleichfalls gilt, dass hohe relative Vorteile teils in Perioden vorliegen, in welchen nur ein moderater absoluter Vorteil existiert. Hieraus folgt, dass – im betrachteten historischen Zeitraum – große absolute Unternehmenswertnachteile ($\Delta V_{abs_{h,SG,T_m}}$) aus Sicherungen vielfach nur in moderate relative Unternehmenswertnachteile ($\Delta V_{rel_{h,SG,T_m}}$) übersetzt werden, wohingegen große relative Vorteile teils bereits aus moderaten absoluten Vorteilen entstehen. Diese Beobachtung erklärt auch die beobachtete Diskrepanz zwischen den Ergebnissen zu durchschnittlichen relativen und

durchschnittlichen absoluten Einflüssen der Sicherungen auf den Unternehmenswert bei Berücksichtigung der gleichen 16 Fälle.

Auf eine ausführliche Diskussion zu den Ergebnissen der beiden einzelnen Komponenten ($\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$ und $\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$), welche in Summe die absolute Unternehmenswertdifferenz determinieren, wird an dieser Stelle verzichtet. Eine Beschreibung und Diskussion der erzielten Ergebnisse findet sich im Anhang A XIV. f).

7.2.3.3 Diskussion der Ergebnisse und Literaturvergleich

Es ist zu berücksichtigen, dass unter Rückgriff auf die 16 ausgewählten Fälle in den vorangegangenen Analysen keine mit statistischer Signifikanz belegbaren und somit allgemeingültigen Schlussfolgerungen gezogen werden können. Demnach sind die dargestellten Erkenntnisse primär als anekdotische Evidenz zu betrachten. Ausgehend von der in Kapitel 3.1 und 3.2 vorgestellten bestehenden Literatur zum Themenkomplex der Wertschaffung durch Hedging, wird die durchgeführte Analyse dennoch als wertstiftend angesehen. Die Gründe für diese Annahme werden in diesem Kapitel vorgestellt. Die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse bezüglich der Unternehmenswertänderung werden hierfür zudem in den Kontext bestehender wissenschaftlicher Arbeiten eingeordnet.⁶³⁹

Um einen Vergleich zwischen den in dieser Arbeit erzeugten Ergebnissen und den Ergebnissen der bestehenden Literatur durchzuführen, finden sich in Tabelle 36 durchschnittliche Ergebnisse je Fluggesellschaft für die Kennziffer $\Delta Vrel_{h,SG}$.

Ersichtlich ist anhand der Daten in Tabelle 36 abermals, dass große Unterschiede aus dem einer Analyse zugrundeliegenden Zeitraum resultieren können. Darüber hinaus ist selbst in der aggregierten Darstellung ersichtlich, dass innerhalb von Zeiträumen teils große Unterschiede zwischen einzelnen Beobachtungsobjekten existieren. In diesem Kontext wird auf die Darstellung zu maximalen Nachteilen aus der Wahl des längsten Sicherungshorizontes von 35 Monaten in Kapitel 7.2.3.1 und auf die Diskussion zu den Ergebnissen für *Delta Air Lines* im gleichen Kapitel sowie zuvor bereits in Kapitel 7.1 verwiesen. Vor dem Hintergrund der dort dargestellten Erläuterungen wird angenommen, dass die zwischen Fluggesellschaften aufgefundenen Unternehmenswertdifferenzen nicht zwangsweise aufgrund von strukturellen Unterschieden zwischen Gesellschaften existieren, sondern auch auf unterschiedliche Ausgestaltungen der genutzten Sicherungsstrategien zurückzuführen sind, wobei nachteilige Ergebnisse vielfach durch eine Kombination von nicht-opportunen internen Entscheidungen und einschränkenden exogenen Einflüssen entstehen.

Tabelle 36 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung II

$\Delta Vrel_{h,SG}$	AA	DL	WN	UA
2007-2019	1,1%	-0,1%	0,2%	0,2%
2007-2014	1,9%	0,4%	0,6%	0,6%
2015-2019	-0,4%	-1,0%	-0,5%	-0,2%

In der Tabelle finden sich Durchschnittswerte bezüglich der aus Sicherung resultierenden Unternehmenswertdifferenz je Fluggesellschaft. Dargestellte Durchschnittsergebnisse entsprechen pro Fluggesellschaft dem arithmetischen Mittelwert der Ergebnisse des Parameters $\Delta Vrel_{h,SG}$ je Fall (siehe: Tabelle 99 im Anhang B I).

Exemplarisch schränken bei den für *Delta Air Lines* betrachteten vier Fällen die sehr geringe Risikobereitschaft sowie ein geringes gewähltes Prämienbudget in Kombination mit exogenen Einschränkungen aus der finanziellen Situation die Handelsflexibilität stark ein. Im

⁶³⁹ Hintergründe zu bestehenden Arbeiten siehe: Kapitel 3.1.2.2 (allgemeine empirische) sowie Kapitel 3.2 (fluggesellschaftsspezifische). Auf eine abermalige Detailvorstellung wird an dieser Stelle verzichtet.

Rahmen der Simulationsstudie stehen dem Algorithmus in diesen Fällen phasenweise für lange Sicherungshorizonte und hohe Zielsicherungsgrade nur wenige oder gar keine handelbaren Instrumente zur Verfügung (siehe: Kapitel 7.1.1.4). Da das Auftreten dieser unvorteilhaften Situation auch aus aktiven Entscheidungen der Gesellschaft resultiert (aktive Wahl geringer Risikobereitschaft und aktive Wahl geringes Prämienbudget), wird geschlussfolgert, dass Unternehmen in der Praxis durch eine intelligente Kombination der wählbaren Parameter und ein aktives Gegensteuern in Extremsituationen das Auftreten solch starker Nachteile zumindest in Teilen vermeiden können. Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass es legitim ist, beim Vergleich der erzielten Simulationsstudienresultate mit existierenden Studienergebnissen nicht durchgängig die Ergebnisse aller untersuchten Fälle zu berücksichtigen. Stattdessen können Ergebnisse für einzelne Cluster, Fälle, Fluggesellschaften oder Zeiträume separat ausgewählt und mit den Ergebnissen bestehender Studien verglichen werden. Um einen solchen Vergleich zu vereinfachen, findet sich in Tabelle 37 eine Übersicht über relevante Ergebnisse der bestehenden Literatur. Dargestellt sind ausschließlich Studienergebnisse, die bereits in Kapitel 3 vorgestellt und diskutiert wurden.

Tabelle 37 – Unternehmenswertdifferenzen in bestehenden Studien

Studie	Design	Zeitraum Daten	Unternehmenswertdifferenz ⁶⁴⁰
Allayannis/Weston (2001)	Empirie	1990 – 1995	5%
Graham/Rogers (2002)	Empirie	1994 – 1995	1%
Guay/Kothari (2003)	Simulation	(1995 –) 1997	30 Mio. USD
Jin/Jorion (2006)	Empirie	1998 – 2001	-4% bis 1% (ohne stat. Signifikanz)
Carter/Rogers/Simkins (2006a)	Empirie	1992 – 2003	6% bis 10% (mit Leasestruktur „geringer“)
MacKay/Moeller (2007)	Empirie	1985 – 2004	2% bis 3%
Allayannis/Lel/Miller (2012)	Empirie	1990 – 1998	11% bis 13%
Treanor et al. (2014)	Empirie	1994 – 2008	5%

In der Tabelle finden sich die zentralen Ergebnisse bezüglich der Unternehmenswertdifferenzen aus den genannten Studien. Alle Werte gerundet auf ganze Prozent. Für detaillierte Darstellungen der Studien wird auf Kapitel 3.1.2.2 und Kapitel 3.2 verwiesen.

Der Blick auf die absoluten Unternehmenswertdifferenzen ($\Delta V_{abs,h,SG}$) zeigt in der vorliegenden Arbeit Ergebnisse, die mit durchschnittlich -28 Millionen US-Dollar sowie ohne *Delta Air Lines* mit -5 Millionen US-Dollar noch unter den von Guay und Kothari (2003) ermittelten Durchschnittswerten von 30 Millionen US-Dollar liegen. Für Zeitraum 1 liegen die Durchschnittsergebnisse mit 44 Millionen US-Dollar beziehungsweise 55 Millionen US-Dollar ohne *Delta Air Lines* leicht über den Ergebnissen in Guay und Kothari (2003). Es sei jedoch darauf verwiesen, dass die von Guay und Kothari (2003) erzielten statistisch insignifikanten Ergebnisse bezüglich der Wertschaffung von Hedging im Kontrast zu den meisten der anderen bestehenden Arbeiten stehen und dass die von Guay und Kothari (2003) getroffenen Annahmen teils stark vereinfachend sind, wodurch das aufgestellte Modell die Realität möglicherweise nur unzureichend abbildet.⁶⁴¹ Darüber hinaus ist es auf Basis der

⁶⁴⁰ Vgl. Allayannis/Lel/Miller (2012): S. 68, 71 ff. (Ergebnisse in einzelnen Teilanalysen teils höher); vgl. Allayannis/Weston (2001): S. 248 f., 258 ff., 268; vgl. Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 56, 71 ff.; vgl. Graham/Rogers (2002): S. 819, 823 ff., 833 f.; vgl. Guay/Kothari (2003): S. 426, 429 f., 436 ff.; vgl. Jin/Jorion (2006): S. 898, 913 ff.; vgl. MacKay/Moeller (2007): S. 1379 f., 1388 f., 1401 ff.; vgl. Treanor et al. (2014): S. 202 ff., 208. In den genannten Quellen finden sich jeweils auch die Informationen zum Studiendesign sowie zum untersuchten Zeitraum.

⁶⁴¹ Beispielsweise wird in Guay und Kothari (2003) bei der Betrachtung von Rohwarenderivaten als extremer Preisschock eine jährliche Marktpreisänderung von 37% unterstellt. Demgegenüber lag zum Beispiel das 90% Perzentil des Betrags der relativen jährlichen Preisbewegung von WTI im Zeitraum von 1990 bis 2019 bei knapp 53%. Daten zu WTI gemäß Bloomberg (Ticker: „CL1 Comdty“). Des Weiteren werden ausschließlich Vorteile aus Sicherungen durch Marktpreisänderungen betrachtet. Effekte aus gegenläufigen Preisbewegungen, die zu Unternehmenswertnachteilen führen können, werden nicht

Ergebnisse der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Simulationsstudie möglich, Ergebnisse bezüglich der absoluten Unternehmenswertänderung in Guay und Kothari (2003) zu widerlegen. Mit Verweis auf die in Tabelle 35 und Tabelle 100 dargestellten Ergebnisse kann gezeigt werden, dass die in Guay und Kothari (2003) genannten maximalen Unternehmenswertvorteile aus Rohwarensicherungen in Höhe von 360 Millionen US-Dollar den realen maximalen Einfluss der Sicherung auf den absoluten Unternehmenswert massiv unterschätzen.⁶⁴² So deuten die erzielten Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit darauf hin, dass alleine aus Sicherungen für den inneramerikanischen Markt temporär absolute Unternehmenswertvorteile von etwa bis zu 2,5 Milliarden US-Dollar erzielt werden können (Beispiel: Fälle 2, 52 und 56). Vor diesem Hintergrund sollten auch die in Guay und Kothari (2003) gezogenen Schlussfolgerungen zur Nicht-Relevanz von Hedging zumindest als fragwürdig eingestuft werden.

Bezüglich der relativen Unternehmenswertdifferenzen reihen sich die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Werte für $\Delta Vrel_{h,SG}$ insgesamt am unteren Ende der in der Literatur bekannten Ergebnisse ein. Wie in Kapitel 7.2.3.1 dargestellt, liegt in der vorliegenden Arbeit der durchschnittliche berechnete Unternehmenswertvorteil für den gesamten Untersuchungszeitraum bei Nicht-Berücksichtigung von *Delta Air Lines* bei 0,5%. Dieser Wert liegt in der Spannbreite der von Jin und Jorion (2006) genannten Ergebnisse und leicht unter der von Graham und Rogers (2002) ermittelten Unternehmenswertsteigerung von 1%. Betrachtet man ohne *Delta Air Lines* nur Zeitraum 1, liegt der erzielte Durchschnittswert von 1,0% mit den Ergebnissen von Graham und Rogers (2002) gleichauf, befindet sich aber weiterhin unter den Ergebnissen der anderen Arbeiten. Lediglich die Ergebnisse in Höhe von 1,9% für *American Airlines* überschreiten die Ergebnisse von Graham und Rogers (2002) und reihen sich zwischen diesen und MacKay und Moeller (2007) ein.

Eine separate Betrachtung des ersten Untersuchungszeitraums für den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien scheint primär deshalb sinnvoll, weil drei der betrachteten Fluggesellschaften auch in der Praxis vor oder zu Beginn von Zeitraum 2 ihre Sicherungsaktivität einstellten (siehe: Kapitel 4.1), sodass die in der vorliegenden Arbeit aufgefundenen Nachteile aus Sicherungen in dieser Form in der Praxis nicht aufgetreten wären. Da es sich somit für drei Gesellschaften um reine Simulationsergebnisse handelt, die auch im Simulationsmodell vielfach bereits bei Abschluss Erwartungswertnachteile generieren (siehe: Kapitel 7.1.1.6), wären solche Ergebnisse in einer empirischen Studie nicht erfasst worden.

Aus diesem Grund ist ein Vergleich realer empirischer Ergebnisse mit Ergebnissen unter Berücksichtigung von Zeitraum 2 nur partiell hilfreich. Unter Verweis auf (1) die theoretische Diskussion zu Vorteilen aus Hedging, (2) die empirischen Ergebnisse anderer Autoren sowie (3) das real beobachtete Verhalten von Fluggesellschaften in der Praxis ab 2015 werden daher primär die Modellergebnisse zur relativen Unternehmenswertsteigerung im ersten Untersuchungszeitraum (Zeitraum: 2007 bis 2014) als wertvoll erachtet und können als weiterer Indikator zur Validierung des aufgestellten Modells angesehen werden.⁶⁴³

Auch wenn die Ausprägung des relativen Unternehmenswertvorteiles aus Sicherungen eher im Rahmen der konservativen Schätzungen bestehender empirischer Arbeiten liegt, stiftet die durchgeführte Studie für die Wissenschaft dennoch aus verschiedenen Gründen einen Mehrwert. Während über das aufgestellte Modell – soweit bekannt – erstmals in einer

betrachtet. Darüber hinaus werden auch zur Quantifizierung der Marktwertveränderung stark vereinfachende Annahmen getroffen. Vgl. Guay/Kothari (2003): S. 434 f., 455 ff. Die Methodik zum Marktwert erläutern sie im Anhang B.

⁶⁴² Vgl. Guay/Kothari (2003): S. 436.

⁶⁴³ Balci (1998) nennt die Frage danach, ob das Modell sich gemäß den Studienzielen verhält (hier: Unternehmenswertsteigerung) als Mechanismus zur Validierung des Modells. Vgl. Balci (1998): S. 336 ff.

Simulationsstudie vollständige und realitätsnahe Treibstoffpreissicherungsstrategien für Fluggesellschaften erzeugt werden können, ermöglicht die vorgestellte Analysemethodik eine finanztheoretisch fundierte Quantifizierung des Einflusses von konkreten Sicherungsportfolien auf echte Unternehmenswerte. Darüber hinaus ist es mittels der durchgeführten Simulationsstudie möglich, Unterschiede zwischen den heterogenen Unternehmenswerteinflüssen unterschiedlicher Sicherungsstrategien offenzulegen und zu quantifizieren. Ein solch detaillierter Vergleich zwischen unterschiedlichen genutzten Sicherungsstrategien war auf Basis der bestehenden empirischen Arbeiten bislang nicht möglich. Aufgrund dieser Argumente wird die durchgeführte Analyse als wichtige Erweiterung zum aktuellen Stand der Wissenschaft erachtet.

Übergeordnet ist außerdem zu konstatieren, dass Beobachtungen, welche teilweise Unterschiede zwischen den Ergebnissen der in dieser Arbeit durchgeführten Simulationsstudie und den Ergebnissen vorangegangener empirischer Studien offenbaren, weder einen Widerspruch darstellen noch auf Fehler im Design der Studien hindeuten müssen. Stattdessen können unterschiedliche rationale Gründe für diese Beobachtungen verantwortlich sein. Zum Abschluss des Kapitels werden zwei dieser Gründe vorgestellt und diskutiert.

1. Unterschiedliche Kennziffern zur Erfassung des Unternehmenswertes

Da der Unternehmenswert als Nenner von (7.6) maßgeblichen Einfluss auf die Ausgestaltung von $\Delta Vrel_{h,SG}$ ausübt, kann eine methodische Unternehmenswertüber- oder -untererfassung zu einer Über- oder Unterschätzung des Vor- oder Nachteils von Sicherungen führen. In der Mehrheit der zitierten empirischen Studien wird als Stellvertreter-Variable zur Erfassung des Unternehmenswertes ein Quotient aus Markt- und Buchwerten des Unternehmens genutzt.⁶⁴⁴ Unternehmenswertsteigerungen werden mit der Steigerung dieses Quotienten gleichgesetzt. Von dieser Methodik weichen lediglich Graham und Rogers (2002) sowie Guay und Kothari (2003) ab. Als Stellvertreter-Variable für den Wert des Unternehmens greifen Graham und Rogers (2002) auf den Marktwert aller Assets und Guay und Kothari (2003) sowohl auf den börsengehandelten Marktwert des Eigenkapitals als auch auf den Buchwert aller Assets zurück.⁶⁴⁵ Demgegenüber wird in der vorliegenden Arbeit der Marktwert des Unternehmens, welcher über den *Entity Value*⁶⁴⁶ gemessen wird, als Unternehmenswert berücksichtigt. Inhaltlich ist diese Unternehmenswertkennziffer mit hoher Wahrscheinlichkeit identisch zu der von Graham und Rogers (2002) genutzten Kennziffer.⁶⁴⁷ Diese enge Verwandtschaft der genutzten Kennziffern kann eine Erklärung dafür sein, weshalb die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse weitestgehend mit den von Graham und Rogers (2002) ermittelten Resultaten übereinstimmen.

Ob und welche abweichenden Ergebnisse sich in dieser Arbeit durch das Zurückgreifen auf den in anderen Studien als Stellvertreter-Variable genutzten Quotienten ergeben würden,

⁶⁴⁴ Als Stellvertreter-Variable genutzt werden *Tobin's Q* sowie leichte Abwandlungen dieses Parameters in: Allayannis/Lel/Miller (2012): S. 68; Allayannis/Weston (2001): S. 248 f.; Carter/Rogers/Simkins (2006a): S. 71; Jin/Jorion (2006): S. 901 ff.; MacKay/Moeller (2007): S. 1388; Treanor et al. (2014): S. 205, 209. Für eine Definition von *Tobin's Q* siehe beispielsweise: MacKay/Moeller (2007): S. 1388.

⁶⁴⁵ Vgl. Graham/Rogers (2002): S. 833 f.; vgl. Guay/Kothari (2003): S. 429 ff. Daneben beschreiben Guay und Kothari (2003) noch weitere Stellvertreter-Variablen, die in der Analyse aber nur teilweise behandelt werden.

⁶⁴⁶ Konkret wird die von Bloomberg als *Enterprise Value* (entspricht *Entity Value* in dieser Arbeit) definierte Kennziffer genutzt. Siehe auch: Kapitel 6.1.2.3 sowie Erläuterungen zu Tabelle 67 im Anhang B I. Die Wahl dieser Kennziffer ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit konsistent, weil es sich um denjenigen Unternehmenswert handelt, der auch beim Aufstellen des Gesamtmodells gemäß Finanztheorie berücksichtigt werden muss (siehe: Kapitel 5).

⁶⁴⁷ In Graham und Rogers (2002) sowie in der vorliegenden Arbeit wird der Marktwert des Unternehmens als Kennziffer genutzt. Ob die Definitionen der Kennziffern im Detail exakt identisch sind, lässt sich anhand der Datenbeschreibung in Graham und Rogers (2002) allerdings nicht final verifizieren. Vgl. Graham/Rogers (2002): S. 833 f.

soll an dieser Stelle nicht diskutiert werden.⁶⁴⁸ Es verbleibt allerdings die Erkenntnis, dass fünf von sechs Studien, die auf die Berechnung des Unternehmenswertes über einen Quotienten zurückgreifen, höhere Wertsteigerungen durch Sicherungen identifizieren.

2. Positive Verzerrung empirischer Studien durch genutzten Beobachtungszeitraum

Bezüglich der zuvor bereits diskutierten Unterschiede, welche aus der Wahl unterschiedlicher Beobachtungszeiträume resultieren können, ist es notwendig, darauf hinzuweisen, dass die erzeugten Ergebnisse der beiden fluggesellschaftsspezifischen Studien von Carter, Rogers und Simkins (2006a) sowie Treanor et al. (2014) auf Daten beruhen, die aus den Jahren 1992 bis 2003 beziehungsweise 1994 bis 2008 stammen. In Abbildung 1 (siehe: Kapitel 1.1) ist ersichtlich, dass die den beiden Studien zugrundeliegenden Zeiträume maßgeblich durch nachhaltige Treibstoffpreisanstiege gekennzeichnet waren. Bereits visuell einfach erkennbar ist zudem, dass die Studie aus 2006 die beiden gravierendsten Preiserückgänge (2008/2009 sowie 2014/2015) der in Abbildung 1 erfassten 30 Jahre zwischen 1990 und 2019 nicht berücksichtigt. Auch für die Studie aus 2014 gilt, dass diese überwiegend auf Daten in einem steigenden Preismarkt zurückgreift. Der ab September 2008 einsetzende extreme Treibstoffpreisverfall wird durch die quartalsweise Datenerfassung in Treanor et al. (2014) nur im letzten von insgesamt 60 Quartalsdatenpunkten adäquat berücksichtigt.⁶⁴⁹ Verzerrungen, die aus einer selektiven Berücksichtigung von einseitigen Preisentwicklungen resultieren können, zeigen sich beispielsweise in Abbildung 29. Dort ist ersichtlich, dass Unternehmenswertvorteile aus Sicherungen primär in Phasen (stark) steigender Preise vorliegen, wohingegen Nachteile aus Sicherungen allen voran in Zeiten (stark) fallender Treibstoffpreise beobachtet werden können.⁶⁵⁰

Vor diesem Hintergrund ist es wahrscheinlich, dass die von Carter, Rogers und Simkins (2006a) sowie Treanor et al. (2014) erzielten Ergebnisse, die auf einen sehr hohen relativen Unternehmenswertvorteil durch Sicherungen hindeuten, davon beeinflusst sind, dass die untersuchten Zeiträume starke Preiserückgänge nicht oder nur partiell umfassen. Eine Wiederholung der Studie unter Berücksichtigung solcher Zeiträume scheint daher wünschenswert. Ohne eine solche Neuauflage der Studie ist davon auszugehen, dass die detektierten Vorteile von 5% und 10% gegebenenfalls positiv verzerrt sind, sodass echte Unternehmenswertvorteile im Durchschnitt darunter liegen könnten. Abhängig von der Höhe der Verzerrung stellen die Ergebnisse somit keinen Widerspruch zu den Ergebnissen der in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Simulationsstudie dar.

Es sei außerdem darauf hingewiesen, dass auch in der vorliegenden Simulationsstudie für einzelne Stichtage Unternehmenswertvorteile errechnet werden, die innerhalb oder sogar über den von Carter, Rogers und Simkins (2006a) sowie Treanor et al. (2014) genannten Spannen liegen (siehe: Tabelle 35). Das temporäre Erzielen sehr starker Unternehmenswertvorteile kann demnach grundsätzlich über das Simulationsmodell plausibilisiert werden.

⁶⁴⁸ Würde in der vorliegenden Arbeit auf einen Quotienten als Stellvertreter-Variable für den Unternehmenswert zurückgegriffen, müsste eine neue Methodik zur Bestimmung von Unternehmenswertdifferenzen erarbeitet werden, da beispielsweise (7.6) nicht mehr genutzt werden könnte. Daher wird auf eine solche Erweiterung verzichtet.

⁶⁴⁹ Quartalsdurchschnittspreise Jet USGC: 157,29 USD/bbl (2. Quartal 2008), 148,32 USD/bbl (3. Quartal 2008), 82,60 USD/bbl (4. Quartal 2008).

⁶⁵⁰ Abbildung 92 (DL), Abbildung 94 (WN) und Abbildung 96 (UA) im Anhang B II untermauern diese Beobachtung.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Wie in Kapitel 1 dieser Arbeit bereits dargelegt, war es das übergeordnete und vorrangige Ziel der vorliegenden Arbeit, erstmalig ein aus der Finanztheorie abgeleitetes quantitatives Modell zur ex-ante Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen für Fluggesellschaften aufzustellen. Beim Aufstellen dieses Modells wurde insbesondere berücksichtigt, dass erzeugte Ergebnisse für die Praxis relevant sind und identifizierte Sicherungsstrategien vollumfänglich auf diese übertragen werden können. Zur Verifikation und Validierung des aufgestellten Modells wurde darüber hinaus eine umfassende Simulationsstudie unter Rückgriff auf reale historische Markt- und Unternehmensdaten durchgeführt.

Um das formulierte Ziel der Arbeit zu erreichen, wurde im Rahmen der Systemuntersuchung zunächst dargelegt, welche vielfältigen Entscheidungen von einer Fluggesellschaft im Kontext der Treibstoffpreissicherung getroffen werden müssen (siehe: Kapitel 4). Durch eine umfassende Analyse des realen Verhaltens von 14 Fluggesellschaften aus Europa und Nordamerika wurden zentrale Parameter identifiziert, bezüglich deren Ausgestaltung eine Fluggesellschaft beim Aufstellen einer Treibstoffpreissicherungsstrategie aktive Entscheidungen treffen muss. Solche Entscheidungen sind gemäß der durchgeführten Untersuchung notwendig bezüglich der übergeordneten Sicherungsstruktur (maximaler Sicherungshorizont, Zielsicherungsgrad, Sicherungsende, Sicherungsfrequenz, Sicherungsmenge, Sicherungszeitpunkte), des Referenzprodukts (Beispiel: Sicherung in Rohöl oder Kerosin), der Derivateart (Beispiel: Plain-Vanilla-Optionen oder pfadabhängige Durchschnittspreisoptionen), des Derivatetyps (bedingte oder unbedingte Geschäfte) sowie bezüglich des zu handelnden Instruments (Beispiel: Long Call oder Call Spread).

Des Weiteren wurden im Rahmen der Systemuntersuchung zentrale externe Einflussfaktoren und interne Entscheidungskategorien offengelegt, die einen direkten Einfluss auf die Ausgestaltung der genannten Parameter ausüben (siehe: Abbildung 9). Identifizierte externe Einflussfaktoren sind beispielsweise bilanzielle und regulatorische Rahmenbedingungen, Rohwarenmarktpreise sowie die herrschende Wettbewerbssituation. Maßgebliche interne Entscheidungen beziehen sich allen voran auf die Risikobereitschaft einer Fluggesellschaft, die individuellen nachrangigen Sicherungsziele einer Gesellschaft sowie auf das verfügbare Prämienbudget.

Unter Berücksichtigung der bestehenden Literatur zur Kapitalmarkt- und zur Finanzierungstheorie (siehe: Kapitel 3) sowie der im Rahmen der Systemuntersuchung (siehe: Kapitel 4) gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des in der Realität bestehenden Systems wurde anschließend das Modell OPTA⁶⁵¹ aufgestellt (siehe: Kapitel 5 und 6). Der Rückgriff auf OPTA ermöglicht es, unter Berücksichtigung der im jeweiligen Sicherungszeitpunkt vorliegenden internen und externen Rahmenbedingungen, bereits ex-ante optimale Treibstoffpreissicherungen für Fluggesellschaften zu identifizieren. Da es sich beim Abschluss einer Treibstoffpreissicherung um eine Entscheidung unter Unsicherheit handelt, greift OPTA zur Identifikation von optimalen Sicherungen auf Methoden der stochastischen Optimierung zurück.

⁶⁵¹ Modellname als Abkürzung für: *Optimale Treibstoffpreissicherungen für Airlines*.

Durch das Nutzen von OPTA war es im Rahmen der Simulationsstudien in Kapitel 7 möglich, vollständige und praxisgetreue Portfolien von Treibstoffpreissicherungsinstrumenten für Fluggesellschaften zu erzeugen und deren ex-ante sowie ex-post Einfluss auf den ökonomischen Erfolg einer Fluggesellschaft zu quantifizieren.⁶⁵² Zur Vorbereitung der Simulationsstudien wurden hierfür reale tägliche ex-ante sowie ex-post Daten des Rohwarenmarktes für die Jahre 2007 bis 2019 (über 200.000 einzelne Datenpunkte) sowie reale individuelle Unternehmensdaten von vier nordamerikanischen Fluggesellschaften aus den Jahren 1990 bis 2019 erfasst (siehe: Kapitel 6.1). Unter Rückgriff auf diese Daten wurden insgesamt 96 historische Simulationsläufe durchgeführt, in welchen OPTA jeweils individuelle optimale Sicherungen für die Jahre 2007 bis 2019 identifizierte. Da einzelne Simulationsläufe teils mehr als 3.500 Derivatekombinationen umfassen, wurden hierbei in Summe durch den Algorithmus 232.780 optimale Einzelmonatssicherungen erzeugt.⁶⁵³ Die systemseitige Rechenzeit zur Erzeugung dieser Sicherungen betrug insgesamt mehr als 3,5 Wochen.⁶⁵⁴

Die Analyse der erzeugten Daten erfolgte anschließend zweigeteilt: In Kapitel 7.1 stand zunächst die einzelne Sicherung im Fokus der Betrachtung. Im Rahmen einer statischen Analyse wurden in diesem Kapitel die Deadweight-Costs je Sicherung sowohl ex-ante als auch ex-post gemäß einer bereits im individuellen Sicherungszeitpunkt determinierten Deadweight-Costs-Funktion bestimmt und berücksichtigt. Über diese Herangehensweise war es vorrangig möglich, sowohl ex-ante als auch ex-post den Vor- oder Nachteil einzelner Sicherungen zu quantifizieren. Demgegenüber stand in Kapitel 7.2 das gesamte in einem Zeitpunkt bestehende Sicherungsportfolio im Fokus der Betrachtung. Im Rahmen der Analyse in Kapitel 7.2 wurden zudem dynamisch neue Informationen verarbeitet, die sich erst zwischen dem ursprünglichen Handel der einzelnen Sicherungen und dem neuen Analysezeitpunkt offenbarten. Über diese Herangehensweise war es primär möglich, den Einfluss eines bestehenden Sicherungsportfolios auf den Unternehmenswert im jeweiligen Analysezeitpunkt zu quantifizieren. Übergeordnet liefern die über beide Ansätze erzielten Ergebnisse wichtige Erkenntnisse für Theorie und Praxis, die an dieser Stelle kurz und in zusammengefasster Form vorgestellt werden.

Zentrale Beobachtungen und Erkenntnisse der statischen Analyse in Kapitel 7.1 werden nach ex-ante und ex-post Beobachtungen getrennt vorgestellt. Die wichtigsten und zentralen Erkenntnisse der statischen ex-ante Analyse sind:

1. Im Durchschnitt der Beobachtungen wurden durch den Abschluss von Sicherungen Erwartungswertvorteile gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung bezüglich der Kennziffer des ex-ante erwarteten DWCCF generiert. Gemäß Finanztheorie ist es Fluggesellschaften somit generell möglich, durch den Abschluss von Treibstoffpreissicherungen den Unternehmenswert zu steigern.
2. In Abhängigkeit von den internen und externen Rahmenbedingungen führen in der Simulationsstudie unterschiedliche Sicherungsinstrumente zu individuellen Erwartungswert-Optima. Situativ kann bezüglich des DWCCF-Erwartungswertes sogar die

⁶⁵² In diesem Kontext weisen beispielsweise Brown und Toft (2002) darauf hin, dass in bestehenden wissenschaftlichen Arbeiten dieser Übertrag von theoretischen Modellen zur ex-ante Identifikation optimaler Sicherungsgeschäfte auf die Unternehmenspraxis eine zentrale Herausforderung darstellt. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1313.

⁶⁵³ Die Anzahl von 232.780 Einzelmonatssicherungen gilt für die ex-ante Analyse, in welcher der individuelle Zielsicherungsgrad eines Simulationslaufs nicht berücksichtigt ist (siehe: Kapitel 7.1.1). Nach Hinzuziehen des Zielsicherungsgrades wurden im Rahmen der ex-post Analyse 350.790 Einzelmonatssicherungen verarbeitet (siehe: Kapitel 7.1.2).

⁶⁵⁴ Die Rechenzeiten je Simulationslauf sind in Tabelle 84 im Anhang B I dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Gesamtrechenzeit sich nicht aus der Summe der dort dargestellten einzelnen Rechenzeiten je Simulationslauf ergibt, da prozessual vorgelagerte *Clusterberechnungen* für bis zu sechs *Fallberechnungen* berücksichtigt werden können (siehe: Fußnote 541). Für weitere Erläuterungen siehe: Kapitel 7.1.1.1.

Entscheidung zur Nicht-Sicherung ein quantitatives Optimum darstellen. Es wurde somit über das aus der Finanztheorie hergeleitete Modell dargelegt, dass es aus der ex-ante Perspektive rationale Gründe für die in der Praxis beobachtete heterogene Instrumentenwahl von Fluggesellschaften (siehe: Kapitel 4.2.3) gibt.

3. Die Wettbewerbssituation hat in einer Entscheidungssituation maßgeblichen Einfluss darauf, ob der Abschluss von Treibstoffpreissicherungen einen Vorteil gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung bietet. In der Simulationsstudie wurde ersichtlich, dass im Zeitraum zwischen 2015 und 2019, in welchem auf dem betrachteten Markt eine geringe Wettbewerbsintensität herrschte, die Entscheidung zur Nicht-Sicherung vielfach ein ex-ante Optimum darstellte. Diese Beobachtung korrespondiert mit dem realen Verhalten von drei (*American Airlines*, *Delta Air Lines* und *United Airlines*) der vier im Rahmen der Simulationsstudie betrachteten Fluggesellschaften, welche in der Praxis ebenfalls um das Jahr 2015 ihre Treibstoffpreissicherungsaktivitäten einstellten (siehe: Kapitel 4.1). Diese quantifizierte Rationalisierung der realen Entscheidungen über ein aus der Theorie abgeleitetes Optimierungsmodell findet sich – soweit bekannt – bislang in keiner anderen wissenschaftlichen Arbeit.

Neben der ex-ante Identifikation von optimalen Treibstoffpreissicherungen stellt die umfassende ex-post Analyse der ausgewählten Sicherungen einen zentralen Baustein der in Kapitel 7.1 durchgeführten Auswertung dar. Zentrale Erkenntnisse der ex-post Analyse in Kapitel 7.1 sind:

1. Über den gesamten berücksichtigten Zeitraum wurden in der Mehrzahl der Beobachtungen durch den Abschluss von Sicherungen auch ex-post Vorteile gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung bezüglich der Kennziffer des realisierten DWCCF erzielt.
2. Auch in der ex-post Analyse offenbarte sich ein durchschnittlicher Vorteil der Nicht-Sicherung ab etwa 2015. Diese Beobachtung untermauert die aus der ex-ante Perspektive erlangte Einschätzung und stützt das reale Verhalten der drei genannten Fluggesellschaften in der Praxis. Es wurde demnach ein Zusammenhang zwischen ex-ante Modellempfehlung, ex-post Modellerkenntnis und praktischem Verhalten von Fluggesellschaften offengelegt.
3. Über die Regressionsanalyse in Kapitel 7.1.3 konnte mit hoher statistischer Signifikanz gezeigt werden, dass eine Erhöhung des über das Modell errechneten ex-ante Erwartungswertvorteils sich im Durchschnitt in einer Erhöhung des ex-post Vorteils von Sicherungen niederschlägt. Das aufgestellte ex-ante Modell lässt sich somit durch den Rückgriff auf die ex-post Ergebnisse validieren.

Über die statische Analyse in Kapitel 7.1 hinausgehend, wurde in der dynamischen Analyse in Kapitel 7.2 zudem zusätzlich der Einfluss der abgeschlossenen Sicherungen auf den Unternehmenswert an einzelnen Stichtagen quantifiziert. In der bestehenden Literatur wurde der Einfluss von Sicherungen auf den Unternehmenswert bislang zumeist über empirische Studien bestimmt (siehe: Kapitel 3.2 und 7.2.3.3). Die Quantifizierung des Einflusses von Sicherungen auf den Unternehmenswert über eine realitätsnahe Simulationsstudie stellt daher für den Anwendungsfall ebenfalls eine Erweiterung der bestehenden Forschung dar.

In der zugehörigen Analyse in Kapitel 7.2 wurden für 16 ausgewählte Fälle an jeweils bis zu 47 einzelnen Stichtagen zwischen 2007 und 2019 Unternehmenswertvor- oder -nachteile, die aus bestehenden Treibstoffpreissicherungen resultieren, quantifiziert. Je einzeltem Stichtag wurden dabei Unternehmenswertdifferenzen unter gleichzeitiger Berücksichtigung von bis zu 624 im Bestand befindlicher Derivatekombinationen berechnet. Die zentralen Ergebnisse dieser Analyse sind:

1. Der Abschluss von Treibstoffpreissicherungen hat einen messbaren und ökonomisch relevanten Einfluss auf den Unternehmenswert von Fluggesellschaften. In der durchgeführten Simulationsstudie konnten Treibstoffpreissicherungen in Einzelfällen den Unternehmenswert relativ um mehr als 30% oder absolut um mehr als 2,5 Milliarden US-Dollar verändern.
2. An zahlreichen Stichtagen sowie im Durchschnitt aller Stichtagsbeobachtungen konnte durch den Abschluss von Sicherungen ein relativer Unternehmenswertvorteil gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung generiert werden. Im Durchschnitt der Beobachtungen wurden relative Unternehmenswertvorteile durch Treibstoffpreissicherungen in Höhe von rund 0,5% errechnet. Die über die Simulationsstudie erzielten Ergebnisse liegen damit am unteren Ende der Spannbreite der in der empirischen Literatur genannten Vorteile von Sicherungen.
3. Der Einfluss von Sicherungen auf den Unternehmenswert an einzelnen Stichtagen hängt stark von der Wettbewerbssituation sowie der realen Treibstoffpreisentwicklung ab. Berücksichtigt man ausschließlich Bewertungsstichtage im Zeitraum zwischen 2007 und 2014 (überwiegend: steigende Treibstoffpreise sowie moderate bis hohe Wettbewerbsintensität), ergab sich in der Simulationsstudie ein durchschnittlicher relativer Unternehmenswertvorteil aus Treibstoffpreissicherungen in Höhe von etwa 1%. Erfasst man demgegenüber ausschließlich Stichtage im Zeitraum 2015 bis 2019 (überwiegend: fallende Treibstoffpreise sowie eine geringe Wettbewerbsintensität), fand sich hingegen ein Nachteil von rund -0,5%. Abermals wurde hierdurch auch untermauert, dass die in der Praxis von drei der untersuchten Gesellschaften getroffene Entscheidung, ab etwa 2015 keine Sicherungen mehr abzuschließen, als ökonomisch vorteilhaft einzustufen ist.
4. Während andere Arbeiten zumeist relative Unternehmenswertdifferenzen quantifizierten, wurden in dieser Arbeit sowohl relative als auch absolute Unternehmenswertdifferenzen berechnet. Über dieses Vorgehen konnte gezeigt werden, dass hohe absolute Unternehmenswertnachteile aus Sicherungen – in dem von der Studie umfassten Zeitraum – primär dann auftraten, wenn der absolute Unternehmenswert im historischen Vergleich hoch war. Hohe absolute Unternehmenswertnachteile aus Sicherungen führen in einem solchen Szenario lediglich zu moderaten relativen Unternehmenswertnachteilen. Demgegenüber wurden in der Studie durch Sicherungen primär dann hohe absolute Unternehmenswertvorteile detektiert, wenn Unternehmenswerte im historischen Vergleich absolut gering ausfielen. Bereits moderate absolute Unternehmenswertvorteile können in einem solchen Szenario daher zu hohen relativen Unternehmenswertvorteilen führen. Eine zentrale Beobachtung der Studie ist somit, dass die Ausprägungen der relativen und absoluten Einflüsse von Sicherungen auf den Unternehmenswert teils voneinander entkoppelt sind.

Unter Berücksichtigung aller vorgestellten Beobachtungen wird als Fazit angenommen, dass (1) die Entwicklung des in dieser Arbeit aufgestellten Modells zur ex-ante Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen sowie (2) die unter Rückgriff auf das Modell durchgeführten Simulationsstudien sowohl für die Praxis als auch für die Wissenschaft von hohem Interesse sind und einen relevanten Zuwachs an Wissen ermöglichen.

8.2 Ausblick

In Kapitel 8.1 wurde dargelegt, dass in der vorliegenden Arbeit zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden konnten, die über den aktuellen Stand der Forschung hinausgehen. Dennoch ist offenkundig, dass auch diese Arbeit nicht alle Fragestellungen adressieren und nicht alle

Fragen beantworten konnte, die zum Aufstellen von optimalen Treibstoffpreissicherungsstrategien für Fluggesellschaften existieren.

Zunächst wurden beim Aufstellen des Modells, trotz der Fokussierung auf eine möglichst hohe Realitätsnähe und Praxistauglichkeit, Vereinfachungen vorgenommen. Für sämtliche dieser Vereinfachungen gilt, dass deren Nicht-Berücksichtigung zu einer deutlichen Erhöhung der Modellkomplexität führt, weshalb ohne diese Vereinfachungen eine signifikante Erweiterung der vorliegenden Arbeit notwendig gewesen wäre. Die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnisse können daher durch nachfolgende Studien geprüft und erweitert werden, indem Simulationsstudien ohne diese Vereinfachungen abermals durchgeführt werden. Zentrale Vereinfachungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit betreffen die folgenden Aspekte:

Im Rahmen der Systemuntersuchung wurde festgestellt, dass unter anderem die Sicherungsfrequenz (siehe: Kapitel 4.2.1.4) und die Sicherungszeitpunkte (siehe: Kapitel 4.2.1.5) Parameter darstellen, welche eine Fluggesellschaft beim Abschluss von Sicherungen aktiv steuern kann. Um den Umfang der vorliegenden Arbeit zu begrenzen, wurde jedoch vereinfachend festgelegt, dass jeweils lediglich eine einzelne Ausgestaltung der Sicherungsfrequenz (Wahl: monatliche Sicherung) sowie der Sicherungszeitpunkte (Wahl: ex-ante determiniert) im Rahmen der Simulationsstudien in dieser Arbeit Berücksichtigung finden. Zur Erweiterung des wissenschaftlichen Diskurses wäre es daher in Zukunft sachdienlich, weitere Simulationsstudien durchzuführen, in welchen unterschiedliche Ausprägungen dieser Parameter berücksichtigt werden. Das Durchführen solcher Studien ist unter Rückgriff auf das in der vorliegenden Arbeit eingeführte Modell möglich. In solchen Studien sollte beispielsweise untersucht werden, welche Effekte daraus resultieren, wenn ex-ante keine Eingrenzung der Sicherungszeitpunkte stattfindet, sondern Sicherungen stets in *opportunistisch gewählten Zeitpunkten*⁶⁵⁵ durchgeführt werden.

Darüber hinaus sind die Rohwaren zur physischen Betankung und für die Sicherung in den vorliegenden Simulationsstudien stets identisch. In Kapitel 4.2.2 wurde gezeigt, dass dies in der Praxis nicht immer der Fall ist. Daher findet sich im Anhang A X. i) eine Darstellung der Schritte, welche notwendig sind, um im aufgestellten Modell auch unterschiedliche Rohwaren zur physischen Betankung und für die Sicherung zu berücksichtigen. Dort wird somit bereits gezeigt, dass eine solche Erweiterung unter Rückgriff auf das erarbeitete Modell grundsätzlich möglich ist. Mit Blick auf die Praxisrelevanz dieser Erweiterung scheint es von hohem praktischem Interesse, unter Rückgriff auf das aufgestellte Modell sowie die eingeführte Analysemethodik, in Zukunft weitere Simulationsstudien durchzuführen, in welchen der Abschluss von Sicherungen auf Rohwaren simuliert wird, die nicht der physisch getankten Rohware entsprechen.

Daneben wird in dieser Arbeit vereinfachend unterstellt, dass lediglich zukünftige Treibstoffpreise sowie zukünftige Ticketeinzahlungen unsichere Größen darstellen, wohingegen zukünftige Treibstoffmengen als deterministische Größen angesehen werden. Während im Rahmen der vorliegenden Arbeit erläutert wurde, wieso diese Vereinfachung als vertretbar angesehen wird (siehe: Kapitel 5.1.2.2), können in der Praxis Extremereignisse dazu führen, dass ex-post realisierte Treibstoffmengen signifikant von ex-ante erwarteten

⁶⁵⁵ In einer solchen Studie müsste zunächst definiert werden, wodurch eine *opportunistische Sicherungshandlung* ausgelöst wird. Es müssten demnach beispielsweise Kennziffern festgelegt werden, bei deren Über- oder Unterschreiten Sicherungen abgeschlossen werden. Eine solche umfassende Erweiterung war im Rahmen des begrenzten Umfangs der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

Treibstoffmengen abweichen.⁶⁵⁶ Grundsätzlich wäre die Berücksichtigung unsicherer Mengen durch die Erweiterung des erarbeiteten Modells auf ein drei- (siehe Schema im Anhang A X. i)) oder vierdimensionales (sofern: unterschiedliche Rohwaren für physische Betankung und Sicherung sowie Mengenunsicherheit) Modell möglich. Im Fall der Berücksichtigung einer Mengenunsicherheit wäre jedoch zunächst zu prüfen, welche Verteilungsfunktion zur Modellierung der Mengenunsicherheit geeignet ist. Sofern es sich hierbei nicht um eine logarithmische Normalverteilung handelt, wäre es notwendig, komplexere multivariate Verteilungsfunktionen aufzustellen, wodurch die Berechnung von Erwartungswerten gegebenenfalls zusätzlich erschwert würde.

Des Weiteren beschränkt sich im Kontext der Treibstoffpreissicherung der Einfluss der finanziellen Situation einer Fluggesellschaft in der Praxis nicht nur – wie in dieser Arbeit vereinfachend berücksichtigt – auf die Handelbarkeit einzelner Sicherungsinstrumente und auf die Form der DWC-Funktion (siehe: Kapitel 6.3.1.2 sowie Kapitel 6.4.1.2). Stattdessen kann die finanzielle Situation einer Gesellschaft, wie zuvor ebenfalls bereits erläutert, in der Praxis auch Einfluss auf den von einem Unternehmen zu zahlenden (individuellen) Derivatepreis nehmen (siehe: Kapitel 4.1.2.3). Auf die Berücksichtigung eines solchen Einflusses wurde im Hauptteil dieser Arbeit verzichtet. Allerdings findet sich im Anhang A XI. a) bereits eine Erläuterung dazu, wie fluggesellschaftsindividuelle Derivatepreise in einem Modell adäquat erfasst werden könnten und welchen Einfluss diese Erweiterung auf das in dieser Arbeit erstellte Gesamtmodell hätte. Zur weiteren Erhöhung der praktischen Relevanz der Modellergebnisse wäre es daher ebenfalls zielführend, in Zukunft Simulationsstudien durchzuführen, welche zusätzlich den Einfluss der finanziellen Situation auf den individuellen Derivatepreis berücksichtigen.

Des Weiteren wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt, dass auch der Abschluss von Treibstoffpreissicherungen selbst mit direkten Transaktionskosten einhergeht. Diese resultieren unter anderem daraus, dass treibstoffpreissichernde Unternehmen Mitarbeiter oder Dienstleister bezahlen, welche die Sicherungsinstrumente handeln, welche die korrekte bilanzielle und regulatorische Erfassung der Derivate sicherstellen und welche die transaktionale Abwicklung (dies betrifft unter anderem die Zahlung von Prämie und Sicherungsergebnis) solcher Geschäfte vornehmen. Zudem besteht im Fall des Handelns von Derivaten beispielsweise die Notwendigkeit der Nutzung eines IT-Systems zur Erfassung und Analyse der Sicherungen. Auf die Berücksichtigung sämtlicher solcher direkter Transaktionskosten der Sicherung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit verzichtet. Für die weiterführende Forschung besteht daher die Notwendigkeit, solche Transaktionskosten im Rahmen der Modellnutzung zu berücksichtigen, wobei dies durch eine Erweiterung des erarbeiteten Modells möglich ist.

Alle zuvor genannten Punkte eint, dass die skizzierten Erweiterungen der bestehenden Forschung grundsätzlich unter Rückgriff auf das in dieser Arbeit aufgestellte Modell möglich sein sollten. Über diese Themenfelder hinaus existieren jedoch auch wissenschaftliche Fragestellungen zur Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften, die nicht oder nur unzureichend durch Rückgriff auf das erarbeitete Modell untersucht werden können. Zwei der wichtigsten Themenkomplexe seien an dieser Stelle ebenfalls genannt:

⁶⁵⁶ Konkret ist beispielsweise davon auszugehen, dass die realisierten Treibstoffmengen während der Corona-Pandemie im Jahr 2020 bei zahlreichen Fluggesellschaften unter den vor Beginn der Pandemie geplanten Treibstoffmengen für diese Periode lagen. Exemplarisch lag im Jahr 2020 der Treibstoffverbrauch der Lufthansa Group um etwa 66% unter dem Treibstoffverbrauch des Jahres 2019. Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72; vgl. Lufthansa Group (2020): S. 79, 101. Da im Rahmen der Simulationsstudie in dieser Arbeit ausschließlich Daten bis Dezember 2019 genutzt werden, hat der drastische Einbruch der Treibstoffmengen ab März 2020 keinen Einfluss auf die in der vorliegenden Arbeit erzeugten Ergebnisse.

In Kapitel 4.1.1.2 wurde diskutiert, dass Treibstoffpreissicherungen auch mit dem Ziel abgeschlossen werden können, keine Nachteile gegenüber Wettbewerbern zu erleiden. Während mittels des aufgestellten Modells jeweils lediglich die individuelle Sicherungsstrategie einer Fluggesellschaft betrachtet und analysiert werden kann⁶⁵⁷, muss zur Analyse des optimalen Verhaltens im Wettbewerb gleichzeitig das Sicherungsverhalten von mindestens zwei Fluggesellschaften betrachtet und miteinander verglichen werden. Eine solche Betrachtung der gleichzeitigen Entscheidungen verschiedener Akteure im Wettbewerb ist die klassische Aufgabe der Spieltheorie.⁶⁵⁸ Mit Blick auf die wenige zu diesem Themenkomplex bislang bestehende Literatur (siehe: Kapitel 3) und zur Erweiterung des wissenschaftlichen Diskurses scheint es daher ebenfalls erstrebenswert, dass die zukünftige Forschung weitere Untersuchungen zur optimalen Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften im Wettbewerb durchführt und dabei auf Methoden der Spieltheorie zurückgreift.

Darüber hinaus wurde in Kapitel 5.3.1 bereits diskutiert, dass in der Praxis solche Deadweight-Costs, die direkt aus Free-Cash-Flows in einer Periode $\bar{T}$ resultieren, teils auch erst in den auf $\bar{T}$ folgenden Perioden zahlungswirksam werden (Beispiel: direkte Kosten der Insolvenz). Da im genutzten zweistufigen stochastischen Optimierungsmodell jedoch nur zwei Zeitpunkte berücksichtigt werden können, werden über die zentrale DWC-Funktion (siehe: (5.11)) auch bereits diejenigen Deadweight-Costs approximativ quantifiziert, die eindeutig aus der Realisierung des Free-Cash-Flows in Periode $\bar{T}$ resultieren, aber erst in nachfolgenden Perioden zahlungswirksam werden. Als genauere, aber mathematisch komplexere Alternative zum gewählten Ansatz, könnte in zukünftigen Arbeiten auch ein mehrstufiges stochastisches Optimierungsmodell aufgestellt und berücksichtigt werden, welches eine noch exaktere periodische Erfassung von erwarteten und tatsächlichen Zahlungsströmen ermöglicht.⁶⁵⁹

Über die dargestellten Modellerweiterungen und Zusatzuntersuchungen hinausgehend, ist abschließend die Frage von Interesse, wie das in der vorliegenden Arbeit aufgestellte Modell und die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse in Zukunftsszenarien übertragen werden können, in welchen Verkehrsflugzeuge die benötigte Energie nicht mehr aus Kerosin beziehen, welches aus fossilen Quellen stammt. Stattdessen könnten Verkehrsflugzeuge in solchen Zukunftsszenarien beispielsweise auf (1) nachhaltig erzeugtes Kerosin (engl. *Sustainable Aviation Fuel*), (2) Wasserstoff oder (3) Strom⁶⁶⁰ als Energiequelle zurückgreifen.⁶⁶¹ Unabhängig davon, ob und wann es technologisch möglich sein wird, Verkehrsflugzeuge mit solchen alternativen Energieträgern (effizient) zu betreiben, wird angenommen, dass das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Modell zur Identifikation optimaler Treibstoffpreissicherungen auch in solchen Zukunftsszenarien weiterhin genutzt werden kann, in welchen diese Energieträger an praktischer Relevanz für die Verkehrsluftfahrt gewinnen. Der Grund für diese Einschätzung ist, dass für alle drei exemplarisch genannten Energieträger eindeutige Marktpreise je abgrenzbarer Mengeneinheit definiert werden können, welche

⁶⁵⁷ Während im Rahmen der Systemuntersuchung in Kapitel 4.1.1.2 das *Vermeiden von Nachteilen gegenüber Wettbewerbern* als ein nachrangiges Sicherungsziel identifiziert wurde, musste im Rahmen der Modellformulierung auf das Zurückgreifen auf dieses Ziel verzichtet werden (siehe: Kapitel 6.3.2.3 und dort Fußnote 508), da im Modell jeweils lediglich eine Fluggesellschaft betrachtet werden kann.

⁶⁵⁸ Allgemeine Einführung und Hintergründe zur Spieltheorie siehe: Varian (2007): S. 597 ff.

⁶⁵⁹ Siehe auch Diskussion zu mehrstufigen stochastischen Optimierungsmodellen in King/Wallace (2012): S. 15 ff.

⁶⁶⁰ Aus Übersichtlichkeitsgründen und mit Blick auf den finanzwissenschaftlichen Fokus dieser Arbeit wird „Strom“ in diesem Kapitel vereinfachend ebenfalls als Energieträger (elektrische Energie) bezeichnet.

⁶⁶¹ Die drei genannten Energieträger sind als Beispiele für zukünftig möglicherweise relevante Energieträger zu verstehen. Diese drei Energieträger werden beispielsweise auch genannt in: Lufthansa Group (2021): S. 14 f. Die nachfolgend dargestellte Einschätzung zur Übertragbarkeit des aufgestellten Modells gilt ebenso für andere geeignete Energieträger, welche die im Fließtext genannten Anforderungen erfüllen.

aus der ex-ante Perspektive als unsicher einzustufen sind.⁶⁶² Während es für Strom zudem bereits heute einen funktionierenden Terminmarkt und handelbare Derivate gibt, existieren solche Märkte für *Sustainable Aviation Fuels* und Wasserstoff (noch) nicht in einer ausreichend effizienten Form und Größe.⁶⁶³ Allerdings ist davon auszugehen, dass solche Märkte dann zeitnah entstehen werden, wenn die Handelsmenge eines alternativen Energieträgers aufgrund des technologischen Fortschritts zukünftig steigt. Sobald zukünftig der Betrieb von Verkehrsflugzeugen mit einem alternativen Energieträger möglich ist und für diesen Energieträger (1) Spotpreise, (2) Terminpreise und (3) ein funktionierender Derivatemarkt existieren, wird es schließlich auch möglich sein, das in dieser Arbeit aufgestellte Modell zu nutzen, um optimale Preissicherungen bezüglich dieses alternativen Energieträgers zu identifizieren.⁶⁶⁴ Das aufgestellte Modell OPTA wird demnach auch zukünftig eine hohe Relevanz besitzen und das Durchführen von Simulationsstudien unter Berücksichtigung alternativer Energieträger sowie unter Nutzung von OPTA sollte in Zukunft sowohl für Wissenschaft als auch Praxis von hohem Interesse sein.

⁶⁶² Spotpreise für Strom existieren bereits heute. Preise in Euro pro Megawattstunde für eine Lieferung in Deutschland können in Bloomberg beispielsweise über den Ticker „*LPXBHR01 Index*“ abgerufen werden. Für Wasserstoff und *Sustainable Aviation Fuels* existieren solche transparenten Marktpreise heute noch nicht. Sobald die Energieträger an praktischer Relevanz gewinnen, ist jedoch davon auszugehen, dass sich solche Marktpreise zukünftig zeitnah bilden werden.

⁶⁶³ Beispielsweise in Oum und Oren (2009) (siehe: Kapitel 3.1.3.2) wird Hedging auf dem Strommarkt bereits detailliert diskutiert. Vgl. Oum/Oren (2009): S. 45 ff. Terminpreise für Strom werden unter anderem von der *European Energy Exchange* quotiert und im Internet veröffentlicht. Siehe: <https://www.eex.com/de/marktdaten/strom/futures> (Stand 05.11.2022).

⁶⁶⁴ Um das aufgestellte Modell für einen alternativen Energieträger zu nutzen, müssen unter anderem die in dieser Arbeit berücksichtigten Definitionen, Formeln und Verteilungsfunktionen gegebenenfalls auf den alternativen Anwendungsfall übertragen und angepasst werden. Die grundsätzliche Idee, auf Methoden der stochastischen Optimierung zurückzugreifen, bleibt jedoch unverändert. Ebenso können auch in einem alternativen Anwendungsfall derivative Finanzinstrumente eingesetzt werden, um erwartete Deadweight-Cost-Cash-Flows zu verbessern, wodurch das übergeordnete Ziel der Steigerung des Unternehmenswertes erreicht wird.

Anhang

Anhang A Erläuterungen und Hintergründe

Anhang A I. Erläuterungen zu Kapitel 2.1

Anhang A I. a) Erläuterungen: Kapitel 2.2.2 (Handel und Märkte) – Historischer Hintergrund

Über die grundlegenden Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit hinausgehend, bietet dieses Kapitel einen kurzen chronologischen Abriss über die Entstehung der zuvor eingeführten Finanzprodukte und -märkte. Ein Blick in die Geschichte hilft, um nachzuvollziehen, wie man bestehender Unsicherheit im Lauf der Zeit begegnete, ab wann man Konstrukte erschuf, um diese zu verringern und wie man es schaffte, Unsicherheit in ein quantifizierbares und standardisiertes Korsett zu zwängen, um diese auf Finanzmärkten handelbar zu machen. Der Rückblick hilft ebenfalls zur Einordnung der im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten bestehenden Literatur.

Bereits chronologisch früh reichte es Menschen in einer von Unsicherheit geprägten Welt nicht mehr aus, erst zum Zeitpunkt einer Transaktion alle Parameter der Transaktion festzulegen. Einzelne Käufer und Verkäufer von Gütern versuchten die Unsicherheit bezüglich der Ausgestaltung zukünftig stattfindender Transaktionen zu minimieren und Rahmenbedingungen wie Preis, Menge und den zukünftigen Transaktionszeitpunkt bereits vorab festzulegen. Vermutlich wurden sowohl in Indien vor ca. 4.000 Jahren als auch in der Antike im heutigen Europa von Griechen und Römern bereits Geschäfte zur Minimierung der Unsicherheit bezüglich der Ausgestaltung zukünftiger Transaktionen abgeschlossen, die heute als OTC-Termingeschäfte bezeichnet würden.⁶⁶⁵

Im zweiten Jahrtausend nach Christus waren die Niederlande Vorreiter in der Weiterentwicklung von Derivaten. Als Teil der Entwicklung entstanden optionale zukunftsgewandte Geschäfte. Diese gaben den Käufern einer Option das Recht, gegen das Zahlen einer Gebühr Waren in der Zukunft zu einem festgelegten Preis zu erwerben oder zu verkaufen. Die Finanzmärkte der Niederlande prosperierten und der Handel mit Termingeschäften und Optionen beschränkte sich nicht mehr nur auf die Absicherung von Konsumgüterpreisen. Derivative Finanzgeschäfte wurden zu Spekulationszwecken abgeschlossen und auch Luxusgüter – in diesem Fall Tulpen – wurden als Referenzprodukte für Derivate berücksichtigt. Die Entwicklung mündete in die Tulpenmanie von 1636/1637. Optionen und Termingeschäfte hatten erstmals in großem Umfang – entgegen ihrem eigentlichen Zweck, Unsicherheit zu reduzieren – am Wachsen und Platzen einer Spekulationsblase Anteil.⁶⁶⁶

In den 1690er Jahren finden sich erstmals Belege dafür, dass Händler in Japan die Rolle des Vermittlers von Termingeschäften zwischen Anbietern und Käufern wahrnahmen und dafür durch eine Gebühr entlohnt wurden. Die Händler erweiterten ihre Praxis und führten 1716 erstmals standardisierte Kontrakte zum zukünftigen Kauf und Verkauf von Reis ein. Um dem schnellen Wachstum der gehandelten Kontrakte Herr zu werden, etablierte sich eine Art *Clearinghouse*, welches die getätigten Transaktionen dokumentierte und die

⁶⁶⁵ Vgl. Simkins/Ramirez (2008): S. 577 f.

⁶⁶⁶ Vgl. Bernstein (1998): S. 307.

Geschäftspartner überwachte. Die erste rudimentäre Grundform der Börse zum Handel von standardisierten Finanzprodukten war geboren.⁶⁶⁷ Nachdem im 18. Jahrhundert Aktienoptionen auf die *South Sea Company* mitverantwortlich für das Platzen der sogenannten Südseeblase waren, wurde im Vereinigten Königreich um 1730 erstmals der Handel mit spekulativen Finanzinstrumenten per Gesetz untersagt.⁶⁶⁸

In den Vereinigten Staaten kann der Handel mit Call- und Put-Optionen auf Aktien mindestens ab Ende des 18. Jahrhunderts belegt werden. Die Terminbörse *Chicago Board of Trade* führte Mitte der 1860er Jahre für standardisierte und unbedingte Termingeschäfte auf Getreide erstmals den heute noch geläufigen Begriff des *Futures* ein.⁶⁶⁹ 1919 wurde das *Chicago Butter and Egg Board* in *Chicago Mercantile Exchange* umbenannt. Die für den Handel mit Optionen und Futures heute größte Terminbörse der Welt war gegründet.⁶⁷⁰

Mit dem Zusammenbruch des *Bretton-Woods-Systems* 1973 ergab sich eine zusätzliche Dynamik an den Termin- und Optionshandelsplätzen. Zuvor ungekannte Risiken – allen voran volatile Wechselkurse – mussten adressiert werden und neue Märkte wurden erschlossen.⁶⁷¹

Eine Folge dieser Entwicklung war der Verfall des Dollars, welcher unter anderem bewirkte, dass ölproduzierende Länder die Preise für Rohöl flexibler veränderten, um auftretende Realpreisschwankungen kurzfristig reduzieren zu können. Dies führte dazu, dass in US-Dollar quotierte Ölpreise plötzlich einer zuvor nicht gekannten Volatilität unterlagen. Zugespitzt lässt sich festhalten, dass die Deregulierung von Wechselkursen erstmalig zum Entstehen von Preisvolatilität auf dem Ölmarkt führte. Aufgrund dieser Volatilität entstand für Unternehmen erst die Notwendigkeit, sich mit einem Risikomanagement in Bezug auf die Ölpreisentwicklung auseinanderzusetzen.⁶⁷²

Noch in seinem Grundlagenwerk zur Optionsbewertung führt Black (1976) aus, dass es zu diesem Zeitpunkt in den Vereinigten Staaten keinen organisierten Markt zum Handel mit Rohwarenoptionen gäbe.⁶⁷³ In den Vereinigten Staaten wurden für das Referenzprodukt Rohöl erst Anfang der 1980er Jahre vereinzelt unbedingte Termingeschäfte gehandelt. Der börsliche Handel der Instrumente war spätestens ab 1983 möglich. Ab diesem Jahr konnte sowohl am *Chicago Board of Trade* als auch an der *NYMEX* mit Rohöl gehandelt werden. Nachdem auch Banken ein verstärktes Interesse am Handel mit Derivaten auf Rohöl entwickelten, zeigte sich ab circa 1985 eine schnelle Belebung des *OTC-Marktes* für Derivate auf Rohölprodukte. Dabei wurde anfänglich vor allem versucht, Erkenntnisse aus dem Devisen- und Zinshandel auf den Rohstoffmarkt zu übertragen.⁶⁷⁴

Anhang A I. b) Erläuterungen: Kapitel 2.2.3.3 (Plain-Vanilla-Optionen)

Im Folgenden sind die Auszahlungsprofile europäischer *Call*- und *Put*-Optionen für den Erfüllungszeitpunkt T dargestellt.

Die Variable $P_{T_0}^{Call}$ entspricht der im Vertragszeitpunkt T_0 vereinbarten Prämienzahlung für den Call. Die Variable $P_{T_0}^{Put}$ entspricht der im Vertragszeitpunkt T_0 vereinbarten Prämienzahlung für den Put. Die jeweilige Position wird dargestellt durch $\varphi = 1$ (*long*) sowie $\varphi = -1$ (*short*).

⁶⁶⁷ Vgl. Bernstein (1998): S. 306 f.; vgl. Dafir/Gajjala (2016): S. 42. Aufgrund der sehr guten Dokumentation ist es wahrscheinlich, dass der *Dojima Markt* in Osaka 1716 den ersten *Futures-Markt* der Welt darstellte.

⁶⁶⁸ Vgl. Stulz (2003): S. 314.

⁶⁶⁹ Vgl. Bernstein (1998): S. 306 f.; Vgl. Hull (2006): S. 1 f.

⁶⁷⁰ Vgl. Hull (2006): S. 2.

⁶⁷¹ Vgl. Bernstein (1998): S. 305; vgl. Dafir/Gajjala (2016): S. 42 f.

⁶⁷² Vgl. Dafir/Gajjala (2016): S. 3 f.

⁶⁷³ Vgl. Black (1976): S. 170.

⁶⁷⁴ Vgl. Apsel/Cogen/Rabin (1989): S. 78 ff.; vgl. Dafir/Gajjala (2016): S. 3.

Auszahlungsprofil einer europäischen Call-Option

$$\text{Auszahlung}_T^{\text{call}} = \varphi(\max(Fuel_T - K_{T_0}, 0) - P_{T_0}^{\text{call}}), \quad T_0 < T \quad (\text{A I.1})$$

Äquivalent gilt für die Auszahlung des Puts im Erfüllungszeitpunkt:

Zahlungsprofil einer europäischen Put-Option

$$\text{Auszahlung}_T^{\text{put}} = \varphi(\max(K_{T_0} - Fuel_T, 0) - P_{T_0}^{\text{put}}), \quad T_0 < T \quad (\text{A I.2})$$

Anhang A II. Erläuterungen zu Kapitel 3.1

Anhang A II. a) Erläuterungen: Kapitel 3.1.1.2 (Die theoretische Begründung der Vorteilhaftigkeit von Hedging) – Theoretischer Hintergrund

Im Hauptteil der vorliegenden Arbeit wurde nur in sehr kurzer Form erläutert, dass die Forschung bis in die frühen 1980er Jahre davon ausging, dass durch den Einsatz von Hedging kein Unternehmenswert geschaffen werden kann. Diese Annahme wird in der Literatur auch als *Hedging Irrelevance Proposition* bezeichnet.⁶⁷⁵ Im aktuellen Kapitel werden zusätzlich zur Darstellung im Hauptteil der Arbeit die wichtigsten theoretischen Konzepte und Modellierungsansätze vorgestellt, welche Wissenschaftler nutzten, um zu dieser Einschätzung zu gelangen.

Zur theoretischen Herleitung der Hedging Irrelevance Proposition ist es zunächst unumgänglich, auf die frühesten Arbeiten der Portfoliotheorie und der daraus resultierenden modernen Kapitalmarkttheorie zu blicken. In Markowitz (1952) wird ein Portfolio als effizient definiert, wenn es kein anderes Portfolio gibt, welches bei gegebener erwarteter Rendite ein geringeres Risiko vorweist.⁶⁷⁶ Markowitz (1952) kann zeigen, dass sich durch die Mischung verschiedener Aktien effizientere Portfolios generieren lassen, sodass die wichtigste Erkenntnis seiner Arbeit ist, dass Investoren auf dem Kapitalmarkt ein breit diversifiziertes Portfolio von Aktien halten sollten, um Risiken bestmöglich zu streuen.⁶⁷⁷ Tobin (1958) nutzt diese Erkenntnis und zeigt, dass Investoren auf dem Kapitalmarkt stets eine Kombination aus einer risikolosen Anlage und einem – für alle Investoren identischen – diversifizierten Marktportfolio von Aktien wählen sollten. Diese Kombination führt laut der sogenannten *Tobin-Separation* stets zur Wahl eines effizienten Portfolios.⁶⁷⁸ Die Risikobereitschaft des einzelnen Investors spiegelt sich folglich nicht in der Zusammensetzung des gewählten Aktienportfolios wider, sondern diese wird lediglich durch die Verteilung der Investition auf risikolose Anlage und Marktportfolio ausgedrückt. Die Linie, welche alle effizienten Kombinationen aus risikoloser Anlage und Marktportfolio beschreibt, wird als Kapitalmarktklinie bezeichnet.

Aufbauend auf diesen grundlegenden Ideen entwickelt unter anderem Sharpe (1964) das *Capital Asset Pricing Model* (im Folgenden: CAPM), mittels welchem es möglich ist, den Zusammenhang zwischen der erwarteten Rendite einzelner Aktien und deren individuellem Risiko zu bestimmen. Laut CAPM hängt die erwartete Rendite einer Einzelaktie lediglich vom *systematischen Risiko*⁶⁷⁹ des zugehörigen Unternehmens ab.⁶⁸⁰ Der Zusammenhang zwischen der Kapitalmarktklinie, der erwarteten Rendite einer Aktie sowie dem systematischen und unsystematischen Risiko dieser Aktie ist grafisch in Abbildung 31 dargestellt. In dieser wird die Verbindung zwischen Portfoliotheorie und CAPM grafisch hergestellt.

Aus den Arbeiten von Markowitz (1952), Tobin (1958) und Sharpe (1964) folgt, dass ein Investor für seine Beteiligung an Unternehmen i eine Rendite in Höhe von $\mu_{i,t}$ fordert. Diese geforderte Rendite $\mu_{i,t}$ entspricht dem Diskontfaktor zur Bestimmung des Wertes des unverschuldeten Unternehmens in (3.1). Wie in Abbildung 31 grafisch hergeleitet, hängen die

⁶⁷⁵ Vgl. Mayers/Smith (1982): S. 282; vgl. Stulz (2003): S. 45, 48 f.

⁶⁷⁶ Vgl. Markowitz (1952): S. 84.

⁶⁷⁷ Vgl. Markowitz (1952): S. 89 ff.

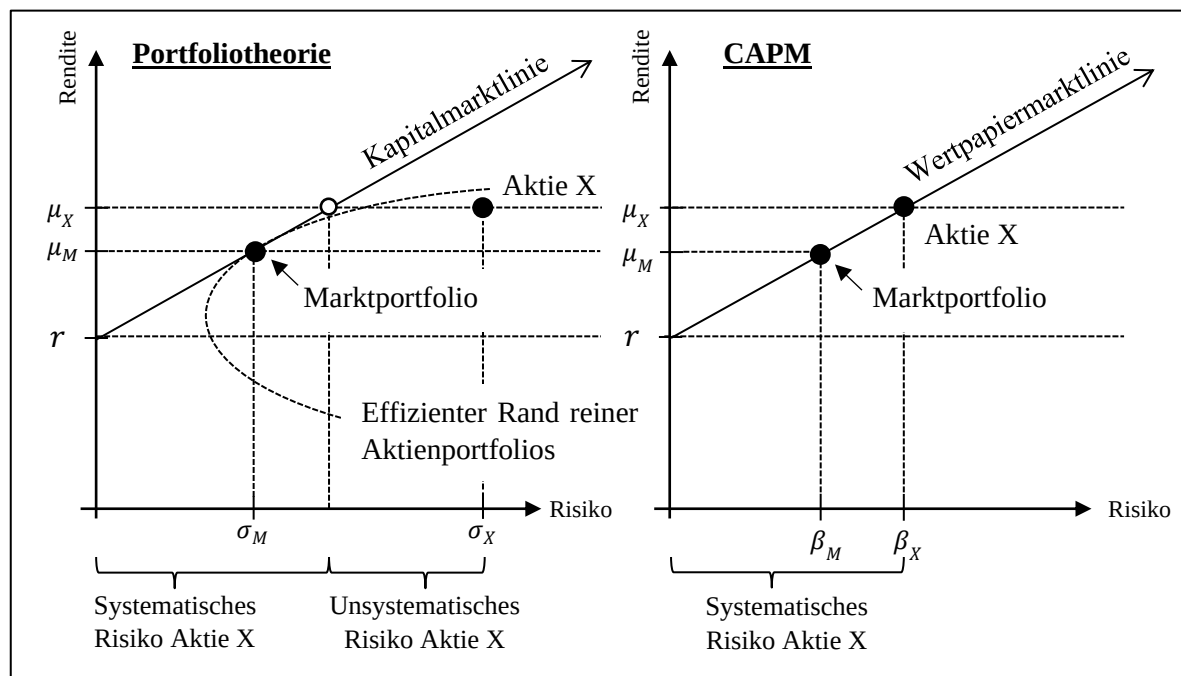
⁶⁷⁸ Vgl. Tobin (1958): S. 65 ff.

⁶⁷⁹ *Systematisches Risiko* (auch: *market risk*): Gesamtwirtschaftliches Risiko, welches sich nicht durch Diversifikation eliminieren lässt. Gegensatz zu: *Unsystematisches Risiko* (auch: *unique risk*): Risiko, welches Investoren durch Diversifikation selbst eliminieren können (Beispiel: Treibstoffpreisänderungsrisiko). Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 188.

⁶⁸⁰ Vgl. Sharpe (1964): S. 436 ff. Zum CAPM siehe beispielsweise: Stulz (2003): S. 35 ff.

Höhe des Diskontfaktors und somit auch der Unternehmenswert – unter der Annahme unveränderter erwarteter Cash-Flows – ausschließlich vom systematischen Risiko ab, welchem ein Unternehmen ausgesetzt ist. Aus dieser Erkenntnis lässt sich gemäß Stulz (2003) ebenfalls ableiten, dass Hedging, welches ausschließlich zur Verringerung des unsystematischen Risikos eines Unternehmens eingesetzt wird, in der perfekten Modellwelt des vollkommenen Kapitalmarktes nicht zur Steigerung des Unternehmenswertes beitragen kann. Der Grund hierfür ist, dass Investoren unsystematische Risiken bereits selbst durch einfache Portfoliodiversifikation kostenfrei eliminieren können. Der Einsatz von Hedging, welches mit zusätzlichen (Transaktions-) Kosten verbunden ist, führt demnach lediglich zu einer Verringerung der erwarteten zukünftigen Cash-Flows, wohingegen die von den Investoren geforderte Rendite sich durch die Verringerung unsystematischer Risiken nicht verändert. Folglich kann, unter Rückgriff auf (3.1), der Einsatz von Hedging zur Verringerung unsystematischer Risiken nicht zur Maximierung des Unternehmenswertes beitragen.⁶⁸¹

Abbildung 31 – Kapitalmarktklinie, CAPM und (un-)systematisches Risiko



Die Abbildung zeigt die Herleitung der vom Kapitalmarkt erwarteten Rendite (μ_X) einer Aktie X. Die Darstellung des linken Schaubilds stellt die Erkenntnis zur Portfoliotheorie nach Markowitz (1952) und der Tobin-Separation dar. Ausgehend vom Marktportfolio mit erwarteter Rendite μ_M und dem Risiko σ_M kann die Kapitalmarktklinie grafisch hergeleitet werden. Auf dieser finden sich alle Kombinationen aus Marktportfolio und risikolosem Instrument. Zusätzlich ist das ineffiziente Wertpapier X dargestellt, welches auch Teil des Marktportfolios ist, aber als Einzelinstrument ein höheres Risiko (σ_X) als der Markt aufweist. Es wird gezeigt, dass auf der Kapitalmarktklinie ein Portfolio zu finden ist, welches bei gleicher erwarteter Rendite wie Aktie X (μ_X) ein geringeres Risiko aufweist. Demnach kann ein Teil des individuellen Risikos der Aktie X vom Investor mittels Portfoliodiversifikation eliminiert werden. Das verbleibende Risiko wird als systematisches Risiko bezeichnet. Im rechts dargestellten CAPM kann die erwartete Rendite eines Wertpapiers aus dem systematischen Risiko des Wertpapiers, welches relativ zum Marktrisiko durch Nutzen des Beta-Faktors ermittelt wird, abgeleitet werden. Der Beta-Faktor der Aktie X wird durch den Risikobeitrag einer Aktie zum Marktrisiko ausgedrückt und berechnet sich über: $\beta_X = (\sigma_X * \rho_{M,X}) / \sigma_M$.⁶⁸²

Exemplarisch sollten sich im diversifizierten Portfolio des Investors sowohl Aktien von Fluggesellschaften als auch solche von Ölproduzenten befinden. Sofern Ölpreisveränderungen zu gegenläufigen Kursbewegungen der beiden Aktien führen, wird das Preisänderungsrisiko mittels Diversifikation bereits kostenfrei durch den Investor eliminiert, sodass die Adressierung dieses Risikos durch die Fluggesellschaft selbst keinen Mehrwert für den Investor stiftet. Folglich gilt, dass die individuellen unsystematischen Risiken eines

⁶⁸¹ Vgl. Stulz (2003): S. 40 f.

⁶⁸² Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 206 ff.; vgl. Sharpe (1964): S. 431 ff.; Grafik angelehnt an: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 212, 214.

Unternehmens das Gesamtrisiko des diversifizierten Portfolios eines Investors nicht erhöhen, da solche Risiken bereits über die Portfoliodiversifikation verringert werden.⁶⁸³

Das systematische Risiko, welchem ein Unternehmen ausgesetzt ist, resultiert laut Brealey, Myers und Allen (2009) aus der Tatsache, dass es gesamtwirtschaftliche Gefahren gibt, die Auswirkungen auf alle Unternehmen am Markt haben und sich nicht durch Diversifikation eliminieren lassen.⁶⁸⁴ Die Idee scheint naheliegend, dass der Einsatz von Maßnahmen, die eine Verringerung des unternehmensindividuellen systematischen Risikos zur Folge haben, zur Steigerung des Unternehmenswertes beitragen könnten. Ausgehend von der Portfoliotheorie gilt jedoch, dass die Verringerung des systematischen Risikos eines Unternehmens i durch Finanzrisikomanagement nur dann möglich ist, wenn das abgegebene systematische Risiko von einem anderen Unternehmen – dem Käufer des Risikos – übernommen wird. Durch diesen Transfer des Risikos ändert sich das Gesamtrisiko des Marktportfolios nicht. Da die Übernahme des systematischen Risikos für den Käufer des Risikos gemäß (3.1) jedoch zu einer Verringerung des Unternehmenswertes führt, wird der Käufer dieses zusätzliche systematische Risiko nur dann übernehmen, wenn das Unternehmen i hierfür eine Zahlung leistet. Unternehmen i kann die Verringerung des systematischen Risikos lediglich erkaufen. Gemäß Stulz (2003) gilt auf dem perfekten Kapitalmarkt, dass Veränderungen der erwarteten Cash-Flows und geforderten Renditen sich für Unternehmen i theoretisch jederzeit exakt so ausgleichen, dass der Wert des Unternehmens sich gemäß (3.1) nicht ändert. Demnach kann ein einzelnes Unternehmen keinen Unternehmenswert schaffen, indem es systematische Marktrisiken an andere Teilnehmer des Marktes zu einem fairen Preis verkauft.⁶⁸⁵

Neben der zuvor dargestellten und im Hauptteil der vorliegenden Arbeit kurz genannten Herleitung der Hedging Irrelevance Proposition über die Kapitalmarkttheorie kann diese auch über die Finanzierungstheorie begründet werden. Basis für diese zweite Herleitung ist der Rückgriff auf das für die Finanzierungstheorie grundlegende Modigliani-Miller-Theorem (im Folgenden: MMT). Gemäß MMT führt ein höherer Verschuldungsgrad eines Unternehmens, aufgrund der vorrangigen Bedienung von Fremdkapital, zu einer höheren erwarteten Eigenkapitalrendite $\mu_{i,t}^V$.⁶⁸⁶ Allerdings wird ebenfalls angenommen, dass eine solche Anpassung der Kapitalstruktur zu einer Verschiebung von Cash-Flows zwischen Eigen- und Fremdkapitalgebern führt, sodass $WACC_{i,t}$ des Unternehmens, auf dem vollkommenen Kapitalmarkt, unabhängig von der Finanzierungsstruktur des Unternehmens stets konstant bleibt. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 32 grafisch veranschaulicht.

Sofern diese Annahme eines konstanten $WACC_{i,t}$ gilt, folgt gemäß (3.2) auch, dass der Unternehmenswert unabhängig von der Finanzierungsstruktur des Unternehmens ist.⁶⁸⁷ Da der Abschluss von Sicherungsgeschäften ebenfalls als Entscheidung im Kontext der Wahl der Finanzierungsstruktur des Unternehmens interpretiert werden kann, folgt unter den Annahmen des vollkommenen Kapitalmarktes somit auch aus dem MMT, dass der Wert eines Unternehmens nicht durch Hedging erhöht werden kann (siehe: (3.2)).⁶⁸⁸

Als Brücke zum CAPM muss zudem gelten, dass das Erhöhen des Verschuldungsgrades in Unternehmen i neben der Erhöhung der erwarteten Eigenkapitalrendite $\mu_{i,t}^V$ auch zu einer Erhöhung des *systematischen Risikos* führt, welchem ein Investor durch Unternehmen i

⁶⁸³ Vgl. Stulz (1996): S. 12.

⁶⁸⁴ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 188.

⁶⁸⁵ Vgl. Stulz (2003): S. 41 ff.

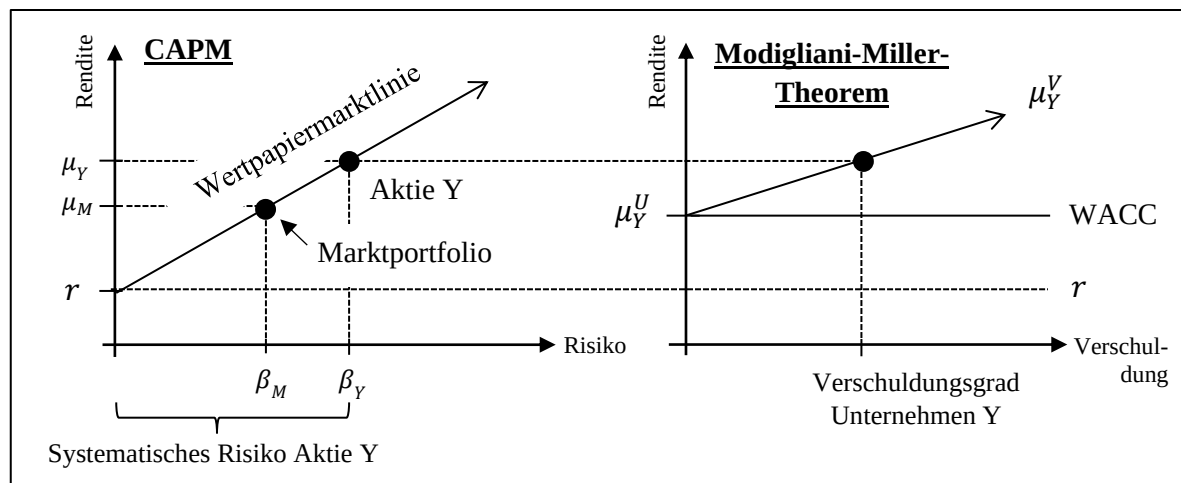
⁶⁸⁶ Vgl. Modigliani/Miller (1958): S. 271.

⁶⁸⁷ Vgl. Modigliani/Miller (1958): S. 265 ff., 288 ff.; vgl. Stulz (2003): S. 49.

⁶⁸⁸ Vgl. Mayers/Smith (1982): S. 282; vgl. Stulz (2003): S. 45 f., 48 f.

ausgesetzt ist.⁶⁸⁹ Dieser Zusammenhang zwischen CAPM (Kapitalmarkttheorie) und MMT (Finanzierungstheorie) wird in Abbildung 32 zusätzlich grafisch veranschaulicht.

Abbildung 32 – CAPM und Modigliani-Miller-Theorem (vollkommener Kapitalmarkt)



Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen der erwarteten Eigenkapitalrendite eines Unternehmens nach CAPM und MMT. Die Existenz des vollkommenen Kapitalmarkts ist vorausgesetzt. μ_Y^V (μ_Y^U) beschreibt die erwartete Eigenkapitalrendite im verschuldeten (unverschuldeten) Unternehmen. Der WACC entspricht dem Gesamtkapitalkostenzins des Unternehmens als Summe von steigender Eigen- (μ_Y^V) und konstanter Fremdkapitalrendite (r). Gemäß Grundform des MMT entspricht der WACC stets der erwarteten Rendite des unverschuldeten Unternehmens (μ_Y^U).⁶⁹⁰ In diesem Basis-Modell wird die Abwesenheit von Steuern unterstellt.

Anhang A II. b) Erläuterungen: Kapitel 3.1.1.2 (Die theoretische Begründung der Vorteilhaftigkeit von Hedging) – Lösen des Asset Substitution Problems

Unter Verweis auf die Erläuterungen in Kapitel 3.1.1.2 wird in der folgenden Tabelle 38 das *Asset Substitution Problem* anhand eines Beispielinvestitionsprojekts veranschaulicht.

Sofern Unternehmen im Beispiel die dargestellten Fremdkapitalfinanzierungskonditionen erhalten, weil sie gegenüber den Fremdkapitalgebern angeben, das Basisprojekt (Projekt I) durchzuführen, besteht nach Abschluss der Finanzierung für wertmaximierende Manager – auf Basis der fest vereinbarten Fremdkapitalfinanzierung – ein Anreiz, abweichend stattdessen Projekt II durchzuführen. Der Grund für dieses Verhalten ist, dass gemäß (3.2) der Barwert von Projekt I im Entscheidungszeitpunkt circa 109,4 beträgt, wohingegen der Barwert bei Durchführung von Projekt II circa 110,3 beträgt. Die genannten Barwerte errechnen sich jeweils durch das Abzinsen der erwarteten Auszahlungen mit den durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC). Ein solches Handeln ginge jedoch zu Lasten der Fremdkapitalgeber, für welche unter Projekt II die erwartete Rückzahlung lediglich 92 beträgt, was deutlich unter der vereinbarten Rückzahlungssumme aus Zins (4) und Tilgung (100) liegt.

Gemäß Campbell und Kracaw (1990) werden Fremdkapitalgeber daher ein solches Verhalten antizipieren und bei der Festlegung der Bedingungen der Fremdkapitalfinanzierung bereits berücksichtigen.⁶⁹¹ Demnach wäre das in Tabelle 38 dargestellte Projekt I zu den genannten Konditionen praktisch nicht durchführbar.

⁶⁸⁹ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 193 ff., 378 f.

⁶⁹⁰ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 188 ff., 369 ff.; vgl. Modigliani/Miller (1958): S. 265 ff.; Grafik vereinfacht angelehnt an: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 380; Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 569. Es wird in der Abbildung zudem vereinfachend angenommen, dass der Fremdkapitalzins des Unternehmens (r_Y) dem risikolosen Marktzins (r) entspricht.

⁶⁹¹ Vgl. Campbell/Kracaw (1990): S. 1676 f.

Tabelle 38 – Beispiel: Asset Substitution Problem (ohne Hedging)

Basisprojekt: Projekt I ohne Hedging (sicherer Ausgang)						
Ohne Hedging	Invest-ment	Geforder-ter Return	Sicherer Ausgang (Zukünftige Auszahlungen)		Erwartete Entwick- lung	Ok?
Gesamt	-104	+108,4	+114		+114	☑
EK-Geber	-4	+4,4	+10		+10	☑
FK-Geber	-100	+104	+104		+104	☑
Alternativprojekt: Projekt II ohne Hedging (zwei Entwicklungsszenarien)						
Ohne Hedging	Invest-ment	Geforder-ter Return	Szenario 1 (Wahrschein-lichkeit: 50%)	Szenario 2 (Wahrschein-lichkeit: 50%)	Erwartete Entwick- lung	Ok?
Gesamt	-104	+108,4	+150	+80	+115	☑
EK-Geber	-4	+4,4	+46	0	+23	☑
FK-Geber	-100	+104	+104	+80	+92	☒

Die Tabelle veranschaulicht das Asset Substitution Problem anhand eines Investitionsprojektes, welches für den Erhalt der Fremdkapitalfinanzierung vorgestellt wurde und sichere zukünftige Zahlungen garantiert (Basisprojekt). Alternativ kann nach dem Abschluss der Finanzierung aber auch Projekt II mit zwei möglichen Entwicklungsszenarien durchgeführt werden. Die geforderten Eigen-/Fremdkapitalrenditen betragen: $\mu_{i,t}^V = 10\%$ und $r_{i,t} = 4\%$. Unter Berücksichtigung der Kapitalstruktur folgt: $WACC_{i,t} = 4,23\%$.

Campbell und Kracaw (1990) können jedoch zeigen, dass der Abschluss von volatilitätsmindernden Sicherungsgeschäften, welche unsystematische Risiken verringern, zu einer Erhöhung der Glaubwürdigkeit des Unternehmens in Bezug auf zukünftige Investitionsvorhaben beitragen kann.⁶⁹² Im Beispiel gilt dies beispielsweise dann, wenn Hedging die möglichen Ausgänge von Projekt II wie folgt verändert:

Tabelle 39 – Beispiel: Asset Substitution Problem (Projekt II mit Hedging)

Projekt II mit Hedging (zwei Entwicklungsszenarien)						
Mit Hedging	Investment	Geforderter Return	Szenario 1 (Wahrscheinlichkeit: 50%)	Szenario 2 (Wahrscheinlichkeit: 50%)	Erwartete Entwicklung	Ok?
Gesamt	-104	+108,4	+120	+110	+115	☒
EK-Geber	-4	+4,4	+16	+6	+11	☒
FK-Geber	-100	+104	+104	+104	+104	☒

Die Tabelle veranschaulicht die Anpassung von Projekt II aus Tabelle 38 nach der Berücksichtigung von Hedging bei gegebener Finanzierungsstruktur und vorrangiger Auszahlung an die Fremdkapitalgeber. Projekt I mit Hedging unverändert. Die geforderten Eigen-/Fremdkapitalrenditen betragen: $\mu_i^V = 10\%$ und $r_i = 4\%$. Unter Berücksichtigung der Kapitalstruktur folgt: $WACC = 4,23\%$.

Sofern Hedging keinen Einfluss auf die Entwicklung von Projekt I nimmt, sind mit Hedging sowohl Projekt I als auch Projekt II für die Fremdkapitalgeber vorteilhaft. Demnach werden die Fremdkapitalgeber die dargestellte Finanzierung anbieten.

Sofern die DWC, welche durch die vorteilhaftere Fremdkapitalfinanzierung vermieden werden, absolut größer sind als die für das Hedging anfallenden Kosten, wird auch in diesem Fall durch Hedging Unternehmenswert geschaffen.

⁶⁹² Vgl. Campbell/Kracaw (1990): S. 1676 f.

Anhang A II. c) Hintergrund: Kapitel 3.1.2 (Empirische Arbeiten zum Risikomanagement in Unternehmen)

Während sich die in Kapitel 3.1.2 im Hauptteil der Arbeit vorgestellten empirischen Arbeiten in großen Teilen unabhängig von der konkreten praktischen Umsetzung von Sicherungen mit der Thematik der übergeordneten Wertschaffung von Finanzrisikomanagement befassen, werden in diesem Abschnitt kurz solche Arbeiten zusammengefasst vorgestellt, die sich mit einer konkreten praktischen Umsetzungsmöglichkeit von Sicherungen befassen. Als Kontrapunkt zu einer ex-ante determinierten und situationsunabhängigen Sicherungsstrategie werden hier Arbeiten zu selektiven Sicherungsstrategien vorgestellt. Selektives Hedging definiert Stulz (1996) als Sicherungsvorgehen, bei dem die verantwortlichen Manager ihre eigene und subjektive Einschätzung bezüglich der erwarteten zukünftigen Entwicklung des Marktes miteinfließen lassen.⁶⁹³

Chronologisch früh können bereits Bodnar, Hayt und Marston (1998) darlegen, dass selektives Hedging teilweise in der Praxis genutzt wird.⁶⁹⁴ Während Allayannis und Ofek (2001) in ihrer empirischen Studie zeigen, dass die untersuchten Unternehmen Derivate primär zur Sicherung und nicht zu spekulativen Zwecken einsetzen, gelangt Glaum (2002) zu dem Schluss, dass selektives Hedging teils in der Praxis genutzt wird.⁶⁹⁵ Faulkender (2005) kann in einer empirischen Studie zeigen, dass Unternehmen bei der Wahl der eingesetzten Sicherungsinstrumente teils selektiv handeln.⁶⁹⁶ Adam und Fernando (2006) schlussfolgern jedoch, dass selektives Hedging keine signifikant besseren Sicherungsergebnisse nach sich zieht.⁶⁹⁷

Brown, Crabb und Haushalter (2006) stellen die Frage, ob Unternehmen beim Einsatz von selektivem Hedging erfolgreich sind, in den Mittelpunkt ihrer Arbeit und finden Belege dafür, dass die untersuchten Unternehmen in Teilen zukünftige Marktpreisveränderungen korrekt antizipieren können.⁶⁹⁸ Dennoch erzielen sie keine statistisch signifikanten Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass sich durch selektives Hedging ein ökonomischer Mehrwert erzielen lässt.⁶⁹⁹

Obleich in der Studie von Géczy, Minton und Schrand (2007) lediglich 7% der Unternehmen angeben, regelmäßig selektiv zu sichern, bekunden 35%, dass sie unregelmäßig auf selektive Sicherungen zurückgreifen. Während keine Aussage darüber getroffen wird, ob die selektiven Sicherungen einen ökonomischen Mehrwert für die betroffenen Unternehmen stiften, folgern die Autoren, dass regelmäßig selektiv sichernde Unternehmen im Schnitt größer und dass die handelnden Personen der Meinung sind, einen Informationsvorsprung gegenüber dem Markt zu besitzen. Sie finden außerdem Indizien dafür, dass Unternehmen, in denen die Vergütung des CFOs sensibler vom Unternehmenswert abhängt, eher dazu tendieren, spekulative Sicherungen einzugehen.⁷⁰⁰

Adam, Fernando und Salas (2017) befassen sich ebenfalls mit der Frage danach, wieso Unternehmen selektives Hedging nutzen. Ihre Resultate deuten darauf hin, dass primär kleine

⁶⁹³ Vgl. Stulz (1996): S. 8. Adam, Fernando und Salas (2017) konkretisieren die Definition weiter, indem sie ergänzen, dass die handelnden Personen das *Volumen* und das *Timing* der Sicherungsaktion aktiv entsprechend ihrer situationsbedingten Erwartung anpassen. Vgl. Adam/Fernando/Salas (2017): S. 270.

⁶⁹⁴ Vgl. Bodnar/Hayt/Marston (1998): S. 77 ff., 89 f. Der Terminus *selektives Hedging* wird nicht genutzt.

⁶⁹⁵ Vgl. Allayannis/Ofek (2001): S. 291 ff.; vgl. Glaum (2002): S. 118 f.

⁶⁹⁶ Vgl. Faulkender (2005): S. 943 ff.

⁶⁹⁷ Vgl. Adam/Fernando (2006): S. 295 ff.

⁶⁹⁸ Die Autoren weisen zur Vollständigkeit darauf hin, dass dieser Befund auch durch den genutzten autokorrelierten Datensatz begründet sein könnte. Vgl. Brown/Crabb/Haushalter (2006): S. 2925, 2934 ff.

⁶⁹⁹ Vgl. Brown/Crabb/Haushalter (2006): S. 2935 ff.

⁷⁰⁰ Vgl. Géczy/Minton/Schrand (2007): S. 2410 f., 2414 f., 2419 ff., 2426 ff.

Unternehmen – konträr zu den Resultaten von Géczy, Minton und Schrand (2007) – opportunistisch handeln. In Übereinstimmung mit Stulz (1996) können sie zeigen, dass Unternehmen, die mit höherer Wahrscheinlichkeit in eine finanzielle Schieflage geraten, dazu tendieren, selektives Hedging einzusetzen. Des Weiteren zeigen sie Ergebnisse, die auf ein erhöhtes Aktienkursrisiko durch selektives Hedging hindeuten, finden aber keinen Zusammenhang zwischen selektivem Hedging und der Vorstandsvergütung.⁷⁰¹

⁷⁰¹ Vgl. Adam/Fernando/Salas (2017): S. 270, 274 ff.

Anhang A III. Erläuterungen zu Kapitel 3.3**Anhang A III. a) Hintergrund: Kapitel 3.3.2 (Bewertung von Optionen) – Die historische Entwicklung der Optionspreistheorie**

Die Entwicklung eines Bewertungsmodells für Optionen⁷⁰² unter Berücksichtigung des stetigen Preisänderungsprozesses des Referenzproduktes war eine der größten Herausforderungen der Finanzwissenschaft des 20. Jahrhunderts. Einen aus heutiger Sicht entscheidenden Durchbruch innerhalb dieses Forschungsstranges erzielten Black, Scholes und Merton zu Beginn der 1970er Jahre.⁷⁰³ Die durch sie hergeleitete Formel zur Bewertung von Optionen ist bis heute – teils in diversen Abwandlungen und Weiterentwicklungen – vielfach Grundlage für die faire Preisbestimmung von Optionen. Um eine Einordnung des *Black-Scholes-Modells*⁷⁰⁴ in den historischen Diskurs zu ermöglichen, wirft dieses Kapitel einen kurzen Blick auf die Entwicklung der Optionspreistheorie. Da viele Modelle der Optionspreistheorie sich initial auf Aktienoptionen bezogen, widmet sich das Kapitel primär Arbeiten zu Aktienoptionen. Gewonnene Erkenntnisse lassen sich, unter Berücksichtigung der Besonderheiten des betrachteten Marktes, entsprechend auf Rohwarenoptionen übertragen.

Wie im Anhang A I. a) dargelegt, wurden bereits vor Beginn des 20. Jahrhunderts an verschiedenen Orten der Welt Optionen gehandelt. Da zu dieser Zeit noch keine fundierten Modelle zur Bewertung von Optionen existierten, war es hierbei üblich, dass Optionspreise allein auf Basis von Intuition gebildet wurden und sich aus subjektiven Erwartungen an zukünftige Marktentwicklungen ableiteten.⁷⁰⁵ Einen Quantensprung im Rahmen der Forschung zur fairen Preisbildung von Optionen konnte erst der Franzose Louis Bachelier mit seiner 1900 veröffentlichten Dissertation erzielen. In dieser führt er Konzepte ein, die auch für die heutige Optionspreistheorie weiterhin maßgebend sind, aber zumeist mit den Namen anderer Autoren in Verbindung gebracht werden.⁷⁰⁶ Revolutionär ist seine Idee, dass sich Preisentwicklungen auf dem Kapitalmarkt willkürlich ergeben, alle vorliegenden Informationen bereits eingepreist sind und historische Preisbewegungen keinerlei Aussagekraft für zukünftige Entwicklungen besitzen. Auch der von ihm genutzte stochastische Zufallsprozess zur Beschreibung der Entwicklung des Preises eines Referenzproduktes entspricht grundlegend bereits dem Prozess, der in der heutigen Optionspreistheorie zur Modellierung von Preisveränderungen unterstellt wird.⁷⁰⁷ Allerdings nimmt Bachelier im Jahr 1900 an, dass die Preise des Referenzproduktes dem Prozess der arithmetischen – statt der geometrischen – Brownschen Bewegung folgen.⁷⁰⁸ Durch diese Annahme ist es möglich, dass im *Bachelier-Modell* negative Aktienkurse erreicht werden, was zu einer Verzerrung der Resultate des Modells führt.⁷⁰⁹ Dennoch kann die Arbeit aus heutiger Sicht als bahnbrechend angesehen

⁷⁰² Die ersten neueren Modelle um 1960 bezogen sich auf die Preise von Optionsscheinen (engl.: *warrant*). Gewonnene Erkenntnisse lassen sich unter Berücksichtigung der Annahmen des *vollkommenen Kapitalmarkts* aber nahezu restriktionslos auf den heutigen OTC-Optionsmarkt übertragen. Vgl. Black (1989): S. 5; vgl. Hull (2006): S. 298 f.

⁷⁰³ Die heute als grundlegend eingestufte Arbeit wurde von Black und Scholes (1973) veröffentlicht, wobei auch Robert C. Merton einen Anteil an den darin entwickelten Ideen hat. Vgl. Black (1989): S. 6.

⁷⁰⁴ Teils auch als *Black-Scholes-Merton-Modell* bezeichnet. Vgl. Hull (2006): S. 281.

⁷⁰⁵ Vgl. Bernstein (1998): S. 310 ff.; vgl. Embrechts/Frey/McNeil (2005): S. 5 f.

⁷⁰⁶ Vgl. Davis/Etheridge (2006): S. 31 ff.; vgl. Sullivan/Weithers (1991): S. 166 ff.

⁷⁰⁷ Vgl. Davis/Etheridge (2006): S. 35 ff.; vgl. Sullivan/Weithers (1991): S. 167 ff.

⁷⁰⁸ Da die heute gängigen Begrifflichkeiten erst wesentlich später eingeführt wurden, nutzt Bachelier in seiner Arbeit noch nicht den Begriff der *Brownschen Bewegung*. Vgl. Samuelson (1965): S. 13, 15.

⁷⁰⁹ Vgl. Davis/Etheridge (2006): S. 35 ff.; vgl. Sullivan/Weithers (1991): S. 169.

werden, weshalb es erstaunlich ist, dass sie nach ihrem Erscheinen nur wenig Aufmerksamkeit erfuhr und für Jahrzehnte nahezu in Vergessenheit geriet.⁷¹⁰

Erst ab etwa 1960 entwickelte sich wieder ein verstärktes Interesse der Forschung daran, Modelle zur analytischen Ermittlung von Preisen von Optionen zu erschließen. Fortschritte in der stochastischen Analysis, im Speziellen auf dem Gebiet der stochastischen Differentialgleichungen, legten Finanztheoretikern neue Instrumente in die Hand, mittels derer es möglich wurde, die Bewegungen von Aktienkursen mathematisch zu beschreiben und darauf basierend analytisch die Preise von Optionen zu ermitteln. Die ökonomische Richtigkeit der Annahmen der *Random Walk Theorie*, wie sie von Fama (1965) beschrieben und diskutiert wird, kann dabei als theoretische Grundlage für den Modellrahmen der Arbeiten zur zeitstetigen Bewertung von Optionen betrachtet werden.⁷¹¹

Zahlreiche Autoren, wie beispielsweise Boness (1964), Samuelson und Merton (1969) oder Chen (1970), verfassten bereits vor Black und Scholes (1973) Arbeiten zur Optionspreisbestimmung unter der Annahme kontinuierlicher und zufälliger Aktienkursbewegungen.⁷¹²

Diesen und anderen Arbeiten ist jedoch gemein, dass die daraus hervorgehenden Bewertungsformeln weiterhin von mindestens einer willkürlich zu wählenden Variable abhängig sind, – das von Samuelson und Merton (1969) entwickelte Modell beispielsweise von der Nutzenfunktion des Investors – weshalb eine praktische Anwendung nur begrenzt möglich ist.⁷¹³ Erst Black und Scholes (1973) gelang es final, Optionspreise ausschließlich in Abhängigkeit von objektiven Marktparametern⁷¹⁴ zu bestimmen.

Anhang A III. b) Hintergrund: Kapitel 3.3.2 (Bewertung von Optionen) – Grundlagen der Optionsbewertung

Es ist oftmals sinnvoll, den Wert einer Option in zwei Wertbestandteile aufzuspalten. Diese beiden Teile werden als (1) *innerer Wert* und (2) *Zeitwert* bezeichnet. Die Summe der beiden Werte entspricht dem Gesamtwert der Option. Als innerer Wert der Call-Option wird während der Laufzeit der Option zu jedem Zeitpunkt t die positive Differenz zwischen dem Marktpreis des Referenzproduktes (hier: $Fuel_{t,T}$) und dem bei Geschäftsabschluss vereinbarten Strike (K_{T_0}) definiert. Für den Anwendungsfall gilt:

Innerer Wert eines Calls

$$InnererWert_{t,T}^{Call} = \max(Fuel_{t,T} - K_{T_0}, 0), \quad InnererWert_{t,T}^{Call} \geq 0 \quad (\text{A III.1})$$

Der Gesamtwert einer Option muss immer größer oder gleich dem inneren Wert der Option sein. Die Differenz zwischen Gesamtwert ($P_{t,T}^{Call}$, siehe: Kapitel 2.2.3.3) und innerem Wert in Zeitpunkt t wird als Zeitwert einer Option in Zeitpunkt t bezeichnet. Der Zeitwert der Option entspricht mindestens dem Zeitwert des Geldes, der einem Investor entgeht, wenn er die Option – sofern möglich – frühzeitig ausübt. Eine zweite Komponente des Zeitwerts kann als Versicherungsprämie interpretiert werden. Diese Prämie zahlt der Käufer einer Option dafür, dass er ein optionales Geschäft erwirbt, aus welchem – nach Prämienzahlung – lediglich Chancen aber keine zusätzlichen Risiken entstehen können. Aus diesen Annahmen folgt:

⁷¹⁰ Vgl. Sullivan/Weithers (1991): S. 170.

⁷¹¹ Die Annahme, dass Aktienkurse sich gemäß einem *Random Walk* verhalten, setzt implizit die Existenz eines informationseffizienten Kapitalmarkts voraus. Vgl. Fama (1965): S. 35 ff.

⁷¹² Vgl. Boness (1964): S. 167 f.; vgl. Chen (1970): S. 1044; vgl. Samuelson/Merton (1969): S. 17 ff.

⁷¹³ Vgl. Black/Scholes (1973): S. 639 f.; vgl. Samuelson/Merton (1969): S. 26 ff.

⁷¹⁴ Diese sind: Preis und Volatilität des Referenzproduktes, Strike, risikoloser Zins und Laufzeit der Option.

Zeitwert eines Calls

$$\text{Zeitwert}_{t,T}^{\text{Call}} \geq P_{t,T}^{\text{Call}} - \max(Fuel_{t,T} - K_{T_0}, 0), \quad P_{t,T}^{\text{Call}} \geq 0 \quad (\text{A III.2})$$

Es gilt, dass der Zeitwert einer Option mit abnehmender Laufzeit geringer wird. In Zeitpunkt $t = T$ gilt, dass kein Zeitwert mehr vorhanden ist und der Gesamtwert der Option nur noch – falls vorhanden – aus dem inneren Wert der Option besteht.

Innerer Wert und Zeitwert von Put-Optionen werden spiegelbildlich zu den Werten des Calls definiert. Demnach gilt für den inneren Wert und den Zeitwert eines Puts:

Innerer Wert eines Puts

$$\text{InnererWert}_{t,T}^{\text{Put}} = \max(K_{T_0} - Fuel_{t,T}, 0), \quad \text{InnererWert}_{t,T}^{\text{Put}} \geq 0 \quad (\text{A III.3})$$

Zeitwert eines Puts

$$\text{Zeitwert}_{t,T}^{\text{Put}} = P_{t,T}^{\text{Put}} - \max(K_{T_0} - Fuel_{t,T}, 0), \quad P_{t,T}^{\text{Put}} \geq 0 \quad (\text{A III.4})$$

Es gilt ebenfalls, dass der Zeitwert eines Puts mit abnehmender Laufzeit geringer wird und dass in $t = T$ kein Zeitwert mehr vorhanden ist.

Des Weiteren ist es mit Hilfe der Arbitragepreistheorie ebenfalls möglich, die Preise von Puts und Calls mit identischem Strike ($K_{T_0}^{\text{Put/Call}}$) in ein relatives Verhältnis zueinander zu setzen. Wie beispielsweise in Hull (2006) dargestellt, kann einfach gezeigt werden, dass für europäische Optionen auf Rohwarenfutures in Zeitpunkt t gilt:

Put-Call-Parität europäischer Optionen auf Rohwarenfutures

$$P_{t,T}^{\text{Call}} + (K_{T_0}^{\text{Put/Call}} * e^{-r(T-t)}) = P_{t,T}^{\text{Put}} + (Fuel_{t,T} * e^{-r(T-t)}), \quad T_0 \leq t < T \quad (\text{A III.5})$$

Dieser Zusammenhang wird als *Put-Call-Parität* bezeichnet.⁷¹⁵

⁷¹⁵ Vgl. Hull (2006): S. 212 ff. Die dargestellte Formel wurde auf den Fall für Rohwarenfutures angepasst.

Anhang A IV. Erläuterungen zu Kapitel 4.1

Anhang A IV. a) Hintergrund: Kapitel 4.1.2.1 (Bilanzielle Rahmenbedingungen)

An dieser Stelle werden in kurzer Form Hintergründe und Vertiefungen zu den Darstellungen in Kapitel 4.1.2.1 vorgestellt. Der Fokus der Betrachtung liegt dabei auf einer Darstellung der historischen Entwicklung der bilanziellen Vorgaben sowie auf einem Vergleich zwischen Bilanzierungsvorgaben gemäß IFRS und US-GAAP. Beide Themenkomplexe wurden im Hauptteil der Arbeit aus Übersichtlichkeitsgründen nur in sehr kurzer Form behandelt.

Auslöser für die initiale Konkretisierung der Vorgaben zur bilanziellen Behandlung von Finanzderivaten in Nicht-Finanzunternehmen waren existenzbedrohende Verluste aus Derivatengeschäften, die bei großen Unternehmen unerwartet eingetreten waren, ohne dass sich zuvor Warnzeichen über diese Risiken aus der Bilanz hätten ablesen lassen. Daraufhin erschienen im Jahr 1998 mit dem IAS 39 (IFRS) sowie dem SFAS 133 (US-GAAP) zwei nahe verwandte Standards zur Regulierung der bilanziellen Behandlung von Derivaten in Nicht-Finanzunternehmen.⁷¹⁶ Beide Standards wurden seither vielfach erweitert und überholt. Die zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit relevanten und bereits im Hauptteil der Arbeiten vorgestellten Bilanzierungsvorschriften für das Hedge Accounting sind der IFRS 9 sowie der ASC 815 unter Berücksichtigung des Nachtrags ASU 2017-12.⁷¹⁷

Tabelle 40 fasst die wichtigsten zuvor im Hauptteil der Arbeit beschriebenen Anforderungen an effektive Sicherungen unter IFRS 9 in aggregierter Form zusammen.

Tabelle 40 – Einschränkungen auf Treibstoffpreissicherungen aus IFRS 9

	Effektive Cash-Flow-Hedges: Vorgaben gemäß IFRS 9
Grundlegende Anforderung	Notwendigkeit eines wirtschaftlichen Zusammenhangs zwischen Grundgeschäft und Sicherungsgeschäft (unter anderem: Gleichheit von Laufzeit und Nominal)
Nutzbare Instrumente	Alle Kombinationen von Derivaten, sofern keine Nettoprämieneinzahlung vorliegt oder eine Sicherungswirkung eintreten kann, die im Verhältnis zur Wertentwicklung des Grundgeschäfts überproportional ist
Nutzbare Referenzprodukte	Auch Sicherungen auf Komponenten des Grundgeschäfts möglich, sofern diese einzeln identifizierbar und verlässlich bewertbar sind

Die Tabelle stellt zusammengefasst die wichtigsten Anforderungen an den Zusammenhang zwischen Grundgeschäft und Sicherungsinstrument zum Erreichen effektiver Cash-Flow-Hedges nach IFRS 9 dar. Alle dargestellten Vorgaben wurden bereits im Fließtext erläutert. Alle Quellenbelege finden sich in den jeweiligen Fußnoten des Textes.

Abweichungen in der Bilanzierung von Sicherungsgeschäften nach IFRS und US-GAAP werden in PWC (2020) diskutiert. Ebenso werden in ASU 2017-12 (2017) bereits Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen IFRS 9 und ASC 815 vorgestellt. Grundsätzlich sind die bilanziellen Vorgaben zum Hedge Accounting in vielen Aspekten gleich oder ähnlich.⁷¹⁸ Ein Unterschied im Kontext der Treibstoffpreissicherung von Fluggesellschaften betrifft die Möglichkeit des Nutzens von Kerosinvorprodukten (oder auch: *Kerosinkomponenten*) als effektives Sicherungsgeschäft.

⁷¹⁶ Vgl. Ernst & Young (2020): S. 1; vgl. Frestad (2018): S. 160. SFAS 133 teils auch nur dargestellt als FAS 133.

⁷¹⁷ Vgl. PWC (2018): S. 1; vgl. PWC (2020): S. 11-2. Die komplette Bezeichnung ist: *ASU 2017-12, Derivatives and Hedging (Topic 815): Targeted Improvements to Accounting for Hedging Activities*.

⁷¹⁸ Vgl. ASU 2017-12 (2017): S. 390 ff.

Unter ASC 815 wird die Sicherung einer Kerosinkomponente nur dann als effektive Sicherung anerkannt, wenn der Preis dieser Komponente im Vertrag zur Transaktion des Grundgeschäfts genannt ist.⁷¹⁹ Alternativ ist es unter ASC 815 möglich, nachzuweisen, dass bei einer Wertänderung des Grundgeschäfts (hier: Kerosin) eine zeitgleiche Wertänderung des Sicherungsgeschäfts (hier: Rohöl oder Gasöl) resultiert, die in ihrer Höhe zwischen 80% und 125% der Wertänderung des Grundgeschäfts entspricht. Wenn dieser Zusammenhang retrospektiv vorliegt und prospektiv erwartet werden kann, können Sicherungen auf solche Produkte ebenfalls als effektive Sicherungen klassifiziert werden.⁷²⁰ Exemplarisch verweist Hawaiian Airlines (2019) darauf, dass Call-Optionen auf Rohöl im Rahmen des Jahresabschlusses nicht als effektive Sicherungen bilanziert werden durften.⁷²¹

Für die Implementierung des Modells OPTA bleibt zusammenfassend festzuhalten, dass beim alleinigen Einsatz von Kerosinderivaten die Vorgaben des IFRS 9 sowie des ASC 815 als quasi-inhaltsgleich angesehen werden können. Sofern zusätzlich Derivate auf Rohöl und/oder Gasöl/Heizöl im Modell gehandelt werden dürfen, können gegebenenfalls Umsetzungsunterschiede aus den leicht abweichenden Vorschriften der Bilanzierungsstandards entstehen.

Zur Vollständigkeit sei außerdem darauf hingewiesen, dass die Bilanzierung von Derivaten selbst ein breites und umfangreiches Forschungsfeld darstellt. Aus diesem Grund können die Darstellungen im Hauptteil sowie im Anhang dieser Arbeit lediglich als zusammenfassende Betrachtung verstanden werden. Im Rahmen dieser Zusammenfassung wurden wesentliche Zusammenhänge nur in sehr kurzer Form vorgestellt und diskutiert. Ziel der gewählten Darstellung ist durchweg die Schaffung eines Rahmens, der eine korrekte, praxisnahe und adäquate Berücksichtigung von Bilanzierungsvorschriften im Rahmen der optimalen Gestaltung von Treibstoffpreissicherungsstrategien im aufzustellenden Modell garantiert.

Anhang A IV. b) Hintergrund: Kapitel 4.1.2.3 (Finanzielle Situation)

Im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 4.1.2.3 wurde bereits dargestellt, dass beim Abschluss von Derivaten Kreditrisiken für beide Handelsparteien entstehen können. Im Hauptteil der Arbeit wurde anschließend jedoch ausschließlich diskutiert, wie das Kreditrisiko der Fluggesellschaft im Rahmen der Bestimmung von Derivatpreisen durch die Kontrahenten berücksichtigt wird. In der Praxis entstehen aber auch für Fluggesellschaften beim Abschluss von Treibstoffpreissicherungsgeschäften Kreditrisiken.⁷²²

Demnach sollten Fluggesellschaften für Transaktionen, aus welchen zukünftige Zahlungen an die Gesellschaften resultieren können (Beispiel: Long Call), ebenfalls das individuelle Erfüllungsrisiko des jeweiligen Kontrahenten quantifizieren und in Form eines Preisaufschlags berücksichtigen. Für die vorliegende Arbeit wird auf Basis von Beobachtungen aus der Praxis allerdings angenommen, dass dieser Aufschlag keine praktische Relevanz besitzt. Der Grund für diese Annahme ist, dass Kontrahenten von Fluggesellschaften in der Regel bereits so ausgewählt werden, dass diese ein geringes Ausfallrisiko – welches sich beispielsweise in einem guten Rating manifestiert – aufweisen. Eine solche Auswahl beschreiben exemplarisch Wizz Air (2019) sowie Ryanair (2019a).⁷²³ Demnach ergäbe sich im Fall der

⁷¹⁹ Vgl. ASU 2017-12 (2017): S. 33 ff.; vgl. PWC (2020): S. 11-8 ff.

⁷²⁰ Im Standard wird lediglich der Terminus „highly effective“ genutzt. Als etablierte quantitative Übersetzung für die Praxis wird aber bereits in den Hintergrundinformationen zum Standard auf die Bandbreite von 80% bis 125% referenziert. Vgl. ASU 2017-12 (2017): S. 65 ff., 370; vgl. PWC (2020): S. 11-8 f.

⁷²¹ Vgl. Hawaiian Airlines (2019): S. 74.

⁷²² Siehe beispielsweise: IAG (2019): S. 167.

⁷²³ Vgl. Ryanair (2019a): S. 177; vgl. Wizz Air (2019): S. 98.

Berücksichtigung des Kreditrisikos nur ein sehr geringer Risikoaufschlag. Allerdings ist anzunehmen, dass auch dieser Risikoaufschlag von Fluggesellschaften in der Praxis nicht eingefordert werden kann. Der Grund für diese Annahme ist, dass Fluggesellschaften – wie im Hauptteil der Arbeit bereits in Kapitel 4.1.2.2 als Annahme formuliert – beim Handel mit Derivaten lediglich Preisnehmer sind. Gesellschaften können durch den Vergleich der Derivatepreise bei verschiedenen Kontrahenten zwar den relativ besten Preis auswählen, es scheint aber abwegig, dass Kontrahenten zur Berücksichtigung des eigenen Ausfallrisikos einen Abschlag auf verkaufte Produkte einpreisen. Vor diesem Hintergrund wird auch in OPTA bei verkauften Sicherungsinstrumenten kein Risikoaufschlag berücksichtigt und OPTA handelt diese stets zu fairen Marktpreisen.

Anhang A V. Erläuterungen zu Kapitel 4.2

Anhang A V. a) Hintergrund: Kapitel 4.2.1.4 (Sicherungsfrequenz und Sicherungsmenge)

Aufgrund des Mangels an öffentlich verfügbaren Informationen ist für die Bestimmung einer praxisrelevanten Sicherungsfrequenz eine weiterführende Betrachtung und Untersuchung notwendig. Hierbei ist zunächst ein Blick auf die absoluten Treibstoffverbrauchsmengen zweier ausgewählter Fluggesellschaften⁷²⁴ hilfreich. Diese sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41 – Beispiele: Treibstoffverbrauch und Sicherungen im Jahr 2019

Jahr 2019	Treibstoffverbrauch (Mio. Barrel)	Sicherungsgrad	Treibstoffpreissicherungen (Mio. Barrel)
IAG	75,9	90%	68,3
Lufthansa Group	85,7	85%	72,8

Die Abbildung zeigt retrospektiv die echten Treibstoffverbrauchsmengen sowie selbst errechnete absolute Sicherungsmengen des Jahres 2019 in Millionen Barrel für die Gesellschaften IAG (2019) und Lufthansa Group (2019).⁷²⁵

Unter der vereinfachenden Annahme einer Gleichverteilung der Verbrauchsmengen über die einzelnen Monate des Jahres, bestanden bei IAG (Lufthansa Group) im Jahr 2019 Treibstoffpreissicherungen im Umfang von ca. 5,7 (6,1) Millionen Barrel je Einzelmonat.

Unter Rückgriff auf (4.1) lässt sich, in Kombination mit den in Tabelle 59 dargestellten Informationen, die absolute Sicherungsmenge je Sicherungszeitpunkt in Abhängigkeit von der Sicherungsfrequenz ermitteln. Es gilt exemplarisch für IAG:

Relative Sicherungsmenge am Beispiel IAG

$$Menge_{Relativ} = \frac{90\% / (36 - 9)}{Frequenz} = \frac{3,3\%}{Frequenz} \quad (\text{A V.1})$$

Demnach würden bei monatlicher Sicherung ($Frequenz = 1$) jeweils 3,3% des geplanten Treibstoffbedarfs eines Terminmonats gesichert. Dies entspricht einer Sicherung von circa 190.000 Barrel für einen zukünftigen Monat je Sicherungszeitpunkt. Für die Lufthansa Group ergibt sich ($Frequenz = 1$) eine absolute Sicherungsmenge von circa 287.000 Barrel für einen Terminmonat je Sicherungszeitpunkt.

Als Minimumrestriktion zum Bestimmen nutzbarer Sicherungsfrequenzen dient die Information, dass Future-Kontrakte mit Cash Settlement an der ICE sowohl auf WTI als auch auf Brent standardisiert auf 1.000 Barrel gehandelt werden.⁷²⁶ Hieraus folgt, dass die Sicherungsvolumina der beiden untersuchten Gesellschaften so groß sind, dass theoretisch sogar ein hochfrequenter täglicher Handel möglich wäre. Da jedoch jede durchgeführte Sicherung mit Transaktionskosten⁷²⁷ verbunden ist, ist es naheliegend, dass Fluggesellschaften nicht diese maximale Sicherungsfrequenz anstreben. In diesem Kontext legt Clark (2014) dar, dass es üblich ist, Rohwarensicherungsgeschäfte nicht ausschließlich für einzelne Monate zu

⁷²⁴ Mit IAG und der Lufthansa Group wurden zwei Gesellschaften gewählt, die eine regelbasierte Sicherungsstrategie verfolgen und zahlreiche Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur veröffentlichen.

⁷²⁵ Vgl. IAG (2019): S. 54; vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72. Die gesicherten Mengen des Jahres 2019 werden in den Berichten nicht ausgewiesen. Dargestellte Werte wurden auf Basis der kommunizierten Zielsicherungsgrade und der veröffentlichten Treibstoffverbräuche des Jahres 2019 errechnet. Umrechnung von Tonnen in Barrel erfolgt gemäß den Vorgaben in Tabelle 55 im Anhang B I.

⁷²⁶ Vgl. Clark (2014): S. 161, 166.

⁷²⁷ Hierbei muss es sich nicht zwangsweise um direkte monetäre Kosten in Form von beispielsweise Gebühren oder Steuern handeln. Da auch die zeitlichen Ressourcen der verantwortlichen Händler innerhalb eines Unternehmens begrenzt sind, müssen bereits die benötigten Arbeitszeiten zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung des Handelns einer Transaktion als Transaktionskosten verstanden werden.

handeln, sondern Sicherungsgeschäfte für Zeiträume von bis zu zwölf Monaten gebündelt abzuschließen.⁷²⁸ Sofern beispielsweise der Handel für einen Terminmonat nur einmal je Quartal ($Frequenz = 1/3$) stattfindet und gleichzeitig Geschäfte für zwölf Terminmonate je Transaktion abgeschlossen werden, folgt, dass die *Lufthansa Group (IAG)* Treibstoffpreis-sicherungen im Umfang von circa 10,3 (6,8) Millionen Barrel je Transaktion handeln muss. Es ist anzunehmen, dass beim Handel auf dem OTC-Markt Volumengrenzen existieren, oberhalb derer der Abschluss von Geschäften – unter anderem aufgrund des ansteigenden Kreditrisikos – schwieriger wird und nur noch zu unvorteilhaften Konditionen möglich ist. In diesem Kontext scheint es wahrscheinlich, dass die Platzierung großer Derivatevolumina auf liquide Rohwaren – wie Rohöl – eher möglich ist als auf illiquide Rohwaren wie Kerosin. Für Letztere ist davon auszugehen, dass das Platzieren einer sehr großen Transaktionsmenge gegebenenfalls entweder praktisch nicht möglich ist oder dazu führen kann, dass aufgrund der starken Erhöhung der Marktnachfrage ein Anstieg des Marktpreises der Rohware zu beobachten ist.

Anhang A V. b) Hintergrund: Kapitel 4.2.2 (Das Referenzprodukt)

Wie bereits im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 4.2.2 dargestellt, können Fluggesellschaften bezüglich der Wahl des Referenzproduktes zwischen zwei Alternativen wählen:

1. *Sicherung in Kerosin*: Handel von Derivaten mit maximaler ökonomischer Effektivität, aber zu vergleichsweise teureren Preisen.
2. *Sicherung in anderen Rohwaren*: Handel von Derivaten zu vergleichsweise günstigeren Preisen, aber mit geringerer ökonomischer Effektivität.

Um die für eine Fluggesellschaft opportune Alternative zu wählen, ist es notwendig, die Unterschiede zwischen den beiden Alternativen zu quantifizieren. Um eine solche Quantifizierung zu ermöglichen, werden an dieser Stelle zusätzlich wissenschaftliche Arbeiten vorgestellt, die sich mit der ökonomischen Effektivität von verschiedenen Referenzprodukten auseinandergesetzt haben. Im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 4.2.2 wurde auf diese Darstellung verzichtet, da auch im Simulationsmodell aus Praktikabilitätsgründen ausschließlich Sicherungen durch Kerosinderivate erzeugt werden können. Die Auswirkungen einer möglichen Erweiterung des Simulationsmodells unter Rückgriff auf Derivate auf kerosinverwandte Rohwaren werden knapp im Anhang A X. i) diskutiert.

Um das Ausmaß der ökonomischen Effektivität verschiedener Rohwaren zu bestimmen, kann auf bestehende Arbeiten von Adams und Gerner (2012) sowie Lim und Turner (2016) zurückgegriffen werden, sodass keine eigenen Analysen nötig sind.⁷²⁹

Adams und Gerner (2012) analysieren die ökonomische Effektivität zwischen Kerosinspotpreisen und Terminpreisen der Rohölsorten WTI und Brent sowie Gasöl, Heizöl und Benzin. Ihre Ergebnisse legen nahe, dass die ökonomische Effektivität aller kerosinverwandten Produkte mit einer Verlängerung der zeitlichen Distanz zwischen dem für den Spotpreis maßgeblichen Zeitpunkt (gemäß Nomenklatur der vorliegenden Arbeit: T_0) und dem betrachteten Terminmonat (gemäß Nomenklatur: $\bar{T}$) abnimmt. Bei größeren betrachteten Zeitspannen gewinnt jedoch die Liquidität der einzelnen Produktterminmärkte an Wichtigkeit. Hierdurch erklären die Autoren, dass Gasöl für Zeitspannen von bis zu drei Monaten die

⁷²⁸ Vgl. Clark (2014): S. 161 f.

⁷²⁹ Entgegen der zuvor im Hauptteil der Arbeit dargestellten Beschreibung der *ökonomischen Effektivität* vergleichen beide Arbeiten Kerosinspotpreise mit Terminpreisen anderer Erdöldestillate, sodass ein leicht abweichender Zusammenhang analysiert wird. Die erzielten Ergebnisse sind grundsätzlich dennoch von Relevanz für den vorliegenden Fall und sollen deshalb kurz vorgestellt werden. Beide Autorenpaare nutzen nicht den Terminus *ökonomische Effektivität*.

vergleichsweise höchste ökonomische Effektivität besitzt, wohingegen für längere Zeitspannen keine Vorteile gegenüber liquideren Produkten (Brent und WTI) mehr erkennbar sind.⁷³⁰ Lim und Turner (2016) analysieren die ökonomische Effektivität zwischen Kerosinspotpreisen und Terminpreisen der kerosinverwandten Rohwaren WTI, Brent, Gasöl und Heizöl. Während ihre Modellergebnisse ebenfalls darauf hindeuten, dass die ökonomische Effektivität mit längerer Restlaufzeit für alle Rohwaren sinkt, weichen die Resultate je Rohware in Teilen von den Ergebnissen von Adams und Gerner (2012) ab. Lim und Turner (2016) zeigen, dass Heizöl – absteigend gefolgt von: WTI, Brent und Gasöl – für alle untersuchten Sicherungshorizonte die höchste ökonomische Effektivität zu Kerosin aufweist.⁷³¹

Interessanterweise zeigt eine nähere Betrachtung der beiden Studien jedoch, dass die divergierenden Resultate kein Indiz für methodische Schwächen der Studien darstellen. Stattdessen offenbart der Vergleich der Studien, dass bei der Wahl des geeigneten Referenzproduktes für Kerosinsicherungen die geografische Verwandtschaft einzelner Rohwarennotierungen zu berücksichtigen ist. Lim und Turner (2016) greifen auf die nordamerikanische Kerosinpreisnotierung Jet US Gulf Coast zurück und finden dabei die höchste ökonomische Effektivität für ebenfalls in Nordamerika geliefertes Heizöl, gefolgt von der nordamerikanischen Rohölsorte WTI. Adams und Gerner (2012) nutzen hingegen die europäische Kerosinpreisnotierung Jet Rotterdam und errechnen unter Rückgriff auf diese die höchste ökonomische Effektivität für in Europa geliefertes Gasöl. Zusätzlich – und die hier aufgestellte These untermauernd – können Adams und Gerner (2012) in einer nicht näher dargestellten Vergleichsrechnung zeigen, dass über ihr Modell bei abweichendem Rückgriff auf Jet US Gulf Coast die höchste ökonomische Effektivität für Heizöl vorzufinden ist.⁷³²

Dies berücksichtigend ist festzuhalten, dass der geografische Zusammenhang zwischen dem Lieferort der relevanten Kerosinnotierung und dem Lieferort des Referenzproduktes ebenfalls eine Berücksichtigung bei der Wahl des zu sichernden Referenzproduktes finden sollte.⁷³³

Es sei angemerkt, dass beide Studien für die Analysen nur Terminkontrakte mit Laufzeiten von bis zu zwölf Monaten berücksichtigen und dass Adams und Gerner (2012) bereits darauf hinweisen, dass an der Börse nur unregelmäßig Gasöl- und Heizölkontrakte mit Laufzeiten über sechs Monaten gehandelt werden. Adams und Gerner (2012) weisen ebenfalls bereits darauf hin, dass Rohöle aus Liquiditätsgründen für längere Laufzeiten eine überlegene ökonomische Effektivität besitzen sollten.⁷³⁴

Anhang A V. c) Erläuterungen: Kapitel 4.2.3.2 (Wahl des Derivatetyps und der Derivatekombination)

Die Darstellungen zu Swaps und einfachen Long Call-Optionen finden sich bereits vollständig im Hauptteil der Arbeit. Nachfolgend finden sich daher ergänzend die mathematischen Darstellungen der Auszahlungsprofile der weiteren im Rahmen der Systemuntersuchung identifizierten Instrumentenkombinationen. Darüber hinaus finden sich in diesem Kapitel teils noch weitere ergänzende Erläuterungen zur Struktur der einzelnen Instrumente. Für die vollständige Übersicht über alle Instrumente sowie die grundlegenden Erläuterungen zu allen Instrumenten wird auf den Hauptteil der Arbeit und dort auf Kapitel 4.2.3.2 sowie

⁷³⁰ Vgl. Adams/Gerner (2012): S. 1304 ff. Ergebnisse für Benzin werden in Detailanalysen nicht dargestellt. Allerdings verweisen Adams und Gerner (2012) darauf, dass diese ebenfalls berechnet wurden.

⁷³¹ Vgl. Lim/Turner (2016): S. 35 ff.

⁷³² Vgl. Adams/Gerner (2012): S. 1306 f.

⁷³³ Diese Feststellung findet sich ebenfalls in Lim und Turner (2016). Vgl. Lim/Turner (2016): S. 46.

⁷³⁴ Vgl. Adams/Gerner (2012): S. 1304, 1307 f.; vgl. Lim/Turner (2016): S. 35.

Tabelle 3 verwiesen. Des Weiteren wird bereits auf die zusammenfassende Darstellung in Tabelle 60 im Anhang B I verwiesen. In dieser Tabelle finden sich alle nachfolgend festgelegten Zusammenhänge bezüglich der relativen Beziehungen zwischen den Strikes einzelner Derivate in einer übersichtlichen und aggregierten Darstellungsform.

3. Collars⁷³⁵

Für das Auszahlungsprofil des Collars mit einem Long Call und einem Short Put gilt unter Berücksichtigung von (2.4) und (2.5) mit Sicherungszeitpunkt $T_0 = 0$:

Auszahlungsprofil des Collars

$$\begin{aligned} \text{Auszahlung}_T^{\text{Collar,asiat.}} &= \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{\text{Call,Long}}, 0) - P_0^{\text{Call,Long}} \\ &\quad - \max(K_0^{\text{Put,Short}} - Fuel_{\bar{T}}, 0) + P_0^{\text{Put,Short}}, \\ &0 < \tau < t \leq T \end{aligned} \quad (\text{A V.2})$$

Damit der Collar gemäß den in Kapitel 4.1.2.1 formulierten Anforderungen an die bilanzielle Effektivität gehandelt werden darf, gilt darüber hinaus: $K_0^{\text{Call,Long}} > K_0^{\text{Put,Short}}$. Außerdem ist stets zu beachten, dass eine Nettoprämienzahlerposition eingenommen wird. Es muss folglich gelten: $|P_0^{\text{Call,Long}}| \geq |P_0^{\text{Put,Short}}|$.

Das an dieser Stelle mathematisch definierte Auszahlungsprofil des Collars wird zudem in Abbildung 45 im Anhang B II grafisch veranschaulicht.

4. Caps

Für das Auszahlungsprofil des Caps mit einem Swap und einem Long Put gilt unter Berücksichtigung von (2.3) sowie (2.5) und mit $T_0 = 0$:

Auszahlungsprofil des Caps

$$\begin{aligned} \text{Auszahlung}_T^{\text{Cap,asiat.}} &= Fuel_{\bar{T}} - Fuel_{0,\bar{T}} + \max(K_0^{\text{Put,Long}} - Fuel_{\bar{T}}, 0) - P_0^{\text{Put,Long}}, \\ &0 < \tau < t \leq T \end{aligned} \quad (\text{A V.3})$$

Damit der Cap gemäß den in Kapitel 4.1.2.1 formulierten Anforderungen an die bilanzielle Effektivität gehandelt werden darf, gilt: $Fuel_{0,\bar{T}} > K_0^{\text{Put,Long}}$, wodurch die Fluggesellschaft stets eine Nettoprämienzahlerposition einnimmt.

Das an dieser Stelle mathematisch definierte Auszahlungsprofil des Caps wird zudem in Abbildung 46 im Anhang B II grafisch veranschaulicht.

5. Call Spread

Für das Auszahlungsprofil des Call Spreads mit einem Long Call und einem Short Call gilt unter Berücksichtigung von (2.4) und mit $T_0 = 0$:

Auszahlungsprofil des Call Spreads

$$\begin{aligned} \text{Auszahlung}_T^{\text{CallSpread,asiat.}} &= \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{\text{Call,Long}}, 0) - P_0^{\text{Call,Long}} \\ &\quad - \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{\text{Call,Short}}, 0) + P_0^{\text{Call,Short}}, \\ &0 < \tau < t \leq T \end{aligned} \quad (\text{A V.4})$$

⁷³⁵ Die Nummerierung entspricht der Nummerierung der Instrumente im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 4.2.3.2 und beginnt deshalb nicht mit „1.“.

Damit der Call Spread gemäß den in Kapitel 4.1.2.1 formulierten Anforderungen an die bilanzielle Effektivität gehandelt werden darf, gilt: $K_0^{Call,Short} > K_0^{Call,Long}$. Es folgt: $|P_0^{Call,Long}| > |P_0^{Call,Short}|$, wodurch die Fluggesellschaft stets Nettoprämienzahler ist. Das an dieser Stelle mathematisch definierte Auszahlungsprofil des Call Spreads wird zudem in Abbildung 47 im Anhang B II grafisch veranschaulicht.

6. 3-Way (mit Call Spread oder Put Spread)

Für das Auszahlungsprofil der beiden 3-Ways mit jeweils einem Long Call und alternativ einem Short Put sowie einem Short Call (3-Way mit Call Spread) beziehungsweise einem Short Put und einem Long Put (3-Way mit Put Spread) gilt unter Berücksichtigung von (2.4) und (2.5) sowie mit $T_0 = 0$:

Auszahlungsprofile der 3-Ways

Auszahlung $_{T_0}^{3Way-CallSpread,asiat.}$

$$\begin{aligned} &= \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{Call,Long}, 0) - P_0^{Call,Long} \\ &\quad - \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{Call,Short}, 0) + P_0^{Call,Short} \\ &\quad - \max(K_0^{Put,Short} - Fuel_{\bar{T}}, 0) + P_0^{Put,Short}, \\ &0 < \tau < t \leq T \end{aligned} \quad (A V.5)$$

Auszahlung $_{T_0}^{3Way-PutSpread,asiat.}$

$$\begin{aligned} &= \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{Call,Long}, 0) - P_0^{Call,Long} \\ &\quad - \max(K_0^{Put,Short} - Fuel_{\bar{T}}, 0) + P_0^{Put,Short} \\ &\quad + \max(K_0^{Put,Long} - Fuel_{\bar{T}}, 0) - P_0^{Put,Long}, \quad 0 < \tau < t \leq T \end{aligned} \quad (A V.6)$$

Damit beide 3-Way-Varianten gemäß den in Kapitel 4.1.2.1 formulierten Anforderungen an die bilanzielle Effektivität gehandelt werden dürfen, gelten bezüglich der Reihenfolge der Strikes die Restriktionen, welche zuvor bereits für Collars definiert wurden. Zusätzlich gelten für den 3-Way mit Call Spread die Anforderungen, die zuvor für Call Spreads formuliert wurden. Für 3-Ways mit Put Spread wird für den Put Spread zudem festgelegt: $K_0^{Put,Short} > K_0^{Put,Long}$, sodass übergeordnet folgt: $K_0^{Call,Short} > K_0^{Call,Long} > K_0^{Put,Short} > K_0^{Put,Long}$. Bezüglich der Prämie gilt für den 3-Way mit Call Spread: $|P_0^{Call,Long}| \geq (|P_0^{Call,Short}| + |P_0^{Put,Short}|)$ sowie für den 3-Way mit Put Spread: $(|P_0^{Call,Long}| + |P_0^{Put,Long}|) \geq |P_0^{Put,Short}|$, wodurch Fluggesellschaften eine Nettoprämienzahlerposition einnehmen oder keine Nettoprämie anfällt.

Das an dieser Stelle mathematisch definierte Auszahlungsprofil beider 3-Ways wird zudem in Abbildung 48 im Anhang B II grafisch veranschaulicht.

7. 4-Way

Für das Auszahlungsprofil des 4-Ways mit je einem Long und Short Call sowie je einem Long und Short Put gilt unter Berücksichtigung von (2.4) und (2.5) sowie mit $T_0 = 0$:

Auszahlungsprofil des 4-Ways

Auszahlung $_T^{4Way,asiat.}$

$$\begin{aligned}
 &= \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{Call,Long}, 0) - P_0^{Call,ong} \\
 &\quad - \max(Fuel_{\bar{T}} - K_0^{Call,Short}, 0) + P_0^{Call,Short} \\
 &\quad - \max(K_0^{Put,Short} - Fuel_{\bar{T}}, 0) + P_0^{Put,Short} \\
 &\quad + \max(K_0^{Put,Long} - Fuel_{\bar{T}}, 0) - P_0^{Put,Long}, \quad 0 < \tau < t \leq T
 \end{aligned} \tag{A V.7}$$

Damit der 4-Way gemäß den in Kapitel 4.1.2.1 formulierten Anforderungen an die bilanzielle Effektivität gehandelt werden darf, gelten bezüglich der Reihenfolge der Strikes die Restriktionen, welche zuvor bereits für Collars, Call Spreads und Put Spreads definiert wurden. Zudem gilt: $(|P_0^{Call,Long}| + |P_0^{Put,Long}|) \geq (|P_0^{Call,Short}| + |P_0^{Put,Short}|)$, wodurch die Fluggesellschaft eine Nettoprämienzahlerposition einnimmt oder keine Nettoprämie anfällt. Das an dieser Stelle mathematisch definierte Auszahlungsprofil des 4-Way wird zudem in Abbildung 49 im Anhang B II grafisch veranschaulicht.

Anhang A VI. Erläuterungen zu Kapitel 5.1**Anhang A VI. a) Hintergrund 1: Kapitel 5.1 (Optimierungsverfahren und Zielfunktion)**

Wie im Hauptteil der Arbeit dargestellt, kommt in der vorliegenden Arbeit als Optimierungsmodell ein stochastisches Optimierungsmodell zum Einsatz. Als Ergänzung zur sehr knappen Darstellung in Kapitel 5.1 werden im Anhang A VI. a) und Anhang A VI. b) weitere Hintergründe und Informationen zu dieser Art von Optimierungsverfahren vorgestellt. In Ergänzung zur Argumentation im Hauptteil der Arbeit wird zunächst der Einsatz dieses Optimierungsverfahrens für den Anwendungsfall nochmals detaillierter qualitativ motiviert. Im Anhang A VI. b) werden nachfolgend relevante mathematische Grundlagen zum Aufstellen stochastischer Optimierungsmodelle in kompakter Form zusammengefasst. Der Übertrag auf den Anwendungsfall erfolgt im Hauptteil der Arbeit ab Kapitel 5.1.

Eine spezielle Form der Optimierungsverfahren stellt die *stochastische Optimierung* dar. Diese wird genutzt, wenn zukünftige Ausprägungen einzelner oder mehrerer Inputparameter der Optimierung stochastisch – also: unsicher – sind. Ein Merkmal des Ansatzes ist demnach, dass im realen zu modellierenden System verschiedene Zeitpunkte betrachtet werden, zwischen denen sich neue, zuvor unsichere Informationen offenbaren.⁷³⁶ Da in diesen Fällen keine deterministische Optimierung durchgeführt werden kann, sind Standardoptimierungsverfahren der *Operations Research* nicht nutzbar.⁷³⁷ Die entscheidende Abgrenzung zu anderen Optimierungsansätzen ist demnach, dass die stochastische Optimierung nicht ausschließlich Inputparameter nutzt, deren zukünftige Ausprägungen bereits vorab als deterministisch angesehen werden können. Stattdessen werden bei dieser Inputparameter berücksichtigt, deren zukünftige Realisierungen im Entscheidungszeitpunkt weder mit Sicherheit vorhergesagt werden können noch durch aktive Entscheidungen so beeinflussbar sind, dass sichere zukünftige Realisierungen eintreten. Im Rahmen der Modellierung ist es allerdings notwendig, eine solche stochastische Entwicklung bestmöglich zu quantifizieren. Möglich ist dies dann, wenn der Entwicklung der stochastischen Inputparameter eine *beschreibbare Zufälligkeit* (Beispiel für eine solche *beschreibbare Zufälligkeit*: Es lassen sich Erwartungswerte bestimmen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung um diese Erwartungswerte lässt sich quantifizieren) zugrunde liegt, sodass diese über Wahrscheinlichkeitsmodelle beschrieben werden können. Bei Parametern, die alle diese Anforderungen erfüllen, handelt es sich um Zufallsvariablen.⁷³⁸

Es folgt, dass die in einem stochastischen Optimierungsmodell ex-ante ermittelten Optima nicht zwangsläufig auch ex-post optimale Lösungen darstellen müssen. Stattdessen ist ein ex-ante ermitteltes Optimum lediglich diejenige Lösung des Optimierungsproblems, welche, aus Sicht eines Entscheidungszeitpunkts und auf Basis der zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Informationen, die optimale Lösung für die Problemstellung darstellt. Für ein Unternehmen, welches beispielsweise die Maximierung seines zukünftigen Gewinns anstrebt, bedeutet dies, dass es mit Hilfe stochastischer Optimierung nicht mit Sicherheit seinen zukünftigen Gewinn maximieren wird. Stattdessen wird über den Einsatz dieser Methodik der zukünftige erwartete Gewinn (Erwartungswert) maximiert. Für eine vertiefte Diskussion der Nutzung

⁷³⁶ Vgl. King/Wallace (2012): S. 6 f.

⁷³⁷ Beispielhaft ist die Optimierung unter Rückgriff auf das Standardverfahren der linearen Programmierung in diesem Fall nicht möglich. Vgl. Hillier/Liebermann (1997): S. 35.

⁷³⁸ Vgl. Hillier/Liebermann (1997): S. 478 ff.

von Erwartungswerten als Zielkriterium unternehmerischer Optimierungen wird abermals auf King und Wallace (2012) verwiesen.⁷³⁹

Im Rahmen des Schemas zur Strukturierung von Optimierungsproblemen (siehe: Darstellung zu Beginn von Kapitel 5) stellt die Formel zur Berechnung des Erwartungswertes beim Einsatz der stochastischen Optimierung daher die Zielfunktion dar. Diese Zielfunktion muss, neben der Zufallsvariable (beziehungsweise den Zufallsvariablen), mindestens von einer im Entscheidungszeitpunkt wählbaren und im Entscheidungszeitpunkt zu determinierenden Entscheidungsvariable (siehe: Kapitel 5.3.2) abhängen. Das Optimierungsverfahren berechnet dann diejenige Ausprägung der Entscheidungsvariable, aus welcher der maxi-/minimale Erwartungswert resultiert.

In dieser Arbeit werden lediglich zweistufige stochastische Optimierungsprobleme betrachtet. Für diese gilt, dass das Modell lediglich zwei Stufen (Zeitpunkte) berücksichtigt:

1. *Entscheidungszeitpunkt* (T_0), zu welchem die zukünftige Realisierung der Zufallsvariable(n) unbekannt ist und eine nicht-revidierbare Entscheidung über die Ausgestaltung der Entscheidungsvariable(n) getroffen werden muss. Der Entscheidungszeitpunkt ist im Fall von Hedging äquivalent zum Vertragszeitpunkt.
2. *Realisierungs- bzw. Erfüllungszeitpunkt* (T), in welchem die Realisierung der Zufallsvariable(n) bekannt ist, wodurch sich zuvor unsichtbare Informationen offenbaren. Auf Basis der Realisierung und der zuvor gewählten Ausgestaltung der Entscheidungsvariable(n) ist der ex-post Erfolg der Optimierung messbar.

Wie in Kapitel 3.1.3 dargelegt, greifen auch andere Autoren, wie Brown und Toft (2002) oder Bajo, Barbi und Romagnoli (2015) im Kontext der Optimierung von Hedging auf stochastische Optimierungsmodelle zurück. Diese Autoren zeigen, dass die theoretisch optimale Ausgestaltung von Finanzderivaten durch ein stochastisches Optimierungsmodell bestimmt werden kann.

Anhang A VI. b) Hintergrund 2: Kapitel 5.1 (Optimierungsverfahren und Zielfunktion)

In diesem Kapitel werden allgemeine mathematische Grundlagen dargestellt, die beim Aufstellen des Optimierungsmodells im Rahmen dieser Arbeit vielfach von Relevanz sind. Aufbauend auf der vorangegangenen qualitativen Einführung (siehe: Kapitel 5.1 sowie Anhang A VI. a)) wird die mathematische Formulierung des Erwartungswertes für den relevanten Fall mehrerer stetiger Zufallsvariablen allgemein dargestellt.

Es sei an dieser Stelle abermals angemerkt, dass die Ausführungen in diesem Kapitel (sowie in nachfolgenden Kapiteln) Annahmen, Beweise und Definitionen voraussetzen, die an dieser Stelle teils nur gekürzt, unvollständig oder gar nicht vorgestellt werden. Dieser Ansatz wurde mit Blick auf den Praxisfokus der vorliegenden Arbeit gewählt. Die Nutzbarkeit der hergeleiteten Resultate für den Anwendungsfall ist trotz der Vereinfachungen sichergestellt. Die genutzte Darstellung orientiert sich schematisch an Henze (2010) sowie Roy und Rao (2017). Für jegliche Hintergründe, Definitionen und Beweise wird auf diese beiden Quellen sowie auf Georgii (2015) verwiesen.⁷⁴⁰

Für eine intuitive und allgemeine Einführung in die Thematik sind zunächst Darstellungen unter Rückgriff auf eine eindimensionale Zufallsvariable X hilfreich. Sei X eine reelle

⁷³⁹ Vgl. King/Wallace (2012): S. 63 ff.

⁷⁴⁰ Für eine umfassende Darstellung der nachfolgend vorgestellten Zusammenhänge werden die Standardlehrwerke Georgii (2015) oder Henze (2010) empfohlen. Es empfiehlt sich auch Roy/Rao (2017). Die hier genutzte Darstellung orientiert sich primär an: Vgl. Henze (2010): S. 259 ff.; vgl. Roy/Rao (2017): S. 21 ff., 591 ff.

Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$, so bezeichnet man die Funktion $F: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ als Verteilungsfunktion der Zufallsvariable, sofern gilt:⁷⁴¹

Verteilungsfunktion der eindimensionalen Zufallsvariable

$$F(x) := P(X \leq x), \quad x \in \mathbb{R} \quad (\text{A VI.1})$$

Darüber hinaus existiere die nichtnegative integrierbare Funktion f mit der Eigenschaft:⁷⁴²

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (\text{A VI.2})$$

und es gilt, dass die Verteilungsfunktion F dargestellt werden kann durch:⁷⁴³

Dichte der Verteilungsfunktion der eindimensionalen Zufallsvariable

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, \quad x \in \mathbb{R} \quad (\text{A VI.3})$$

In diesem Fall beschreibt f die Dichte der Verteilungsfunktion von X und es handelt sich um eine stetige Zufallsvariable, deren Erwartungswert berechnet werden kann über:⁷⁴⁴

Erwartungswert der eindimensionalen Zufallsvariable

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx \quad (\text{A VI.4})$$

Sei zudem g eine messbare Funktion, dann folgt für den Erwartungswert von $g(X)$:⁷⁴⁵

$$E(g(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x) dx \quad (\text{A VI.5})$$

Sei $\mathbf{X}$ keine einzelne Zufallsvariable, sondern ein n -dimensionaler Vektor von Zufallsvariablen $(X_1, \dots, X_n)$ auf dem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$, so kann die gemeinsame Verteilungsfunktion für alle $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}^n$ beschrieben werden durch:⁷⁴⁶

Verteilungsfunktion der n -dimensionalen Zufallsvariable

$$F_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) = F_{\mathbf{X}}(x_1, \dots, x_n) := P(X_1 \leq x_1, \dots, X_n \leq x_n), \quad \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \quad (\text{A VI.6})$$

Sofern die gemeinsame Verteilungsfunktion absolut stetig ist, es sich also um einen Vektor stetiger Zufallsvariablen handelt, kann die Dichte des Zufallsvektors durch eine nichtnegative Funktion h beschrieben werden, welche die Eigenschaft besitzt:⁷⁴⁷

$$\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} h(t_1, \dots, t_n) dt_1, \dots, dt_n = 1 \quad (\text{A VI.7})$$

In diesem Fall handelt es sich bei h um die Dichte einer multivariaten Verteilungsfunktion. Im mehrdimensionalen Fall gilt dann:⁷⁴⁸

⁷⁴¹ Henze (2010): S. 261.

⁷⁴² Henze (2010): S. 264.

⁷⁴³ Henze (2010): S. 264.

⁷⁴⁴ Henze (2010): S. 276.

⁷⁴⁵ Henze (2010): S. 275.

⁷⁴⁶ Vgl. Henze (2010): S. 284 ff.; vgl. Roy/Rao (2017): S. 29.

⁷⁴⁷ Vgl. Henze (2010): S. 284, 292.

⁷⁴⁸ Vgl. Henze (2010): S. 284 f., 292.

Dichte der Verteilungsfunktion der n-dimensionalen Zufallsvariable

$$\begin{aligned} F_X(x_1, \dots, x_n) &= P(X_1 \leq x_1, \dots, X_n \leq x_n) \\ &= \int_{-\infty}^{x_1} \dots \int_{-\infty}^{x_n} h(t_1, \dots, t_n) dt_1, \dots, dt_n, \quad x \in \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (\text{A VI.8})$$

Sei g eine messbare Funktion, so folgt für den Erwartungswert von $g(X_1, \dots, X_n)$:⁷⁴⁹

Erwartungswert der n-dimensionalen Zufallsvariable

$$E(g(X_1, \dots, X_n)) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} g(x_1, \dots, x_n) * h(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n \quad (\text{A VI.9})$$

Zusätzlich ist es möglich, ausgehend von der Dichte des Zufallsvektors, die marginale Dichte $f_j(x_j)$ ($j = 1, \dots, n$) jeder einzelnen Zufallsvariable zu ermitteln. Dies geschieht beispielsweise für $f_1(x_1)$ über:⁷⁵⁰

Randverteilung der n-dimensionalen Zufallsvariable

$$f_1(x_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} h(x_1, \dots, x_n) dx_2, \dots, dx_n \quad (\text{A VI.10})$$

Die so ermittelbaren eindimensionalen Verteilungsfunktionen für $X_1, \dots, X_n$ werden als Marginal- oder Randverteilung bezeichnet. Aus dem Zusammenspiel von Randverteilungen und gemeinsamer Verteilung des Zufallsvektors können Aussagen über Abhängigkeitsverhältnisse der Zufallsvariablen getroffen werden. Dann und nur dann, wenn gilt:⁷⁵¹

Stochastische Unabhängigkeit

$$P(X_1 \leq x_1, \dots, X_n \leq x_n) = \prod_{j=1}^n P(X_j \leq x_j) \quad (\text{A VI.11})$$

handelt es sich bei $X_1, \dots, X_n$ um *stochastisch unabhängige* Zufallsvariablen. In diesem Fall gilt für die gemeinsamen Erwartungswerte:⁷⁵²

Erwartungswerte bei stochastischer Unabhängigkeit

$$E(g(X_1, \dots, X_n)) = E(g(X_1)) * E(g(X_2)) * \dots * E(g(X_n)) \quad (\text{A VI.12})$$

Ist (A VI.11) nicht erfüllt, sind (zumindest zwei der n) Zufallsvariablen *stochastisch abhängig*, wobei das Maß der stochastischen Abhängigkeit zu quantifizieren ist.

Unabhängig von der stochastischen Abhängigkeit der Zufallsvariablen kann allerdings eine Funktion g konstruiert werden, für welche die Ausprägung des Erwartungswertes $E(g(X_1, \dots, X_n))$ stets unabhängig vom Maß der stochastischen Abhängigkeit der Zufallsvariablen ist. Sofern gilt:

Funktion g für additive Zufallsvariablen

$$g(X_1, \dots, X_n) = \sum_{j=1}^n X_j \quad (\text{A VI.13})$$

folgt für den Erwartungswert:⁷⁵³

⁷⁴⁹ Henze (2010): S. 293.

⁷⁵⁰ Henze (2010): S. 293.

⁷⁵¹ Vgl. Henze (2010): S. 287 ff., 293; vgl. Roy/Rao (2017): S. 37 ff.

⁷⁵² Vgl. Henze (2010): S. 290, 293.

⁷⁵³ Vgl. Georgii (2015): S. 103 ff.; vgl. Henze (2010): S. 284 f., 292; vgl. Roy/Rao (2017): S. 34 ff.

Additive Zufallsvariablen - Erwartungswert (Rechenschritte)

$$\begin{aligned}
E(g(X_1, \dots, X_n)) &= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} g(x_1, \dots, x_n) * h(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right) h(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n \quad (\text{A VI.14}) \\
&= \sum_{j=1}^n \left(\int_{-\infty}^{\infty} (x_j * f_j(x_j) * dx_j) \right) = \sum_{j=1}^n E(X_j)
\end{aligned}$$

Darüber hinaus lässt sich ein allgemeiner Fall für die Ausgestaltung von $g(b, \mathbf{X})$ konstruieren, welcher im weiteren Verlauf der Arbeit von Interesse ist und daher vorgestellt werden soll. Hierfür wird zusätzlich die Funktion $u(b, X_1)$ eingeführt. Unter Berücksichtigung von $u(b, X_1)$ wird die Funktion $g(b, \mathbf{X})$ an dieser Stelle definiert als:

Additive Zufallsvariablen: Hintergrund I

$$g(b, \mathbf{X}) = g(u(b, X_1), X_2, \dots, X_n) = u(b, X_1) + \sum_{j=2}^n X_j \quad (\text{A VI.15})$$

Mit Verweis auf (A VI.14) folgt in diesem Fall allgemein für den Erwartungswert:

Additive Zufallsvariablen: Hintergrund II

$$E(g(b, \mathbf{X})) = E(u(b, X_1)) + \sum_{j=2}^n E(X_j) \quad (\text{A VI.16})$$

Es wird angenommen, dass $E(g(b, \mathbf{X}))$ stetig ist, alle $E(X_j)$ existieren und jeweils einen konstanten Wert annehmen sowie: $E(X_1) \neq 0$. Wird zudem angenommen, dass es sich bei $u(b, X_1)$ um eine lineare Funktion von b handelt, dann gilt:

Additive Zufallsvariablen: Hintergrund III

$$E(u(b, X_1)) = b * E(X_1) \quad (\text{A VI.17})$$

In diesem Fall stellt auch (A VI.16) eine lineare Funktion von b dar.

Anhang A VI. c) *Hintergrund: Kapitel 5.1.1 (Qualitative Erläuterungen zu Optimierungsverfahren und Zielfunktion)*

Ohne nähere Kenntnisse zu den in Kapitel 3.1.3 vorgestellten theoretischen Grundlagenarbeiten scheint beispielsweise auch die Idee naheliegend, dass Fluggesellschaften, welche Treibstoffpreissicherungen abschließen, mit diesen primär die Minimierung des zukünftigen Treibstoffaufwands oder die Maximierung des zukünftigen Cash-Flows anstreben. Diese Ziele könnten beispielsweise auch aus den von Fluggesellschaften selbst genannten Sicherungszielen abgeleitet werden (siehe: Kapitel 4.1.1.2). Allerdings kann einfach gezeigt werden, dass eine Optimierung, welche die Minimierung des Treibstoffaufwands oder die Maximierung des Cash-Flows anstrebt, nicht dazu geeignet ist, den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen zu motivieren. An dieser Stelle ist mathematisch dargestellt, weshalb die beiden Ansätze für eine Optimierung nicht geeignet sind. Es ist zu berücksichtigen, dass in der folgenden Darstellung bereits auf Annahmen, Definitionen und Variablen zurückgegriffen wird, die im Hauptteil der Arbeit erst in den auf Kapitel 5.1.1 folgenden Kapiteln eingeführt werden.

1. Alternativvariante I: Minimierung des Treibstoffaufwands

Soll mit Hedging das Ziel der Minimierung des Treibstoffaufwands verfolgt werden, entspricht die Zielfunktion dem erwarteten Treibstoffaufwand einer Fluggesellschaft inklusive Hedging im zukünftigen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$. In der Zielfunktion findet sich demnach entweder $E_{T_0} \left(FuelCost_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}) \right)$ (absoluter Treibstoffaufwand) oder $Fuel_{\bar{T}}$ (auf ein Barrel skalierter Treibstoffaufwand). Da gemäß der in Kapitel 5.1.2.2 getroffenen Annahmen keine Unsicherheit bezüglich der zu konsumierenden Treibstoffmenge besteht und alle Strikes der relevanten Sicherungskombination w ($\mathbf{k}_w$) bereits im Entscheidungszeitpunkt festgelegt werden müssen, herrscht in T_0 lediglich Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Marktpreises für Treibstoff ($Fuel_{\bar{T}}$). Alle in Kapitel 5.1.2.3 getroffenen Annahmen an die Verteilung der Treibstoffpreiszufallsvariable besitzen weiterhin Gültigkeit. Zur Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion wird zudem bereits die Variable f_{Fuel} genutzt, die im Rahmen der Arbeit erst in Kapitel 6.2.1.1 eingeführt wird.

Demnach lautet das beim Abschluss von Instrumentenkombination w zu lösende Optimierungsproblem (in der auf ein Barrel normierten Form):

Optimierungsproblem: Minimierung Treibstoffaufwand

$$\min_{\mathbf{k}_w} E_{T_0} \left(Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \quad (\text{A VI.18})$$

Die zugehörige Zielfunktion kann umgeschrieben werden:

Zielfunktion: Split der Erwartungswerte

$$\begin{aligned} E_{T_0} \left(Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left(Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\ &\quad * f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} (Fuel_{\bar{T}}) f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} \\ &\quad - \int_{-\infty}^{\infty} \left(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} \\ &= E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}}) - E_{T_0} \left(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \end{aligned} \quad (\text{A VI.19})$$

Diese Darstellung zeigt, dass der erwartete Treibstoffaufwand inklusive Sicherung lediglich der Differenz aus erwartetem Treibstoffaufwand für den physischen Treibstoffverbrauch und dem erwarteten Ergebnis der Sicherung entspricht. Für die Optimierung folgt:

Optimierungsproblem: Split der Erwartungswerte

$$\min_{\mathbf{k}_w} \left(-E_{T_0} \left(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) + E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}}) \right) \quad (\text{A VI.20})$$

Gemäß den getroffenen Annahmen entspricht der Erwartungswert der Zufallsvariable ($E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}})$) dem Terminpreis der Rohware (siehe: (3.5)). Es handelt sich somit im Zeitpunkt T_0 um eine von $\mathbf{k}_w$ unabhängige Konstante. Demnach muss zum Auffinden des gesuchten Minimums nach (A VI.20) lediglich das Sicherungsergebnis näher betrachtet werden. Es folgt:

$$\max_{\mathbf{k}_w} \left(E_{T_0} \left(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \right) \quad (\text{A VI.21})$$

Demnach soll an dieser Stelle die Minimierung des erwarteten Treibstoffaufwands durch die Maximierung des erwarteten Sicherungsergebnisses erreicht werden.

Wie in Kapitel 2.2.3.3 diskutiert, berechnet sich $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ als Summe von bereits im Sicherungszeitpunkt T_0 bekannten Nettoprämienzahlungen sowie den erst im Erfüllungszeitpunkt T bekannten Sicherungsergebnissen. Allerdings gilt, wie in Kapitel 3.3 ausführlich dargelegt (siehe schematisches Beispiel: (3.8)), dass die im Zeitpunkt T_0 ermittelte Prämie eines Derivates, unter der Annahme der Gültigkeit der No-Arbitrage-Annahmen, stets exakt dem Erwartungswert dieses Derivates unter dem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß entspricht. Im vorliegenden Fall von Derivaten auf Rohwarenfutures und unter den getroffenen Annahmen gilt, dass die Summe aus ermittelter Nettoprämie und erwartetem Sicherungsergebnis im Zeitpunkt T_0 stets gleich 0 ist. Es gilt folglich: $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) = 0$ für beliebige $\mathbf{k}_w \in (0, \infty)$. Demnach kann durch Variation der über $\mathbf{k}_w$ erfassten Instrumente-Strikes für das in (A VI.21) dargestellte Optimierungsproblem kein Maximum gefunden werden.

2. Alternativvariante II: Maximierung des Free-Cash-Flows

Alternativ kann mit Hedging das Ziel der Maximierung des erwarteten Free-Cash-Flows verfolgt werden. In diesem Fall ist als Basis der Betrachtung die Darstellung des erwarteten FCF nach (5.6) zu nutzen. Alle im Hauptteil der Arbeit getroffenen Annahmen an die Verteilungen der beiden Zufallsvariablen besitzen weiterhin Gültigkeit. Die Zielfunktion kann dann in der auf ein Barrel normierten Form umgeschrieben werden zu:⁷⁵⁴

Zielfunktion: Erwarteter Free-Cash-Flow

$$\begin{aligned}
 E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) &= E_{T_0} \left((PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \right. \\
 &\quad \left. - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) * (1 \right. \\
 &\quad \left. - Steuer) \right) \tag{A VI.22} \\
 &= \iint_{-\infty}^{\infty} (PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \\
 &\quad - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) \\
 &\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}
 \end{aligned}$$

Diese Formel stellt die Zielfunktion des stochastischen Optimierungsproblems unter Berücksichtigung der Zufallsvariablen sowie der Entscheidungsvariablen $\mathbf{k}_w$ dar. Die Funktion $h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}})$ entspricht der Dichtefunktion der bivariaten Zufallsverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$. Es wird angenommen, dass die gemeinsame Verteilungsfunktion gemäß (A VI.6) existiert und es sich um eine stetige Funktion handelt. Zusätzlich wird angenommen, dass die nichtnegative integrierbare gemeinsame Dichtefunktion $h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}})$ existiert.⁷⁵⁵

⁷⁵⁴ Aus Übersichtlichkeitsgründen wird an dieser Stelle unterstellt: $Steuer = 0$. Da einzelne Summanden und Subtrahenden lediglich mit der Konstanten $(1 - Steuer)$ multipliziert werden, hat diese Annahme keine Auswirkung auf die erzielten Ergebnisse.

⁷⁵⁵ Detailliertere Hintergründe zu dieser bivariaten Verteilung finden sich im Hauptteil der Arbeit erst in Kapitel 6.2.3. In der folgenden Erläuterung werden zudem die beiden Darstellungen g_{PUOF} (siehe: Kapitel 6.2.2.1) sowie f_{Fuel} (siehe: Kapitel 6.2.1.1) zur Bezeichnung der beiden Randverteilungen genutzt. Zur Überleitung zu den Randverteilungen siehe Hintergrund im Anhang A VI. b).

Demnach lautet das beim Abschluss von Instrumentenkombination w zu lösende Optimierungsproblem (in der auf ein Barrel normierten Form):

Optimierungsproblem: Maximierung Gewinn nach GuV

$$\max_{k_w} E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, k_w)) \quad (A \text{ VI.23})$$

Bevor die Bedingung erster Ordnung aufgestellt wird, ist es sinnvoll, die Zielfunktion ausgehend von (A VI.22) allgemein umzuschreiben zu:

Zielfunktion: Split der Erwartungswerte I

$$\begin{aligned} E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, k_w)) &= \iint_{-\infty}^{\infty} (PUOF_{i,\bar{T}} * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}) \\ &- \iint_{-\infty}^{\infty} (Fuel_{\bar{T}} * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}) \\ &- \iint_{-\infty}^{\infty} (HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w) \\ &* h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}) \\ &+ \iint_{-\infty}^{\infty} (ErlösRest_{i,\bar{T}} * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}) \\ &- \iint_{-\infty}^{\infty} (AufwandRest_{i,\bar{T}} \\ &* h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}) \end{aligned} \quad (A \text{ VI.24})$$

Da die ersten drei Elemente jeweils nur von einer Zufallsvariable abhängen, folgt, dass diese Gleichung gemäß (A VI.14) vereinfacht werden kann. Da außerdem zuvor festgelegt wurde, dass *ErlösRest* sowie *AufwandRest* deterministische Parameter darstellen, folgt für die beiden Elemente, dass sich die dargestellten Erwartungswerte zu *ErlösRest*_{*i*, $\bar{T}$} und *AufwandRest*_{*i*, $\bar{T}$} umschreiben lassen. (A VI.24) kann daher weiter vereinfacht werden zu:

Zielfunktion: Split der Erwartungswerte II

$$\begin{aligned} E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, k_w)) &= \int_{-\infty}^{\infty} (PUOF_{i,\bar{T}} * g_{PUOF}(PUOF_{i,\bar{T}}) dPUOF_{i,\bar{T}}) \\ &- \int_{-\infty}^{\infty} (Fuel_{\bar{T}} * f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}}) \\ &- \int_{-\infty}^{\infty} (HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w) * f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}}) \\ &+ ErlösRest_{i,\bar{T}} - AufwandRest_{i,\bar{T}} \\ &= E_{T_0}(PUOF_{i,\bar{T}}) - E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}}) \\ &- E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w)) + ErlösRest_{i,\bar{T}} \\ &- AufwandRest_{i,\bar{T}} \end{aligned} \quad (A \text{ VI.25})$$

Wie zuvor in diesem Kapitel bereits dargestellt und begründet, gilt beim Abschluss der Sicherung w allgemein $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w)) = 0$. Somit folgt:

Zielfunktion: Erwarteter Gewinn nach GuV mit Zufallsvariablen II

$$\begin{aligned}
E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) &= \\
&= E_{T_0}(PUOF_{i,\bar{T}}) - E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}}) - 0 + ErlösRest_{i,\bar{T}} \\
&\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}}
\end{aligned} \tag{A VI.26}$$

Wie ebenfalls zuvor bereits dargestellt, entspricht $E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}})$ dem Terminpreis der Rohware ($Fuel_{T_0,\bar{T}}$). $E_{T_0}(PUOF_{i,\bar{T}})$ entspricht der erwarteten Einzahlung aus Ticketverkäufen in $\bar{T}$. Da die Realisierung beider Größen unabhängig von der Ausgestaltung des Vektors der Entscheidungsvariablen $\mathbf{k}_w$ ist, folgt, dass der erwartete $FCF_{i,\bar{T}}$ ebenfalls unabhängig von $\mathbf{k}_w$ sein muss. Demnach hat der Abschluss von Sicherungen keinen Einfluss auf den erwarteten $FCF_{i,\bar{T}}$, weshalb über die Lage der Strikes ($\mathbf{k}_w$) der zu handelnden Derivatekombination w auch kein Einfluss auf $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w))$ genommen werden kann. Sofern die Optionspreistheorie und die No-Arbitrage-Annahme als gültig angesehen werden, kann durch Variation von $\mathbf{k}_w$ für das untersuchte Optimierungsproblem somit ebenfalls kein FCF-Maximum gefunden werden.

Gesellschaften, die dennoch versuchen, über den Einsatz von Hedging den erwarteten Treibstoffaufwand zu minimieren oder den Free-Cash-Flow zu maximieren, müssen davon ausgehen, bessere Informationen als der Markt zu besitzen.

Anhang A VI. d) Erläuterungen: Kapitel 5.1.2.3 (Treibstoffpreis, Treibstoffaufwand und Sicherungsergebnis)

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, erfasst der Vektor $\mathbf{k}_w$ jeweils die im Modell ex-ante wählbaren Strikes aller Derivate einer einzelnen Derivatekombination w (siehe: Kapitel 4.2.3.2). Wie ebenfalls bereits dargestellt, wird auf Basis der Wahl von $\mathbf{k}_w$ im Zeitpunkt T_0 jeweils die Höhe der zugehörigen Prämienzahlung bestimmt. Das auf ein Barrel normierte ex-post Treibstoffpreissicherungsergebnis (inklusive Berücksichtigung der zugehörigen Prämie) der Derivatekombination w hängt demnach sowohl von den gewählten Strikes ($\mathbf{k}_w$) als auch vom Marktpreis für Treibstoff ($Fuel_{\bar{T}}$) ab und wird als $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ erfasst. Eine Sicherung w wird stets für ein gesamtes, einzeln identifizierbares und zuvor ungesichertes Barrel Kerosin abgeschlossen. Der Zielsicherungsgrad wird in der im Hauptteil der Arbeit vorgestellten pro Barrel Betrachtung zunächst noch nicht berücksichtigt. Es sei zudem abermals klargestellt, dass – wie im Hauptteil der Arbeit ebenfalls beschrieben – für eine bessere Lesbarkeit in Klammern nur solche Variablen erfasst und dargestellt werden, die stochastisch sind (hier: $Fuel_{\bar{T}}$) oder Entscheidungsvariablen darstellen (hier: $\mathbf{k}_w$, siehe: Kapitel 5.3).⁷⁵⁶

Über die im Hauptteil der Arbeit vorgestellten Definitionen hinausgehend, wird an dieser Stelle zudem die Matrix $\mathbf{K}_{\bar{T}}$ eingeführt. Die Matrix $\mathbf{K}_{\bar{T}}$ erfasst die Strikes aller Derivatekombinationen w_n , die für eine einzelne Periode $\bar{T}$ abgeschlossen werden. Sofern für eine Periode $\bar{T}$ insgesamt N (mit: $N \geq 1$) Derivatekombinationen gehandelt werden und alle einzelnen Sicherungen für eine Periode $\bar{T}$ stets die gleiche Sicherungsmenge umfassen⁷⁵⁷, gilt für das absolute Sicherungsergebnis unter Berücksichtigung aller für eine Periode gehandelten Derivate gemäß den Vorgaben im Hauptteil der Arbeit:

⁷⁵⁶ Siehe hierzu auch: Fußnote 360 im Hauptteil der Arbeit.

⁷⁵⁷ Demnach muss *MengeRelativ* beim Abschluss jeder Derivatekombination w_n identisch sein. Diese Vorgabe entspricht den Annahmen und Modellvorgaben gemäß Kapitel 4.2.1.4.

Überleitung: Normierte Treibstoffpreissicherungsergebnisse

$$\begin{aligned}
 & HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, K_{\bar{T}}) \\
 &= \left(\sum_{n=1}^N HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_{w_n}) \right) * MengeRelativ \quad (A\ VI.27) \\
 & * Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}
 \end{aligned}$$

Wie im Hauptteil der Arbeit dargestellt, ist zu berücksichtigen, dass die Größe $HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w)$ demgegenüber im Rahmen der Modellerstellung vereinfachend lediglich vom Abschluss einer einzelnen Sicherung für Zeitraum $\bar{T}$ ausgeht.

Sofern $K_{\bar{T}}$ die Strikes aller Derivatekombinationen w_n (mit $n = 1, \dots, N$) erfasst, die für eine Periode $\bar{T}$ abgeschlossen werden, folgt für $N = 1$: $HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w) = HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, K_{\bar{T}})$.

Die Nutzung der vereinfachten Darstellung von $HedgeResultAbs_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w)$, welche lediglich den Abschluss einer Sicherung für Periode $\bar{T}$ unterstellt, ist im Rahmen der Modellerstellung allerdings unproblematisch, da sich sämtliche für das Simulationsmodell und die Optimierung maßgeblichen Darstellungen ausschließlich aus der normierten Darstellung pro Barrel Kerosin herleiten (siehe: Kapitel 5.3).

Anhang A VI. e) Erläuterungen: Kapitel 5.1.2.4 (Sonstige Aufwendungen als deterministische Größe)

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, werden in der relevanten GuV-Strukturdarstellung in Tabelle 62 unter $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ vier übergeordnete Aufwandspositionen zusammengefasst: (1) Abschreibungen, (2) Personalaufwand, (3) sonstige betriebliche Aufwendungen und (4) restlicher Materialaufwand (exklusive Treibstoffaufwand).

Tabelle 42 – Zusammensetzung sonstiger Aufwand – Beispiel: Lufthansa Group

Aufwandsposition	Komponenten	Anteil an Aufwand Rest 2019	Anteil an Aufwand Rest 2018
Abschreibungen		10%	9%
Personalaufwand		25%	25%
Restlicher Materialaufwand (exkl. Treibstoffaufwand)	Gebühren	20%	21%
	Fremdleistungen Technik	11%	10%
	Sonstiges (u.a. IT-Kosten Vertriebssysteme, Borddienstleistungen)	14%	12%
Sonstiger operativer Aufwand (u.a. Mieten, Versicherungen und Werbung)		20%	19%
Gesamter Aufwand Rest (in Mio. Euro)		16.806	16.123

Die Tabelle stellt für die GuV-Position $AufwandRestAbs$ die Zusammensetzung der vier Teilpositionen gemäß Tabelle 62 dar. Zu jeder Position wird der jeweilige Anteil am gesamten $AufwandRestAbs$ – wie in Tabelle 62 definiert – in der GuV der Netzwerk-Fluggesellschaften der *Lufthansa Group* für die Jahre 2018 und 2019 dargestellt. Durch die eigene Definition gemäß Tabelle 62 entsprechen Summen nicht den in der Quelle angegebenen Summenzeilen.⁷⁵⁸ Querverweis auf Tabelle in Kapitel 5.1.2.4.

Für eine genauere Analyse dieser Positionen stellen die folgende Diskussion sowie die zugehörige Tabelle 42 exemplarisch für die Lufthansa Group (2019) dar, aus welchen

⁷⁵⁸ Struktur und Ausprägungen siehe: Lufthansa Group (2019); S. 47. Informationen zur Zusammensetzung einzelner Positionen: Vgl. Lufthansa Group (2019); S. 138 ff.

einzelnen Komponenten die vier übergeordneten GuV-Positionen zusammengesetzt sind. Unter Berücksichtigung dieser Darstellung werden die wichtigsten Bestandteile der Position $AufwandRestAbs_{i,T}$ im Folgenden einzeln vorgestellt und es werden Annahmen über deren jeweilige ex-ante Prognostizierbarkeit getroffen.

Ausgehend von der Diskussion in Kapitel 5.1.2.2 wird hierbei angenommen, dass von einer stabilen kurz- bis mittelfristigen Netz-, Flotten- und Flugplanung auszugehen ist.

- *Personalaufwand und personalabhängiger Aufwand (25%⁷⁵⁹)*: Gehälter als nicht-volatile Größe. Anzahl an operativ und administrativ je Flugzeug benötigtem Personal gut planbar. Gesamtaufwand abhängig von Anzahl und Art genutzter Flugzeuge.
- *Gebühren (20%)*: Beispiele: Überflug- oder Landegebühren.⁷⁶⁰ Gebühren je Einheit aufgrund von bestehenden Verträgen bekannt. Gesamtgebühren unter der Annahme einer validen Netz-, Flotten- und Flugplanung gut planbar.
- *Fremdleistungen Technik (15%)*: Primär abhängig von Anzahl und Art der geflogenen Flugzeuge. Annahme: Vielmals Aufwand für planbare Routinechecks. Aufwand für spontane Technikevents auf Basis historischer Erfahrungswerte schätzbar.
- *Materialaufwand Sonstiges (14%)*: Beispiele: Borddienstleistungen und IT-Kosten für Vertriebssysteme. Primär abhängig von der Größe des Unternehmens sowie Anzahl und Art der Flugzeuge. Summe der Position gut planbar.
- *Abschreibungen (10%)*: Starre Vorgaben zur Ermittlung. Abhängig von Anzahl und Art der geflogenen Flugzeuge und Anlagegüter im Bestand. Sehr gut planbar.
- *Sonstige operative Aufwendungen (20%)*: Beispiele: Versicherungen und Mieten. Primär abhängig von der Größe des Unternehmens sowie der Anzahl und Art der Flugzeuge. Gut planbar. Annahme: Weitere Komponenten der Positionen, die von Netz-, Flotten- und Flugplanung unabhängig sind, machen lediglich einen geringen Anteil an *Sonstigen operativen Aufwendungen* aus.⁷⁶¹

Neben diesen aus der GuV-Struktur hergeleiteten Komponenten werden unter $AufwandRestAbs_{i,T}$ im Modell OPTA das *Into-Plane-Differential* sowie – falls relevant – Kerosinsteuern erfasst. Die Ausprägung dieser beiden Komponenten ist je Volumeneinheit Kerosin ex-ante bekannt (siehe: Kapitel 2.3.2.4).

Gemäß den vorangegangenen Darstellungen scheint die Annahme plausibel, dass auf Basis einer validen Netz-, Flotten- und Flugplanung nahezu alle Aufwendungen, die unter $AufwandRestAbs_{i,T}$ zusammengefasst sind, ex-ante sehr gut prognostiziert werden können. Aus diesem Grund wird die Position $AufwandRestAbs_{i,T}$ im Simulationsmodell als deterministische Größe berücksichtigt.⁷⁶² Um auf eine einheitliche Berechnung zurückzugreifen, wird $AufwandRestAbs_{i,T}$ mittels Division durch $Treibstoffmenge_{i,T}$ ebenfalls

⁷⁵⁹ In Klammern ist jeweils der relative Anteil einer Position am gesamten $AufwandRestAbs$ der Netzwerkfluggesellschaften der Lufthansa Group im Jahr 2019 dargestellt. Siehe: Tabelle 42.

⁷⁶⁰ Separat ausgewiesene passagierabhängige Gebühren (Beispiel: Sicherheitsgebühren) sind an dieser Stelle nicht relevant. Erlöse aus solchen Gebühren sind im Datensatz separat dargestellt und korrespondieren mit zugehörigen Aufwendungen, sodass im Modell irrelevant ist, ob diese planbar sind. Siehe: Kapitel 6.1.2.1.

⁷⁶¹ In Lufthansa Group (2019) ist ersichtlich, dass beispielsweise die gesamten Werbeaufwendungen der Gruppe im Jahr 2019 circa 384 Mio. Euro betrugen. Selbst wenn diese vollständig den Netzwerkfluggesellschaften zugerechnet werden, machten Werbeaufwendungen nur circa 2% der Position $AufwandRestAbs$ (Summe: 16.806 Mio. Euro) der Netzwerkfluggesellschaften im Jahr 2019 aus. Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 161.

⁷⁶² In der Praxis können kurzfristige Abweichungen vom langfristig geplanten exakten Aufwand auftreten. Im Rahmen der Implementierung des Modells werden hieraus resultierende Abweichungen als vertretbar angesehen. Es gilt ebenfalls die Annahme, dass für eine hinreichende Qualität der Planung von einem stabilen gesamtwirtschaftlichen Umfeld ausgegangen werden muss.

auf die Einheit US-Dollar je Barrel skaliert. Die skalierte Größe wird als $AufwandRest_{i,\bar{T}}$ dargestellt.

Nachdem die GuV-Position $AufwandRest_{i,\bar{T}}$ allgemein vorgestellt wurde, ist darzustellen, wie diese im Rahmen der Berechnung des FCF zu berücksichtigen ist. Ausgehend von der Aufteilung von $AufwandRestAbs$ in Tabelle 42 und Tabelle 62 sowie unter Berücksichtigung der vorangegangenen Darstellungen wird vereinfachend angenommen, dass den GuV-Positionen: Personalaufwand, Materialaufwand und sonstiger operativer Aufwand jeweils ein Zahlungsmittelfluss in Höhe des entsprechenden Aufwands zugrunde liegt. Es wird ebenfalls unterstellt, dass Zahlungen in derjenigen Periode $\bar{T}$ stattfinden, in welcher der Aufwand in der GuV erfasst wird. Demnach besteht lediglich für Abschreibungen Unsicherheit bezüglich der korrekten Berücksichtigung im FCF.

Im Standardfall stellen Abschreibungen bilanzielle Verrechnungspositionen dar, denen keine periodengerechten Auszahlungen gegenüberstehen. Wie in (5.1) dargestellt, müssen Abschreibungen daher zur Bestimmung des FCF zum EBIT addiert werden. Im Gegenzug sind Auszahlungen, welche für Investitionen anfallen, bei der Berechnung des FCF periodengerecht zu erfassen.⁷⁶³ Im Anwendungsfall ist es demnach das Ziel, im FCF alle diejenigen Zahlungsströme abzubilden, die bei Fluggesellschaften dafür entstehen, dass diese das Nutzungsrecht an einem Flugzeug erwerben.⁷⁶⁴ Der Erwerb dieses Nutzungsrechts kann durch Kauf (in der Regel einmalige Investition und im Anschluss kontinuierliche Abschreibung) oder durch Leasing des Flugzeugs (in der Regel kontinuierliche Zahlung und zeitkongruenter Aufwand) erfolgen. Bei zahlreichen der im Rahmen der Analyse in Kapitel 4 betrachteten 14 echten Fluggesellschaften wird ein signifikanter Teil der Flotte durch Leasing betrieben.⁷⁶⁵ Dieser Sachverhalt ist in Bezug auf die korrekte Bestimmung des FCF in einem Modell vor allem deshalb als Herausforderung anzusehen, weil mit *Finanzierungsleasing* und *operativem Leasing* unterschiedliche Arten von Leasing existieren, welche voneinander abweichend in der GuV einer Fluggesellschaft abgebildet werden. Als Hintergrund findet sich in Tabelle 43 eine schematische Übersicht zur bilanziellen Behandlung von Leasingverhältnissen.

Tabelle 43 – Kauf und Leasing von Flugzeugen: Cash-Flow und GuV

Erwerb Nutzungsrecht	Cash-Flows	GuV Erfassung
Kauf	Einmalige Investition ⁷⁶⁶	IFRS: Abschreibungen US-GAAP: Abschreibungen
Operatives Leasing (operating Leases)	Wiederkehrende Zahlungsabflüsse	IFRS: Leasingaufwendungen (bis 2018) Abschreibungen und Zinsen (seit 2019)
		US-GAAP: Leasingaufwendungen
Finanzierungsleasing (finance/capital leases)	Wiederkehrende Zahlungsabflüsse	IFRS: Abschreibungen und Zinsen
		US-GAAP: Abschreibungen und Zinsen

Die Tabelle stellt drei Möglichkeiten des Erwerbs der Nutzungsrechte an Flugzeugen dar. Durch die Änderung der Bilanzierung von Leasingverhältnissen in 2018 (beziehungsweise 2019) sowohl unter IFRS (neu: IFRS 16, alt: IAS 17) als auch unter US-GAAP (neu: ASC 842, alt: ASC 840), ergeben sich teils Abweichungen bezüglich der Bilanzierung. Anpassungen unter US-GAAP haben lediglich Auswirkungen auf die Erfassung in der Bilanz, jedoch keine Auswirkung auf die GuV-Erfassung im Kontext des Anwendungsfalls.⁷⁶⁷

⁷⁶³ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 515.

⁷⁶⁴ Vereinfachung: Ausschließlich Betrachtung von Abschreibungen und Investitionen für Flugzeuge. Es wird angenommen, dass Abschreibungen auf andere Anlagegüter unwesentlich sind.

⁷⁶⁵ Siehe exemplarisch: American Airlines (2019): S. 37; Delta Air Lines (2019): S. 22; IAG (2019): S. 34; Southwest Airlines (2019): S. 36; United Airlines (2019): S. 23.

⁷⁶⁶ Es wird angenommen, dass die Einmalzahlung beim Flugzeugkauf dem Regelfall entspricht.

⁷⁶⁷ Leicht vereinfachte Darstellung. Vgl. PWC (2020): S. 14-2 ff. Siehe auch: Air Canada (2019): S. 18 f.; American Airlines (2019): S. 77, 122; Lufthansa Group (2019): S. 144 f.

Da Simulationen in der vorliegenden Arbeit nur für US-Fluggesellschaften durchgeführt werden (siehe: Kapitel 6.1.1) und daher gesellschaftsindividuelle Daten von US-Fluggesellschaften genutzt und verarbeitet werden müssen (siehe: Kapitel 6.1.2), beziehen sich die folgenden Ausführungen primär auf die Darstellungen zu US-GAAP gemäß Tabelle 43. Auf Basis der dargestellten Informationen ergeben sich im Rahmen der Modellumsetzung Herausforderungen bezüglich der korrekten Trennung zwischen Leasingaufwendungen und Abschreibungen.

Im Rahmen der Simulationsstudie wird in dieser Arbeit auf Daten des *US Bureau of Transportation Statistics* zurückgegriffen (siehe: Kapitel 6.1.2). Diese Daten entsprechen möglicherweise der weltweit umfangreichsten frei verfügbaren Sammlung von historischen ökonomischen Daten für Fluggesellschaften. Dennoch bietet auch diese Datenbank weder ausreichende historische Informationen zu getätigten Investitionen, noch lassen sich Aufwendungen für Finanzierungsleasing in ihrer Höhe korrekt und periodengenau aus den Daten ermitteln.⁷⁶⁸ Daher müssen für die Anwendung im Simulationsmodell Annahmen getroffen werden, die – trotz fehlender Rohdaten – eine adäquate Erfassung von Abschreibungen und Investitionen auf Basis verfügbarer Daten ermöglichen.

Finanzierungsleasing: Auszahlungen und Abschreibungen fallen stets in der gleichen Periode an.⁷⁶⁹ Daher müssen Abschreibungen zur Ermittlung des FCF vollständig berücksichtigt werden. Da in den verfügbaren Rohdaten nicht zwischen Abschreibungen für gekaufte und für geleaste Flugzeuge unterschieden werden kann, ist diese Erfassung jedoch nur möglich, wenn sämtliche Abschreibungen berücksichtigt werden. Zur Plausibilisierung dieser Annahme wird unterstellt, dass Fluggesellschaften für denjenigen Teil der Flotte, welcher durch Kauf erworben wird, langfristige und kontinuierliche Investitionsprogramme zur Erneuerung der Flotte anstreben. In diesem Fall entsprechen die Investitionen pro Periode den Abschreibungen der Periode. Da Flugzeugbestellungen zumeist langfristig geplant werden und mit zeitlichem Vorlauf erfolgen, sollte die getroffene Annahme hinreichend stabil gegenüber temporären wirtschaftlichen Verwerfungen sein. Als anekdotischen Beleg für die Praxisnähe dieser Annahme nennt Delta Air Lines (2019) kontinuierliche Investitionen als wichtige Stütze zur Aufrechterhaltung der eigenen Markenwahrnehmung.⁷⁷⁰ Gesellschaften müssen im Fall von Finanzierungsleasing die Leasingrate in Abschreibung und Zinszahlung aufteilen. Entsprechend zum fremdfinanzierten Kauf werden auch in diesem Fall Zinszahlungen korrekterweise nicht bei der Ermittlung des FCF berücksichtigt.

Operatives Leasing: In diesem Fall sind Leasingaufwendungen bereits in der Position *sonstiger operativer Aufwand* (siehe: Tabelle 62) enthalten. Da den Aufwendungen ein periodenkongruenter Zahlungsstrom zugrunde liegt, sind keine weiteren Anpassungen notwendig. Allerdings werden im Fall von operativem Leasing Zinsanteile nicht separat ausgewiesen. Da die Zinszahlungen auf Basis der vorliegenden Daten nicht manuell ermittelt werden können, werden operative Leasingverhältnisse in der Erfassung praktisch mit eigenkapitalfinanzierten Flugzeugkäufen gleichgesetzt. Eine mögliche Unschärfe durch die Nicht-Erfassung von Zinszahlungen, welche in der Leasingrate eingepreist sind, wird aus Praktikabilitätsgründen im Rahmen dieser Arbeit hingenommen.

Ausgehend von diesen Erläuterungen wird für diese Arbeit vereinfachend angenommen, dass sowohl im Fall von Leasing als auch im Fall des Kaufs von Flugzeugen äquivalente

⁷⁶⁸ Auf Basis von Unternehmensbilanzen und Gewinn- und Verlustrechnungen wäre es möglich, ein approximatives direktes Cash-Flow Statement pro Quartal herzuleiten. Allerdings ist ein hinreichend genauer Übertrag auf die für den Anwendungsfall notwendige monatliche Darstellungsform nicht möglich.

⁷⁶⁹ Beispiel Finanzierungsleasing: Delta Air Lines (2019): S. 22; Southwest Airlines (2019): S. 36.

⁷⁷⁰ Vgl. Delta Air Lines (2019): S. 2.

Zahlungsströme periodengerecht in der Position $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$ (sowie gleichfalls in $AufwandRest_{i,\bar{T}}$) und somit im $EBIT_{i,\bar{T}}$ erfasst werden. Es ist keine Korrektur über Abschreibungen oder Investitionen notwendig. Somit kann die Darstellung des FCF vereinfacht werden. Hierfür wird die Definition von $EBIT_{i,\bar{T}}$ (siehe: (5.2)) in (5.1) eingesetzt. Anschließend können die Korrekturposten $Abschreibungen_{i,\bar{T}}$ und $Invest_{i,\bar{T}}$ eliminiert werden, da diese sich gegenseitig aufheben. Es folgt:

FCF absolut: Korrektur Abschreibungen, Investitionen und Leasing

$$\begin{aligned} FCF_{i,\bar{T}} = & \text{Ticketerlös}_{i,\bar{T}} + \text{ErlösRestAbs}_{i,\bar{T}} - \text{FuelCost}_{i,\bar{T}} \\ & - \text{HedgeResultAbs}_{i,\bar{T}} - \text{AufwandRestAbs}_{i,\bar{T}} \\ & + \Delta \text{WorkingCapital}_{i,\bar{T}} \end{aligned} \quad (\text{A VI.28})$$

In der auf die Einheit US-Dollar pro Barrel skalierten Form entspricht diese Darstellung:

FCF normiert: Korrektur Abschreibungen, Investitionen und Leasing

$$\begin{aligned} FCF_{i,\bar{T}} = & \frac{\text{Ticketerlös}_{i,\bar{T}}}{\text{Treibstoffmenge}_{i,\bar{T}}} + \text{ErlösRest}_{i,\bar{T}} - \text{Fuel}_{\bar{T}} - \text{HedgeResult}_{i,\bar{T}} \\ & - \text{AufwandRest}_{i,\bar{T}} + \frac{\Delta \text{WorkingCapital}_{i,\bar{T}}}{\text{Treibstoffmenge}_{i,\bar{T}}} \end{aligned} \quad (\text{A VI.29})$$

Anhang A VI. f) Erläuterungen: Kapitel 5.1.2.5 (Sonstige Erlöse als deterministische Größe)

Gemäß Tabelle 62 werden unter $\text{ErlösRestAbs}_{i,\bar{T}}$ alle Erlöse aus der operativen Tätigkeit zusammengefasst, die nicht aus dem Verkauf von Tickets resultieren. Die Position ist aufgeteilt in: (1) Sonstige operative Erlöse und (2) sonstige passagierbezogene Erlöse.

In der Position sonstige operative Erlöse werden alle Umsätze erfasst, die dem operativen Geschäft zugeordnet werden können, aber nicht in direktem Bezug zur Inanspruchnahme der Flugdienstleistung für einen Passagier stehen. Relevante Beispiele hierfür sind: Frachterlöse⁷⁷¹, Erlöse aus der Gewährung von Loungezugang, ausgewählte Erlöse aus Kundenbindungsprogrammen oder Erlöse aus urlaubsbezogenen Services.⁷⁷² In Tabelle 44 findet sich eine Übersicht zum Anteil der sonstigen operativen Erlöse an den gesamten operativen Erlösen fünf ausgewählter Fluggesellschaften im Jahr 2019.

Gemäß der stichprobenhaften Auswertung ist davon auszugehen, dass in den sonstigen operativen Erlösen durchschnittlich weniger als 10% der gesamten operativen Erlöse erfasst werden. Aufgrund des geringen Volumens und aufgrund der starken Heterogenität der in dieser Position gesammelten wirtschaftlichen Sachverhalte wird darauf verzichtet, einzelne Komponenten der Größe als stochastische Variablen zu definieren. Stattdessen wird die Summe der sonstigen operativen Erlöse als eine deterministische Größe behandelt.

⁷⁷¹ Es wird angenommen, dass es sich hierbei überwiegend um Belly-Erlöse handelt, die durch den zusätzlichen Transport von Fracht im Rahmen eines Passagierfluges erzielt werden. In der GuV der betrachteten Fluggesellschaften werden Frachterlöse separat ausgewiesen. Siehe beispielsweise: United Airlines (2019): S. 49. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf einen separaten Ausweis solcher Frachterlöse jedoch verzichtet.

⁷⁷² Beispiele für *sonstige operative Erlöse* finden sich in: American Airlines (2019): S. 66, 81; Delta Air Lines (2019): S. 65 f.; jetBlue Airways (2019): S. 33; United Airlines (2019): S. 55 ff.

Tabelle 44 – Beispiele: Anteil sonstige operative Erlöse an gesamten operativen Erlösen

Gesellschaft	operative Erlöse (2019 in Mio. USD)	davon sonstige operative Erlöse (2019 in Mio. USD)	Anteil sonstige opera- tive Erlöse (2019)
American Airlines	45,8	3,8 (davon Fracht: 0,9)	8%
Delta Air Lines	42,3	4,7 (davon Fracht: 0,8)	10%
jetBlue Airways	7,8	0,3 (davon Fracht: 0,0)	4%
Southwest Airlines	20,8	1,7 (davon Fracht: 0,2)	7%
United Airlines	39,6	3,6 (davon Fracht: 1,2)	8%

Die Tabelle stellt den Anteil der sonstigen operativen Erlöse an den gesamten operativen Erlösen für ausgewählte Fluggesellschaften im Jahr 2019 dar.⁷⁷³ Querverweis auf Tabelle in Kapitel 5.1.2.5.

Als zweite Komponente von $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ werden die sonstigen passagierbezogenen Erlöse separat betrachtet. In dieser Position sind alle Umsätze zusammengefasst, die in einem direkten Bezug zur Inanspruchnahme der Flugdienstleistung stehen und einem Passagier zugeordnet werden können, die aber über den reinen Ticketpreis für die Transportleistung hinausgehen. Für solche Erlöse ist in der Praxis auch der Begriff der Nebenerlöse geläufig. Unter diese Position fallen beispielsweise: Erlöse aus dem Verkauf von Zusatzgepäck, Erlöse für Sitzplatzreservierungen, Umbuchungserlöse, flugbezogene Erlöse aus Kundenbindungsprogrammen oder Erlöse aus dem Bordverkauf.⁷⁷⁴ Auch für diese Art der Erlöse wird angenommen, dass ihre Ausprägung sich – unter Kenntnis zukünftiger Mengen – vorab prognostizieren lässt. Dies lässt sich exemplarisch anhand der Erlöse aus dem Verkauf von Zusatzgepäck begründen: Unter Kenntnis der angebotenen Mengen und auf Basis von Erfahrungswerten scheint es möglich, ex-ante die Anzahl an verkauften Zusatzgepäckstücken hinreichend genau zu prognostizieren. Da Gebühren für Gepäckstücke – im Gegensatz zu Ticketpreisen – keiner dynamischen Preissetzung unterliegen, lässt sich aus der prognostizierten Menge der erwartete Umsatz ableiten. Auch für andere Nebenerlöse (Beispiele: Umbuchungserlöse oder Erlöse für Sitzplatzreservierungen) gilt, dass diese je Einheit zu ex-ante bekannten Preisen verkauft werden. Auf Basis bekannter Angebotsmengen ist auch für diese Erlöse von einer hinreichenden Planbarkeit auszugehen. Daher wird für die übergeordnete Position der sonstigen passagierbezogenen Erlöse vereinfachend unterstellt, dass diese ebenfalls als deterministisch angesehen werden kann.

Demnach handelt es sich im Modell bei beiden Komponenten von $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ um deterministische Größen. Aus diesem Grund wird die Position $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ im Simulationsmodell ebenfalls als deterministische Variable berücksichtigt.⁷⁷⁵

⁷⁷³ Vgl. American Airlines (2019): S. 117; vgl. Delta Air Lines (2019): S. 54; vgl. jetBlue Airways (2019): S. 33; vgl. Southwest Airlines (2019): S. 77; vgl. United Airlines (2019): S. 49.

⁷⁷⁴ Beispiele für Nebenerlöse finden sich in: American Airlines (2019): S. 65 f., 81; Delta Air Lines (2019): S. 63 f.; jetBlue Airways (2019): S. 33; United Airlines (2019): S. 55 ff.

⁷⁷⁵ In der Praxis können kurzfristige Abweichungen vom langfristig geplanten exakten Erlös auftreten. Im Rahmen der Implementierung des Modells werden hieraus resultierende Abweichungen als vertretbar angesehen. Es gilt ebenfalls die Annahme, dass für eine hinreichende Qualität der Planung von einem stabilen gesamtwirtschaftlichen Umfeld ausgegangen werden muss.

Darüber hinaus wird für $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ angenommen, dass jeder der enthaltenen GuV-Positionen ein Zahlungsmittelzufluss in gleicher Höhe gegenübersteht. Die Frage danach, ob diese Einzahlungen jeweils periodenkongruent zur Erfassung in der GuV anfallen, ist jedoch zu diskutieren. Abgeleitet aus Beobachtungen aus der Praxis wird bezüglich der Frachterlöse, welche die wichtigste Position der sonstigen operativen Erlöse darstellen, angenommen, dass Verbuchung sowie Zahlung überwiegend erst bei beziehungsweise kurz nach Leistungserbringung stattfinden.⁷⁷⁶ Demnach ist für diese Position von Periodenkongruenz zwischen Verbuchung der Erlöse und zugehöriger Einzahlung auszugehen. Bezüglich der sonstigen passagierbezogenen Erlöse ist zu beachten, dass Flugtickets in der Regel bereits bei Kauf bezahlt werden, wohingegen die Erfassung der Erlöse in der GuV erst nach dem Flugereignis stattfindet (siehe: Kapitel 5.1.2.6). Eine solche zeitliche Trennung zwischen Erlös und Einzahlung liegt für diejenigen Positionen, die unter $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ erfasst sind, jedoch nicht eindeutig vor. Es ist beispielsweise anzunehmen, dass Einzahlungen aus Sitzplatzreservierungen bereits vor Leistungserbringung erfolgen, wodurch teils keine Kongruenz zwischen Einzahlungs- und Erlösperiode vorliegt. Demgegenüber werden Erlöse aus dem Bordverkauf in der gleichen Periode wie die korrespondierenden Einzahlungen erfasst. Für andere Nebenerlöse ist eine pauschale Feststellung nicht möglich: Zahlungen für Loungezugang oder Zusatzgepäck können sowohl zeitlich vor wie auch zeitgleich mit Erbringen der Leistung erfolgen.

Vor dem Hintergrund dieser ambivalenten Ausgangslage wird für das Modell vereinfachend festgelegt, dass $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ jeweils ein periodenkongruenter Zahlungsstrom zugrunde liegt. Im Rahmen der untersuchten Fragestellung zur optimalen Treibstoffpreissicherung ist diese Vereinfachung als vertretbar anzusehen und es ist nicht zu erwarten, dass hieraus relevante Beeinflussungen der erzeugten Modellierungsergebnisse resultieren.

$ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ wird mittels Division durch $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ ebenfalls auf die Einheit US-Dollar je Barrel skaliert. Die skalierte Größe wird als $ErlösRest_{i,\bar{T}}$ dargestellt.

Anhang A VI. g) Erläuterungen: Kapitel 5.1.2.6 (Erlöse und Einzahlungen aus Ticketverkäufen)

Auf Basis der Ausführungen in Kapitel 5.1.2.6 im Hauptteil der Arbeit kann die Darstellung des FCF unter Rückgriff auf die Zwischendarstellung gemäß Formel (A VI.29) (siehe: Anhang A VI. e)) umgeschrieben werden. Hierbei ist zu beachten, dass unter Berücksichtigung der Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit lediglich die Variablen *Ticketeinzahlung*, *Ticketelerlös*, $\Delta WorkingCapital$ und *VerbFlug* in (A VI.29) noch absolute Werte darstellen, die nicht auf die Einheit US-Dollar pro Barrel skaliert wurden. Für die Darstellung des FCF in der Einheit pro Barrel Kerosin folgt somit, unter Rückgriff auf (A VI.28), (A VI.29) und (5.3) sowie unter Vorgriff auf die erst in Kapitel 5.1.2.7 definierte Variable $PUOF_{i,\bar{T}}$ (siehe: (5.4)).⁷⁷⁷

⁷⁷⁶ Die Darstellung dieser Logik findet sich in Lufthansa Group (2019). Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 148. Es wird angenommen, dass diese Beobachtung auch für andere Fluggesellschaften Gültigkeit besitzt.

⁷⁷⁷ Für die hier dargestellte Vereinfachung sind zudem die Anmerkungen zur Berücksichtigung von Steuern im nachfolgenden Anhang A VI. h) zu beachten.

Free-Cash-Flow mit Ticketeinzahlungen (ohne Steuern)

$$\begin{aligned}
FCF_{i,\bar{T}} &= \frac{Ticketerlös_{i,\bar{T}}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}} \\
&\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}} + \frac{VerbFlug_{i,T} - VerbFlug_{i,T-1}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \\
&= \frac{Ticketerlös_{i,\bar{T}} + VerbFlug_{i,T} - VerbFlug_{i,T-1}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \\
&\quad + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}} \\
&\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}} \\
&= \frac{Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \\
&\quad - HedgeResult_{i,\bar{T}} - AufwandRest_{i,\bar{T}} \\
&= PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}} \\
&\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}}
\end{aligned} \tag{A VI.30}$$

Anhang A VI. h) Erläuterungen: Kapitel 5.1.2.8 (Der Free-Cash-Flow inklusive Steuern)

Per Definition gibt der FCF Auskunft über die Mittel, welche im Laufe einer Periode generiert werden und den Eigen- und Fremdkapitalgebern nach Abzug von Steuern zur Verfügung stehen. Da gemäß den Erläuterungen in Kapitel 3.1.1 jedoch zwischen Mittelflüssen an Fremdkapitalgeber, die vor Steuern geleistet werden, und Mittelflüssen an Eigenkapitalgeber, die erst nach Steuern erfolgen, unterschieden werden muss, bedarf es zur Bestimmung der korrekten Berücksichtigung von Steuern weiterer Erklärungen.

Zur korrekten Berücksichtigung von Steuern bei der Bestimmung des FCF müssen zunächst abermals die Formeln zur Berechnung des Wertes des verschuldeten Unternehmens (3.2) sowie die Formel zur Berechnung des WACC mit Steuern (3.4) herangezogen werden.

Ökonomische Vorteile, welche durch die Zahlung von Zinsen vor Steuern generiert werden können, wurden zuvor als Tax Shields definiert (siehe: Kapitel 3.1.1.2). In Kapitel 3.1.1.2 wurde zudem bereits diskutiert, dass der Einfluss des Tax Shields auf den Unternehmenswert im Rahmen der finanztheoretischen Standardmodellierung durch die Anpassung des Diskontierungsfaktors der Zahlungsströme adäquat Berücksichtigung findet (WACC als Nenner von (3.2)). Um eine doppelte Berücksichtigung der Steuervorteile von Fremdkapital im Rahmen der Unternehmensbewertung über (3.2) zu vermeiden, folgt, dass das Tax Shield nicht zusätzlich bei der Berechnung des Zählers in (3.2) erfasst werden darf. Da der FCF den Zähler in (3.2) darstellt, darf der Steuervorteil aus Zinszahlungen beim Berechnen des FCF nicht mehr berücksichtigt werden. Aus diesem Grund sind zur Ermittlung des FCF nur hypothetische Steuern auf den gesamten FCF zu berücksichtigen, welche das zu 100% eigenkapitalfinanzierte Unternehmen entrichten müsste.

Unter Berücksichtigung von Steuern wird der FCF im DCF-Standardmodell daher ermittelt über:⁷⁷⁸

⁷⁷⁸ Vgl. Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 508 ff. Für eine vereinfachte Darstellung ohne Steuern siehe: (5.1).

Indirekte Basisform: Free-Cash-Flow (mit Steuern)

$$FCF_{i,\bar{T}} = EBIT_{i,\bar{T}} (1 - Steuer) + Abschreibungen_{i,\bar{T}} - Invest_{i,\bar{T}} + \Delta WorkingCapital_{i,\bar{T}} \quad (A VI.31)$$

Aus dieser Darstellung resultiert für die Modellierung jedoch eine weitere Herausforderung: In (A VI.30) konnte der FCF so bestimmt werden, dass dieser nicht mehr von $Ticketerlös_{i,\bar{T}}$ sondern nur noch von $PUOF_{i,\bar{T}}$ abhängt. Würde als Basis zur Herleitung von (A VI.30) nicht der in (5.1) dargestellte FCF ohne Berücksichtigung von Steuern genutzt, sondern auf die Definition des FCF gemäß (A VI.31) zurückgegriffen, wäre keine solche Vereinfachung möglich. Stattdessen könnte unter Berücksichtigung von (5.3), (A VI.30) und (5.4) lediglich wie folgt vereinfacht werden:

Theoretischer Free-Cash-Flow (mit Steuern)

$$\begin{aligned} FCF_{i,\bar{T}} &= \left(\frac{Ticketerlös_{i,\bar{T}}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}} \right. \\ &\quad \left. - AufwandRest_{i,\bar{T}} \right) * (1 - Steuer) \\ &\quad + \frac{VerbFlug_{i,T} - VerbFlug_{i,T-1}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \\ &= PUOF_{i,\bar{T}} - Steuer * \frac{Ticketerlös_{i,\bar{T}}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \\ &\quad + (ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} - HedgeResult_{i,\bar{T}} \\ &\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}}) * (1 - Steuer) \end{aligned} \quad (A VI.32)$$

Dies hätte zur Folge, dass zur Ermittlung von FCF neben der Größe $PUOF_{i,\bar{T}}$, welche von $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ abhängt, auch $Ticketerlös_{i,\bar{T}}$ relevant wäre. Da davon auszugehen ist, dass sowohl zukünftige Ticketeinzahlungen als auch zukünftige Ticketerlöse stochastisch sind, wäre demnach bei der Ermittlung des erwarteten FCF eine weitere Zufallsvariable zu berücksichtigen.⁷⁷⁹ Die Aufnahme einer weiteren Zufallsvariable in das Modell würde zu einer starken Erhöhung der Komplexität der Modellierung führen.

Vor diesem Hintergrund wird aus Praktikabilitätsgründen – wie bereits im Hauptteil der Arbeit dargelegt – festgelegt, dass die Steuerlast einer Periode im Rahmen der Modellierung ausgehend vom FCF vor Steuern (siehe: (A VI.30)) zu berechnen ist. Es wird angenommen, dass Steuern auf alle $FCF_{i,\bar{T}} \in \mathbb{R}$ gemäß (A VI.30) anfallen, wobei Steuern für $FCF_{i,\bar{T}} < 0$ einer Auszahlung an das Unternehmen entsprechen. Die mögliche praktische Nicht-Nutzbarkeit von solchen Steuerausgleichszahlungen beziehungsweise Steuerverlustvorträgen für $FCF_{i,\bar{T}} < 0$ wird im Folgeschritt durch die Einführung von DWC modelliert (siehe: Kapitel 5.2.2.3). Die resultierende Darstellung des FCF nach Steuern findet sich in (5.5) im Hauptteil der Arbeit.

Die aus dieser Vereinfachung resultierende Modelldifferenz zum FCF nach Steuern unter Berücksichtigung des EBIT (siehe: (A VI.32)) in US-Dollar pro Barrel Kerosin beträgt:

⁷⁷⁹ Alternativ könnte auch eine Variante der Darstellung von $FCF_{i,\bar{T}}$ ohne $PUOF_{i,\bar{T}}$ oder $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ genutzt werden. In diesem Fall wären jedoch $VerbFlug_{i,T-1}$ und $VerbFlug_{i,T}$ Teil der Funktion. Auch die Ausprägung dieser Größen müsste ex-ante als unbekannt und daher stochastisch angesehen werden.

Delta Free-Cash-Flow mit Steuern nach (A VI.32) und (5.5)

$$\Delta FCF_{i,\bar{T}} = Steuer * \left(PUOF_{i,\bar{T}} - \frac{Ticketerlös_{i,\bar{T}}}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \right) \quad (A VI.33)$$

Es wird angenommen, dass hieraus resultierende Abweichungen im Rahmen der Modellgrenzen als akzeptabel angesehen werden können.

Anhang A VII. Erläuterungen zu Kapitel 5.2

Anhang A VII. a) Erläuterungen: Kapitel 5.2.1 (Modellierung der Deadweight-Costs)

Die erste von Brown und Toft (2002) vorgestellte und auch in Korn (2010) genutzte DWC-Funktion lautet:⁷⁸⁰

Einseitige exponentielle Standarddarstellung (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002) sowie Korn (2010))

$$DWC\_Standard(FCF, c_1, c_2) = c_1 e^{-c_2 * FCF}, \quad c_1, c_2 > 0 \quad (\text{A VII.1})$$

In Abbildung 50 im Anhang B II findet sich eine grafische Darstellung der Funktion. Diese Form der DWC-Funktion findet in identischer Form auch als einzige DWC-Funktion in der Arbeit von Korn (2010) Berücksichtigung.⁷⁸¹ Potenzielle Probleme bezüglich des Übertrags auf den Anwendungsfall resultieren vor allem aus der exponentiellen Natur dieser DWC-Funktion. Da DWC sich beim Rückgriff auf diese Funktion mit steigenden FCF immer weiter exponentiell erhöhen, würden, wie im Hauptteil der Arbeit bereits diskutiert, beim Rückgriff auf diese Funktion praxisferne und irreführende DWC ermittelt.

Eine weitere von Brown und Toft (2002) vorgestellte DWC-Funktion lautet:⁷⁸²

Parabelförmige Praxisfunktion (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))

$$\begin{aligned} DWC\_Anwendung\_Brown(FCF, \alpha, \varrho) \\ = \varrho (\alpha * \max(0, E(FCF) - FCF)^2 + (1 - \alpha) \\ * \max(0, FCF - E(FCF))^2), \quad \alpha \in \left(\frac{1}{2}, 1\right], \varrho > 0 \end{aligned} \quad (\text{A VII.2})$$

In Abbildung 51 im Anhang B II findet sich eine grafische Darstellung der Funktion. Kritisch ist bezüglich der Funktion zudem anzumerken, dass Brown und Toft (2002) diese Form der DWC-Funktion aus Gesprächen mit dem Management eines Unternehmens ableiten. Dabei berücksichtigen sie, welche relative Wertigkeit das Management zukünftigen Entwicklungsszenarien zuordnet. Vor diesem Hintergrund scheint es legitim, die DWC-Funktion als Funktion des Erwartungsnutzens des Managements zu interpretieren.⁷⁸³ Der Ansatz zur Bestimmung der Funktion steht somit im Kontrast zum originären Ziel der Arbeit von Brown und Toft (2002), die angeben, eine Optimierung anzustreben, welche objektiv die Wertmaximierung des Unternehmens berücksichtigt und nicht – wie vorangegangene Arbeiten – die Nutzenmaximierung einzelner Agenten in den Mittelpunkt stellt.⁷⁸⁴

Eine dritte von Brown und Toft (2002) vorgestellte DWC-Funktion lautet:⁷⁸⁵

Einseitige hyperbolische DWC (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))

$$\begin{aligned} DWC\_Hyperbolisch(FCF, E(FCF), \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) \\ = \gamma_1 (\tanh(\gamma_2 * FCF + \gamma_3) - E(FCF)), \quad \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 > 0 \end{aligned} \quad (\text{A VII.3})$$

In Abbildung 52 im Anhang B II findet sich eine grafische Darstellung der Funktion. Die Darstellung in (A VII.3) entspricht der von Brown und Toft (2002) definierten Funktion. Problematisch ist allerdings, dass die DWC in der gewählten Darstellung sensitiv auf

⁷⁸⁰ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1290.

⁷⁸¹ Vgl. Korn (2010): S. 836, 839.

⁷⁸² Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1314.

⁷⁸³ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1313 ff.

⁷⁸⁴ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1287.

⁷⁸⁵ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306.

Änderungen des starr zu hinterlegenden erwarteten FCF (hier: $E(FCF)$) reagieren, wobei gar das Vorzeichen der DWC in Abhängigkeit vom genutzten Erwartungswert wechseln kann. Dieser Wechsel des Vorzeichens ist auch bei einer Wahl von γ_1, γ_2 und γ_3 gemäß den Standardeinstellungen in Brown und Toft (2002) möglich.⁷⁸⁶ Ein solcher Vorzeichenwechsel ist mit der theoretischen Herleitung der DWC aus finanzieller Schieflage nicht vereinbar. Die vierte von Brown und Toft (2002) vorgestellte DWC-Funktion lautet:⁷⁸⁷

Lineare Ertragsteuern für positive FCF (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))

$$\begin{aligned} &DWC\_Steuer\_Brown(FCF, Steuer, Steuerschwelle) \\ &= Steuer * \max(FCF - Steuerschwelle, 0), \quad Steuer \geq 0 \end{aligned} \quad (A VII.4)$$

In Abbildung 53 im Anhang B II findet sich eine grafische Darstellung der Funktion. Brown und Toft (2002) berücksichtigen über diese Formel *lineare Ertragsteuern für positive FCF* als DWC. Für Verluste ist hingegen keine Steuererstattung vorgesehen.⁷⁸⁸

Auch Frestad (2010) greift die Idee auf, Ineffizienzkosten der konvexen Besteuerung über eine DWC-Funktion abzubilden. Dabei modelliert er die *Abwesenheit von positiven Verluststeuern* als DWC. Die von Frestad (2010) vorgestellte DWC-Funktion lautet:⁷⁸⁹

Abwesenheit von positiven Verluststeuern (DWC-Funktion in Frestad (2010))

$$\begin{aligned} &DWC\_Steuer\_Frestad(FCF, \gamma, \theta, Steuer) \\ &= \frac{Steuer}{\gamma(1 - \theta)} \log(\theta - e^{\gamma * FCF}(\theta - 1)) - \frac{Steuer}{0,00001(1 - \theta)} \\ &\quad * \log(\theta - e^{0,00001 * FCF}(\theta - 1)), \quad Steuer \geq 0, \\ &\quad \theta \geq 0, \gamma > 0 \end{aligned} \quad (A VII.5)$$

In Abbildung 54 im Anhang B II findet sich eine grafische Darstellung der Funktion. Beim Vergleich der beiden vorgestellten Steuer-DWC-Funktionen gemäß den Formeln (A VII.4) und (A VII.5) ist zudem zu beachten: Während Brown und Toft (2002) die Steuern selbst als DWC auf positive FCF modellieren und diese vom FCF vor Steuern abziehen, berechnet Frestad (2010) zunächst für positive sowie negative FCF Steuerzahlungen und errechnet unter Rückgriff auf diese einen (fiktiven) FCF nach Steuern. Von diesem FCF nach Steuern subtrahiert er anschließend solche DWC, die aus fehlenden Steuerverlustvorträgen resultieren.⁷⁹⁰ Berücksichtigt man diesen Unterschied in der Methodik, ergeben sich über beide Ansätze (nahezu) identische DWCCF.⁷⁹¹ Zum Vergleich der beiden Methoden wird auf Abbildung 55 und Abbildung 56 im Anhang B II verwiesen.

Zu berücksichtigen ist zudem der folgende Sachverhalt, der in Frestad (2010) nicht ausreichend diskutiert und berücksichtigt wird: Sofern in (A VII.5) selbst bereits ein FCF nach Steuern (beispielsweise gemäß (5.5)) eingesetzt wird, ist in (A VII.5) der FCF, zur Bestimmung korrekter Steuer-DWC, zunächst jeweils mit $1/(1 - Steuer)$ zu multiplizieren. Diese Darstellungsform des FCF wird daher beim Aufstellen der DWC-Funktion des für OPTA relevanten Optimierungsmodells (siehe: (5.11)) aus Konsistenzgründen gewählt.

⁷⁸⁶ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306. Die Autoren nutzen: $\gamma_1 = 0,1, \gamma_2 = 20, \gamma_3 = 0$. Hieraus resultieren beispielsweise für $E(FCF) = 10$ DWC in Höhe von $-0,9$. Für $E(FCF) = -10$ ergeben sich hingegen DWC in Höhe von $+1,1$.

⁷⁸⁷ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1307.

⁷⁸⁸ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1307.

⁷⁸⁹ Vgl. Frestad (2010): S. 239.

⁷⁹⁰ Frestad (2010) unterstellt, dass Steuern zunächst für alle $FCF_{i,T} \in \mathbb{R}$ anfallen. Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1289 f., 1307; vgl. Frestad (2010): S. 238 f.

⁷⁹¹ Die beiden DWCCF nähern sich an für: $Steuerschwelle = 0$ (siehe: (A VII.4)) und $\gamma \rightarrow \infty$ (siehe: (A VII.5)).

Anhang A VII. b) Erläuterungen: Kapitel 5.2.2.1 (DWC aus Insolvenz und finanzieller Schieflage)

Im Hauptteil der Arbeit wird in Kapitel 5.2.2.1 mit (5.9) die Form der DWC-Funktion definiert, die aus den Kosten der Insolvenz sowie den Kosten der finanziellen Schieflage resultiert. Daneben lässt sich anhand der Wahl der Parameter, die in (5.9) berücksichtigt werden, bestimmen, bei welchem FCF-Level im Modell der Auslöser für eine Insolvenz liegt. Wie zuvor bereits im Hauptteil der Arbeit definiert, wird hierfür angenommen, dass der Insolvenztrigger bei demjenigen FCF liegt, bei dem sich 99% der maximalen Kosten der Insolvenz (*maxInso*) materialisieren (hier: $FCF_{99\%-\text{Insolvenzskosten}}$). Hieraus folgt:

Insolvenztrigger

$$\text{Insotrigg} = FCF_{99\%-\text{Insolvenzskosten}} \approx \frac{-4,6 + \text{SteigInso} * \text{TrigInso}}{\text{SteigInso}} \quad (\text{A VII.6})$$

Anhang A VII. c) Erläuterungen: Kapitel 5.2.2.2 (DWC aus Finanzierungsstruktur)

Im Hauptteil der Arbeit wurde in Kapitel 5.2.2.2 stichworthaft dargestellt, welche Annahmen beim Aufstellen der DWC-Funktion aus der Finanzierungsstruktur zu berücksichtigen sind. Ergänzend wird an dieser Stelle in detaillierter Form dargestellt, welche Ineffizienzkosten aus Abweichungen vom erwarteten FCF im Rahmen zukünftiger Finanzierungen zu erwarten sind. Angelehnt an die Stichworte im Hauptteil der Arbeit werden die folgenden drei Sachverhalte berücksichtigt:⁷⁹²

1. *DWC entstehen für positive sowie für negative Abweichungen von $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$* : Gemäß den für diese DWC-Funktion betrachteten vier⁷⁹³ Argumenten für Hedging ist davon auszugehen, dass im Fall: $FCF_{i,\bar{T}} < E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ DWC entstehen. Darüber hinaus können gemäß *Asset Substitution Problem* und *Unterinvestitionsproblem* auch aus: $FCF_{i,\bar{T}} > E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ DWC resultieren.⁷⁹⁴ Da allerdings angenommen wird, dass im Betrag identische negative Abweichungen vom FCF-Erwartungswert zu höheren DWC im Vergleich zu positiven Abweichungen führen, wird im Rahmen der Modellierung zusätzlich die Einhaltung der folgenden Annahme angestrebt:

$$(DWC_{i,\bar{T}}(E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - b)) > (DWC_{i,\bar{T}}(E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) + b)) \text{ für } b > 0.$$

2. *Mit Zunahme des Betrags der Differenz zwischen $FCF_{i,\bar{T}}$ und $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ werden die DWC zunächst beidseitig größer*: Da von einer Ergebnistoleranz bezüglich der Auswirkungen auf zukünftige Fremdkapitalkonditionen auszugehen ist, wird angenommen, dass – sofern $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) > 0$ – bei geringen Abweichungen zwischen $FCF_{i,\bar{T}}$ und $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ keine oder nur geringe DWC anfallen. Mit zunehmender Differenz zwischen $FCF_{i,\bar{T}}$ und $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ werden die DWC absolut größer.

⁷⁹² Alle Darstellungen gelten streng nur für den Fall: $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) > 0$. Sofern $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) \leq 0$ ergeben sich auch für $FCF_{i,\bar{T}} = E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ bereits DWC, sodass Situationen entstehen können, in welchen die einzelnen Sachverhalte abweichend im Modell erfasst werden müssen. Siehe: Kapitel 5.2.2.2 und Darstellung der Nebenbedingung in Kapitel 6.3.1.2 im Hauptteil der Arbeit.

⁷⁹³ Die an dieser Stelle relevanten vier Gründe sind: (1) Unterinvestitionsproblem, (2) Asset Substitution Problem, (3) teure externe Finanzierung und (4) Steuervorteile durch Tax Shields.

⁷⁹⁴ Exemplarisch zeigen Campello et al. (2011), dass der generelle Abschluss von volatilitätsverringernenden Sicherungen zu einer Reduktion der Fremdkapitalkosten führt. Vgl. Campello et al. (2011): S. 1630 ff.

3. Für positive / negative Abweichungen von $E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})$ existieren DWC-Maxima: Brown und Toft (2002) stellen mit der *einseitigen exponentiellen Standarddarstellung* und der *parabelförmigen Praxisfunktion* DWC-Funktionen vor, die von unbegrenztem exponentiellem Wachstum der DWC ausgehen. Wie in Kapitel 5.2.1 diskutiert, ist diese Annahme realitätsfern. Daher wird angenommen, dass Obergrenzen auch für solche DWC existieren, die aus der Finanzierungsstruktur resultieren können. Exemplarisch ist im schlechtesten Fall davon auszugehen, dass die negative Realisation von $FCF_{i,\bar{T}}$ dazu führt, dass Fremdkapitalgeber in den auf $\bar{T}$ folgenden Perioden kein Fremdkapital mehr zur Verfügung stellen. Da somit das Maximum an DWC aus der Finanzierungsstruktur erreicht wurde, können noch nachteiligere Realisationen von $FCF_{i,\bar{T}}$ keine höheren DWC aus der Finanzierungsstruktur mehr nach sich ziehen.

Anhang A VII. d) Hintergrund: Kapitel 5.2.2.4 (Modellierung der aggregierten DWC im Modell OPTA)

In Kapitel 5.2.2 dieser Arbeit wird die für OPTA relevante DWC-Funktion vorgestellt. Dabei werden in den Kapiteln 5.2.2.1, 5.2.2.2 sowie 5.2.2.3 ausführlich die einzelnen Bestandteile der DWC-Funktion aus den in Tabelle 57 gesammelten theoretischen Gründen für Hedging abgeleitet. Allerdings wird beim Aufstellen der zu nutzenden DWC-Funktion einer der in Tabelle 57 dargestellten Gründe für Hedging (Anreizgestaltung des Managements) nicht berücksichtigt. An dieser Stelle wird daher kurz diskutiert, weshalb dieser Grund beim Aufstellen der DWC-Funktion keine Berücksichtigung findet.

Für die *Anreizgestaltung des Managements* wurde in Kapitel 3.1.1.2 gezeigt, dass Manager eines Unternehmens dann Hedging einsetzen, wenn sie beispielsweise durch eine Vergütung mittels Aktien ebenfalls zu Eigentümern des Unternehmens werden und an der Wertentwicklung des Unternehmens partizipieren. Im Rahmen der Arbeit wird unterstellt, dass die Vergütungsstruktur des Managements so gewählt ist, dass für Manager jederzeit Anreize bestehen, den Wert des Unternehmens zu maximieren. Da es sich bei den Managern des Unternehmens um diejenigen Stakeholder handelt, welche konkret über die Detailausgestaltung der Sicherungsstrategie entscheiden können, folgt hieraus, dass Manager, welche Hedging zur Unternehmenswertmaximierung einsetzen, ihrer Entscheidung eine DWC-Funktion zugrunde legen sollten, welche die drei in Kapitel 5.2.2 hergeleiteten DWC-Funktionen berücksichtigt. Demnach manifestiert sich im Kontext von Hedging, aus Sicht des wertmaximierenden Investors, die gelungene Anreizgestaltung des Managements im praktischen Zurückgreifen des Managers auf die aggregierte DWC-Funktion.

Da es sich bei Managern allerdings auch um Individuen mit unterschiedlichen Risikopräferenzen handelt, können darüber hinaus unterschiedliche Formen der individuellen Risikoaversion vorliegen. Es wird jedoch angenommen, dass sich unterschiedliche individuelle Risikoaversionen der Manager im Kontext von Hedging in der Praxis in den kommunizierten Sicherungszielen (praktische Relevanz siehe: Kapitel 4.1.1.2) und in der Risikobereitschaft des Unternehmens (praktische Relevanz siehe: Kapitel 4.1.1.4) widerspiegeln. Einflüsse auf die Sicherungsstrategie, welche aus individuellen Präferenzen des Managements resultieren, werden in OPTA durch die Ausgestaltung von Nebenbedingungen (Beispiel Risikobereitschaft siehe: Kapitel 6.3.2.2) erfasst. Die Zielfunktion inklusive DWC kann in diesem Fall unabhängig von individuellen Risikopräferenzen der Manager zur Simulation genutzt werden.

Anhang A VIII. Erläuterungen zu Kapitel 5.3

Anhang A VIII. a) Erläuterungen: Kapitel 5.3.3 (Optimierung in OPTA: Maximierung des erwarteten DWCCF)

Unter Berücksichtigung der im Hauptteil der Arbeit dargestellten Zusammenhänge kann der DWCCF ausgehend von seiner Darstellung in (5.8) auch beschrieben werden durch:

Zielfunktion Zwischenschritt I: Integralschreibweise

$$\begin{aligned}
 E_{T_0}(DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \\
 = \iint_{-\infty}^{\infty} \left((PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - Fuel_{\bar{T}} \right. \\
 \left. - HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) - AufwandRest_{i,\bar{T}}) * (1 \right. \quad (A\ VIII.1) \\
 \left. - Steuer) - DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\
 * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}}
 \end{aligned}$$

Diese Formel stellt die umgeformte Zielfunktion des stochastischen Optimierungsproblems unter Berücksichtigung der Zufallsvariablen sowie des Vektors der Entscheidungsvariablen $\mathbf{k}_w$ dar. Die Funktion $h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}})$ entspricht der Dichtefunktion der bivariaten Zufallsverteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$.

Es wird angenommen, dass die gemeinsame Verteilungsfunktion gemäß (A VI.6) existiert und es sich um eine stetige Funktion handelt. Zusätzlich wird angenommen, dass die nicht-negative integrierbare gemeinsame Dichtefunktion $h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}})$ existiert. Im Rahmen der Modellerstellung wird diese bivariate Verteilungsfunktion erst in Kapitel 6.2.3 im Detail vorgestellt.

Zur Herleitung von (5.15) im Hauptteil der Arbeit kann die Darstellung gemäß (A VIII.1) umgeschrieben werden zu:

Zielfunktion Zwischenschritt II: Split der Erwartungswerte (Herleitung Formel (5.15))

$$\begin{aligned}
& E_{T_0}(DWCCF_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \\
&= \iint_{-\infty}^{\infty} \left((PUOF_{i,\bar{T}} * (1 - Steuer)) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big) \\
&\quad - \iint_{-\infty}^{\infty} \left((Fuel_{\bar{T}} * (1 - Steuer)) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big) \\
&\quad - \iint_{-\infty}^{\infty} \left((HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) * (1 - Steuer)) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big) \tag{A VIII.2} \\
&\quad - \iint_{-\infty}^{\infty} \left((AufwandRest_{i,\bar{T}} * (1 - Steuer)) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big) \\
&\quad + \iint_{-\infty}^{\infty} \left((ErlösRest_{i,\bar{T}} * (1 - Steuer)) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big) \\
&\quad - \iint_{-\infty}^{\infty} \left((DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right. \\
&\quad * h(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) dFuel_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \Big)
\end{aligned}$$

Zur Herleitung von (5.15) aus dieser Darstellung wird außerdem auf die allgemeine schematische Darstellung in (A VI.14) im Anhang A VI. b) verwiesen.

Es wird zudem darauf hingewiesen, dass die Darstellungen dann Gültigkeit besitzen, wenn lediglich der Abschluss einer Sicherung für ein bislang ungesichertes Barrel Kerosin betrachtet wird.

Für Hintergründe und detailliertere Darstellungen zu den einzelnen Komponenten in (5.15), (A VIII.1) sowie (A VIII.2) wird darüber hinaus auf die Erläuterungen im Anhang A VI. c) verwiesen.

Anhang A IX. Erläuterungen zu Kapitel 6.1

Anhang A IX. a) Erläuterungen: Kapitel (6.1.2.1 Finanz- und Verkehrsdaten)

Nachfolgend finden sich Erläuterungen zu mehreren Themenkomplexen mit Bezug zu Kapitel 6.1.2.1. Die einzelnen Erläuterungen sind daher jeweils thematisch geordnet und durch Zwischenüberschriften strukturiert. Die Nummerierung der Zwischenüberschriften orientiert sich nicht an der Nummerierung der Zwischenüberschriften in Kapitel 6.1.2.1.

1. Zusammenhang Datenbeschreibung BOTS und Code of Federal Regulations (2021):

Um im Hauptteil der Arbeit einzelne Daten des BOTS eindeutig zu benennen und zu identifizieren, wird jeweils die Bezeichnung entsprechend der Darstellung in der Datenbeschreibung auf der Website des BOTS herangezogen. Genutzt wird eine Kombination aus „Field Name“ und der eindeutigen Identifikationsnummer, welche im Feld „Description“ zu finden ist. Über die Identifikationsnummer lässt sich ein Zusammenhang zur Beschreibung gemäß Code of Federal Regulations (2021) herstellen. Zur korrekten Zuordnung müssen jedoch teils separate Informationen aus Code of Federal Regulations (2021) miteinander kombiniert werden.

Exemplarisch werden in Code of Federal Regulations (2021) Definitionen bezüglich der Daten zu *Transport Revenues* übergeordnet in Kapitel 9 unter Identifikationsnummer 3900 behandelt. Im Verlauf des Kapitels wird in Code of Federal Regulations (2021) dem Erlös aus Passagiertransportdienstleistungen die Identifikationsnummer 01 zugeordnet, wobei dieser weiter in 01.1 und 01.2 unterteilt wird.⁷⁹⁵ In Kombination stimmt die Verknüpfung aus der übergeordneten Identifikationsnummer (3900) und der Nummer zur Identifikation der unterteilten Daten (01.0) mit der Identifikationsnummer der Daten auf der Website des BOTS (39010) überein. Hieraus ergibt sich, dass, wie im Hauptteil der Arbeit dargestellt, die Daten der Erlösvariable „*TransRevPax – 39010*“ gemäß BOTS-Datentabelle als *Ticketerlös_{i,T}* in Simulationen berücksichtigt werden können.

Auf die Darstellung einer solch detaillierten Überleitung zwischen den Datenbezeichnungen gemäß Datentabellen des BOTS sowie gemäß den Beschreibungen in Code of Federal Regulations (2021) wird, unter Verweis auf das hier vorgestellte Beispiel, für alle anderen Variablen aus Praktikabilitätsgründen verzichtet.

2. Direkte Ermittlung der Variable *ErlösRestAbs*:

Soll die Variable *ErlösRestAbs_{i,T}*, abweichend von der Darstellung der indirekten Ermittlungsmethode im Hauptteil der Arbeit, über einen direkten Ansatz ermittelt werden, müssen zahlreiche Informationen manuell verarbeitet werden. Konkret müssen die folgenden vom US-BOTS in Datentabelle „*Schedule P-1.2*“ zur Verfügung gestellten Daten addiert werden: „*Mail – 39050*“, „*TotalProperty – 39060*“, „*PropFreight – 39061*“, „*PropBag – 39062*“, „*TotalCharter – 39070*“, „*CharterPax – 39071*“, „*CharterProp – 39072*“, „*TotalMiscRev – 39190*“, „*ResCancelFees – 39191*“, „*MiscOpRev – 39192*“, „*PubSvcRevenue – 48080*“ und „*TransRevenue – 48980*“.

In diesem Rahmen genannte Daten zu Charterflügen beziehen sich auf außerplanmäßige Flüge zu Sonderkonditionen, welche nicht den regulären Ticketerlösen zugerechnet werden und daher unter *ErlösRestAbs_{i,T}* erfasst werden.⁷⁹⁶

⁷⁹⁵ Vgl. Code of Federal Regulations (2021): S. 127 f., 134 f., 173 f.

⁷⁹⁶ Weitere Informationen zu den einzelnen Positionen finden sich in: Code of Federal Regulations (2021): S. 134 ff.

3. Manuelle Adjustierung der Bilanzposition Verbindlichkeiten aus nicht ausgeflogenen Flugdokumenten:

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, ist es zur Berechnung von $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ notwendig, auch die Ausprägung von $VerbFlug_{i,T}$ (sowie $VerbFlug_{i,T-1}$) zu kennen. Wie ebenfalls bereits dargestellt, können Bilanzdaten zu jedem Quartalsende der Tabelle „Schedule B-1“ entnommen werden. Die an dieser Stelle relevante Variable ist „LiabAirTraffic – 21600“, wobei die verfügbaren Daten durch die Möglichkeit der Auswahl des Merkmals „CarrierRegion“ eine eindeutige und einfache Zuordenbarkeit von Daten zu einem Verkehrsgebiet suggerieren.

Durch einen manuellen Abgleich der Daten der BOTS-Datenbank mit Einzelveröffentlichungen von Fluggesellschaften wird jedoch eine Ungenauigkeit in der Datenbank offenkundig: Die Verbindlichkeit, welche sich gemäß der Zuordnung über „CarrierRegion“ nur auf kontinentale Verbindungen (Merkmal: „Domestic“) beziehen sollte, entspricht beispielsweise für *United Airlines* per 31.12.2019 exakt derjenigen Verbindlichkeit, welche die Gesellschaft selbst als gesamte Verbindlichkeit für nicht ausgeflogene Tickets aller Weltregionen angibt.⁷⁹⁷ Zusätzlich offenbart ein näherer Blick auf die Datentabelle „Schedule B-1“, dass für alle vier untersuchten Fluggesellschaften Daten zwar eindeutig dem Verkehrsgebiet „Domestic“ zugeordnet werden, darüber hinaus aber für kein weiteres Verkehrsgebiet entsprechende Rückstellungen in der Tabelle zu finden sind. Hieraus folgt, dass die unter „Domestic“ aufgeführten Daten jeweils den Bilanzdaten der Fluggesellschaft als Ganzes entsprechen. Aus diesem Grund ist vor der Nutzung der Bilanzdaten im Simulationsmodell, welches ausschließlich Informationen zu inneramerikanischen Flügen berücksichtigen soll, eine manuelle Anpassung der Rohdaten notwendig:

Die unter „LiabAirTraffic – 21600“ erfassten Verbindlichkeiten werden manuell gemäß eines pro rata Ansatzes der Region „Domestic“ zugeordnet. Zur approximativen Bestimmung des relevanten Anteils der inneramerikanischen Flüge wird die GuV-Position „TransRevPax – 39010“ (entspricht den Ticketerlösen) genutzt. Es wird jeweils der „Domestic“-Anteil von „TransRevPax – 39010“ an allen weltweiten „TransRevPax – 39010“ je einzelner Fluggesellschaft und Quartal bestimmt. Der für Periode $\bar{T}$ ermittelte Anteil je Fluggesellschaft wird als $KontRatio_{i,\bar{T}}$ bezeichnet. Im nächsten Schritt wird $KontRatio_{i,\bar{T}}$ mit der gesamten unter „LiabAirTraffic – 21600“ am Ende der Periode $\bar{T}$ ausgewiesenen Verbindlichkeit multipliziert, sodass eine nutzbare Approximation der für den inneramerikanischen Verkehr relevanten Verbindlichkeit aus nicht ausgeflogenen Flugdokumenten entsteht. Die so errechnete fluggesellschaftsindividuelle Größe wird im Modell als Variable $VerbFlug_{i,T}$ ausgewiesen und genutzt.

4. Fluggesellschaftsspezifische Produktionsdaten:

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, werden im weiteren Verlauf der Arbeit sechs fluggesellschaftsspezifische Verkehrskennziffern genutzt, deren Ausprägungen ebenfalls der BOTS-Datenbank zu entnehmen sind. Die Daten werden je Fluggesellschaft und Periode für inneramerikanische Flüge erfasst.

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits aufgezeigt, wird zur Ermittlung der Daten für die Variablen $Sitze_{i,\bar{T}}$, $Passagiere_{i,\bar{T}}$, $SLF_{i,\bar{T}}$, $ASK_{i,\bar{T}}$ und $RSK_{i,\bar{T}}$ auf die Datentabelle „T-100

⁷⁹⁷ Vgl. United Airlines (2019): S. 52.

Domestic Segment (U.S. Carriers)“ zurückgegriffen. Diese erfasst Daten je Fluggesellschaft für inneramerikanische Flugsegmente pro Kalendermonat.⁷⁹⁸

Die Gesamtanzahl der Passagiere je Flugsegment und Periode kann der Spalte „*Passengers*“ entnommen werden. Unter Rückgriff auf den „*Unique Carrier Code*“ kann die Summe der Passagiere auf inneramerikanischen Strecken je Fluggesellschaft und Monat errechnet werden. Folglich bezieht sich $Passagiere_{i,\bar{T}}$ auf die Gesamtanzahl der geflogenen Passagiersegmente. Personen, die auf einem Ticket eine Umsteigeverbindung mit mehreren Segmenten fliegen, werden somit mehrfach in $Passagiere_{i,\bar{T}}$ erfasst. Diese Darstellungsweise der Daten wurde zur Nutzung in der vorliegenden Arbeit willentlich gewählt, da nur über diese Daten die Gesamtzahl der von einer Fluggesellschaft in einer Periode auf inneramerikanischen Flügen beförderten Passagiere erfasst werden kann. Würden umsteigende Passagiere gemäß des Gesamttickets nur einmal gezählt, würden beispielsweise Passagiere, die ihre Reise außerhalb Nordamerikas beginnen und nach dem Interkontinentalflug noch einen inneramerikanischen Zubringerflug nutzen, fälschlicherweise nicht in der Gruppe der inneramerikanischen Passagiere berücksichtigt.

Des Weiteren liefert die Tabelle „*T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)*“ in der Spalte „*Seats*“ die Anzahl der insgesamt auf einem Segment verfügbaren Sitzplätze ($Sitze_{i,\bar{T}}$). Der durchschnittliche Sitzladefaktor in Prozent ($SLF_{i,\bar{T}}$) wird mittels Division von $Passagiere_{i,\bar{T}}$ durch $Sitze_{i,\bar{T}}$ errechnet. Darüber hinaus findet sich in der Tabelle in der Spalte „*Distance*“ eine Information über die einfache Distanz zwischen Start- und Zielflughafen eines jeden Flugsegments in Meilen. Demnach lässt sich ausgehend von „*T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)*“ die Gesamtmenge der von einer Gesellschaft auf inneramerikanischen Strecken angebotenen ($ASK_{i,\bar{T}}$) sowie verkauften ($RSK_{i,\bar{T}}$) Sitzplatzkilometer je Periode berechnen.

Für eine Übersicht über genutzte Rohdaten und deren Verarbeitung in dieser Arbeit wird außerdem auf Tabelle 65 im Anhang B I verwiesen.

5. Manuelle Korrektur genutzter Daten:

Da die vom BOTS zur Verfügung gestellten Daten initial von Fluggesellschaften manuell ermittelt werden, können einzelne Ungenauigkeiten, die mutmaßlich auf menschlichen Fehlern basieren, in den bereitgestellten Daten nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wurden sämtliche offensichtlich erkennbare Fehler in den verarbeiteten Daten manuell untersucht und es wurden, falls notwendig, Korrekturen an den Rohdaten vorgenommen. Berücksichtigt wurden Daten der vier betrachteten Fluggesellschaften zwischen Januar 1990 und Dezember 2019. Korrekturen wurden ausschließlich für den folgenden Sachverhalt durchgeführt:

Für *Delta Air Lines* werden im ersten sowie im zweiten Quartal 2018 in der Datentabelle „*Schedule B-1*“ sämtliche Verbindlichkeiten mit einem negativen Vorzeichen ausgewiesen. Da diese Darstellung allen anderen Beobachtungen entgegensteht, wurden die Vorzeichen der beiden betroffenen Beobachtungen von „*LiabAirTraffic – 21600*“ manuell verändert.

⁷⁹⁸ Ein Flugsegment entspricht in dieser Tabelle dem Paar von Start- („*OriginAirportID*“) und Zielflughafen („*DestinationAirportID*“) je Fluggesellschaft („*UniqueCarrierCode*“) und Flugzeugmodell („*AircraftType*“). Je Flugsegment und Periode findet sich eine Zeile in der Datentabelle. Pro Segment wird beispielsweise die Summe aller Passagiere („*Passengers*“) auf diesem Segment erfasst.

Anhang A IX. b) Erläuterungen: Kapitel 6.1.2.2 (Zusammenfassung und Herleitung normierter Monatsdaten)

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, wurde zuvor festgelegt, dass in OPTA der Abschluss von Sicherungen für Kalendermonate simuliert wird (siehe unter anderem: Kapitel 4.2.3.1). Allerdings sind einige der BOTS-Finanzdaten in ihrer Rohform lediglich quartalsweise verfügbar. Um eine Simulation für Kalendermonate zu ermöglichen, ist es daher notwendig, einzelne Rohdaten manuell auf Monate zu verteilen. Diese manuelle Verteilung ist für folgende Variablen notwendig: $PUOF_{i,\bar{T}}$, $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$, $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ und $AufwandRestAbs_{i,\bar{T}}$. Darüber hinaus ist es notwendig, die absoluten aus der BOTS-Datenbank abgegriffenen Werte auf die Einheit US-Dollar pro Barrel zu normieren. Die Umsetzung der Normierung für die Größen $PUOF_{i,\bar{T}}$, $ErlösRest_{i,\bar{T}}$, $AufwandRest_{i,\bar{T}}$ ist daher nachfolgend ebenfalls dargestellt.

Die Aufteilung der Erlöse und Einzahlungen auf Monate innerhalb eines Quartals erfolgt anhand der relativen Verteilung der von einer Fluggesellschaft beförderten Passagiere ($Passagiere_{i,\bar{Q}}$) innerhalb des Quartals. Die dieser Aufteilung zugrundeliegende Ratio ist, dass Erlös- und Einzahlungsgrößen sich grundsätzlich in etwa proportional zur relativen Anzahl der beförderten Passagiere innerhalb einer Periode verhalten sollten.

Für die absolute Größe $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ ist die Verteilung auf Monate auf Basis dieser Voraussetzungen trivial. Die absolute Ausprägung der Variable je Quartal wird zunächst gemäß der zuvor in Kapitel 6.1.2.1 dargestellten Beschreibung aus den BOTS-Daten ermittelt. Sofern $\bar{Q}$ ein Quartal und $\bar{T}$ einen Monat innerhalb des Quartals $\bar{Q}$ beschreibt und $Ticketeinzahlung_{i,\bar{Q}}$ die Summe der relevanten Ticketeinzahlungen je Quartal darstellt, lässt sich die absolute monatliche Ausprägung $Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}}$ pro Monat $\bar{T}$ somit berechnen über:

Beispiel: Berechnen von Ticketeinzahlungen auf Monatsebene

$$Ticketeinzahlung_{i,\bar{T}} = Ticketeinzahlung_{i,\bar{Q}} * \left(\frac{Passagiere_{i,\bar{T}}}{Passagiere_{i,\bar{Q}}} \right) \quad (\text{A IX.1})$$

Zur Ermittlung der per Definition auf ein Barrel skalierten Variable $ErlösRest_{i,\bar{T}}$ wird anhand dieser Logik ebenfalls zunächst die Summe der Erlöse eines Quartals vor Skalierung auf die einzelnen Monate verteilt. Die Summe der relevanten Erlöse je Quartal wird gemäß der zuvor in Kapitel 6.1.2.1 dargestellten Beschreibung aus der Datentabelle „Schedule P-1.2“ abgelesen. Da $Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}$ monatlich verfügbar ist, kann die Normierung der Größe $ErlösRestAbs_{i,\bar{T}}$ auf ein Barrel dann jeweils separat auf Monatsebene durchgeführt werden. Sofern $\bar{Q}$ ein Quartal und $\bar{T}$ einen Monat innerhalb des Quartals $\bar{Q}$ beschreibt und $ErlösRestAbs_{i,\bar{Q}}$ die Summe der relevanten Erlöse pro Quartal vor Skalierung darstellt, lässt sich die auf Barrel skalierte Monatsgröße $ErlösRest_{i,\bar{T}}$ pro Monat $\bar{T}$ somit berechnen über:

Beispiel: Berechnen von ErlösRest auf Monatsebene

$$ErlösRest_{i,\bar{T}} = \frac{ErlösRestAbs_{i,\bar{Q}} * \left(\frac{Passagiere_{i,\bar{T}}}{Passagiere_{i,\bar{Q}}} \right)}{Treibstoffmenge_{i,\bar{T}}} \quad (\text{A IX.2})$$

Sofern $\bar{Q}$ ein Quartal und $\bar{T}$ einen Monat innerhalb des Quartals $\bar{Q}$ beschreibt, lässt sich $PUOF_{i,\bar{T}}$ für Monat $\bar{T}$ gemäß dieser Berechnungslogik sowie unter Verweis auf (A IX.1) gleichfalls berechnen über:

Beispiel: Berechnen von PUOF auf Monatsebene

$$PUOF_{i,\bar{T}} = \frac{\text{Ticketeinzahlung}_{i,\bar{T}}}{\text{Treibstoffmenge}_{i,\bar{T}}} = \frac{\text{Ticketeinzahlung}_{i,\bar{Q}} * \left(\frac{\text{Passagiere}_{i,\bar{T}}}{\text{Passagiere}_{i,\bar{Q}}} \right)}{\text{Treibstoffmenge}_{i,\bar{T}}} \quad (\text{A IX.3})$$

Im Gegensatz zu den Erlös- und Einzahlungsgrößen wird unterstellt, dass die Verteilung von $\text{AufwandRest}_{i,\bar{T}}$ nicht primär durch die verkaufte Menge ($\text{Passagiere}_{i,\bar{T}}$) beeinflusst wird, sondern maßgeblich von der angebotenen Menge abhängt. Daher wird zur Verteilung auf Monate die relative Anzahl der angebotenen Sitzplätze ($\text{Sitze}_{i,\bar{T}}$) herangezogen. Die Bestimmung der monatlichen Ausprägung von $\text{AufwandRest}_{i,\bar{T}}$ erfolgt methodisch äquivalent zu (A IX.3), wobei statt $\text{Passagiere}_{i,\bar{T}}$ (beziehungsweise $\text{Passagiere}_{i,\bar{Q}}$) die Größe $\text{Sitze}_{i,\bar{T}}$ (beziehungsweise $\text{Sitze}_{i,\bar{Q}}$) herangezogen wird. Demnach gilt in diesem Fall:

Beispiel: Berechnen von AufwandRest auf Monatsebene

$$\text{AufwandRest}_{i,\bar{T}} = \frac{\text{AufwandRestAbs}_{i,\bar{Q}} * \left(\frac{\text{Sitze}_{i,\bar{T}}}{\text{Sitze}_{i,\bar{Q}}} \right)}{\text{Treibstoffmenge}_{i,\bar{T}}} \quad (\text{A IX.4})$$

Anhang A IX. c) Hintergrund: Kapitel 6.1.3.2 (Volatilitäten der Rohwarenfutures)

Zur Bestimmung fairer Derivatepreise ist es in der Praxis üblich, dass Varianzen beziehungsweise *Volatilitäten*⁷⁹⁹ nicht durch Rückgriff auf historische Datenreihen von Marktteilnehmern selbst errechnet werden. Stattdessen wird auf Volatilitäten zurückgegriffen, die von kommerziellen Marktdatenanbietern zur Verfügung gestellt werden.⁸⁰⁰ Bei diesen zur Verfügung gestellten Volatilitäten handelt es sich um sogenannte *implizite Volatilitäten*. Dies bedeutet, dass die Datenanbieter zunächst gehandelte Transaktionen am Markt beobachten. Aus der Beobachtung der echten Geschäftsabschlüsse können nahezu alle relevanten Parameter einer Sicherungstransaktion (Beispiel: Preis des Derivates, Terminpreis, Strike, Laufzeit, Zins) entnommen werden. Oftmals unbekannt ist lediglich die zugrunde gelegte Volatilität. In diesem Fall ist es einfach möglich, die gängigen Optionspreisformeln – beispielsweise für einen Long Call auf einen Rohwarenfuture gemäß Black (1976) (siehe: (3.9) und (3.11)) – nach der Volatilität (σ) aufzulösen. Somit kann, ausgehend von den gehandelten Optionen, diejenige Volatilität ermittelt werden, die am Markt vorliegen muss, wenn die Korrektheit der Annahmen der Optionspreismodelle unterstellt wird. Im Fall einer so ermittelten Volatilität spricht man von *impliziter Volatilität*.⁸⁰¹ Der Vorteil dieser Art der Volatilitätsermittlung ist, dass unter Rückgriff auf diese, bei Nutzung identischer Optionsbewertungsmodelle, über die Bewertungsmodelle in jedem Fall praxisrelevante Marktpreise für Optionen bestimmt werden.

⁷⁹⁹ Im Kontext der Optionsbewertung wird in der Regel der Terminus *Volatilität* genutzt. Beim Handel von europäischen Derivaten auf Rohwarenfutures entspricht diese der (per annum skalierten) Standardabweichung der Veränderung des Rohwarenfutures. Siehe: (3.11) (Black-Modell). Die entsprechende Volatilität ist dort als σ dargestellt. Vgl. Hull (2006): S. 286 f.

⁸⁰⁰ Clark (2014) befasst sich beispielsweise mit dem Rückgriff auf durch Datenanbieter zugeliferte Volatilitäten für Rohwaren in der Praxis. Vgl. Clark (2014): S. 205 ff.

⁸⁰¹ Ausführungen zur impliziten Volatilität finden sich beispielsweise in: Bloomberg (2019): S. 1 ff.; Hull (2006): S. 300 f. Ein Verweis aus der Praxis findet sich beispielsweise in: Southwest Airlines (2019): S. 68.

Würde im Modell OPTA hingegen eine Volatilität errechnet und genutzt, die auf historischen Daten basiert, würde diese mit hoher Wahrscheinlichkeit von den implizit ermittelten Volatilitäten abweichen. In diesem Fall wären die unter Rückgriff auf diese Volatilität errechneten Optionspreise ungleich der tatsächlich am Markt gehandelten Optionspreise. Da mittels OPTA historische realitätsnahe Simulationen der Treibstoffpreissicherung möglich sein sollen, muss demnach zur Ermittlung realistischer Derivatepreise auf die impliziten Volatilitäten zurückgegriffen werden.

Die impliziten Volatilitäten der für den Anwendungsfall relevanten Rohwarenfutures werden in Bloomberg durch Rückgriff auf das Black-Modell (siehe: Kapitel 3.3.2.1) zur Bewertung europäischer Optionen ermittelt.⁸⁰² Demnach können die bereitgestellten Volatilitäten nicht direkt zur Bepreisung asiatischer Optionen beziehungsweise als Verteilungsparameter der monatlichen Durchschnittsrohwarenpreise genutzt werden, sondern müssen in OPTA noch adjustiert werden. Zur Adjustierung wird die in Kapitel 3.3.2.2 vorgestellte Approximation gemäß Turnbull und Wakeman (1991) genutzt. Die konkrete Umsetzung der Adjustierung im Modell wird in Kapitel 6.2.1 beschrieben.

Des Weiteren sind beim Einsatz impliziter Volatilitäten weitere Besonderheiten zu berücksichtigen: Implizite Volatilitäten einer Rohware in einem Zeitpunkt T_0 unterscheiden sich im Regelfall nach der betrachteten prospektiven Zeitspanne.⁸⁰³ Hieraus folgt, dass – vergleichbar mit Terminpreiskurven – auch Volatilitätskurven ermittelt werden können, die für eine praxisnahe Simulation ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Darüber hinaus existieren nicht nur für verschiedene Laufzeiten unterschiedliche Volatilitäten. Innerhalb einer Laufzeit kann die Ausprägung der Volatilität vielmehr zusätzlich vom gehandelten Strike eines Derivates abhängen. Dies bedeutet, dass beispielsweise die implizite Volatilität einer Option, deren Strike dem Terminpreis entspricht, von der impliziten Volatilität einer anderen Option (bei gleichem Sicherungszeitpunkt T_0 und für den gleichen Terminmonat $\bar{T}$) abweicht, nur weil diese auf einen Strike referenziert, der über oder unter dem Terminpreis liegt. Eine solche Abweichung wird als *Volatilitäts-Skew* bezeichnet. Für eine Auseinandersetzung mit dem Thema der *Volatilitäts-Skews* empfiehlt sich beispielsweise Hull (2006).⁸⁰⁴ Für die Ausführungen in dieser Arbeit ist lediglich das Wissen relevant, dass am Markt nicht nur terminmonats- und strikekonstante implizite Volatilitäten vorzufinden sind, sondern dass ganze Volatilitätsoberflächen existieren können.

Zur beispielhaften Veranschaulichung findet sich in Abbildung 33 die Darstellung einer solchen Volatilitätsoberfläche für Futures auf die Rohölsorte Brent an einem einzelnen Stichtag in der Darstellung von *Bloomberg Professional Services*.

Um die Nutzbarkeit des Simulationsmodells zu gewährleisten, wird allerdings festgelegt, dass im Modell für jede Rohware pro Entscheidungszeitpunkt (T_0) lediglich eine Volatilität je Terminmonat $\bar{T}$ berücksichtigt wird. Als relevante und einzige Volatilität je Sicherungszeitpunkt T_0 und Terminmonat $\bar{T}$ wird daher diejenige Volatilität genutzt, die in Abbildung 33 jeweils mittig innerhalb der Volatilitäten eines Terminmonats dargestellt und mit „100%

⁸⁰² In der Beschreibung (Code „DES“) zu den Volatilitätstickern schreibt Bloomberg, dass diese unter Rückgriff auf das Black-Scholes-Optionspreismodell ermittelt werden. Da die impliziten Volatilitäten jedoch für Optionen auf Rohwarenfutures ermittelt werden, deren Driftrate im Modell per Definition jederzeit 0 beträgt, könnte auch auf das einfachere Black-Modell verwiesen werden. Siehe hierzu: Kapitel 3.3.2.1. Eine sehr detaillierte Beschreibung zur konkreten Ermittlung der ausgewiesenen impliziten Volatilitäten bietet Bloomberg im entsprechenden Handbuch. Siehe: Bloomberg (2019).

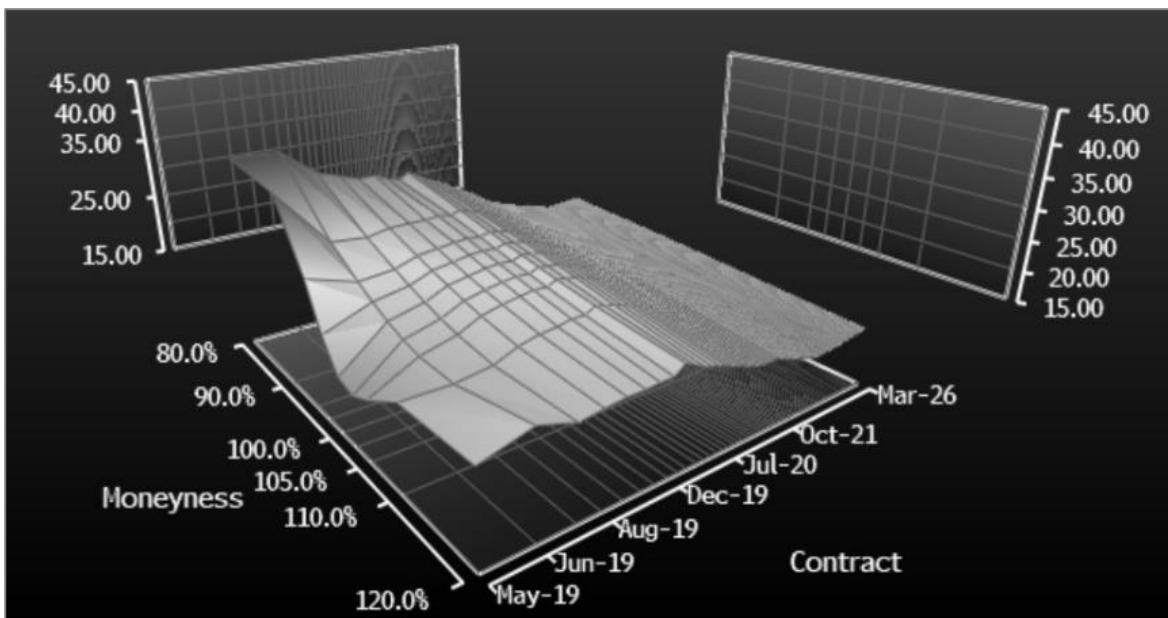
⁸⁰³ Dies gilt, obwohl die Volatilitäten als Input der Optionspreisformel auf eine identische Laufzeit (in der Regel: per annum) normiert werden. Zur Bestimmung von Optionspreisen gemäß Black (1976) muss beispielsweise der auf ein Jahr normierte Verteilungsparameter σ in die Verteilungsfunktion eingesetzt werden (siehe: (3.11)). Die Skalierung entsprechend der Laufzeit der jeweiligen Option erfolgt durch Multiplikation mit T innerhalb von (3.11).

⁸⁰⁴ *Volatilitäts-Skews* werden in Hull (2006) primär in Kapitel 16 diskutiert. Vgl. Hull (2006): S. 375 ff.

Moneyness“ gekennzeichnet ist. Diese entspricht derjenigen implizit errechneten Volatilität, die für den Handel von Optionen, deren Strike dem Terminpreis entspricht, ermittelt wurde. Diese Wahl der zum Terminpreis passenden Volatilität wird deshalb getroffen, weil die Volatilität in OPTA auch als Verteilungsparameter der Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ genutzt wird. Da die erwartete Ausprägung der Zufallsvariable im Modell dem Terminpreis entspricht, ist diese Wahl der Volatilität, welche zum Terminpreis korrespondiert, für ein konsistentes Modell empfehlenswert.

Würden abweichend individuelle Volatilitäten je Strike genutzt, würden Teile der in Kapitel 5 beziehungsweise Anhang A VI dargestellten Zusammenhänge, nicht mehr gelten. Exemplarisch ist dies an (A VI.25) ersichtlich: Im Fall einer Differenz zwischen der zur Optionsbepreisung genutzten Volatilität und der in der Verteilungsfunktion genutzten Volatilität wäre nicht mehr garantiert, dass $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, k_w)) = 0$. In diesem Fall könnte die Wahl des Strikes direkten Einfluss auf den Erwartungswert des FCF ausüben.

Abbildung 33 – Beispiel: Volatilitätsoberfläche Brent ICE am 22.03.2019



Die Abbildung zeigt beispielhaft die Volatilitätsoberfläche von Brent ICE (Bloomberg-Ticker: „CO“) am 22.03.2019 (hier: T_0) gemäß der Darstellung in *Bloomberg Professional Services*. Die impliziten Volatilitäten (y-Achse) hängen sowohl von der Laufzeit der Kontrakte (x-Achse, hier: *Contract*) als auch von der Wahl des Strikes (z-Achse, hier definiert über die *Moneyness* als Ausprägung der relativen Übereinstimmung mit dem Terminpreis) ab. Eine *Moneyness* von 80% bedeutet beispielsweise, dass die Höhe des gehandelten Strikes bei 80% des Terminpreises liegt. Bei einem Terminpreis von 100 USD läge der Strike demnach bei 80 USD.

Anhang A IX. d) Erläuterungen: Kapitel 6.1.3.2 (Volatilitäten der Rohwarenfutures)

Für Terminpreise wurde zuvor festgelegt, dass die jeweiligen Kontrakte mit der nächstmöglichen Lieferung als Realisierung der Zufallsvariable genutzt werden. Da den Realisierungen jedoch keine Unsicherheit mehr zugrunde liegt, dürfen diesen keine Volatilitäten zugeordnet werden. Aus diesem Grund müssen die vorzufindenden Volatilitätsticker mit der kürzesten angegebenen Laufzeit als Volatilitäten des ersten Terminmonats genutzt werden. Die Zuordnung aller nachfolgenden Ticker erfolgt äquivalent.

Im Gegensatz zum Abruf der Terminpreise für NYH ULSD (beziehungsweise der unter Bloomberg-Ticker „HO“ quotierten Mitteldestillatpreise, siehe auch: Anmerkung in Fußnote 440) ergeben sich beim Versuch des Abgriffs von zugehörigen Volatilitäten einige Herausforderungen. Kontrastär zum Abruf der Terminpreise können *implizite Volatilitäten*⁸⁰⁵

⁸⁰⁵ Für eine Erläuterung zu *impliziten Volatilitäten* siehe: Anhang A IX. c).

für NYH ULSD in Bloomberg nicht über *flexible Bloomberg-Ticker*⁸⁰⁶ abgerufen werden. Stattdessen ist es lediglich über Umwege möglich, manuelle historische Zeitreihen für *starre einzelne Monatsticker*⁸⁰⁷ abzurufen. Der Aufbau des Ticker-Codes ist dabei ähnlich zum Aufbau des flexiblen Codes für Terminpreise. Beispielsweise kann die Volatilität von NYH ULSD-Futures mit Lieferung im November 2010 (Mai 2021) abgerufen werden unter: „HO NOV10 100 VOL BVOL Comdty“ („HO MAY21 100 VOL BVOL Comdty“). Daten sind für jeden Werktag ab 2006 verfügbar. Auf eine ausführliche Darstellung aller einzelnen Ticker wird aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet. Die dargestellten Beispiele können inhaltsgleich übertragen werden.

Um alle Terminvolatilitätskurven zu erzeugen, wurden manuell die historischen Verläufe aller Volatilitätsticker für NYH ULSD-Futures von April 2007 bis Dezember 2019 je Werktag aus der Datenbank gezogen. Anschließend konnten die Daten der einzelnen *Monatsticker* jeweils manuell zu Volatilitätskurven aller Werktage zusammengesetzt werden. Hierfür wurden jeweils alle verfügbaren Kurvenstützpunkte aus Bloomberg genutzt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Menge der verfügbaren Rohdaten je Werktag historisch teils divergiert: Für zahlreiche Tage können komplette Kurven auf Basis von 35 zur Verfügung gestellten Volatilitäten genutzt werden. Für einzelne Werktage finden sich hingegen lediglich Volatilitäten bis Terminmonat 13 in der Datenbank. Fehlende Datenpunkte innerhalb einer teilweise verfügbaren Kurve wurden durch lineare Inter- sowie Extrapolation der verfügbaren Datenpunkte je Werktag manuell ergänzt. Sofern die ganze Volatilitätskurve eines Handelstages nicht verfügbar ist, werden im Rahmen einer Simulation die verfügbaren Daten des folgenden Börsenhandelstages berücksichtigt.

Anhang A IX. e) Weitere Daten: Kapitel 6.1 (Wahl der Beobachtungsobjekte und Beschreibung genutzter Daten)

Daten zur Arbeitslosigkeit in den Vereinigten Staaten je Quartal in Prozent ($Arbeitslos_{\bar{Q}}$) stammen aus *Bloomberg Professional Services*. Abgerufen wird die Arbeitslosigkeit je Quartal in Bloomberg durch die Wahl des Tickers „EHUPUS Index“. Die Daten werden zu Testzwecken für alle Quartale zwischen dem ersten Quartal 1990 und dem vierten Quartal 2006 aus Bloomberg abgerufen.

Da die *in-sample* Durchführung der über Formel (A X.17) spezifizierten Regressionsanalyse unter Hinzuziehen von $\Delta Arbeitslos_{\bar{Q}}$ (siehe: Anhang A X. c)) jedoch keine Indizien dafür liefert, dass die Veränderung von $Arbeitslos_{\bar{Q}}$ einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ für eine der untersuchten Fluggesellschaften ausübt, wurde die Variable nicht in das final genutzte Regressionsmodell übernommen. Die Analyseergebnisse für die alternativ spezifizierten Regressionsanalysen finden sich je Fluggesellschaft im Anhang B I in Tabelle 70 bis Tabelle 73.

⁸⁰⁶ Der Terminus *flexible Bloomberg-Ticker* beschreibt in diesem Zusammenhang, dass beispielsweise über den Ticker „HO1 Comdty“ zu jedem Zeitpunkt T_0 immer der (zeitlich) nächstfällige Terminpreis der Rohware NYH ULSD abgerufen werden kann. Demnach kann sich der unter „HO1 Comdty“ abrufbare Terminpreis, in Abhängigkeit vom Abrufdatum T_0 , auf verschiedene Kalendermonate beziehen.

⁸⁰⁷ *Starre einzelne Monatsticker* hier als Gegenstück zu *flexible Bloomberg-Ticker*. Die unter einem *starren Monatsticker* quotierte Volatilität bezieht sich zu jedem Zeitpunkt T_0 auf den identischen Kalendermonat. Sofern dieser Kalendermonat vor Zeitpunkt T_0 liegt, können keine Werte mehr quotiert werden.

Anhang A X. Erläuterungen zu Kapitel 6.2

Anhang A X. a) *Hintergrund: Kapitel 6.2.1.1 (Aufstellen der Randverteilung für Rohwarenpreise)*

In Kapitel 6.2.1.1 der Arbeit wurde festgelegt, dass die in dieser Arbeit bezüglich der Rohwarenpriestufallsvariable gewählte Belegung der Variablen sich an Hull (2006) orientiert. Gemäß dessen Darstellung entspricht μ_{Fuel} der erwarteten diskreten per annum Rendite des Referenzproduktes. Es wurde im Hauptteil der Arbeit daher ebenfalls bereits erläutert, dass sich, an diese Darstellung angelehnt, der Begriff „erwartete Rendite“ – sofern nicht explizit anders dargestellt – im Rahmen der Diskussion zur Treibstoffpreistufallsvariable in dieser Arbeit auf die erwartete diskrete per annum Rendite der Treibstoffpreisänderung bezieht. Allerdings gilt es zu beachten, dass die inhaltliche Belegung der griechischen Buchstaben μ und σ im Rahmen der Darstellung der logarithmischen Normalverteilungsfunktion zwischen verschiedenen Quellen teils divergiert, sodass die im Hauptteil der Arbeit gewählte Darstellung der Verteilung beim Blick auf manche Quellen als nicht intuitiv erklärbar erscheinen kann. Da einige Arbeiten, welche eine abweichende Belegung der Variablen nutzen, im Rahmen dieser Arbeit als Quellenbelege aufgeführt sind, wird es als notwendig erachtet, eine kurze Einordnung der möglichen abweichenden Darstellungen vorzunehmen und die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Darstellungsformen vorzustellen. Diese Einordnung findet nachfolgend in diesem Kapitel statt.

Es sei vorangestellt, dass im Folgenden die Variable μ_{Fuel} entsprechend der Definition im Hauptteil dieser Arbeit genutzt wird. Wie ebenfalls im Hauptteil dargestellt, gilt für die in dieser Arbeit betrachteten Rohwarenfutures: $\mu_{Fuel} = 0$. Für die Volatilität gilt weiterhin, dass diese sich ebenfalls auf die erwartete Rendite bezieht und der per annum skalierten Standardabweichung dieser Rendite entspricht. Wie im Hauptteil der Arbeit eingeführt, wird die Standardabweichung für einen Erfüllungszeitpunkt als σ_{Fuel} bezeichnet.⁸⁰⁸ Die Variable $Fuel_{T_0,T}$ stellt weiterhin den Terminpreis für Zeitpunkt T im Entscheidungszeitpunkt T_0 dar und sofern T das Ende eines Erfüllungszeitraumes $\bar{T}$ beschreibt (mit: $T_0 < \tau < t \leq T$) gilt – wie zuvor festgelegt – in dieser Arbeit: $Fuel_{T_0,\bar{T}} = Fuel_{T_0,T}$. Für die folgenden Ausführungen wird zur Beschreibung des Terminpreises durchweg auf die Darstellung $Fuel_{T_0,T}$ statt $Fuel_{T_0,\bar{T}}$ zurückgegriffen.⁸⁰⁹

Beispielhaft für eine alternative Variablendefinition nutzen Thomopoulos und Johnson (2004) sowie Balakrishnan und Lai (2009) die beiden Variablen μ und σ zur Beschreibung des Erwartungswertes sowie der Standardabweichung der normalverteilten *stetigen Veränderung* der Zufallsvariable. Die beiden Variablen gemäß der inhaltlichen Belegung von Thomopoulos und Johnson (2004) sowie Balakrishnan und Lai (2009) werden für eine klare Abgrenzung nachfolgend als μ_{NV} sowie σ_{NV} bezeichnet. Für den Zusammenhang zwischen den verschieden belegten Variablen gilt:

Abweichende Variablenbelegung μ – Darstellung I

$$\mu_{NV} = \log(Fuel_{T_0,T}) + T * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{Fuel}^2}{2} \right) \quad (A\ X.1)$$

⁸⁰⁸ Vgl. Hull (2006): S. 283 ff. Dort findet sich eine ausführliche Auseinandersetzung mit den inhaltlichen Hintergründen der beiden genutzten Parameter μ_{Fuel} sowie σ_{Fuel} .

⁸⁰⁹ Siehe für diese Annahme auch Darstellung in Kapitel 3.3.2.2 und dort Fußnote 239.

Es ist zu berücksichtigen, dass *log* den natürlichen Logarithmus zur Basis *e* beschreibt. Für die Standardabweichung der normalverteilten Zufallsvariable gilt:

Abweichende Variablenbelegung σ – Darstellung I

$$\sigma_{NV} = \sigma_{Fuel} * \sqrt{T} \quad (\text{A X.2})$$

Wie im Hauptteil der Arbeit diskutiert, kann allgemein gezeigt werden, dass die diskrete Treibstoffpreiszufallsvariable einer logarithmischen Normalverteilung unterliegt. Zur allgemeinen Beschreibung einer solchen Verteilung können die beiden Variablen μ_{LogNV} sowie σ_{LogNV} , welche den Erwartungswert und die Standardabweichung der logarithmischen Normalverteilung beschreiben, genutzt werden. Sofern man auf diese beiden Parameter zurückgreift, kann die Verteilung einer logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable beschrieben werden durch: $LN(\mu_{LogNV}, \sigma_{LogNV}^2)$. Für den so definierten Erwartungswert einer logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable gilt:

Abweichende Variablenbelegung μ – Darstellung II

$$\mu_{LogNV} = e^{(\mu_{NV} + \frac{\sigma_{NV}^2}{2})} \quad (\text{A X.3})$$

Für die Standardabweichung der logarithmisch normalverteilten Zufallsvariable gilt:

Abweichende Variablenbelegung σ – Darstellung II

$$\sigma_{LogNV} = \sqrt{e^{(2*\mu_{NV} + \sigma_{NV}^2)} * (e^{\sigma_{NV}^2} - 1)} \quad (\text{A X.4})$$

Demnach folgt für den Zusammenhang zwischen μ_{Fuel} und μ_{LogNV} :

Abweichende Variablenbelegung μ – Darstellung III

$$\mu_{LogNV} = Fuel_{T_0,T} * e^{T*\mu_{Fuel}} = E_{T_0}(Fuel_T) \quad (\text{A X.5})$$

Für den Zusammenhang zwischen σ_{Fuel} und σ_{LogNV} folgt:

Abweichende Variablenbelegung σ – Darstellung III

$$\sigma_{LogNV} = \sqrt{e^{2*T*\mu_{Fuel}} * (e^{T*\sigma_{Fuel}^2} - 1) * Fuel_{T_0,T}^2} \quad (\text{A X.6})$$

Es sei explizit darauf hingewiesen, dass die Kurzform $LN(\mu_{LogNV}, \sigma_{LogNV}^2)$ unter Rückgriff auf die so definierten Variablen μ_{LogNV} und σ_{LogNV} im Hauptteil der Arbeit nicht zur verkürzten Beschreibung der Verteilung der Treibstoffpreiszufallsvariable genutzt wird.

Stattdessen werden bei der Darstellung von logarithmischen Normalverteilungen stets Erwartungswerte sowie die zugehörigen Varianzen der logarithmischen Normalverteilung unter alleinigem Rückgriff auf μ_{Fuel} sowie σ_{Fuel} dargestellt.

Unter Rückgriff auf (A X.5) und (A X.6) wird demnach die Darstellung $LN(Fuel_{T_0,T} * e^{T*\mu_{Fuel}}, e^{2*T*\mu_{Fuel}} * (e^{T*\sigma_{Fuel}^2} - 1) * Fuel_{T_0,T}^2)$ gewählt. Kenntnisse über die dargestellten Zusammenhänge der Verteilungsparameter sind an zahlreichen Stellen der Arbeit sowie beim Blick auf unterschiedliche Quellen von Vorteil, weshalb die Veranschaulichung der Zusammenhänge an dieser Stelle als sinnvoll erachtet wird.⁸¹⁰

⁸¹⁰ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 8; vgl. Thomopoulos/Johnson (2004): S. 1 ff. Zur Darstellung der hier erläuterten Zusammenhänge siehe auch: Hull (2006): S. 283 ff.

Anhang A X. b) Erläuterungen: Kapitel 6.2.1.1 (Aufstellen der Randverteilung für Rohwarenpreise)

Unter Berücksichtigung der im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 6.2.1.1 dargestellten Voraussetzungen sowie der allgemeinen Darstellungen und Erläuterungen im Anhang A X. a) unterliegt die auf einen Erfüllungszeitpunkt referenzierende Zufallsvariable $Fuel_t$ der logarithmischen Normalverteilung mit:

Logarithmische Normalverteilung von Fuel: Erfüllungszeitpunkt

$$Fuel_t \sim LN \left(Fuel_{T_0, \bar{T}} * e^{t * \mu_{Fuel}}, \quad e^{2 * t * \mu_{Fuel}} * \left(e^{t * \sigma_{Fuel}^2} - 1 \right) * Fuel_{T_0, \bar{T}}^2 \right) \quad (A X.7)$$

wobei $Fuel_{T_0, \bar{T}} * e^{t * \mu_{Fuel}}$ den Erwartungswert und $e^{2 * t * \mu_{Fuel}} * \left(e^{t * \sigma_{Fuel}^2} - 1 \right) * Fuel_{T_0, \bar{T}}^2$ die Varianz der logarithmischen Normalverteilung beschreiben. Wie zuvor definiert, stellt die Variable $Fuel_{T_0, \bar{T}}$ den Terminpreis für die Periode $\bar{T}$ im Entscheidungszeitpunkt T_0 (mit: $\tau < t \leq T$) dar.⁸¹¹ Wie zuvor ebenfalls bereits dargestellt, gilt weiterhin die Annahme, dass bei der Betrachtung von Futures in dieser Arbeit gilt: $\mu_{Fuel} = 0$.⁸¹²

Unter Beachtung dieser Voraussetzungen können die Verteilungsfunktion sowie die nicht-negative integrierbare Dichtefunktion zur Beschreibung der Verteilung der Zufallsvariable für einen Zeitpunkt t (mit: $\tau < t \leq T$) einfach bestimmt werden.

Es existiere die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion $f_{Fuel,t}$, welche die im Anhang A VI. b) dargestellten Annahmen erfülle, mit:

Randverteilung Fuel Zeitpunkt: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$f_{Fuel,t}(Fuel_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma_{Fuel} * \sqrt{t} * Fuel_t} \cdot \frac{\left(\log(Fuel_t) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - t * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{Fuel}^2}{2} \right) \right)^2}{2 * t * \sigma_{Fuel}^2} \cdot e^{-\frac{\left(\log(Fuel_t) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - t * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{Fuel}^2}{2} \right) \right)^2}{2 * t * \sigma_{Fuel}^2}}, \quad (A X.8)$$

$t > 0, Fuel_t > 0, Fuel_{T_0, \bar{T}} > 0, \sigma_{Fuel} > 0$

Für die Verteilungsfunktion $F_{Fuel,t}: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ gilt dann:

Randverteilung Fuel Zeitpunkt: Verteilungsfunktion

$$F_{Fuel,t}(Fuel_t) = \Phi \left(\frac{\log(Fuel_t) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - t * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{Fuel}^2}{2} \right)}{\sigma_{Fuel} * \sqrt{t}} \right), \quad (A X.9)$$

$t > 0, Fuel_t > 0, Fuel_{T_0, \bar{T}} > 0, \sigma_{Fuel} > 0$

Entsprechend der Darstellungen im Anhang A VI. b) gilt ebenso der Zusammenhang zwischen der Dichte- und der Verteilungsfunktion gemäß (A VI.3) sowie die Darstellung bezüglich des Erwartungswertes gemäß (A VI.4).⁸¹³ Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass

⁸¹¹ Bezüglich der Zusammenhänge zwischen $\bar{T}$, T_0 , τ , t und T wird weiterhin auf Abbildung 6 verwiesen.

⁸¹² Vgl. Black (1976): S. 173 f. Siehe auch: Darstellungen in Kapitel 3.3.2. Zur Darstellung der Verteilung siehe auch: Hull (2006): S. 282 ff. Es ist zudem die für diese Arbeit getroffene Annahme $r = 0$ zu berücksichtigen (siehe: Fußnote: 289).

⁸¹³ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 8. Siehe außerdem vorangegangene Darstellungen in diesem Kapitel. Es sei abermals erwähnt, dass in der hier gewählten Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte- sowie der Verteilungsfunktion statt der von Balakrishnan und Lai (2009) genutzten Parameter μ_{NV} und σ_{NV} , die sich auf die stetige Rendite beziehen, die Parameter μ_{Fuel} und σ_{Fuel} berücksichtigt werden, welche sich auf diskrete Renditen beziehen. Erläuterungen zu den Zusammenhängen finden sich im Anhang A X. a).

$\log$ den natürlichen Logarithmus zur Basis e beschreibt sowie dass Φ die Funktionswerte der Standardnormalverteilung erfasst.

Darüber hinaus wird in Kapitel 6.2.1.1 in (6.1) bereits die Verteilung von $Fuel_{\bar{T}}$ für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ vorgestellt. Für deren Herleitung ist es zusätzlich hilfreich, auf die nah verwandte Darstellung der Verteilung vor dem Logarithmieren zurückzugreifen. Ausgehend vom stochastischen Prozess, welchem das Referenzprodukt gemäß theoretischer Herleitung folgt, sowie unter Berücksichtigung der Vereinfachungen gemäß Turnbull-Wakeman-Modell, gilt für die Verteilung von $\log(Fuel_{\bar{T}})$:⁸¹⁴

Normalverteilung Logarithmus Fuel: Erfüllungszeitraum

$$\log(Fuel_{\bar{T}}) \sim N\left(\log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) + \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{TW}^2}{2}\right)T, \sigma_{TW}\sqrt{T}\right) \quad (A X.10)$$

Es ist zu berücksichtigen, dass σ_{TW} an dieser Stelle zunächst identisch zur Standardabweichung für einen Zeitpunkt behandelt wird und daher im Rahmen der Herleitung der Verteilung inhaltlich identisch zu σ_{Fuel} zu berücksichtigen ist. Die Adjustierung von σ_{TW} erfolgt angelehnt an das Turnbull-Wakeman-Modell über (3.13) (siehe: Kapitel 3.3.2.2) erst nachgelagert zum Aufstellen der Verteilungsfunktion.

Um ausgehend von Formel (A X.10) die Darstellung gemäß Formel (6.1) herzuleiten, hilft zunächst der Blick auf die Erläuterungen im Anhang A X. a). Mit Verweis auf die dortigen allgemeinen Darstellungen sowie allen voran auf (A X.5) sowie (A X.6) folgt für die Verteilung von $Fuel_{\bar{T}}$:⁸¹⁵

Verteilung von Fuel: Erfüllungszeitraum (komplette Darstellung)

$$Fuel_{\bar{T}} \sim LN\left(Fuel_{T_0, \bar{T}} * e^{T * \mu_{Fuel}}, \quad e^{2 * T * \mu_{Fuel}} * Fuel_{T_0, \bar{T}}^2 * (e^{T * \sigma_{TW}^2} - 1)\right) \quad (A X.11)$$

Durch Einsetzen von $\mu_{Fuel} = 0$ kann anschließend ausgehend von (A X.11) die Darstellung gemäß (6.1), die sich im Hauptteil der Arbeit befindet, hergeleitet werden.

Darüber hinaus können aus (A X.11) beziehungsweise (6.1) ebenfalls die zugehörige Verteilungs- sowie die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion abgeleitet werden. Es existiere die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion f_{Fuel} , welche die im Anhang A VI. b) dargestellten Annahmen erfülle, mit:

Randverteilung Fuel Zeitraum: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$f_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma_{TW} * \sqrt{T} * Fuel_{\bar{T}}} \cdot \frac{\left(\log(Fuel_{\bar{T}}) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - T * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{TW}^2}{2}\right)\right)^2}{2 * T * \sigma_{TW}^2} * e^{-\frac{\left(\log(Fuel_{\bar{T}}) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - T * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{TW}^2}{2}\right)\right)^2}{2 * T * \sigma_{TW}^2}}, \quad (A X.12)$$

$$T > 0, Fuel_{\bar{T}} > 0, Fuel_{T_0, \bar{T}} > 0, \sigma_{TW} > 0$$

Für die Verteilungsfunktion $F_{Fuel}: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ gilt dann:

⁸¹⁴ Vgl. Hull (2006): S. 282. Es wird außerdem auf die Erläuterungen und Quellenbelege in Kapitel 3.3.2 verwiesen.

⁸¹⁵ Vgl. Hull (2006): S. 282 f.

Randverteilung Fuel Zeitraum: Verteilungsfunktion

$$F_{Fuel}(Fuel_{\bar{T}}) = \Phi \left(\frac{\log(Fuel_{\bar{T}}) - \log(Fuel_{T_0, \bar{T}}) - T * \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{TW}^2}{2} \right)}{\sigma_{TW} * \sqrt{\bar{T}}} \right), \quad (A X.13)$$

$$T > 0, Fuel_{\bar{T}} > 0, Fuel_{T_0, \bar{T}} > 0, \sigma_{TW} > 0$$

Es gilt darüber hinaus ebenfalls der Zusammenhang zwischen der Dichte- und der Verteilungsfunktion gemäß (A VI.3) sowie die Darstellung bezüglich des Erwartungswertes gemäß (A VI.4).

Als zusätzliche Ergänzung veranschaulicht Abbildung 60 im Anhang B II beispielhaft den Unterschied zwischen den Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für einen Zeitpunkt (siehe: (A X.8)) und einen Zeitraum (siehe: (A X.12)).

Da es sich um ein konsistentes Modell handelt, welchem identische Verteilungsannahmen zugrunde liegen, kann außerdem der direkte Zusammenhang zur Optionsbewertung hergestellt werden. Allgemein gilt beispielsweise, dass die Wahrscheinlichkeit der Ausübung eines Long Calls mit Strike K , welche in den Optionspreisformeln durch $\Phi(d_2)$ quantifiziert wird (siehe: (3.9), (3.11) und (3.12)), der Wahrscheinlichkeit entspricht, dass der durchschnittliche Markttreibstoffpreis in Periode $\bar{T}$ den durch K beschriebenen Strike überschreitet. Für einen festgelegten Strike K gilt daher: $\Phi(d_2) = 1 - F_{Fuel}(K)$.

Anhang A X. c) Erläuterungen: Kapitel 6.2.2.1 (Das in-sample Regressionsmodell)

Ergänzend zur kurzen Darstellung im Hauptteil der Arbeit wird an dieser Stelle zunächst erläutert, auf Basis welcher Kriterien Ausreißer im Datensatz zur Erstellung der *in-sample* Analyse identifiziert wurden.

Im Rahmen der Vorstellung der genutzten BOTS-Daten wurde in Kapitel 6.1.2 sowie im Anhang A IX bereits dargestellt, dass einzelne Inputdatenpunkte, die offensichtlich fehlerhaft waren, manuell korrigiert werden konnten. Darüber hinaus besteht jedoch auch weiterhin die Möglichkeit, dass sich fehlerhafte Daten im Datensatz befinden, die nicht identifiziert wurden. Ebenfalls ist es möglich, dass sich Datenpunkte im Datensatz befinden, die zwar korrekt in der Datenbank hinterlegt wurden, deren Ausprägungen jedoch durch exogene Einmaleffekte beeinflusst wurden, welche im Rahmen des Regressionsmodells nicht erklärt werden können und sollen. Beispielhaft kann die Umstellung von Rechnungslegungsvorschriften genannt werden, welche in der Praxis zu einer einmaligen starken Veränderung von einzelnen Finanzkennziffern führen kann. Während solche Einmaleffekte im Regressionsmodell nicht adäquat erfasst werden können, kann die hierdurch erzeugte Beobachtung jedoch einen schlimmstenfalls verzerrenden Einfluss auf das gesamte Regressionsmodell ausüben. Um solche Einflüsse zu exkludieren, ist es daher sinnvoll, den Datensatz streng auf solche Einzelbeobachtungen zu kontrollieren, die – nicht im Rahmen des Modells erklärbar – stark von anderen Beobachtungen abweichen und gleichzeitig einen starken Einfluss auf das Gesamtmodell ausüben. Ein Werkzeug zur Identifikation solcher *einflussreichen Beobachtungen* ist der *Cook-Abstand*. Mittels diesem ist es möglich, Beobachtungen zu identifizieren, welche die zuvor genannten Kriterien erfüllen.

Um das Aufstellen eines validen Simulationsmodells zu ermöglichen, werden, sofern solche Beobachtungen im Datensatz aufzufinden sind, die mittels *Cook-Abstand* identifizierten Beobachtungen entfernt und die Regressionsanalyse wird auf dem gekürzten Datensatz durchgeführt. Als Grenzwert zum Ausschluss von Beobachtungen wird ein von Bollen und

Jackman (1990) vorgestellter Grenzwert genutzt.⁸¹⁶ Wie von Wooldridge (2009) empfohlen, findet sich zudem, um Effekte aus dem Entfernen der Ausreißer auf die Ergebnisse des Regressionsmodells transparent offenzulegen, im Anhang B I in Tabelle 69 zusätzlich eine Darstellung der Regressionsergebnisse vor dieser Kürzung des Datensatzes.⁸¹⁷

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse unter Berücksichtigung des gekürzten Datensatzes sind in Tabelle 45 dargestellt.

Tabelle 45 – Regressionsergebnisse für relative PUOF-Veränderung

	AA	DL	UA	WN
Zeitraum	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
Beobachtungen	62	63	61	60
β_1 (Δ ASK)	-0,15	-0,49*	-0,07	-0,53*
β_2 (Δ Effizienz)	-0,59	-0,05	-0,30	-2,09***
β_3 (Δ SLF)	0,73***	0,39**	0,81***	0,21
β_0 (Effekt Q1)	0,14***	0,24***	0,18***	0,16***
β_4 (Dummy Q2)	-0,20***	-0,33***	-0,25***	-0,15***
β_5 (Dummy Q3)	-0,25***	-0,33***	-0,31***	-0,16***
β_6 (Dummy Q4)	-0,12***	-0,25***	-0,20***	-0,25***
R^2	77,5%	88,1%	79,0%	85,6%
Adj. R^2	75,0%	86,8%	76,6%	83,9%

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Regressionsgleichung aus (6.2) dar. Ergebnisse der Regressionsanalyse für den ungekürzten Datensatz finden sich in Tabelle 69 im Anhang B I. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten und deren Signifikanzniveau entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet.

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits beschrieben, finden sich für alle Koeffizienten in mindestens einer Regressionsanalyse statistisch hochsignifikante Ergebnisse. Daneben deuten die Ergebnisse auch darauf hin, dass die gewählten erklärenden Variablen einen ökonomisch signifikanten Einfluss auf die zu erklärende Variable $\Delta PUOF_{i,q,\bar{q}}$ ausüben.⁸¹⁸ Beispielhaft zur Erklärung der ökonomischen Signifikanz liegen alle Ausprägungen von $\beta_{0,i}$ zwischen 0,14 und 0,24. Dies bedeutet, dass innerhalb des betrachteten Zeitraums $PUOF_{i,\bar{q}}$ zwischen Q4 des Vor- und Q1 des Folgejahres im Durchschnitt um 14% bis 24% stieg. Wie im Hauptteil der Arbeit beschrieben, stellen die Ausprägungen von $\beta_{4,i}$, $\beta_{5,i}$ und $\beta_{6,i}$ jeweils die Differenz zur Ausprägung von $\beta_{0,i}$ dar. Aus: $\beta_{0,AA} + \beta_{4,AA} = 0,14 - 0,20 = -0,06$ kann beispielsweise geschlossen werden, dass $PUOF_{AA,\bar{q}}$ bei *American Airlines* zwischen dem ersten und dem zweiten Quartal eines Jahres im Durchschnitt um 6% sank.

Daneben gibt beispielhaft die Ausprägung -2,09 für $\beta_{2,WN}$ an, dass bei einer Verringerung des Treibstoffverbrauchs pro 100 ASK um 1% ceteris paribus eine Erhöhung von $PUOF_{WN,\bar{q}}$ von durchschnittlich 2,09% beobachtet wird. Diese Interpretation des

⁸¹⁶ Vgl. Bollen/Jackman (1990): S. 266. Ausgeschlossen werden gemäß dieser Vorgabe solche Beobachtungen, für welche der *Cook-Abstand* größer als vier geteilt durch die Anzahl der gesamten Beobachtungen in der Regressionsanalyse ist. Hierdurch werden im Rahmen der Analyse maximal fünf Beobachtungen für einen Datensatz ausgeschlossen. Beschrieben und erläutert wird das Konzept des *Cook-Abstands* initial in: Cook (1977): S. 15 ff.

⁸¹⁷ Vgl. Wooldridge (2009): S. 325.

⁸¹⁸ Eine Erläuterung zur Relevanz der Unterscheidung zwischen ökonomischer und statistischer Signifikanz findet sich in Wooldridge (2009) und Ellis (2010). Als Synonym für ökonomische Signifikanz wird dort auch der Begriff *praktische Signifikanz* genutzt. Siehe: Ellis (2010): S. 3 ff.; Wooldridge (2009): S. 135 ff.

Regressionskoeffizienten kann inhaltlich identisch für $\beta_{1,i}$ und $\beta_{3,i}$ für alle Gesellschaften angewandt werden.

Bezüglich der Bestimmtheitsmaße der Regression (R^2 und *Adjusted R*²) wird unter Verweis auf die zugehörige Diskussion im Hauptteil der Arbeit nachfolgend eine konkrete und anschauliche Interpretation von *Adjusted R*² vorgestellt. Hierfür wird exemplarisch auf das höchste ermittelte Bestimmtheitsmaß von circa 87% bei *Delta Air Lines* zurückgegriffen (siehe: Tabelle 45). Dieser Wert gibt an, dass 87% der Varianz von $\Delta PUOF_{DL,q,\bar{Q}}$ im Datensatz durch das Regressionsmodell erklärt werden kann. Die Varianz von $\Delta PUOF_{DL,q,\bar{Q}}$ liegt im Datensatz bei rund 0,0216 (siehe: Tabelle 5). Da 13% der Varianz nicht durch das Modell erklärt werden, verbleibt eine unerklärte Varianz von 0,0028, Dies entspricht einer unerklärten Standardabweichung von rund 0,0533.

Die praktische Implikation dieser unerklärten Standardabweichung ist einfach darstellbar: Es wird zunächst für ein beliebiges Quartal innerhalb des *in-sample* Zeitraumes über das Regressionsmodell gemäß (6.2) ein Wert für $\Delta PUOF_{DL,q,\bar{Q}}$ geschätzt (Beispiel: Q1 1992).

Das Ergebnis der über das Regressionsmodell ermittelten Schätzung für $\Delta \overline{PUOF}_{DL,Q1,Q1/1992}$ beträgt exemplarisch rund 21%. Die zuvor errechnete unerklärte Standardabweichung von 0,0533 gibt nun Auskunft über die Schwankungsbreite, innerhalb welcher die echte Beobachtung um den geschätzten Wert liegen wird. Sofern lediglich ein schmales Intervall von einer Standardabweichung um den Schätzer betrachtet wird, sollte die echte Veränderung daher etwa zwischen 16% und 26% liegen (echter Wert: $\Delta PUOF_{DL,Q1,Q1/1992} \approx 17\%$).⁸¹⁹

Die Höhe der – trotz eines hohen *Adjusted R*² – verbleibenden und nicht über das Modell erklärbaren Schwankungsbreite kann auf die hohe Varianz bezüglich des Verlaufs von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ zurückgeführt werden. Tabelle 5 im Hauptteil der Arbeit bietet eine Übersicht über den so ermittelten verbleibenden Grad der Unsicherheit für alle vier betrachteten Gesellschaften.

Um Verzerrungen durch *nicht-berücksichtigte erklärende Variablen*⁸²⁰ zu vermeiden und die Erwartungstreue der ermittelten Schätzer zu plausibilisieren, wird die Regressionsanalyse darüber hinaus zusätzlich für abweichend spezifizierte Regressionen und unter Hinzuziehen weiterer erklärender Variablen durchgeführt. Während die relevante Grundform der Regression im Hauptteil der Arbeit in (6.2) dargestellt ist, werden für die folgenden abweichenden Regressionsmodelle ebenfalls Analysen durchgeführt:

Alternative Regressionsmodelle zur Beschreibung der Quartalsänderung von PUOF (Alternativen I bis III)

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a-1,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \beta_{5,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \beta_{6,i} * \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (A\ X.14)$$

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a-1,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \beta_{4,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \beta_{5,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (A\ X.15)$$

⁸¹⁹ Es ist zu beachten, dass über die hier durchgeführte vereinfachte Berechnung keine effizienten Schätzer ermittelt werden. Die Ergebnisse sollen lediglich eine Näherung darstellen, welche im Rahmen der anschaulichen Erläuterung an dieser Stelle als ausreichend genau angesehen wird. In Kapitel 6.2.2.3 findet sich eine ausführliche Darstellung zur Ermittlung effizienter Schätzer und zum Einfluss geschätzter Regressionskoeffizienten auf die Varianz von Prognosen. Vgl. Hackl (2013): S. 69 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 84 ff., 101 ff.

⁸²⁰ Engl. *omitted variable bias*. Vgl. Wooldridge (2009): S. 345 ff.

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a-1,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \beta_{4,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \beta_{6,i} * \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (\text{A X.16})$$

Zur Überprüfung des Einflusses makroökonomischer Entwicklungen wird darüber hinaus testweise die Variable $\Delta Arbeitslos_{\bar{Q}}$ als Stellvertreter-Variable zur Beschreibung der makroökonomischen Gesamtsituation in das Regressionsmodell aufgenommen. Vorgestellt wird diese Variable sowie die Vorgehensweise zum Abgriff der relevanten Daten aus Bloomberg im Anhang A IX. e). Die vierte abweichend spezifizierte Regressionsgleichung lautet:

Alternatives Regressionsmodell zur Beschreibung der Quartalsänderung von PUOF (Alternative IV)

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a-1,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \beta_{4,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \beta_{5,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \beta_{6,i} * \Delta SLF_{i,\bar{Q}} + \beta_{7,i} * \Delta Arbeitslos_{\bar{Q}} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (\text{A X.17})$$

Des Weiteren wird testweise $\Delta RSK_{i,\bar{Q}}$ statt $\Delta SLF_{i,\bar{Q}}$ als Stellvertreter-Variable zur Erfassung der Absatzmenge in das Regressionsmodell aufgenommen. Die hierfür spezifizierte Regressionsgleichung lautet:

Alternatives Regressionsmodell zur Beschreibung der Quartalsänderung von PUOF (Alternative V)

$$\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}} = \beta_{0,i} + \sum_{a=2}^4 (\beta_{a-1,i} * QuartalDummy_{q,a}) + \beta_{4,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}} + \beta_{5,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}} + \beta_{8,i} * \Delta RSK_{i,\bar{Q}} + \varepsilon_{i,\bar{Q}} \quad (\text{A X.18})$$

Alle Analyseergebnisse bezüglich der vorgestellten fünf alternativ spezifizierten Regressionsmodelle finden sich in Tabelle 70 bis Tabelle 73 im Anhang B I.

Übergeordnet zeigen die Ergebnisse, dass nahezu alle erzielten Regressionskoeffizienten sehr stabil über alle Regressionsmodelle hinweg ausgeprägt sind, sodass eine grundsätzliche Fehlspezifikation des Modells ausgeschlossen werden kann. Lediglich einzelne Regressionskoeffizienten in wenigen Analysen deuten darauf hin, dass alternative Regressionsmodelle durch *nicht-berücksichtigte Variablen* verzerrt sein könnten. Das durchschnittlich höchste adjustierte Bestimmtheitsmaß (*Adj. R²*) deutet übergeordnet darauf hin, dass die in (6.2) gewählte Regressionsanalyse am besten zur Beschreibung von $\Delta PUOF_{i,q,\bar{Q}}$ geeignet ist. Aus diesen Gründen wurde dieses Modell als relevantes Regressionsmodell gewählt und alle Ausführungen im Hauptteil der Arbeit beziehen sich ausschließlich auf das in (6.2) dargestellte Modell.

Anhang A X. d) Erläuterungen: Kapitel 6.2.2.2 (Prüfung der Gauss-Markov-Annahmen)

Basis der folgenden Ausführungen ist die allgemeine Darstellung der Gauss-Markov-Annahmen im Hauptteil der Arbeit in (6.4) bis (6.7). Bevor die dort aufgeführten Annahmen geprüft werden, wird allerdings noch die für die *in-sample* Regressionsanalyse relevante Matrix $\mathbf{X}_i$ eingeführt. Sofern die Regression gemäß (6.2) auf einem *in-sample* Datensatz durchgeführt wird, welcher Informationen zu den absoluten Ausprägungen der erklärenden

Variablen zwischen Quartal $\bar{Q}_0 - v - 1$ bis einschließlich Quartal $\bar{Q}_0$ beinhaltet, umfasst Matrix $\mathbf{X}_i$ die folgenden Informationen:

Matrix in-sample Datensatz der erklärenden Variablen

$$\mathbf{X}_i = \begin{bmatrix} 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0-v} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0-v} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0-v} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \\ 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0-v+1} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0-v+1} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0-v+1} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \end{bmatrix} \quad (\text{A X.19})$$

Die Variablen $QuartalDummy_{q,a}$ aus (6.2) werden in der Matrix aus Übersichtlichkeitsgründen jeweils mit $Q_{-d_{q,a}}$ abgekürzt. Wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt, beschreibt beispielsweise $\Delta ASK_{i,\bar{Q}_0-v}$ die relative Veränderung von $ASK_{i,\bar{Q}}$ zwischen Quartal $\bar{Q}_0 - v - 1$ und Quartal $\bar{Q}_0 - v$ (siehe: (6.3)). Die gleiche Logik gilt für $\Delta SLF_{i,\bar{Q}_0-v}$ sowie $\Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0-v}$. Wie ebenfalls bereits im Hauptteil der Arbeit erläutert, beschreibt der Vektor $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}}$ jeweils eine Zeile der Matrix $\mathbf{X}_i$. Konkret entspricht der Vektor $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0}$ beispielsweise der letzten Zeile der in (A X.19) dargestellten Matrix.

Zur Überprüfung der Gauss-Markov-Annahmen wird im ersten Schritt die Einhaltung der Annahme in (6.4). geprüft. Diese besagt, dass der Erwartungswert der Störgröße, unabhängig von den aus allen $\mathbf{X}_i$ gewählten Regressoren, immer null sein muss. Da die tatsächlichen Störgrößen $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ nicht beobachtbar sind, kann diese Annahme nicht direkt quantitativ geprüft werden. Auch ein Rückgriff auf die Residuen $u_{i,\bar{Q}}$, welche möglicherweise als Schätzer des Erwartungswertes der Störgrößen genutzt werden könnten, ist nicht zielführend, da aufgrund der Konstruktion der OLS-Schätzer – im Fall der Regression mit Achsenabschnitt – immer gilt: $\sum u_{i,\bar{Q}} = 0$.⁸²¹ Auch in den beiden ökonometrischen Grundlagenwerken Hackl (2013) sowie Wooldridge (2009) werden keine Standardtests zur Überprüfung der Hypothese vorgestellt, sondern die Korrektheit der Annahme wird im Rahmen von Berechnungen vorausgesetzt.⁸²² Allerdings kann die Einhaltung der Annahme über zwei Umwege zumindest plausibilisiert werden. Im ersten Fall wird der Zusammenhang zwischen den durch das Modell errechneten Punktschätzern (siehe: (6.8)) und den zugehörigen Residuen (siehe: (6.9)) grafisch veranschaulicht. So ist visuell prüfbar, ob der Durchschnitt der Residuen nicht nur im Mittelwert gleich 0 ist, sondern auch über die Bandbreite der möglichen Schätzungen hinweg konstant um diesen Erwartungswert streut. Abbildung 34 stellt diesen Zusammenhang beispielhaft für *American Airlines* dar.

Die Verteilung der Residuen um die Punktschätzer bietet keinen Anlass dazu, von der notwendigen Annahme einer Verteilung mit Erwartungswert 0 abzuweichen.⁸²³ Auch bei den anderen drei Gesellschaften geben die grafischen Analysen, welche im Anhang B II dargestellt sind, keinen Anlass dazu, die Annahme zu verwerfen.

Eine zweite Möglichkeit der Plausibilisierung kann über Umwege geschehen: Sofern die in (6.4) formulierte Annahme erfüllt ist, liegt strenge Exogenität vor. Nur unter dieser Voraussetzung handelt es sich bei den geschätzten Regressionskoeffizienten um erwartungstreue Schätzer der echten Regressionskoeffizienten. Gründe für das Nicht-Vorliegen von Erwartungstreue wiederum sind gemäß Wooldridge (2009) beispielsweise *nicht berücksichtigte Variablen* oder Fehler in der Messung der Regressoren. Die Effekte der Aufnahme weiterer

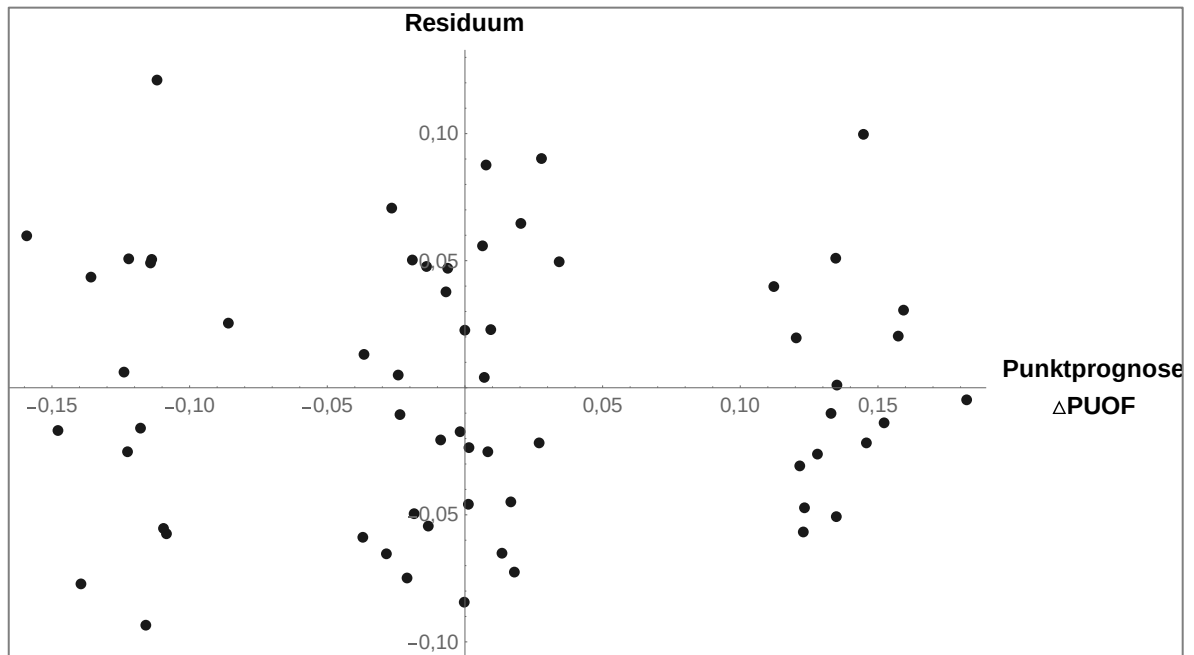
⁸²¹ Vgl. Wooldridge (2009): S. 38.

⁸²² Hackl (2013) stellt die Annahme in Kapitel 4.4 vor. Wooldridge (2009) setzt sich damit unter anderem in Kapitel 3.3 auseinander. Vgl. Hackl (2013): S. 69 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 87 ff.

⁸²³ Die ersichtliche Gruppierung der Punktschätzer entlang der x-Achse, welche durch starke fixe Quartaleffekte verursacht wird, ist für die getroffene Aussage unproblematisch.

Regressoren in das Modell und die Auswirkungen des Ausschlusses einzelner erklärender Variablen auf die verbleibenden Schätzer wurden zuvor bereits in Kapitel 6.2.2.1 sowie im Anhang A X. c) untersucht und intensiv diskutiert. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 70 bis Tabelle 73 dargestellten Referenzregressionsanalysen wurde geschlussfolgert, dass es sich bei der in (6.2) dargestellten Analyse um die bestmögliche Spezifikation der Regressionsgleichung handelt, durch welche das Erzeugen von erwartungstreuen Schätzern zu erwarten ist. Da für das Vorliegen von Erwartungstreue der genutzten Schätzer aber (6.4) erfüllt sein muss, wird an dieser Stelle, angelehnt an Wooldridge (2009) geschlossen, dass (6.4) als erfüllt angesehen werden kann.⁸²⁴

Abbildung 34 – Punktprognosen und Residuen: American Airlines (1990 bis 2006)



Die Abbildung stellt Schätzer für $\Delta \widehat{PUOF}_{AA,q,\bar{Q}}$ gemäß der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar und stellt diesen für jede Periode $\bar{Q}$ das zugehörige Residuum gegenüber. Dargestellt sind die Beobachtungen für *American Airlines* im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Die identischen Darstellungen für die anderen drei Fluggesellschaften finden sich im Anhang B II in Abbildung 61 bis Abbildung 63.

Die Annahmen in (6.5) und (6.6) stellen das Vorliegen von Homoskedastizität und das Nicht-Auftreten von Autokorrelation sicher. Homoskedastizität besagt, dass die Varianz der Störgröße des Regressionsmodells konstant und unabhängig von den Ausprägungen der erklärenden Variablen sein muss. Die Abwesenheit von Autokorrelation beschreibt, dass Störgrößen der Regression über die Zeit nicht miteinander korreliert sind. Da der Verstoß gegen diese Annahmen dazu führen würde, dass die ermittelten Standardfehler sowie die zugehörigen Teststatistiken nicht mehr gültig wären, muss die Einhaltung beider Annahmen quantitativ geprüft werden.⁸²⁵ Auch beim Testen dieser Annahmen gestaltet es sich jedoch als schwierig, dass die für die Testung relevanten Störgrößen ($\varepsilon_{i,\bar{Q}}$) nicht beobachtet werden können. Allerdings folgt aus der bereits getroffenen Annahme der Erwartungstreue der genutzten Schätzer, dass die über die Regressionsgleichung ermittelten Residuen ($u_{i,\bar{Q}}$) als Stellvertreter-Variablen zur Prüfung auf Autokorrelation genutzt werden können.⁸²⁶

Durch Rückgriff auf die Residuen kann für alle vier betrachteten Fluggesellschaften gezeigt werden, dass in den Modellen entweder keine Autokorrelation vorliegt oder dass deren

⁸²⁴ Vgl. Wooldridge (2009): S. 84 ff., 347 ff.

⁸²⁵ Vgl. Wooldridge (2009): S. 409 ff.

⁸²⁶ Vgl. Wooldridge (2009): S. 412 ff.

Nicht-Vorliegen nicht mit statistischer Signifikanz abgelehnt werden kann (siehe: (6.6)). Diese Einschätzung basiert auf der Durchführung des *Durbin-Watson-Tests* zur Identifizierung von Autokorrelation erster Ordnung. Mittels dieses Tests kann die Nullhypothese der Abwesenheit von Autokorrelation überprüft werden (H_0 : keine Autokorrelation). Die Ergebnisse der Tests zur Ablehnung der Nullhypothese zum Signifikanzniveau von 5% sind in Tabelle 46 dargestellt.⁸²⁷

Tabelle 46 – Test der Störgrößen des Regressionsmodells auf Autokorrelation und Heteroskedastizität

	AA	DL	UA	WN
Zeitraum	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
	Durbin-Watson-Test (Test auf Autokorrelation)			
<i>Durbin-Watson-Teststatistik</i>	2,27	1,97	2,18	2,45
<i>Existenz von Autokorrelation?</i>	Unklar	Keine Korrelation	Keine Korrelation	Unklar
	Breusch-Pagan-Test (Test auf Heteroskedastizität)			
<i>Breusch-Pagan-Teststatistik</i>	3,44	4,62	1,48	1,12
<i>p-Wert</i>	0,75	0,59	0,96	0,98
<i>Schlussfolgerung</i>	Homoskedastizität	Homoskedastizität	Homoskedastizität	Homoskedastizität

Die Tabelle stellt Auswertungen zu Maßzahlen bezüglich der Autokorrelation und der Heteroskedastizität der Störgrößen des in (6.2) spezifizierten Regressionsmodells dar. Die Auswertungen beziehen sich auf die Regression, deren Ergebnisse in Tabelle 45 dargestellt sind. Die Grenzwerte des *Durbin-Watson-Tests* werden, wie empfohlen, durch Interpolation der von Hackl (2013) tabellarisch dargestellten Schranken ermittelt. Kein über diese Vorgehensweise errechneter Wert liegt in einem Bereich, in welchem die Nullhypothese mit statistischer Signifikanz abgelehnt werden kann.⁸²⁸

Während für *Delta Air Lines* und *United Airlines* Autokorrelation ausgeschlossen werden kann, liegen die *Durbin-Watson-Teststatistiken* für die anderen beiden Gesellschaften innerhalb eines Ergebnisintervalls, in welchem keine eindeutige Aussage bezüglich der Ablehnung oder Nicht-Ablehnung von H_0 möglich ist. Allerdings liegen die Teststatistiken für *American Airlines* und *Southwest Airlines* so nahe am Zielwert der Teststatistik von ≈ 2 und so nahe an dem Intervall, in welchem Autokorrelation abgelehnt werden kann, dass die Annahme der Nicht-Ablehnung der Nullhypothese und damit des Nicht-Vorliegens von Autokorrelation plausibel erscheint.⁸²⁹ Es wird daher für alle vier Gesellschaften geschlossen, dass (6.6) als erfüllt angesehen werden kann.⁸³⁰

Nachdem das Vorliegen von Autokorrelation ausgeschlossen wurde, ist es möglich, die Annahme der Homoskedastizität zu überprüfen (siehe: (6.5)).⁸³¹ Hierzu wird ebenfalls ein vordefinierter statistischer Standardtest genutzt. Es wird auf den *Breusch-Pagan-Test* (H_0 :

⁸²⁷ Äquivalent zur Vorgehensweise in Hackl (2013) wird das Signifikanzniveau von 5% berücksichtigt. In Hackl (2013) finden sich lediglich Tabellen mit kritischen Werten des *Durbin-Watson-Tests* zur Auswertung unter Berücksichtigung dieses Signifikanzniveaus. Vgl. Hackl (2013): S. 490.

⁸²⁸ Vgl. Hackl (2013): S. 212 ff., 490; vgl. Wooldridge (2009): S. 273 ff., 412 ff.

⁸²⁹ Autokorrelation kann in hier relevanten Fällen für Teststatistiken $\leq 2,23$ (sowie $\geq 1,77$) mit hoher statistischer Signifikanz abgelehnt werden. Die Werte für *American Airlines* (2,27) und *Southwest Airlines* (2,45) liegen sehr nahe am oberen Grenzwert, der, wie von Hackl (2013) empfohlen, durch Interpolation ermittelt wird. Vgl. Hackl (2013): S. 490.

⁸³⁰ Vgl. Hackl (2013): S. 212 ff., 490; vgl. Wooldridge (2009): S. 412 ff.

⁸³¹ Vgl. Wooldridge (2009): S. 412 ff.

Homoskedastizität) zurückgegriffen. Auch bei diesem Test ist es gemäß Wooldridge (2009) vertretbar, die Residuen der geschätzten Regression als Schätzung der nicht beobachtbaren Störgrößen zu nutzen.⁸³² Die Ergebnisse des *Breusch-Pagan-Tests* finden sich ebenfalls in Tabelle 46. Gemäß der dargestellten Testergebnisse kann für keine der untersuchten Fluggesellschaften die Nullhypothese mit hoher statistischer Signifikanz abgelehnt werden. Heteroskedastizität wird daher ausgeschlossen und (6.5) ebenfalls als erfüllt angesehen. Die Störgrößen des Modells streuen demnach für alle betrachteten Fluggesellschaften mit der über die Zeit konstanten gesellschaftsindividuellen Varianz $\sigma_{\varepsilon,i}^2$.

Nachdem die Annahmen gemäß (6.4) bis (6.6) geprüft wurden, ist es für statistische Inferenz jedoch zusätzlich notwendig, eine konkrete Annahme bezüglich der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung zu treffen. Hierzu schreibt Annahme (6.7) vor, dass für die Störgrößen die Normalverteilungsannahme Gültigkeit besitzen soll. Da die Annahmen in (6.4) bis (6.6) bereits als erfüllt angenommen werden, entspricht die Überprüfung der Einhaltung von (6.7) demnach der Prüfung der Annahme: $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$.

Hackl (2013) verweist in diesem Kontext darauf, dass die Normalverteilungsannahme beim Aufstellen eines Regressionsmodells in der Literatur häufig ohne quantitative Prüfung als erfüllt angenommen wird. Weiter führt er aus, dass der Annahme lediglich in wenigen Fällen eine wichtige Bedeutung zugemessen werden müsse. Als Beispiel für einen solchen Fall nennt er das Aufstellen von Prognosen unter Rückgriff auf ein Regressionsmodell.⁸³³ Da die Regression in der vorliegenden Arbeit dazu genutzt wird, *out-of-sample* Prognosen zu erstellen, sollte die Einhaltung der Annahme in (6.7) daher ebenfalls geprüft werden. Weder Hackl (2013) noch Wooldridge (2009) schlagen allerdings quantitative Standardtests zur Überprüfung der Annahme vor.⁸³⁴ Mangels Vorgaben aus der Literatur wird das folgende Testverfahren angewandt:

Es wird angenommen, dass als Schätzer der echten Störgrößen die Residuen der geschätzten Regression genutzt werden können.⁸³⁵ Die Verteilung der Residuen wird zunächst grafisch geprüft. Anschließend wird die Annahme der Normalverteilung über einen quantitativen Test überprüft. Als quantitativer Test wird hierbei der *Anderson-Darling-Test* genutzt, welcher zur Überprüfung der Normalverteilungsannahme beispielsweise von Cottin und Döhler (2013) empfohlen wird.⁸³⁶

Zur grafischen Prüfung der Verteilung werden zwei Auswertungen genutzt: (1) Eine Gegenüberstellung der unterstellten idealtypischen Normalverteilung gegen ein Histogramm der *in-sample* Beobachtungen sowie gegen eine auf Basis der echten Beobachtungen durch *Wolfram Mathematica* errechnete empirische Verteilung.⁸³⁷ (2) Die Darstellung eines Wahrscheinlichkeitsnetzes, in welchem alle Residuen der Regressionsanalyse für eine Gesellschaft abgetragen sind. In Abbildung 20 im Hauptteil der Arbeit finden sich bereits exemplarisch die beiden visuellen Auswertungen für *United Airlines*.

Die gleichen grafischen Analysen für die anderen drei betrachteten Fluggesellschaften finden sich im Anhang B II in Abbildung 64 bis Abbildung 66. Die Histogramme legen für alle

⁸³² Vgl. Wooldridge (2009): S. 271 ff., 432 f.

⁸³³ Vgl. Hackl (2013): S. 70.

⁸³⁴ Hackl (2013) stellt die Annahme in Kapitel 4.3 vor. Wooldridge (2009) setzt sich damit unter anderem in den Kapiteln 4.1 und 10.3 auseinander. Vgl. Hackl (2013): S. 66 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 117 ff., 351 ff.

⁸³⁵ Dies wurde bei der Prüfung der Annahmen in (6.5) und (6.6) ebenfalls unterstellt: Siehe: Anhang A X. d).

⁸³⁶ Der *Anderson-Darling-Test* ist methodisch eng verwandt mit dem *Kolmogorov-Smirnov-Test*, legt jedoch einen stärkeren Fokus auf Abweichungen an den äußeren Rändern der Verteilungen, weshalb er geeigneter für die Untersuchung der Normalverteilung ist. Vgl. Cottin/Döhler (2013): S. 327 ff.

⁸³⁷ Als Verteilungsparameter für die idealtypische Normalverteilung wird unterstellt: $u_i \sim N(0, \hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2)$. Die Formel zur Ermittlung des Schätzers der Varianz der Störgröße ($\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2$) ist in Formel (A X.26) dargestellt.

Fluggesellschaften eine grundsätzliche Plausibilität der Normalverteilungsannahme dar. Die Wahrscheinlichkeitsnetze untermauern diese Annahme in Teilen, offenbaren jedoch primär bei *American Airlines* moderate Abweichungen an den Rändern der Verteilung. Unter Berücksichtigung der dargestellten Histogramme sowie der geringen Anzahl an Beobachtungen im Datensatz soll dies jedoch noch nicht zur Ablehnung der Normalverteilungsannahme führen. Stattdessen wird die Nutzbarkeit der Normalverteilungsannahme über den *Anderson-Darling-Test* zusätzlich statistisch überprüft.

Tabelle 47 – Normalverteilung der Residuen (Anderson-Darling-Test)

	AA	DL	UA	WN
Zeitraum	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
Anderson-Darling Teststatistik	0,47	0,24	0,23	0,24
p-Wert	0,77	0,97	0,98	0,97
Ablehnen H_0 ?	Nein	Nein	Nein	Nein

Die Tabelle stellt die *Anderson-Darling-Teststatistik* zur Testung auf Normalverteilung sowie zugehörige p-Werte dar. Getestet wird die Nullhypothese (H_0) der Verteilungsgleichheit zwischen der Verteilung der beobachteten Daten und der erwarteten Normalverteilung mit $N(0, \hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2)$. Zur Ermittlung der Verteilungsparameter siehe: Fußnote 837. Für p-Werte größer 10% kann H_0 nicht mit statistischer Signifikanz abgelehnt werden. In diesem Fall kann weiterhin von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden. Beobachtungen sind die Residuen gemäß der über (6.2) geschätzten Regressionsgleichung. Beobachtungszeitraum: Q2 1990 bis Q4 2006.

Die Nullhypothese (H_0) des Anderson-Darling-Tests ist, dass die Verteilung der vorliegenden Daten einer Normalverteilung mit $N(0, \hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2)$ folgt.⁸³⁸ Die Ergebnisse zeigen, dass die Nullhypothese für keinen der untersuchten Datensätze mit statistischer Signifikanz abgelehnt wird. Es kann demnach weiterhin von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.⁸³⁹ In Verbindung mit den Resultaten der grafischen Analyse wird die Annahme der Normalverteilung daher für die Störgrößen aller untersuchten Fluggesellschaften als vertretbar und plausibel angesehen und im weiteren Verlauf der Analyse vorausgesetzt.⁸⁴⁰

Anhang A X. e) Erläuterungen: Kapitel 6.2.2.3 (Erwartungswert und Varianz)

Angelehnt an die Einführung im Hauptteil der Arbeit wird in diesem Kapitel hergeleitet, wie die in Kapitel 6.2.2.1 sowie Kapitel 6.2.2.2 dargestellten *in-sample* Ergebnisse für eine *out-of-sample* Prognose der Entwicklung der zu erklärenden Variablen genutzt werden können. Hierfür werden in diesem Kapitel zwei Schritte betrachtet:

1. Erstellen der Punktprognose (Erwartungswert für $\Delta PUF_{i,\bar{Q}_0+N}$)
2. Bestimmen der Prognoseunsicherheit (Streuung um Punktprognose)

Die beiden Sachverhalte werden im Folgenden einzeln und nacheinander untersucht.

1. Erstellen der Punktprognose

An dieser Stelle wird gezeigt, wie auf Basis von *in-sample* Beobachtungen Schätzungen für eine *out-of-sample* Prognoseperiode möglich sind. Zunächst wird hierfür eine 1-Schritt-Prognose erstellt. Sofern Periode $\bar{Q}_0$ die letzte Periode des *in-sample* Datensatzes darstellt, wird daher die Prognose für die Prognoseperiode $\bar{Q}_0 + 1$ erstellt. Die Erweiterung auf Mehr-Schritt-Prognosen wird im Anschluss hieraus abgeleitet. Zum Aufstellen der Prognose wird vorausgesetzt, dass – wie in Kapitel 6.2.2.1 erläutert – die Ausprägungen aller erklärenden

⁸³⁸ Zur Ermittlung der in der Analyse genutzten Verteilungsparameter siehe: Fußnote 837.

⁸³⁹ Vgl. Cottin/Döhler (2013): S. 327 ff.

⁸⁴⁰ Da die Annahme der Normalverteilung der Störgrößen aus Analysen abgeleitet wurde, in welchen die Residuen der geschätzten Regression als Stellvertreter-Variable für die nicht beobachtbaren Störgrößen genutzt wurden, wird nachfolgend für die Verteilung der Residuen ebenfalls das Vorliegen der Normalverteilung unterstellt.

Variablen des Regressionsmodells in der Prognoseperiode (hier: $\bar{Q}_0 + 1$) bereits im Prognosezeitpunkt T_0 (entspricht: Entscheidungszeitpunkt) in Periode $\bar{Q}_0$ bekannt sind.⁸⁴¹ Daneben wird vereinfachend angenommen, dass im Prognosezeitpunkt T_0 , der innerhalb der Periode $\bar{Q}_0$ liegt, bereits alle Informationen über die Ausprägung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ ⁸⁴² und somit auch über $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ bekannt sind.⁸⁴³

Wie im Hauptteil der Arbeit ebenfalls bereits dargestellt, wird zudem zum Aufstellen der Mehrschritt-Prognose vereinfachend angenommen, dass die Ausprägungen der erklärenden Variablen jeweils für mindestens 35 Monate in die Zukunft als deterministisch anzusehen sind. Konkret wird im Rahmen der folgenden Herleitung unterstellt, dass im Entscheidungszeitpunkt, der sich in Periode $\bar{Q}_0$ befindet, bereits Gewissheit über alle $X_{i,\bar{Q}_0+N}$ bis zur Periode $\bar{Q}_0 + 12$ besteht.⁸⁴⁴

Die Matrix aller relevanten *out-of-sample* Ausprägungen der erklärenden Variablen zwischen Periode $\bar{Q}_0 + 1$ und $\bar{Q}_0 + N$ mit $N \in [1, 12]$ wird als $X_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ dargestellt. Für diese Matrix gilt:

Matrix out-of-sample Datensatz der erklärenden Variablen

$$X_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+1} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+1} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+1} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \\ 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+2} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+2} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+2} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+N} & \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+N} & \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+N} & Q_{-d_{q,2}} & Q_{-d_{q,3}} & Q_{-d_{q,4}} \end{bmatrix} \quad (A \text{ X.20})$$

Die Variablen $QuartalDummy_{q,a}$ werden an dieser Stelle aus Übersichtlichkeitsgründen jeweils mit $Q_{-d_{q,a}}$ abgekürzt. Der Vektor $X_{i,\bar{Q}_0+n}$ umfasst die Ausprägungen der erklärenden Variablen in Zeile n der Matrix $X_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$. Äquivalent zur Darstellung in der *in-sample* Matrix beschreibt beispielsweise $\Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+1}$ die relative 1-Schritt-Veränderung von $ASK_{i,\bar{Q}}$ zwischen Quartal $\bar{Q}_0$ und Quartal $\bar{Q}_0 + 1$ (siehe: (6.3)). Allgemein gilt, dass die Darstellung $\Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+n}$ sich stets auf die 1-Perioden-Veränderung zwischen Periode $\bar{Q}_0 + n - 1$ und Folgeperiode $\bar{Q}_0 + n$ bezieht.

Sofern die Gesamtveränderung einer Kennziffer über mehrere Perioden hinweg dargestellt werden soll, sind im Index abweichend die Start- sowie die Endperiode angegeben. Die Variable $\Delta ASK_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ beschreibt demnach beispielsweise die relative Veränderung von $ASK_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und Periode $\bar{Q}_0 + N$. Sofern $N = n = 1$ gilt: $ASK_{i,\bar{Q}_0+n} = ASK_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$. Sofern $N > 1$ ist die Mehrschritt-Veränderung nicht als einzelner Wert in

⁸⁴¹ Eine Einführung zur Erstellung von Prognosen mittels Regressionsmodellen findet sich in Wooldridge (2009) Kapitel 6.4. Zusätzlich liefert Wooldridge (2009) in Kapitel 18.5 eine separate Darstellung des Themenkomplexes für Prognosen aus Zeitreihendaten. Hilfreiche, aber kürzere Ausführungen finden sich in Hackl (2013) Kapitel 8. Vgl. Hackl (2013): S. 138 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 206 ff., 645 ff.

⁸⁴² Aus Übersichtlichkeitsgründen wird im Rahmen der Diskussion zu Prognosen auf die Berücksichtigung von q im Index ($\Delta PUOF$ und $PUOF$) verzichtet. Siehe auch: Fußnote 479 im Hauptteil der Arbeit.

⁸⁴³ Theoretisch müsste hierfür die strenge Annahme lauten, dass der Prognosezeitpunkt T_0 stets auf das Ende der Periode $\bar{Q}_0$ fällt, sodass alle Informationen zu den Realisierungen von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ sowie $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ bereits offenbart sind. Es wird jedoch vereinfachend unterstellt, dass diese Informationen bereits zu Beginn der Periode $\bar{Q}_0$ bekannt sind, sodass T_0 einen beliebigen Zeitpunkt innerhalb von $\bar{Q}_0$ beschreibt.

⁸⁴⁴ Bei strenger Betrachtung von 35 prospektiven Monaten müsste die Annahme der Determiniertheit abhängig davon, in welchem Monat T_0 liegt, je Prognose individuell bis zu einem einzelnen Monat innerhalb des Quartals $\bar{Q}_0 + 11$ oder des Quartals $\bar{Q}_0 + 12$ getroffen werden. Die hier dargestellte Vereinfachung wird im Rahmen der Herleitung berücksichtigt, um auf eine einheitliche und kurze Darstellungsform zurückgreifen zu können.

Matrix $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ dargestellt. Die eingeführte Logik für Indexdarstellungen besitzt fortan sinnig auch für alle anderen Variablen im Modell Gültigkeit.⁸⁴⁵

Entsprechend der eingeführten Nomenklatur beschreibt $u_{i,\bar{Q}_0+1}$ somit das Residuum der Veränderung von Periode $\bar{Q}_0$ nach Periode $\bar{Q}_0 + 1$. Da sichergestellt ist, dass es sich bei den über das Regressionsmodell ermittelten OLS-Schätzern um erwartungstreue Schätzer der echten Koeffizienten handelt (siehe: Kapitel 6.2.2.2), gilt unter Rückgriff auf diese Darstellung für die 1-Schritt-Prognose:⁸⁴⁶

1-Schritt-Prognose: Erwartungswert des Residuums

$$E_{T_0}(u_{i,\bar{Q}_0+1}) = 0 \quad (\text{A X.21})$$

Diese Voraussetzung berücksichtigend und unter Rückgriff auf die bekannten Ausprägungen der erklärenden Variablen in Periode $\bar{Q} + 1$ (hier: $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}+1}$) kann (ausgehend von (6.2)) die erwartete Ausprägung von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ für eine Gesellschaft i prognostiziert werden über:

1-Schritt-Punktpgnose: $\Delta PUOF$ (out-of-sample für Quartale)

$$\begin{aligned} E_{T_0}(\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}+1}) &= \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1} \\ &= \hat{\beta}_{0,i} + \hat{\beta}_{1,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+1} + \hat{\beta}_{2,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+1} + \hat{\beta}_{3,i} \\ &\quad * \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+1} + \sum_{a=2}^4 (\hat{\beta}_{a+2,i} * QuartalDummy_{q,a}) \\ &= \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1} \end{aligned} \quad (\text{A X.22})$$

Beim so geschätzten Wert $\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}$ handelt es sich aus Sicht des Zeitpunktes T_0 um den Erwartungswert von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ bedingt auf die bekannten Ausprägungen der erklärenden Variablen in $\bar{Q}_0 + 1$.⁸⁴⁷

Da zuvor gezeigt werden konnte, dass für die Störgrößen des Regressionsmodells weder Autokorrelation noch Heteroskedastizität vorzufinden sind (siehe: Kapitel 6.2.2.2), gilt zudem, dass Aussagen über den Erwartungswert des Residuums bereits bis zur Periode $\bar{Q}_0 + 12$ erstellt werden können.⁸⁴⁸ Es gilt für alle $n \in [1, 12]$: $E_{T_0}(u_{i,\bar{Q}_0+n}) = 0$ (siehe: (A X.21)). Hieraus folgt:

Mehrschritt-Prognose: Erwartungswert des Residuums

$$E_{T_0}(u_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}) = \sum_{n=1}^N E_{T_0}(u_{i,\bar{Q}_0+n}) = 0, \quad 1 \leq n \leq 12 \quad (\text{A X.23})$$

Unter Rückgriff auf (A X.22) wird hieraus die nachfolgende Darstellung der Mehrschritt-Punktpgnose abgeleitet:

⁸⁴⁵ Demnach erfasst beispielsweise (1) $u_{i,\bar{Q}_0+n}$ das Residuum der Veränderung zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und Periode $\bar{Q}_0 + 1$ und (2) $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ entspricht der relativen Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und Periode $\bar{Q}_0 + N$.

⁸⁴⁶ Vgl. Wooldridge (2009): S. 88, 206 ff.

⁸⁴⁷ Vgl. Wooldridge (2009): S. 206, 645 ff.

⁸⁴⁸ Dies ist möglich, da auch beim Bestimmen der Punktpgnose für die Veränderung zwischen $\bar{Q}_0 + 11$ und $\bar{Q}_0 + 12$ nur erklärende Variablen einfließen, deren Ausprägungen in Periode $\bar{Q}_0$ bereits bekannt sind.

Mehrschritt-Punktprognose: $\Delta PUOF$ (out-of-sample für Quartale - Langform)

$$\begin{aligned}
E_{T_0}(\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}) &= \sum_{n=1}^N E_{T_0}(\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+n} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+n}) \\
&= \sum_{n=1}^N \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n} \\
&= \sum_{n=1}^N \left(\hat{\beta}_{0,i} + \hat{\beta}_{1,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+n} + \hat{\beta}_{2,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+n} \right. \\
&\quad \left. + \hat{\beta}_{3,i} * \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+n} + \sum_{a=2}^4 (\hat{\beta}_{a+2,i} * QuartalDummy_{q,a}) \right) \\
&= \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} = \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}, \quad 1 \leq N \leq 12
\end{aligned} \tag{A X.24}$$

Die inhaltlich identische Gleichung findet sich in einer kürzeren Form ebenfalls in (6.10) im Hauptteil der Arbeit. Somit kann, ausgehend vom *in-sample* Regressionsmodell, eine *out-of-sample* Mehrschritt-Punktprognose erstellt werden.

2. Bestimmen der Prognoseunsicherheit

Das aufgestellte Modell zur Erzeugung der Punktprognose erlaubt eine quantitativ fundierte Einschätzung zukünftiger erwarteter $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+n}$. Allerdings konnten Auswertungen in Kapitel 6.2.2.1 zeigen, dass selbst *in-sample* Schätzungen über das Regressionsmodell nur mit verbleibender Unsicherheit erstellt werden können. Diese Unsicherheit ist beim Aufstellen der *out-of-sample* Prognose ebenfalls zu berücksichtigen. Die folgenden Darstellungen befassen sich zunächst mit der Herleitung der Varianz der Punktprognose im 1-Schritt-Prognosemodell ($var(u_{i,\bar{Q}_0+1})$). Anschließend kann aus dieser die Varianz für das Mehrschritt-Prognosemodell abgeleitet werden.

Unter Berücksichtigung der bereits diskutierten Annahme der Unabhängigkeit der Störgrößen (hier: $cov(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}, \varepsilon_{i,\bar{Q}_0+1}) = 0$) sowie beziehungsweise auf (6.9) kann die Varianz der 1-Schritt-Prognose allgemein dargestellt werden durch:

1-Schritt-Prognose: Gesamtvarianz des Prognosefehlers

$$\begin{aligned}
var(u_{i,\bar{Q}_0+1}) &= var(\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} - \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}) \\
&= var(\varepsilon_{i,\bar{Q}_0+1}) + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}) - 2 \\
&\quad * cov(\varepsilon_{i,\bar{Q}_0+1}, \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}) = \sigma_{\varepsilon,i}^2 + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1})
\end{aligned} \tag{A X.25}$$

Demnach sind beim Erstellen von Prognosen über das Regressionsmodell zwei Unsicherheitsfaktoren relevant, die quantitative Berücksichtigung finden müssen:

1. **Varianz der Störgröße ($\sigma_{\varepsilon,i}^2$):** Unsicherheit aus Abweichungen zwischen echter Regressionsgleichung und echten Beobachtungen aufgrund von Zufallseffekten, die nicht im Modell erfasst werden können. Solche Zufallseffekte werden über die nicht beobachtbare Störgröße ε_i abgebildet. Die Varianz der Störgröße ist theoretisch unabhängig von der Größe der Stichprobe.
2. **Varianz des Punktschätzers ($var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1})$):** Unsicherheit entsteht daraus, dass aus dem verfügbaren Datensatz lediglich Schätzer der Regressionskoeffizienten ($\hat{\beta}_{j,i}$ statt $\beta_{j,i}$) bestimmt werden können. Da von erwartungstreuen Schätzern ausgegangen wird, nimmt diese Unsicherheit mit Zunahme der Stichprobengröße ab.

Für die Varianz der Störgröße ($\sigma_{\varepsilon,i}^2$) gilt, dass durch die Annahme der Erfüllung der in (6.4) bis (6.7) dargestellten Gauss-Markov-Annahmen bereits gezeigt wurde, dass es sich bei der *in-sample* Entwicklung von $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ um einen stochastischen Prozess handelt, für welchen starke

Stationarität angenommen werden kann.⁸⁴⁹ Da im Rahmen der Modellierung angenommen wird, dass zwischen dem *in-sample* Beobachtungszeitraum und dem *out-of-sample* Prognosezeitraum kein Strukturbruch bezüglich der durch das Modell beschriebenen Zusammenhänge existiert, gilt die Annahme der starken Stationarität für $\varepsilon_{i,\bar{Q}}$ auch für den Prognosezeitraum.⁸⁵⁰ Demnach ist $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ für alle *out-of-sample* Prognosen konstant und unabhängig von $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1}$. Im Anwendungsfall kann $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ durch das Zurückgreifen auf die beobachtbaren Residuen ($u_{i,\bar{Q}}$) geschätzt werden. Zur Ermittlung eines erwartungstreuen Schätzers der Varianz ($\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2$) werden zudem die Freiheitsgrade der Regression berücksichtigt.⁸⁵¹ Der Stichprobenschätzer der Varianz wird dann berechnet über:

Stichprobenschätzer der Varianz der Störgröße

$$\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2 = \frac{\sum_{\bar{Q}=Q_3}^{Q_4-2006} u_{i,\bar{Q}}^2}{\text{AnzahlBeobacht}_i - 7} \quad (\text{A X.26})$$

Die Variable AnzahlBeobacht_i erfasst in dieser Darstellung die Anzahlung der im jeweiligen *in-sample* Zeitraum berücksichtigten Perioden.

Für die Bestimmung des Varianzanteils, welcher aus der Schätzung der Beta-Koeffizienten resultiert, ist zu beachten, dass $\text{var}(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1})$ nicht als Summe der Varianzen aller $\hat{\beta}_{j,i}$ dargestellt werden kann, sondern paarweise Kovarianzen berücksichtigt werden müssen. Dies wird durch das Zurückgreifen auf die Kovarianzmatrix der OLS-Schätzer sichergestellt.⁸⁵² Um eine übersichtliche Form zu wahren, wird die Varianz des Punktschätzers in Matrixnotation dargestellt. Die Varianz kann berechnet werden über:⁸⁵³

1-Schritt-Prognose: Varianz des Punktschätzers

$$\text{var}(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}) = \sigma_{\varepsilon,i}^2 * \left(\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} (\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i)^{-1} \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1}^T \right) \quad (\text{A X.27})$$

Für die konkrete Berechnung im Rahmen dieser Arbeit ist $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ durch $\hat{\sigma}_{\varepsilon,i}^2$ (siehe: (A X.26)) zu schätzen. Da $\text{var}(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1})$ von der Ausprägung der Regressoren in $\bar{Q}_0 + 1$ abhängt, handelt es sich bei der Entwicklung von $\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}$ zudem nicht um einen stochastischen Prozess, für welchen starke Stationarität angenommen werden kann.⁸⁵⁴

Unter Rückgriff auf (A X.27) kann (A X.25) umgeschrieben werden zu:

1-Schritt-Prognose: Varianz des Prognosefehlers (Matrixnotation)

$$\text{var}(u_{i,\bar{Q}_0+1}) = \sigma_{\varepsilon,i}^2 * \left(1 + \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} (\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i)^{-1} \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1}^T \right) = \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2 \quad (\text{A X.28})$$

Nachdem die Varianz des Prognosefehlers der 1-Schritt-Prognose hergeleitet wurde, kann als Zwischenschritt zur Bestimmung der Varianz des Mehrschritt-Modells zunächst die Varianz des Prognosefehlers der 2-Schritt-Prognose hergeleitet werden. Hierfür wird angenommen: $\text{cov}(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n}, \Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n+1}) = 0$ für alle $n \in [1, 11]$. In Verbindung mit dem belegten Nicht-Vorliegen von Autokorrelation und Heteroskedastizität der Störgrößen wird

⁸⁴⁹ Starke Stationarität besagt, dass die Verteilung $\varepsilon_{i,\bar{Q}} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$ für alle $\bar{Q}_0$ identisch ist. Vgl. Hackl (2013): S. 231 f.

⁸⁵⁰ Zu Strukturbrüchen in Regressionsmodellen siehe beispielsweise: Hackl (2013): S. 156 ff.

⁸⁵¹ Vgl. Wooldridge (2009): S. 101.

⁸⁵² Vgl. Hackl (2013): S. 100 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 140 ff., 206 ff., 803.

⁸⁵³ Vgl. Hackl (2013): S. 138 f. Der Split der Gesamtprognosevarianz in zwei Komponenten ist nicht in Hackl (2013) dargestellt. Für eine allgemeine und sehr ausführliche Darstellung zur Regressionsanalyse in Matrixschreibweise siehe auch: Wooldridge (2009): S. 799 ff.

⁸⁵⁴ Vgl. Hackl (2013): S. 138 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 206 ff.

zudem angenommen: $cov(u_{i,\bar{Q}_0+n}, u_{i,\bar{Q}_0+n+1}) = 0$ für alle $n \in [1, 11]$. Ausgehend von den Ausführungen zur Varianz der 1-Schritt-Prognose kann unter diesen Annahmen und unter Berücksichtigung von (A X.25) die Varianz der 2-Schritt Prognose quantifiziert werden:

2-Schritt-Prognose: Gesamtvarianz des Prognosefehlers

$$\begin{aligned}
 var(u_{i,\bar{Q}_0+n} + u_{i,\bar{Q}_0+n+1}) &= var(u_{i,\bar{Q}_0+n}) + var(u_{i,\bar{Q}_0+n+1}) + 2 * cov(u_{i,\bar{Q}_0+n}, u_{i,\bar{Q}_0+n+1}) \\
 &= var(u_{i,\bar{Q}_0+n}) + var(u_{i,\bar{Q}_0+n+1}) \\
 &= (\sigma_{\varepsilon,i}^2 + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n})) + (\sigma_{\varepsilon,i}^2 + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n+1})) \quad (A X.29) \\
 &= 2 * \sigma_{\varepsilon,i}^2 + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n}) + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n+1}), \\
 &1 \leq n \leq 11
 \end{aligned}$$

Für die Erweiterung auf das Mehrschritt-Modell wird die zusätzliche Annahme getroffen: $cov(u_{i,\bar{Q}_0+n}, u_{i,\bar{Q}_0+s}) = 0$ für alle $n, s \in [1, 12]$ mit $n \neq s$. Mit Verweis auf die Vereinfachungen in der 2-Schritt-Darstellung (siehe: (A X.29)) folgt hieraus:

Mehrschritt-Prognose: Gesamtvarianz des Prognosefehlers (Zwischenschritte)

$$\begin{aligned}
 var(u_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}) &= \sum_{n=1}^N (\sigma_{\varepsilon,i}^2 + var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n})) \\
 &= N * \sigma_{\varepsilon,i}^2 + \sum_{n=1}^N var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n}) \quad (A X.30) \\
 &= \sum_{n=1}^N (\sigma_{\varepsilon,i}^2 * (1 + \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+n} (\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i)^{-1} \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+n}^T)) \\
 &= \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2, \quad 1 \leq n \leq 12
 \end{aligned}$$

Diese Darstellung entspricht der ausführlichen Darstellung von (6.11), die im Hauptteil der Arbeit abgebildet ist. Die beiden Komponenten $var(\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+n})$ und $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ können für jedes n jeweils entsprechend der Darstellung zum 1-Schritt-Modell berechnet werden. Die alternative Darstellung in Matrixschreibweise ergibt sich aus der Darstellung der Varianz der 1-Schritt-Prognose gemäß (A X.28). Matrix $\mathbf{X}_i$ umfasst, wie zuvor in (A X.19) definiert, weiterhin alle Ausprägungen der erklärenden Variablen innerhalb des *in-sample* Zeitraumes. Vektor $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+n}$ umfasst jeweils die Ausprägungen der erklärenden Variablen für eine Periode $\bar{Q}_0 + n$ innerhalb des *out-of-sample* Zeitraumes.

Anhang A X. f) Erläuterungen: Kapitel 6.2.2.4 (Die Verteilungsfunktion der out-of-sample Prognose)

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits ausgeführt, werden in diesem Subkapitel drei Verteilungsfunktionen hergeleitet. Im Einzelnen sind dies:

1. Verteilungsfunktion für relative PUOF-Änderung $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$
2. Verteilungsfunktion für absolute PUOF-Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}}$ (Quartale)
3. Verteilungsfunktion für absolute PUOF-Ausprägung $PUOF_{i,\bar{T}}$ (Monate)

Wie zuvor in Kapitel 6.2.2.3 sowie im zugehörigen Anhang A X. e) wird auch an dieser Stelle zunächst jeweils eine Verteilung für die 1-Schritt-Prognose hergeleitet. Anschließend wird aus dieser jeweils die Verteilung der Mehrschritt-Prognose abgeleitet.

1. Ermitteln der Verteilungsfunktion für relative Änderung $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$

Bezüglich der Verteilung des 1-Schritt-Prognosefehlers gilt unter den klassischen Modellannahmen der linearen OLS-Regression, dass sowohl die Störgrößen als auch die Punktschätzer einer Normalverteilung unterliegen.⁸⁵⁵ Für die Störgröße wurde die Normalverteilungsannahme bereits ausgiebig diskutiert. Es gilt: $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2)$. Für die Punktschätzer, deren Unsicherheit aus der Streuung der Koeffizientenschätzer $\hat{\beta}_{j,i}$ resultiert, wurde die Annahme bislang nicht näher diskutiert. Da sich sowohl Hackl (2013) als auch Wooldridge (2009) jedoch sehr detailliert mit dieser Annahme auseinandersetzen, wird an dieser Stelle unter Verweis auf die genannten Quellen auf eine ausführliche Darstellung verzichtet und die Annahme wird als gegeben angesehen.⁸⁵⁶

Unter Rückgriff auf die in (A X.21) (Erwartungswert) und (A X.28) (Varianz) dargestellten Formeln, kann unter diesen Voraussetzungen für das 1-Schritt-Modell geschlossen werden:

Verteilung des 1-Schritt-Prognosefehlers für $\Delta PUOF$

$$u_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} \sim N\left(0, \sigma_{\varepsilon,i}^2 * \left(1 + \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} (\mathbf{X}_i^T \mathbf{X}_i)^{-1} \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1}^T\right)\right) \quad (\text{A X.31})$$

Unter Bezugnahme auf die Darstellungen im Anhang A X. d) sowie im Anhang A X. e) und unter Berücksichtigung des dort dargestellten Erwartungswertes (siehe: (A X.22)) sowie der Varianz (siehe: (A X.25) beziehungsweise (A X.28)) für 1-Schritt-Prognosen, kann die Verteilung von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ für die 1-Schritt-Prognose somit ausführlich beschrieben werden durch:

1-Schritt-Prognose $\Delta PUOF$: Verteilung (Langform)

$$\begin{aligned} \Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} \\ \sim N\left(\hat{\beta}_{0,i} + \hat{\beta}_{1,i} * \Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+1} + \hat{\beta}_{2,i} * \Delta Effizienz_{i,\bar{Q}_0+1} + \hat{\beta}_{3,i} \right. \\ * \Delta SLF_{i,\bar{Q}_0+1} \\ \left. + \sum_{a=2}^4 (\hat{\beta}_{a+2,i} * QuartalDummy_{q,a}), var(u_{i,\bar{Q}_0+1})\right) \end{aligned} \quad (\text{A X.32})$$

Die inhaltlich identische, aber kürzere Darstellung dieser Verteilung lautet:

1-Schritt-Prognose $\Delta PUOF$: Verteilung

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} \sim N(\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2) \quad (\text{A X.33})$$

Für den Übertrag auf das Mehrschritt-Modell ist zu beachten, dass es sich gemäß den vorherigen Annahmen bei den Residuen einzelner Prognoseschritte um normalverteilte Zufallsvariablen handelt, welche stochastisch unabhängig voneinander sind. Hieraus folgt, dass die

⁸⁵⁵ Vgl. Wooldridge (2009): S. 120, 157 f., 209. Da zur konkreten Berechnung einer Prognose jedoch nur auf die Daten der Stichprobe zurückgegriffen werden kann, wodurch als Varianz auf die über (A X.26) ermittelte (selbst zufällige) Stichprobenvarianz zurückgegriffen werden muss, gilt, dass im Prognosefall eigentlich von einer Student-T-Verteilung auszugehen ist. Vgl. Wooldridge (2009): S. 209, 764 ff. Allerdings strebt die Student-T-Verteilung bei einer hohen Anzahl an Freiheitsgraden selbst gegen die Normalverteilung. Da im Anwendungsfall stets über 50 Freiheitsgrade vorliegen, wird vereinfachend unterstellt, dass im Folgenden die Approximation der Student-T-Verteilung durch die Normalverteilung vertretbar ist. Die Vertretbarkeit einer solchen Approximation für große Stichproben wird beispielsweise ebenfalls in Wooldridge (2009) diskutiert. Vgl. Wooldridge (2009): S. 742. Diese Vereinfachung ist zur Implementierung des Prognosemodells unumgänglich. Es ist bekannt, dass hierdurch gegebenenfalls den Rändern der Verteilung zu wenig Gewicht beigemessen wird. Diese Ungenauigkeit wird mit Blick auf das Gesamtprognosemodell sowie im Kontext der übergeordneten Fragestellung der vorliegenden Arbeit als vertretbar angesehen.

⁸⁵⁶ Vgl. Hackl (2013): S. 138 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 117 ff., 206 ff., 805 ff.

Summe der normalverteilten Residuen ebenfalls der Normalverteilung unterliegt. Unter der Annahme der Gültigkeit der Normalverteilungsannahme für die Störgrößen und Punktschätzer und unter Verweis auf (A X.23) (Erwartungswert) sowie (6.11) beziehungsweise (A X.30) (Varianz) gilt für die Verteilung der Summe der Residuen im Mehrschritt-Modell daher:

Verteilung des Mehrschritt-Prognosefehlers für $\Delta PUOF$

$$u_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} \sim N(0, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2), \quad 1 \leq N \leq 12 \quad (\text{A X.34})$$

Hiervon ausgehend kann, äquivalent zur 1-Schritt-Prognose und unter Verweis auf die Argumentation im Rahmen der *in-sample* Darstellung, die Verteilung für die Mehrschritt-Prognose hergeleitet werden, die in (6.12) im Hauptteil der Arbeit dargestellt ist.

Wie im Hauptteil der Arbeit bereits diskutiert, ist die Darstellung der Verteilung gemäß (6.12) nur dann korrekt, wenn die in Kapitel 6.2.2.2 sowie im zugehörigen Anhang A X. d) geprüften *in-sample* Annahmen Gültigkeit besitzen und angenommen wird, dass zwischen der *in-sample* und der *out-of-sample* Periode kein Strukturbruch bezüglich der durch das Regressionsmodell beschriebenen Zusammenhänge vorliegt. Es gilt außerdem weiterhin, dass keine Unsicherheit bezüglich der Ausprägungen der erklärenden Variablen in allen Perioden $\bar{Q}_0 + n$ für $n \in [1, 12]$ existiert.

2. Ermitteln der Verteilungsfunktion für absolute Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}}$ (Quartale)

Ausgehend von (6.12) kann im nächsten Modellentwicklungsschritt eine Verteilung für $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ hergeleitet werden. Zur Herleitung erfolgt abermals zunächst die Darstellung im Rahmen der 1-Schritt-Prognose. Hierfür ist es hilfreich, wie in (6.13) im Hauptteil der Arbeit bereits in einer Kurzform allgemein dargestellt, zunächst auf eine abweichende mathematische Darstellung von $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ zurückzugreifen. Ausgehend von der Darstellung in (6.3) kann $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ auch beschrieben werden durch:

1-Schritt-Prognose: Umformung $\Delta PUOF$

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} = \log\left(\frac{PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}}{PUOF_{i,\bar{Q}_0}}\right) = \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}) - \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) \quad (\text{A X.35})$$

Die in $\bar{Q}_0$ unbekannte Veränderung $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ entspricht somit der Differenz zwischen dem natürlichen Logarithmus der unbekannten Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ und dem natürlichen Logarithmus der bekannten Realisierung $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$. Unter Rückgriff auf (A X.35) kann die Verteilung aus (A X.33) somit auch dargestellt werden als:⁸⁵⁷

1-Schritt-Prognose $\Delta PUOF$: Umformung

$$\begin{aligned} \Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} &\sim N(\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2) \\ (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}) - \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0})) | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} &\sim N(\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2) \quad (\text{A X.36}) \\ \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}) | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} &\sim N(\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2) \end{aligned}$$

Wie zuvor bereits beim Aufstellen der Verteilungsfunktion zur Beschreibung der Treibstoffpreiszufallsvariable (siehe: Kapitel 6.2.1.1 und Anhang A X. b)) dargestellt, gilt zudem, dass

⁸⁵⁷ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 8; vgl. Henze (2010): S. 279 f.

eine Zufallsvariable, deren natürlicher Logarithmus der Normalverteilung unterliegt, selbst der logarithmischen Normalverteilung unterliegt.⁸⁵⁸

Unter Rückgriff auf die allgemeinen Darstellungen zum Erwartungswert (siehe: (A X.3)) sowie zur Varianz (siehe: (A X.4)) von logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen (siehe: Anhang A X. a)), kann die Verteilung gemäß (A X.36) daher auch umgeschrieben werden zu:

1-Schritt-Prognose PUOF Quartal: Verteilung

$$PUOF_{i,\bar{Q}_0+1} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1} \sim \text{LN} \left(PUOF_{i,\bar{Q}_0} * e^{\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1} + \frac{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2}{2}}, \right. \\ \left. e^{(2 * (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}) + \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2)} \right. \\ \left. * (e^{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2} - 1) \right) \quad (\text{A X.37})$$

Es wird somit unterstellt, dass die auf $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1}$ bedingte zukünftige Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0+1}$ durch eine Zufallsvariable beschrieben werden kann, die einer logarithmischen Normalverteilung mit den dargestellten Verteilungsparametern unterliegt.⁸⁵⁹

Für das Mehrschritt-Prognosemodell wird zunächst ebenfalls (6.3) umgeformt:

Mehrschritt-Prognose: Umformung $\Delta PUOF$ (Langform)

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} = \sum_{n=1}^N \Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0+n} = \sum_{n=1}^N \log \left(\frac{PUOF_{i,\bar{Q}_0+n}}{PUOF_{i,\bar{Q}_0+n-1}} \right) \\ = \sum_{n=1}^N (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+n}) - \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+n-1})) \quad (\text{A X.38}) \\ = \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) - \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}), \quad 1 \leq N \leq 12$$

Die im Hauptteil der Arbeit dargestellte Formel (6.13) entspricht der Kurzdarstellung dieser Formel. Die in $\bar{Q}_0$ unbekannte Gesamtveränderung $\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$ entspricht demnach der Differenz zwischen dem natürlichen Logarithmus der unbekannten Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ und dem natürlichen Logarithmus der bekannten Realisierung $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$. Unter Berücksichtigung der zuvor im Hauptteil der Arbeit sowie in den relevanten Anhängen getroffenen Annahmen und unter Rückgriff auf (6.12) sowie (A X.38) kann die folgende Verteilung hergeleitet werden:

Mehrschritt-Prognose $\Delta PUOF$: Umformung

$$\Delta PUOF_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N} \sim N(\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2), \\ \log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) | \mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N} \sim N(\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}, \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2), \quad (\text{A X.39}) \\ 1 \leq N \leq 12$$

Wie zuvor bereits im 1-Schritt-Modell werden auch an dieser Stelle die Verteilungsparameter der zugrundeliegenden Normalverteilung zur Bestimmung der Verteilungsparameter der

⁸⁵⁸ Vgl. Hull (2006): S. 275, 282.

⁸⁵⁹ Es wird an dieser Stelle angenommen, dass die zugehörige nichtnegative integrierbare Dichte- sowie die Verteilungsfunktion, welche die im Anhang A VI. b) dargestellten Annahmen erfüllen, existieren. Auf eine Darstellung dieser Funktionen wird aus Übersichtlichkeitsgründen und unter Verweis auf das nachfolgend dargestellte Mehrschritt-Modell und die dort definierte Dichte- und Verteilungsfunktion verzichtet.

logarithmischen Normalverteilung genutzt (siehe auch: Anhang A X. a)). Aus (A X.39) ergibt sich dann die Darstellung der auf $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ bedingten Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$, die im Hauptteil der Arbeit in (6.14) zu finden ist. Die Herleitung von (6.14) aus (A X.39) ist inhaltlich äquivalent zur zuvor dargestellten Herleitung von (A X.37) aus (A X.36) im 1-Schritt-Modell.

Darüber hinaus wird unterstellt, dass zur Beschreibung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ die nichtnegative integrierbare Dichtefunktion $g_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$ sowie die Verteilungsfunktion $G_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}$, welche die im Anhang A VI. b) dargestellten Annahmen erfüllen, existieren. Es gilt:⁸⁶⁰

Randverteilung PUOF Quartal: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$g_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) = \frac{e^{-\frac{(\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) - (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}))^2}{2 \cdot \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N} \cdot PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}}, \quad (A X.40)$$

$$PUOF_{i,\bar{Q}_0+N} > 0, \quad 1 \leq N \leq 12$$

Für die Verteilungsfunktion $G_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ gilt dann:

Randverteilung PUOF Quartal: Verteilungsfunktion

$$G_{PUOF,i,\bar{Q}_0+N}(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) = \Phi\left(\frac{\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}) - (\log(PUOF_{i,\bar{Q}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N})}{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}}\right), \quad (A X.41)$$

$$PUOF_{i,\bar{Q}_0+N} > 0, \quad 1 \leq N \leq 12$$

wobei $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ die unbekannte Ausprägung der Zufallsvariable in Periode $\bar{Q}_0 + N$ und $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ die bekannte Ausprägung in Periode $\bar{Q}_0$ darstellt. Es gilt der Zusammenhang zwischen Dichte- und der Verteilungsfunktion gemäß (A VI.3) sowie die Darstellung bezüglich des Erwartungswertes gemäß (A VI.4) (siehe: Anhang A VI. b)). Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass $\log$ den natürlichen Logarithmus zur Basis e beschreibt sowie, dass Φ die Funktionswerte der Standardnormalverteilung erfasst.

Somit wurde gezeigt, dass es sich bei $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ bedingt auf $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ um eine stetige Zufallsvariable auf einem Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ handelt, deren Realisierung im Erfüllungszeitraum $\bar{Q}_0 + N$ im Sicherungszeitpunkt T_0 unbekannt ist.

3. Ermitteln der Verteilungsfunktion für absolute Ausprägung $PUOF_{i,\bar{T}}$ (Monate)

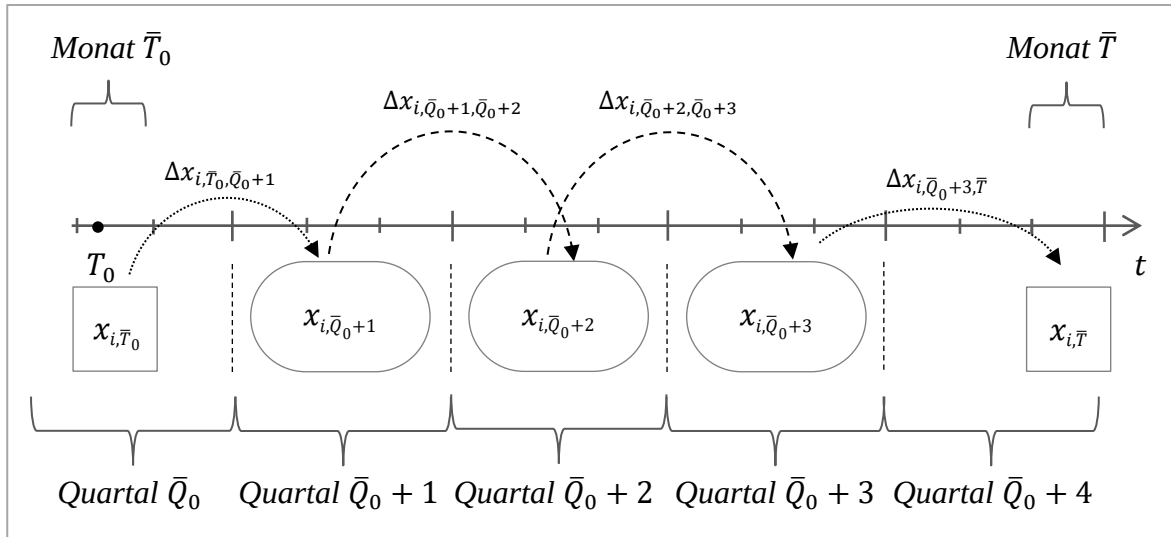
Den Ausführungen zur Herleitung der Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ lagen jeweils durchschnittliche Ausprägungen der erklärenden und zu erklärenden Variablen je Quartal $\bar{Q}$ zugrunde. Hintergrund für die Wahl dieser Periodeneinteilung war die Granularität der vorliegenden Rohdaten (siehe: Kapitel 6.1.2). Da im Simulationsmodell jedoch der Abschluss von Treibstoffpreissicherungen für einzelne Terminmonate simuliert wird, ist abschließend zu erörtern, wie aus den vorgestellten Quartalsverteilungen auf monatliche Verteilungen geschlossen werden kann.

Zur Herleitung der monatlichen Verteilung wird eine pragmatische Lösung angewandt, die eine intuitive Nutzung im Rahmen der Simulation erlaubt und dabei eine für das Modell

⁸⁶⁰ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 8. Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion beschreiben jeweils die Verteilung in Periode $\bar{Q}_0 + N$ mit $N \in [1, 12]$ aus Sicht eines Zeitpunktes T_0 in der zeitlich früheren Periode $\bar{Q}_0$.

ausreichende Genauigkeit der genutzten Verteilung sicherstellt.⁸⁶¹ Wie im Hauptteil der Arbeit bereits ausgeführt, wird festgelegt, dass die über Quartale durchgeführte *in-sample* Analyse nicht verändert wird, sodass Ergebnisse dieser Analyse auch zum Erstellen der *out-of-sample* Monatsprognose übernommen werden können. Die *in-sample* Matrix $\mathbf{X}_i$ bleibt folglich unverändert und es wird vereinfachend unterstellt, dass die *in-sample* Analyse jeweils bereits inklusive Berücksichtigung der PUOF-Realisierungen der Periode $\bar{Q}_0$, in welcher sich Prognosezeitpunkt T_0 befindet, erstellt werden kann.

Abbildung 35 – Verteilung PUOF: Hintergrund Quartale und Monate



Die Abbildung stellt dar, wie im Rahmen von Monatsprognosen Quartals- und Monatsdaten miteinander kombiniert werden. Dargestellt ist eine Prognose im Entscheidungszeitpunkt T_0 , welcher sich in Monat $\bar{T}_0$ befindet, für den Prognosemonat $\bar{T}$. x stellt in der Abbildung eine beliebige Variable dar (Beispiel: ASK_t). x_{i,T_0} sowie $x_{i,\bar{T}}$ beschreiben allgemein die Ausprägungen von Variablen für einen Monat. $x_{i,\bar{Q}_0+1}$, $x_{i,\bar{Q}_0+2}$ und $x_{i,\bar{Q}_0+3}$ beschreiben allgemein die Ausprägungen der Variablen für Quartale.

Die notwendige Anpassung der *out-of-sample* Prognose mit dem Ziel der Bestimmung von Monatswerten wird unter diesen Voraussetzungen über vier Schritte vollzogen:

1. **Berücksichtigung Monate und Quartale:** Der einzelne Monat innerhalb des Quartals $\bar{Q}_0$, in welchem sich Entscheidungszeitpunkt T_0 befindet, wird als $\bar{T}_0$ definiert. Es wird ebenfalls angenommen, dass $PUOF_{i,\bar{T}_0}$ im Entscheidungszeitpunkt bereits bekannt ist. Der Monat, für den eine Prognose erfolgt, wird mit $\bar{T}$ bezeichnet. Monat $\bar{T}$ entspricht dem Erfüllungszeitraum. Dieser befindet sich im Quartal $\bar{Q}_0 + N$ mit $N \in [1, 12]$. Gesucht wird demnach die Verteilung für die im Zeitpunkt $\bar{T}_0$ unbekannte Ausprägung $PUOF_{i,\bar{T}}$ des Monats $\bar{T}$. Die Veranschaulichung der Zeitachse unter Darstellung aller eingeführten Zeitpunkte, Zeitintervalle und Bezeichnungen ist in Abbildung 35 zu finden.
2. **Erwartungswerte:** Es wird simplifizierend unterstellt, dass zur einfachen Bestimmung des Erwartungswertes der Gesamtveränderung $\Delta PUOF_{i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ zwischen $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ über (6.10) lediglich die inhaltliche Ausgestaltung der Matrix der erklärenden Variablen modifiziert werden muss: Es wird eine neue Matrix $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{T}}$ genutzt, welche im Kern der Darstellung von $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{Q}_0+N}$ gemäß (A X.20) entspricht. Allerdings beschreiben die Daten der ersten (letzten) Zeile der Matrix nicht mehr die Veränderung zwischen Quartal $\bar{Q}_0$ und Quartal $\bar{Q}_0 + 1$ (Quartal $\bar{Q}_0 + N - 1$ und Quartal $\bar{Q}_0 + N$), sondern die Veränderung zwischen Monat $\bar{T}_0$ und Quartal $\bar{Q}_0 + 1$ (Quartal $\bar{Q}_0 + N - 1$ und Monat $\bar{T}$). Da

⁸⁶¹ In Kapitel 6.1.2.1 wurde bereits dargestellt, wie BOTS-Daten, welche lediglich auf Quartalsebene zur Verfügung stehen, im Rahmen des Modells approximativ auf Monate verteilt werden.

$SLF_{i,\bar{T}}$ (beziehungsweise $SLF_{i,\bar{Q}}$) und $Effizienz_{i,\bar{T}}$ (beziehungsweise $Effizienz_{i,\bar{Q}}$) bereits skalierte Variablen darstellen, ist die Vermischung von Monats- und Quartalsdaten zur Ermittlung der relativen Veränderung einfach möglich. Für $ASK_{i,\bar{T}}$ und $ASK_{i,\bar{Q}}$ ist es hingegen notwendig, zur Bestimmung der relativen Veränderung zunächst eine manuelle Skalierung der Monatsdaten vorzunehmen.⁸⁶² Als Dummy-Variablen (Variable: $QuartalDummy_{q,a}$) werden jeweils diejenigen Dummies genutzt, die das Quartal beschreiben, in welchem die Monate $\bar{T}_0$ (Quartal: $\bar{Q}_0$) sowie $\bar{T}$ (Quartal: $\bar{Q}_0 + N$) liegen. Für die Veränderungen zwischen den Quartalen $\bar{Q}_0 + 2$ und $\bar{Q}_0 + N - 2$ erfasst die Matrix weiterhin, wie in (A X.20) dargestellt, ausschließlich Veränderungen zwischen Quartalen. Die Matrix $\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{T}}$ enthält demnach sowohl Informationen zu den Ausprägungen der Regressoren für Quartalsveränderungen als auch für die Veränderung zwischen Monaten und Quartalen. Der unter Rückgriff auf die adjustierte Matrix ($\mathbf{X}_{i,\bar{Q}_0+1,\dots,\bar{T}}$) ermittelte und nicht in einer separaten Formel dargestellte Erwartungswert der relativen Gesamtveränderung $\Delta PUOF_{i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ wird angelehnt an die Darstellung für Quartale in (6.10) als $\widehat{\Delta PUOF}_{i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ beziehungsweise $\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ beschrieben.

3. *Varianzen:* Zur Berechnung der Varianz der Veränderung wird ein ähnliches Adjustierungsverfahren angewandt, wobei stärkere Annahmen getroffen werden müssen. Es wird unterstellt, dass die Annahme $cov(u_{i,\bar{Q}_0+n}, u_{i,\bar{Q}_0+s}) = 0$ für alle $n, s \in [1, 12]$ mit $n \neq s$ auch dann Gültigkeit besitzt, wenn die zuvor vorgestellte Mischung aus Quartalen und den Monaten $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ betrachtet wird. Es wird des Weiteren angenommen, dass auch zur Berechnung der ersten und letzten 1-Schritt-Prognosefehler $var(u_{i,\bar{T}_0,\bar{Q}_0+1})$ und $var(u_{i,\bar{Q}_0+N-1,\bar{T}})$ weiterhin auf $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ zurückgegriffen werden kann, wobei eine einfache Adjustierung von $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ entsprechend der Länge des Zeitintervalls zwischen Monat $\bar{T}_0$ ($\bar{T}$) und Quartal $\bar{Q}_0 + 1$ ($\bar{Q}_0 + N - 1$) vorgenommen wird. Sofern $\bar{T}_0$ den ersten Monat des Quartals $\bar{Q}_0$ darstellt, wird $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ unverändert genutzt. Sofern $\bar{T}_0$ den zweiten (dritten) Monat des Quartals darstellt, wird $\sigma_{\varepsilon,i}^2$ um den Faktor $1/3$ ($2/3$) reduziert. Dies gilt inhaltsgleich für die Veränderung zwischen $\bar{Q}_0 + N - 1$ und Monat $\bar{T}$. Unter Berücksichtigung dieses Adjustierungsmechanismus⁴ wird zur Berechnung der Gesamtvarianz des Prognosefehlers weiterhin (6.11) genutzt. Der als Summe der 1-Schritt-Monats- und Quartalsprognosefehler errechnete und nicht in einer separaten Formel dargestellte Mehrschritt-Prognosefehler wird angelehnt an die Darstellung für Quartale in (6.11) als $\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2$ oder $var(u_{i,\bar{T}_0,\bar{T}})$ beschrieben.
4. *Verteilungsannahme:* Bezüglich der Verteilung wird ungeprüft unterstellt, dass auch unter Einbeziehung der Monate $\bar{T}_0$ und $\bar{T}$ von einer Normalverteilung der Residuen auszugehen ist. Daher kann die Verteilung von $\Delta PUOF_{i,\bar{T}_0,\bar{T}}$ gemäß der Darstellung für Monate in (6.12) bestimmt werden. Zur Beschreibung der Monatsverteilung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ wird statt der bekannten Ausprägung $PUOF_{i,\bar{Q}_0}$ die gemäß Annahmen in T_0 ebenfalls bekannte Ausprägung $PUOF_{i,\bar{T}_0}$ als deterministischer Ausgangswert genutzt. Es wird angenommen, dass alle Darstellungen zur Herleitung der Quartalsverteilung für die Monatsvariante ebenfalls als korrekt anzusehen sind.

⁸⁶² Um Verzerrungen zu vermeiden, werden die monatlichen Ausprägungen ($ASK_{i,\bar{T}_0}$ und $ASK_{i,\bar{T}}$) jeweils durch die echte Anzahl der Kalendertage des relevanten Monats ($\bar{T}_0$ bzw. $\bar{T}$) dividiert und mit der Anzahl der Kalendertage des relevanten Quartals ($\bar{Q}_0$ bzw. $\bar{Q}_0 + N$) multipliziert. Auf diesem Weg werden nutzbare Daten zur nachfolgenden Bestimmung von Werten für $\Delta ASK_{i,\bar{T}_0,\bar{Q}_0+1}$ sowie $\Delta ASK_{i,\bar{Q}_0+N-1,\bar{T}}$ erzeugt.

Diese vier Punkte berücksichtigend kann, angelehnt an (6.14), die Verteilung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ für die Monatsprognose aufgestellt werden, die in (6.15) im Hauptteil der Arbeit abgebildet ist.

Es wird ebenfalls angenommen, dass die nichtnegative integrierbare Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $g_{PUOF,i,\bar{T}}(PUOF_{i,\bar{T}})$ und die Verteilungsfunktion $G_{PUOF,i,\bar{T}}(PUOF_{i,\bar{T}})$ existieren. Diese können inhaltsgleich entsprechend der Darstellung in (A X.40) und (A X.41) aufgestellt werden, weshalb auf eine separate Darstellung verzichtet wird.

Im Rahmen des einfachen Übertrags der für Quartale ermittelten Ergebnisse auf einen Prognosemonat muss kritisch angemerkt werden, dass getroffene Annahmen zum Teil starke Vereinfachungen der Realität darstellen. Insbesondere die Annahme der Übertragbarkeit der *in-sample* für Quartalsveränderungen gemessenen Varianz der Störgröße ($\sigma_{\varepsilon,i}^2$) auf Monatsveränderungen mittels einfacher Skalierung entspricht gegebenenfalls nicht der Realität. Allerdings wird angenommen, dass resultierende Ungenauigkeiten bezüglich der Gesamtvarianz so gering sind, dass die Vorteile der einfachen Nutzbarkeit der Ergebnisse in einem Modell mögliche Nachteile im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit deutlich überwiegen. Mögliche Ungenauigkeiten beim Aufstellen der Verteilung werden im Kontext des Gesamtmodells demnach als vertretbar angesehen und im Rahmen von Simulationen akzeptiert.

Anhang A X. g) Erläuterungen: Kapitel 6.2.3.1 (Die bivariate Verteilung)

Wie in Kapitel 6.2.3.1 erläutert, ist es vor dem Aufstellen der bivariaten logarithmischen Normalverteilung hilfreich, zunächst die korrespondierende bivariate Normalverteilungsfunktion aufzustellen. Hierfür wurde im Hauptteil der Arbeit der zweidimensionale Vektor von Zufallsvariablen $\mathbf{Y}$ eingeführt, welcher die gemeinsamen Ausprägungen des Zufallsvariablenpaars $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$ auf dem $\mathbb{R}^2$ beschreibt. Die relevanten Randverteilungen von $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$ finden sich in (A X.10) und (A X.39). In diesem Kapitel werden der Erwartungsvektor $\boldsymbol{\mu}_{Y,\bar{T}}$ (siehe: (A X.42)), die Kovarianzmatrix $\boldsymbol{\Sigma}_{Y,\bar{T}}$ (siehe: (A X.44)), die Korrelationsmatrix $\mathbf{R}_{Y,\bar{T}}$ (siehe: (A X.45)) sowie Verteilung $\mathbf{Y} \sim \mathbf{N}_2(\boldsymbol{\mu}_{Y,\bar{T}}, \boldsymbol{\Sigma}_{Y,\bar{T}})$ (siehe: (A X.46)) des Vektors $\mathbf{Y}$ für den Anwendungsfall vorgestellt. Der Erwartungsvektor kann als Vektor der Erwartungswerte der eindimensionalen Randverteilungen dargestellt werden. Für Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ gilt folglich:

Erwartungsvektor der bivariaten Normalverteilung

$$\boldsymbol{\mu}_{Y,\bar{T}} = \begin{pmatrix} \mu_{y1,\bar{T}} \\ \mu_{y2,\bar{T}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \log(Fuel_{T_0,\bar{T}}) + \left(\mu_{Fuel} - \frac{\sigma_{TW}^2}{2} \right) T \\ \log(PUOF_{i,\bar{T}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}} \end{pmatrix} \quad (\text{A X.42})$$

Im Gegensatz zum Erwartungsvektor kann die Kovarianzmatrix nur in Teilen aus den Darstellungen der univariaten Verteilungsfunktionen entnommen werden. Die univariaten Varianzen des Anwendungsfalles sind bekannt und können den aufgestellten Normalverteilungen (siehe: (A X.10) und (A X.39)) entnommen werden. Für die Kovarianz gilt:

Kovarianz und Pearson-Korrelation

$$\begin{aligned} cov(\log(Fuel_{\bar{T}}), \log(PUOF_{i,\bar{T}})) \\ = \sigma_{TW} \sqrt{\bar{T}} * \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}} * \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} \end{aligned} \quad (\text{A X.43})$$

Der Vorteil der Messung des Zusammenhangs mittels Korrelationskoeffizient $\rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}$ ist, dass dieser auf den Wertebereich $[-1, 1]$ standardisiert ist, sodass die Beschreibung der Stärke des Zusammenhangs über verschiedene Zeitpunkte und Gesellschaften hinweg vergleichbar ist.

Unter diesen Voraussetzungen wird die Kovarianzmatrix im Anwendungsfall für $\mathbf{Y}$ dargestellt über:

Kovarianzmatrix der bivariaten Normalverteilung – Anwendungsfall

$$\begin{aligned} \Sigma_{Y, \bar{T}} &= \begin{pmatrix} \sigma_{y1}^2 & \sigma_{y1} * \sigma_{y2} * \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}} \\ \sigma_{y1} * \sigma_{y2} * \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}} & \sigma_{y2}^2 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \sigma_{TW}^2 * T & cov(\log(Fuel_{\bar{T}}), \log(PUOF_{i, \bar{T}})) \\ cov(\log(Fuel_{\bar{T}}), \log(PUOF_{i, \bar{T}})) & \sigma_{\Delta PUOF, i, \bar{T}_0, \bar{T}}^2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (A X.44)$$

Ausgehend von $\Sigma_{Y, \bar{T}}$ kann die zugehörige Korrelationsmatrix ($R_{Y, \bar{T}}$) aufgestellt werden:

Korrelationsmatrix der bivariaten Normalverteilung

$$R_{Y, \bar{T}} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i, \bar{T}}))} \\ \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i, \bar{T}}))} & 1 \end{pmatrix} \quad (A X.45)$$

Für die Dichtefunktion von $\mathbf{Y}$ folgt allgemein:⁸⁶³

Bivariate Normalverteilung: Allgemeine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$\begin{aligned} h_Y(y_1, y_2, \mu_{y1}, \mu_{y2}, \sigma_{y1}, \sigma_{y2}, \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}) \\ = \frac{1}{e^{2 * \sqrt{1 - \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}^2}} * \left(\left(\frac{y_1 - \mu_{y1}}{\sigma_{y1}} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - \mu_{y2}}{\sigma_{y2}} \right)^2 - \left(\frac{2 * \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}} * (y_1 - \mu_{y1})(y_2 - \mu_{y2})}{\sigma_{y1} \sigma_{y2}} \right) \right)} \\ = \frac{1}{2\pi * \sigma_{y1} * \sigma_{y2} * \sqrt{1 - \rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}^2}} \end{aligned} \quad (A X.46)$$

Aus Übersichtlichkeitsgründen werden in der Formel lediglich die allgemeinen Darstellungen der Werte der Zufallsvariablen ($\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i, \bar{T}})$, hier: y_1 und y_2), der Erwartungswerte (μ_{y1} und μ_{y2} , siehe: (A X.42)), der Standardabweichungen (σ_{y1} und σ_{y2} , siehe: (A X.44)) und der Korrelation ($\rho_{\sigma_{y1}, \sigma_{y2}}$, siehe: (A X.43)) eingesetzt. Das Hinterlegen der konkreten Variablen des Anwendungsfalles ist auf Basis der vorherigen Darstellungen trivial. Es wird angenommen, dass es sich bei $\mathbf{Y}$ um einen Vektor stetiger Zufallsvariablen handelt und (A VI.7) wird als erfüllt angesehen. Der Zusammenhang zwischen Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion im mehrdimensionalen Fall wird allgemein in (A VI.8) dargestellt, weshalb die Verteilungsfunktion an dieser Stelle nicht separat dargestellt ist.⁸⁶⁴

Wie im Hauptteil der Arbeit diskutiert, kann darüber hinaus, ausgehend von den vorliegenden Informationen zur Verteilung von $\mathbf{Y}$, auch die Verteilung des zugehörigen bivariat logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablenvektors $\mathbf{Z}$ bestimmt werden. $\mu_{Y, \bar{T}}$ sowie $\Sigma_{Y, \bar{T}}$ beschreiben weiterhin den Erwartungsvektor und die Kovarianzmatrix der bivariaten Normalverteilung der durch Logarithmieren errechneten Zufallsvariablen. Die

⁸⁶³ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 479.

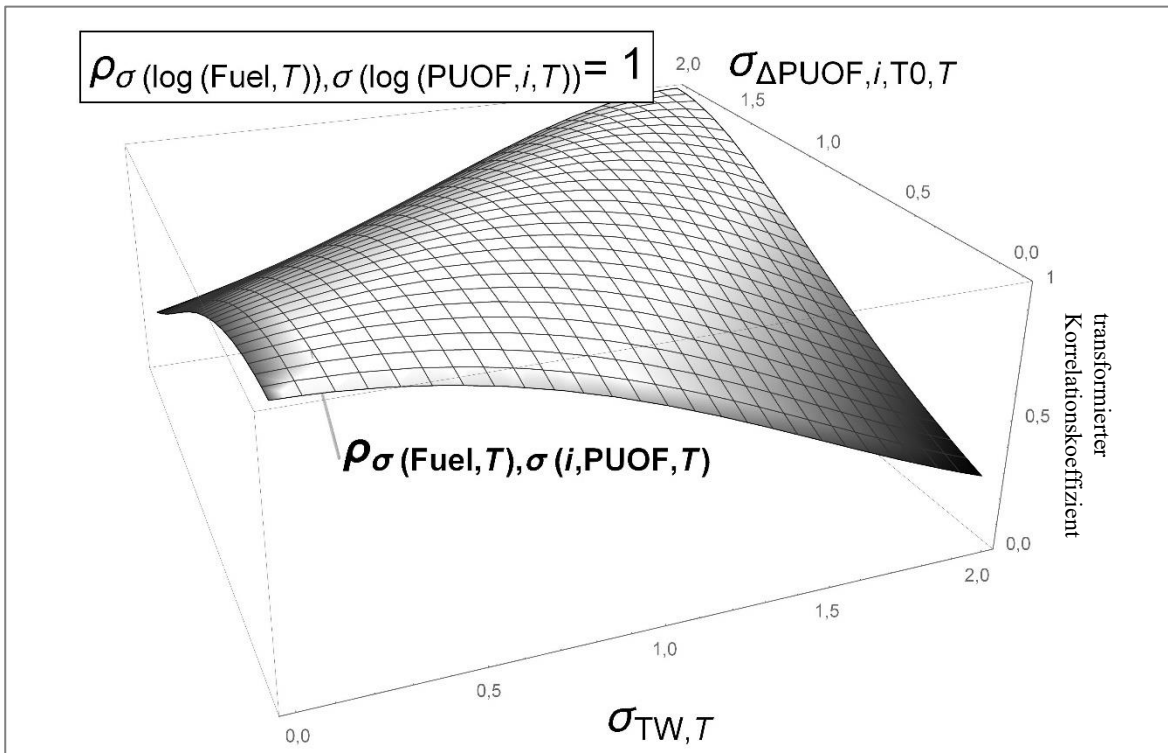
⁸⁶⁴ Für den konkreten Fall der bivariaten Normalverteilung kann die bivariate kumulierte Verteilungsfunktion einfach nachgeschlagen werden. Beispielsweise in: Balakrishnan/Lai (2009): S. 481.

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $\mathbf{Z}$ kann dann allgemein durch Formel (6.16) im Hauptteil der Arbeit beschrieben werden. Für Hintergründe und Diskussionen zur Formel wird auf die zugehörige Darstellung im Hauptteil der Arbeit verwiesen.

Anhang A X. h) Erläuterungen: Kapitel 6.2.3.2 (Der Korrelationskoeffizient)

Wie im Hauptteil der Arbeit diskutiert, handelt es sich bei dem in die allgemeine Darstellung der bivariaten logarithmischen Normalverteilung gemäß (6.16) einzusetzenden Korrelationskoeffizienten ($\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))}$) um den Pearson-Korrelationskoeffizienten der bivariat normalverteilten Zufallsvariablen $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$.

Abbildung 36 – Zusammenhang der Korrelationskoeffizienten (bivariate Normalverteilung und bivariate logarithmische Normalverteilung)



Die Abbildung zeigt auf der Ordinate die Ausprägungen des transformierten Korrelationskoeffizienten ($\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$) für $\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} = 1$ und in Abhängigkeit von den Ausprägungen der Standardabweichungen (σ_{TW} und $\sigma_{\Delta PUOF, i, T_0, T}$) der normalverteilten Zufallsvariablen gemäß (A X.47). Dargestellt ist der Zusammenhang für Ausprägungen von σ_{TW} und $\sigma_{\Delta PUOF, i, T_0, T}$ im Wertebereich $[0, 2]$. Im Anwendungsfall für Treibstoffpreissicherungen von Fluggesellschaften liegen Standardabweichungen ausschließlich im unteren Bereich dieses Intervalls.

Balakrishnan und Lai (2009) stellen allgemein dar, wie ausgehend von diesem Korrelationskoeffizienten und unter Kenntnis über die Standardabweichungen der normalverteilten Zufallsvariablen (hier: $\log(Fuel_{\bar{T}})$ und $\log(PUOF_{i,\bar{T}})$) auch der Korrelationskoeffizient ermittelt werden kann, der die Korrelation zwischen den logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen (hier: $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$) beschreibt. Der Korrelationskoeffizient zur Erfassung des Zusammenhangs zwischen $Fuel_{\bar{T}}$ und $PUOF_{i,\bar{T}}$ wird im Folgenden mit $\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$ bezeichnet. Für den Zusammenhang der Koeffizienten gilt⁸⁶⁵:

⁸⁶⁵ Vgl. Balakrishnan/Lai (2009): S. 527 ff. Da es sich bei der über das Turnbull-Wakeman-Modell nach (3.13) (siehe: Kapitel 3.3.2.2) ermittelten Volatilität σ_{TW} um die auf ein Jahr skalierte Standardabweichung handelt, muss diese zusätzlich auf die Länge des Intervalls zwischen T_0 und T skaliert werden. Diese Skalierung wird in der hier genutzten Darstellung durch die Erweiterung des Index auf $\sigma_{TW,T}$ abgebildet.

Zusammenhang der Korrelationskoeffizienten: Bivariate Normalverteilung und bivariate logarithmische Normalverteilung

$$\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})} = \frac{e^{\left(\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} * \sigma_{TW,\bar{T}} * \sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}\right)} - 1}{\sqrt{\left((e^{\sigma_{TW,\bar{T}}^2} - 1) (e^{\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}^2} - 1)\right)}} \quad (\text{A X.47})$$

In Abhängigkeit von den Standardabweichungen der univariaten Randverteilungen (σ_{TW} und $\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}}$) stellt Abbildung 36 für $\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})),\sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} = 1$ die korrespondierenden Ausprägungen von $\rho_{\sigma(Fuel_{\bar{T}}),\sigma(PUOF_{i,\bar{T}})}$ exemplarisch dar.

Im Fall stark abweichender Standardabweichungen zwischen den beiden Zufallsvariablen liegt der Korrelationskoeffizient der logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen deutlich unter demjenigen der normalverteilten Zufallsvariablen. Da beide Standardabweichungen im Anwendungsfall jedoch durchweg im unteren Wertebereich der visualisierten Intervalle liegen, sind im Anwendungsfall lediglich geringe Differenzen zwischen den Korrelationskoeffizienten zu erwarten.

Anhang A X. i) *Hintergrund: Kapitel 6.2.3 (Multivariate Verteilung: Rohwarenpreise und PUOF)*

Im Rahmen des Standardvorgehens in dieser Arbeit wird lediglich der Fall betrachtet, in welchem Fluggesellschaften Treibstoffpreissicherungen auf diejenige Rohware abschließen, welche sie zur Betankung ihrer Flugzeuge einsetzen (siehe: Kapitel 4.2.2). Dank dieser Einschränkung ist es ausreichend, im Rahmen der mathematischen Modellierung dauerhaft lediglich eine Rohwarenpreiszufallsvariable ($Fuel_{\bar{T}}$) zu berücksichtigen. Konträr zu dieser Darstellung wurde zu Beginn von Kapitel 4.2.2 jedoch gezeigt, dass Fluggesellschaften in der Praxis Derivate teils nicht auf Kerosin handeln. Würde man im Rahmen der Simulation zulassen, dass Sicherungen auch auf andere Referenzprodukte als Kerosin abgeschlossen werden, wäre es notwendig, die aufgestellte Zielfunktion und das Optimierungsmodell so zu erweitern, dass der Handel von Derivaten auf kerosinverwandte Produkte möglich ist. Welche grundsätzlichen Schritte hierfür durchzuführen sind und welche Herausforderungen im Rahmen der Modellierung sich aus einer solchen Erweiterung ergeben, wird an dieser Stelle kurz diskutiert. Es sei vorangestellt, dass auf die Berücksichtigung einer solchen Erweiterung im Hauptteil dieser Arbeit sowie in den durchgeführten Simulationen aus Komplexitäts- und Übersichtlichkeitsgründen verzichtet wurde.

Um zwei Referenzprodukte im Modell zu berücksichtigen, ist es zunächst notwendig, die Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ durch zwei neue Zufallsvariablen zu ersetzen: $FuelSicherung_{\bar{T}}$ beschreibt den Preis desjenigen Referenzproduktes, auf dessen Preis Derivate gehandelt werden. $FuelPhysisch_{\bar{T}}$ beschreibt den Preis desjenigen Referenzproduktes, welches für die physische Betankung genutzt wird.⁸⁶⁶ Alle bisherigen Erläuterungen zu den Randverteilungen der Rohwarenpreise (Kapitel 6.2.1) besitzen für $FuelSicherung_{\bar{T}}$ sowie für $FuelPhysisch_{\bar{T}}$ Gültigkeit. Demnach kann die jeweilige Randverteilung beider Rohwarenpreiszufallsvariablen allgemein (6.1) entnommen werden. Auch die grundsätzlichen Ausführungen zur Herleitung von Zielfunktion und Optimierungsmodell in Kapitel 5 besitzen

⁸⁶⁶ Diese Darstellung gilt nur im speziellen Fall der Trennung beider Rohwaren im Rahmen dieses Kapitels.

weiterhin Gültigkeit. Allerdings muss eine Erweiterung des Modells auf drei Zufallsvariablen vorgenommen werden.

Unter Berücksichtigung der beiden Zufallsvariablen $FuelSicherung_{\bar{T}}$ und $FuelPhysisch_{\bar{T}}$ statt der alleinigen Zufallsvariable $Fuel_{\bar{T}}$ kann die Darstellung der Zielfunktion gemäß (5.15) (unter Berücksichtigung von (A VIII.1) sowie (A VIII.2)) modifiziert werden zu:

Zielfunktion mit drei Zufallsvariablen: Erwarteter Deadweight-Cost-Cash-Flow

$$\begin{aligned}
 & E_{T_0} \left(DWCCF_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, FuelPhysisch_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\
 &= E_{T_0} \left((PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - FuelPhysisch_{\bar{T}} \right. \\
 &\quad - HedgeResult_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\
 &\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}}) * (1 - Steuer) \\
 &\quad \left. - DWC_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, FuelPhysisch_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\
 &= \iiint_{-\infty}^{\infty} \left((PUOF_{i,\bar{T}} + ErlösRest_{i,\bar{T}} - FuelPhysisch_{\bar{T}} \right. \\
 &\quad - HedgeResult_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\
 &\quad - AufwandRest_{i,\bar{T}}) * (1 - Steuer) \\
 &\quad - DWC_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, FuelPhysisch_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \\
 &\quad * h(FuelSicherung_{\bar{T}}, FuelPhysisch_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}) \\
 &\quad * dFuelSicherung_{\bar{T}} dFuelPhysisch_{\bar{T}} dPUOF_{i,\bar{T}} \quad (A \text{ X.48})
 \end{aligned}$$

Unter Rückgriff auf (A X.48) muss das in (5.17) dargestellte Optimierungsproblem demnach erweitert werden zu:

Optimierungsproblem mit drei Zufallsvariablen: Minimierung der Deadweight-Costs

$$\min_{\mathbf{k}_w} E_{T_0} \left(DWCCF_{i,\bar{T}}(FuelSicherung_{\bar{T}}, FuelPhysisch_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \quad (A \text{ X.49})$$

Während das Aufstellen des Optimierungsproblems und das Generieren von Daten demnach auch im Fall mit drei Zufallsvariablen möglich ist, bedarf es für die Bestimmung der dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, welche zur Ermittlung des Erwartungswertes benötigt wird, einer detaillierteren Darstellung. Es wird vorausgesetzt, dass alle Annahmen bezüglich der Randverteilung von $PUOF_{i,\bar{T}}$ weiterhin Gültigkeit besitzen.

Auch in diesem Fall folgen alle Randverteilungen der logarithmischen Normalverteilung, sodass durch Logarithmieren der Zufallsvariablen drei normalverteilte Randverteilungen erzeugt werden können. Der Vektor der drei normalverteilten Zufallsvariablen wird mit $\mathbf{W}$ bezeichnet und beschreibt die gemeinsamen Ausprägungen der Zufallsvariablen auf dem $\mathbb{R}^3$. Die Darstellung des Erwartungsvektors folgt logisch aus (A X.42) und kann beschrieben werden durch:

Erwartungsvektor der multivariaten Normalverteilung

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\mu}_{W,\bar{T}} &= \begin{pmatrix} \mu_{y1,\bar{T}} \\ \mu_{y2,\bar{T}} \\ \mu_{y3,\bar{T}} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \log(FuelSicherung_{T_0,\bar{T}}) + \left(\mu_{FuelSicherung} - \frac{\sigma_{TW,Sicherung}^2}{2} \right) T \\ \log(FuelPhysisch_{T_0,\bar{T}}) + \left(\mu_{FuelPhysisch} - \frac{\sigma_{TW,Physisch}^2}{2} \right) T \\ \log(PUOF_{i,\bar{T}_0}) + \mu_{\Delta PUOF,i,\bar{T}_0,\bar{T}} \end{pmatrix} \quad (A\ X.50)
\end{aligned}$$

Ebenso wird die symmetrische und positiv definite Kovarianzmatrix zur Veranschaulichung in allgemeiner Form dargestellt. Auf eine explizite Darstellung für den Anwendungsfall wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Darstellung für den Anwendungsfall kann einfach aus der bivariaten Darstellung der Kovarianzmatrix in (A X.44) abgeleitet werden.⁸⁶⁷

Kovarianzmatrix der multivariaten Normalverteilung – Allgemein

$$\boldsymbol{\Sigma}_{W,\bar{T}} = \begin{pmatrix} \sigma_{y1}^2 & \sigma_{y1} * \sigma_{y2} * \rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y2}} & \sigma_{y1} * \sigma_{y3} * \rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y3}} \\ \sigma_{y1} * \sigma_{y2} * \rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y2}} & \sigma_{y2}^2 & \sigma_{y2} * \sigma_{y3} * \rho_{\sigma_{y2},\sigma_{y3}} \\ \sigma_{y1} * \sigma_{y3} * \rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y3}} & \sigma_{y2} * \sigma_{y3} * \rho_{\sigma_{y2},\sigma_{y3}} & \sigma_{y3}^2 \end{pmatrix} \quad (A\ X.51)$$

Demnach ist $\mathbf{W}$ multivariat normalverteilt mit: $\mathbf{W} \sim \mathbf{N}_3(\boldsymbol{\mu}_{W,\bar{T}}, \boldsymbol{\Sigma}_{W,\bar{T}})$.

Bei der Erweiterung auf drei Zufallsvariablen müssen folglich drei paarweise Kovarianzen und somit auch drei paarweise Pearson-Korrelationskoeffizienten berücksichtigt werden. Anschließend kann die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der multivariaten Normalverteilung aufgestellt werden, deren Darstellung sich beispielsweise in Rencher und Schaalje (2008) findet.⁸⁶⁸ Die Erweiterung auf die dreidimensionale logarithmische Normalverteilung der nicht logarithmierten Zufallsvariablen ist anschließend äquivalent zur Darstellung im bivariaten Fall (siehe: Kapitel 6.2.3.1) möglich. Aus Übersichtlichkeitsgründen wird auf die Darstellung der Formeln verzichtet.

Bezüglich der paarweisen Korrelationskoeffizienten der normalverteilten Zufallsvariablen und ihrem Zusammenhang zu den paarweisen Korrelationskoeffizienten der logarithmisch normalverteilten Zufallsvariablen besitzen die Ausführungen zum bivariaten Fall (siehe: Kapitel 6.2.3.2) Gültigkeit. Für die Erfassung der Stärke des Zusammenhangs zwischen der Entwicklung zweier Rohwarenpreisnotierungen (hier: $FuelPhysisch_{\bar{T}}$ und $FuelSicherung_{\bar{T}}$) wurde zuvor in Kapitel 4.2.2 bereits der Begriff der *ökonomischen Effektivität* eingeführt. Es ist davon auszugehen, dass in der Regel eine stark positive paarweise Korrelation zwischen den stetigen relativen Veränderungen der beiden Rohwarenpreiszufallsvariablen vorliegt.

Auf weitere Ausführungen zum dreidimensionalen Fall wird in dieser Arbeit aus Relevanzgründen verzichtet. Als Ausgangsbasis für eine mögliche zukünftige Ausweitung des in dieser Arbeit behandelten zweidimensionalen Modells sind die an dieser Stelle vorgestellten Grundlagen allerdings von hoher Relevanz.

⁸⁶⁷ Vgl. Rencher/Schaalje (2008): S. 76.

⁸⁶⁸ Vgl. Rencher/Schaalje (2008): S. 89.

Anhang A XI. Erläuterungen zu Kapitel 6.3

Anhang A XI. a) Hintergrund: Kapitel 6.3.1.2 (Finanzielle Situation)

Wie im Hauptteil der Arbeit diskutiert, übt die finanzielle Situation einer Fluggesellschaft im Zeitpunkt des Derivatehandels entscheidenden Einfluss auf die optimale Sicherungsstrategie aus. Neben den im Hauptteil der Arbeit berücksichtigten Einflüssen (Nebenbedingung für DWC-Funktion, siehe: Kapitel 6.3.1.2 und Restriktionen der übergeordneten Sicherungsstruktur, siehe: Kapitel 6.4.1.2) kann die finanzielle Situation der handelnden Gesellschaft im Sicherungszeitpunkt auch Einfluss auf die Konditionen gehandelter Derivate ausüben. Nachfolgend ist als Ergänzung zu den Ausführungen im Hauptteil der Arbeit dargestellt, wie diese Einflüsse im Rahmen eines Modells allgemein quantifiziert und im Rahmen der Modellsimulation in dieser Arbeit auch berücksichtigt werden könnten. Es wird ebenfalls diskutiert, welche weitreichenden Änderungen des Gesamtmodells aus der Berücksichtigung dieses Sachverhaltes resultieren würden. Hieraus abgeleitet ist abschließend dargestellt, weshalb auf die Berücksichtigung im Rahmen der Standardsimulation in dieser Arbeit verzichtet wird.

In der Praxis können Kontrahenten das finanzielle Ausfallrisiko einer Fluggesellschaft über einen Risikoaufschlag beim Bestimmen von Derivatepreisen berücksichtigen. Wie zuvor in Kapitel 4.1.2.3 bereits initial diskutiert, wird unterstellt, dass dieser Risikoaufschlag nur für Derivate relevant ist, aus denen eine zukünftige Auszahlung der Fluggesellschaft resultieren kann. Dies betrifft Swaps sowie Short-Optionen.⁸⁶⁹

Zur Bestimmung risikoadjustierter Derivatepreise werden diese Derivate, aus welchen eine zukünftige Auszahlung resultieren kann, weiter unterteilt. Es wird daher zwischen der Berechnung für Short-Optionen und der für Swaps unterschieden. Wie ebenfalls bereits in Kapitel 4.1.2.3 dargestellt, ist des Weiteren davon auszugehen, dass in der Praxis das Ausfallrisiko der jeweiligen Kontrahenten von den Fluggesellschaften selbst nicht im Preis von Long-Optionen berücksichtigt werden kann. Auf die Berechnung von Effekten für Long-Optionen wird daher verzichtet.

Für weitere Berechnungen wird die Variable *Verwertung* _{$i, T_0, \bar{T}$} eingeführt. Diese beschreibt, welchen Forderungsanteil der Verkäufer eines Derivates im Insolvenzfall von Gesellschaft i im Rahmen eines Insolvenzverfahrens noch ausgezahlt bekäme.

Wie in Hull (2006) vorgeschlagen, erfolgt für Optionen die Berücksichtigung des Risikoaufschlags durch eine Korrektur des über Optionspreisformeln bestimmten fairen Optionspreises. Der faire Optionspreis wird in diesem Kapitel allgemein durch $P_{T_0, \bar{T}}^{Markt}$ dargestellt. Der korrigierte Optionspreis unter Berücksichtigung des individuellen Risikos von Unternehmen i wird demgegenüber in diesem Kapitel allgemein durch $P_{i, T_0, \bar{T}}^{Risiko}$ dargestellt. Unter Berücksichtigung des Ausfallrisikos von Unternehmen i gilt dann für den adjustierten Preis eines Short Calls:⁸⁷⁰

⁸⁶⁹ Vgl. Hull (2006): S. 491 ff. Zur Motivation des Deadweight-Cost-Cash-Flows als Zielfunktion der Optimierung wurde im Rahmen dieser Arbeit zudem festgelegt, dass durch OPTA nur Geschäfte mit *deferred Prämie* gehandelt werden (siehe: Fußnote 363). Im Kontext des an dieser Stelle betrachteten Sachverhalts wird angenommen, dass die Notwendigkeit der Bestimmung des Risikoaufschlags nur für solche Geschäfte besteht, aus welchen potenzielle zukünftige Auszahlungen der Fluggesellschaft aus dem *Settlement* entstehen können. Das alleinige zukünftige Zahlen von Prämie führt nicht zur Notwendigkeit der Berücksichtigung des Risikoaufschlags. Demnach sind nachfolgend nur Swaps sowie Short-Optionen von Relevanz.

⁸⁷⁰ Vgl. Hull (2006): S. 492.

Preis einer Short-Option mit Ausfallrisiko (Beispiel: Short Call)

$$\begin{aligned}
P_{i,T_0,\bar{T}}^{Call,Short,Risiko} &= P_{T_0,\bar{T}}^{Call,Short,Markt} \\
&\quad - \left((1 - Verwertung_{i,T_0,\bar{T}}) * Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}} \right. \\
&\quad \left. * P_{T_0,\bar{T}}^{Call,Short,Markt} \right)
\end{aligned} \tag{A XI.1}$$

Die Formel besitzt in inhaltlich äquivalenter Form für Short Puts Gültigkeit. Der faire Marktpreis der Short-Optionen vor Risikoaufschlag ($P_{T_0,\bar{T}}^{Markt}$) wird weiterhin über das Turnbull-Wakeman-Modell (siehe: (3.9) bis (3.13)) bestimmt. Somit liegt der Preis einer risikoadjustierten Short-Option für eine Fluggesellschaft im Handelszeitpunkt unter dem fairen Marktpreis. Es ergeben sich somit bei Berücksichtigung des gesellschaftsindividuellen Ausfallrisikos ($Ausfallrisiko_{i,T_0,\bar{T}}$) sowie der gesellschaftsindividuellen Insolvenzverwertungsquote ($Verwertung_{i,T_0,\bar{T}}$) für jede Gesellschaft i individuelle Preise für Short-Optionen.

Daneben kann auch beim Abschluss von Termingeschäften das Ausfallrisiko berücksichtigt werden. Um beim Abschluss von Termingeschäften das Ausfallrisiko einer Fluggesellschaft zu berücksichtigen, ist es notwendig, das Termingeschäft fiktiv in zwei Komponenten aufzusplitten: Einen Long Call und einen Short Put. Beide Instrumente referenzieren auf den identischen Strike, welcher dem Terminpreis entspricht. Gemäß Put-Call-Parität (siehe: (A III.5) im Anhang A III. b)) gilt, dass in diesem Fall der Betrag beider Optionspreise identisch ist, sodass Call und Put mit einer Nettoprämie von null gehandelt werden können. Ein konstruiertes Gesamtgeschäft aus diesen beiden Einzelgeschäften ist somit in der Wirkungsweise absolut identisch zum Abschluss des Termingeschäftes.

Da für Fluggesellschaften aus Short-Optionen ausschließlich Forderungen resultieren können, war die zuvor dargestellte Adjustierung des Optionspreises für Short-Optionen (siehe: (A XI.1)) trivial. Im Gegensatz dazu gilt für das Termingeschäft, dass aus diesem sowohl eine zukünftige Forderung (Call Komponente) als auch eine zukünftige Schuld (Put Komponente) für eine Fluggesellschaft entstehen kann. Da zuvor festgelegt wurde, dass die Ausfallrisiken der Kontrahenten nicht zu berücksichtigen sind, muss daher beim Abschluss eines Termingeschäfts eine Unterscheidung zwischen erwarteter Forderung und erwarteter Schuld vorgenommen werden. Es gilt, dass die erwartete Schuld der Fluggesellschaft, welche aus dem Short Put resultiert, entsprechend der Darstellung zu den Short-Optionen über das Ausfallrisiko der Fluggesellschaft adjustiert werden muss. Da für die Long Call Komponente keine Adjustierung stattfindet, besitzt die Put-Call-Parität nach der Adjustierung keine Gültigkeit mehr, sodass der gleichzeitige Abschluss beider Optionen für eine Fluggesellschaft mit einer Nettoprämienauszahlung verbunden wäre. Da der Handel eines Termingeschäfts jedoch nicht mit einer Prämienzahlung verbunden sein kann, muss zur adäquaten Berücksichtigung des gesellschaftsindividuellen Ausfallrisikos allerdings eine weitere Adjustierung vorgenommen werden: die Anpassung des Strikes des Termingeschäfts. Konkret muss der Strike so angepasst werden, dass der über die Optionspreisformel ohne Adjustierung ermittelte Preis des Long Calls (siehe: (3.9)) exakt dem Preis des Short Puts inklusive der Berücksichtigung des Ausfallrisikos von Gesellschaft i (siehe: (A XI.1)) entspricht. Für den ermittelten neuen Strike des Termingeschäfts gilt, dass dieser stets über dem fairen Terminpreis des Marktes ($Fuel_{T_0,\bar{T}}$) liegen wird. Auf eine Darstellung der zugehörigen Formeln wird an dieser Stelle verzichtet.

Demnach können bei Berücksichtigung des gesellschaftsindividuellen Ausfallrisikos nur Swaps mit individueller Lage des Strikes abgeschlossen werden. Solche Swaps besitzen im Handelszeitpunkt einen über (3.7) bestimmbaren, in seiner Höhe von der individuellen Ausfallwahrscheinlichkeit sowie der gesellschaftsindividuellen Insolvenzverwertungsquote abhängigen, negativen Marktwert für Fluggesellschaften.

Es lässt sich somit schließen, dass in der Praxis nur solvente Gesellschaften Swaps und Short-Optionen nahe am fairen Marktpreis handeln können. Je höher die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Fluggesellschaft ist, desto größer wird die Differenz zum fairen Marktpreis. Während die Berücksichtigung eines Risikoaufschlags anhand der bekannten Formeln im Optimierungsmodell möglich wäre, resultieren aus der Erkenntnis, dass Gesellschaften in der Praxis einzelne Derivate nicht zum fairen Marktpreis handeln können, in Bezug auf das Gesamtmodell jedoch weitere Implikationen, die darzustellen sind.

In Kapitel 5.3.3 wurde gezeigt, dass – auf Basis der getroffenen Modellannahmen – zur Maximierung des Unternehmenswertes lediglich der Erwartungswert der DWC durch die Wahl optimaler Strikes minimiert werden muss. Um zu dieser Darstellung zu gelangen, konnten vorab die Komponenten des erwarteten DWCCF, welcher die initiale Zielfunktion darstellt, vereinfacht werden. Unter anderem wurde erläutert, dass in einer idealen Modellwelt der Term $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w))$ unabhängig von der Wahl der Strikes $\mathbf{k}_w$ jederzeit null entsprechen muss.

Da durch die in diesem Kapitel vorgestellte individuelle Adjustierung der Optionspreise der Erwartungswert einzelner Derivate ungleich null sein kann (es gilt: $E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)) \neq 0$), lässt sich, je nach gewählter Instrumentenkombination, der Erwartungswert des Sicherungsergebnisses bei Berücksichtigung der Adjustierung allerdings nicht mehr aus (5.15) eliminieren, sodass die Darstellung des Optimierungsproblems durch (5.16) nicht mehr möglich ist. Stattdessen muss bei Berücksichtigung des Ausfallrisikos das Optimierungsproblem lauten:

Optimierungsproblem: Mit Berücksichtigung des Ausfallrisikos

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{k}_w} \Big(& -E_{T_0} \left(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \\ & - E_{T_0} \left(DWC_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \mathbf{k}_w) \right) \Big) \end{aligned} \quad (A \text{ XI.2})$$

Alle weiteren Annahmen und Darstellungen bleiben erfüllt und die Verteilungsfunktionen entsprechen unverändert den Darstellungen aus Kapitel 6.2. Demnach sind bei Berücksichtigung des Ausfallrisikos die erwarteten Treibstoffpreissicherungsergebnisse keine Konstante mehr, sondern diese hängen – für alle in Tabelle 3 aufgeführten Instrumentenkombinationen außer dem Long Call – ebenfalls von der Wahl der Strikes $\mathbf{k}_w$ ab. Der Erwartungswert der Sicherung ($E_{T_0}(HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w))$) müsste somit im Rahmen der Optimierung zusätzlich berücksichtigt werden.

Die Einbeziehung des Ausfallrisikos in das Optimierungsmodell würde demnach dazu führen, dass die Darstellung des Optimierungsproblems an Praxisrelevanz gewinnt. Gleichzeitig würde sich jedoch der zur Lösung des Problems benötigte Rechenaufwand drastisch erhöhen und die Darstellung würde sich stark von der in bisherigen Arbeiten – beispielsweise Brown und Toft (2002) oder Korn (2010) – gewählten idealtypischen Form entfernen. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen von Simulationen in dieser Arbeit Anpassungen der Optionspreise, welche aus der Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit bei der

Optionspreisbestimmung resultieren, nicht vorgenommen. Solche Anpassungen könnten und sollten jedoch im Rahmen der zukünftigen Forschung Berücksichtigung finden.

Anhang A XI. b) Erläuterungen: Kapitel 6.3.1.2 (Finanzielle Situation)

Ergänzend zu den Darstellungen in Kapitel 5.2.2 sowie 6.3.1.2 sind nachfolgend praktische Beispiele dargestellt, welche die exemplarische Höhe von DWC in der Praxis zeigen. Angelehnt an diese Beispiele wurden schematisch teils die Ausprägungen der in dieser Arbeit berücksichtigten DWC-Funktionen (siehe: Tabelle 74 im Anhang B I) abgeleitet.

Durch die Betrachtung skalierte Werte auf die Einheit US-Dollar je Barrel Kerosin können aus realen absoluten Insolvenzkosten der Vergangenheit einfach nutzbare Referenzgrößen bezüglich der Kosten einer Insolvenz für das Modell bestimmt werden. Ausgehend von den direkten DWC in Höhe von mehr als 350 Millionen US-Dollar im Fall des Insolvenzverfahrens von *United Airlines* zu Beginn der 2000er Jahre ergeben sich beispielhaft normierte direkte Insolvenzkosten von etwa 11 US-Dollar je Barrel.⁸⁷¹ Zusätzlich müssen zur korrekten Modellierung der DWC aus Insolvenz in dieser Arbeit noch indirekte Insolvenzkosten berücksichtigt und zu diesen direkten Kosten addiert werden. Diese wurden für das Beispiel zu *United Airlines* von Brealey, Myers und Allen (2009) allerdings nicht quantifiziert.

Bezüglich der DWC aus der Finanzierungsstruktur helfen ebenfalls Einblicke in die Daten realer Fluggesellschaften. Beispielhaft hatte die *IAG (Delta Air Lines)* zum Jahresende 2019 circa 12,4 Milliarden Euro (14,2 Milliarden US-Dollar) langfristige zinstragende Verbindlichkeiten in ihrer Bilanz.⁸⁷² Unter der Annahme, dass für jegliche dieser Verbindlichkeiten Zinsen zu entrichten sind, führt eine Erhöhung des durchschnittlichen Fremdkapitalzinssatzes von einem Prozentpunkt, nach Berücksichtigung des Tax Shields, zu jährlichen DWC aus Zinsen von circa 112 (107) Millionen US-Dollar. Hieraus ergeben sich normierte DWC in Höhe von circa 1,5 (1,1) US-Dollar je Barrel pro Folgejahr, in welchem höhere Zinsen zu zahlen sind.⁸⁷³

Zusätzlich sind DWC zu berücksichtigen, welche sich aus möglichen Änderungen der Kapitalstruktur und dem folgenden Verlust von Tax Shields ergeben können. Exemplarisch würde eine notwendige Verringerung des Fremdkapitals von *IAG (Delta Air Lines)* um 25% zum Verlust von jährlichen Tax Shields in Höhe von circa 0,60 (0,44) US-Dollar je Barrel führen.⁸⁷⁴ Es ist ersichtlich, dass sich die Auswirkungen der beiden dargestellten Effekte teils überlagern.

Da die gewählte Form der aggregierten Modellierung aller DWC (siehe: (5.11)) vereinfachend nur eine Netto-DWC-Funktion für alle in Kapitel 5.2.2 genannten Argumente für Hedging berücksichtigt, werden diese Überlagerungseffekte beim Aufstellen der DWC-Funktion implizit berücksichtigt. Aus Vereinfachungs- und Praktikabilitätsgründen wird nicht im Detail nachvollzogen, welcher Effekt final für das Auftreten von DWC in einzelnen FCF-Szenarien verantwortlich ist. Stattdessen werden in Abhängigkeit vom jeweiligen

⁸⁷¹ Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 403. Treibstoffverbrauch *United Airlines* im Jahr 2003 circa 32 Millionen Barrel. Errechnet aus Daten des BOTS. Siehe: Kapitel 6.1.2.1.

⁸⁷² Daten zu *IAG*; *IAG* (2019): S. 163. Daten zu *Delta Air Lines*: Entnommen aus Bloomberg. Siehe hierzu auch die Erläuterung zur Ermittlung der genutzten Kapitalstruktur in Kapitel 6.1.2.3.

⁸⁷³ Die Treibstoffmenge für *IAG* in 2019 ist in Tabelle 41 dargestellt. Die Treibstoffmenge für *Delta Air Lines* beträgt circa 100 Millionen Barrel. Vgl. *Delta Air Lines* (2019): S. 6. Umrechnung gemäß Tabelle 54. Zur Bestimmung des Tax Shields wurde $Steuer = 0,25$ bei konstantem Fremdkapital unterstellt (siehe: Kapitel 3.1.1.2). Für Umrechnungen zwischen Euro und US-Dollar wurde ein Kurs von 1,20 unterstellt.

⁸⁷⁴ Zur Berechnung wurde $Steuer = 0,25$ bei konstantem individuellem Fremdkapitalzins (Annahme: $r_{i,t} = 5\%$) unterstellt (siehe: Kapitel 3.1.1.2). Für Umrechnungen zwischen Euro und US-Dollar wurde ein Kurs von 1,20 unterstellt.

Szenario-FCF diejenigen DWC bestimmt, die als gesammelte Netto-DWC aller genannten Effekte verstanden werden können.

Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die in dieser Arbeit im Simulationsmodell verarbeiteten und in Tabelle 74 im Anhang B I dargestellten DWC-Funktionen sich übergeordnet sinnhaft in das gesamte aufgestellte Modellgerüst zur Generierung optimaler Treibstoffpreissicherungen einfügen müssen. Auch wenn die Ausprägungen der DWC-Parameter mit dem Ziel des Aufstellens einer praxisrelevanten Simulation gewählt wurden, kann vor diesem Hintergrund nicht ausgeschlossen werden, dass Ausprägungen einzelner DWC-Funktionen teils nicht exakt mit der Höhe der DWC übereinstimmen, die im Rahmen der hier vorgestellten Praxisanalyse ermittelt wurden.

Anhang A XI. c) Erläuterungen: Kapitel 6.3.1.3 (Wettbewerb und Weiterreichen von Treibstoffpreisänderungen)

Im Hauptteil der Arbeit wurde erläutert, dass zur Ermittlung des für eine Simulation relevanten Korrelationskoeffizienten als Stellvertreter-Variable für die Wettbewerbssituation die *4-Firm Concentration Ratio* im Sicherungszeitpunkt genutzt wird. An dieser Stelle ist dargestellt, wie die relevante 4-Firm Concentration Ratio im Modell bestimmt wird.

Als relevantes Kriterium zur Ermittlung der 4-Firm Concentration werden diejenigen Passagiere berücksichtigt, die gemäß der Darstellung in Kapitel 6.1.2.1 sowie Anhang A IX. a) über $Passagiere_{i,\bar{T}_0}$ erfasst werden. Sofern in der Periode $\bar{T}_0$ insgesamt N (mit: $N \geq 4$) Fluggesellschaften auf dem inneramerikanischen Markt aktiv waren und denjenigen vier Fluggesellschaften, welche in Periode $\bar{T}_0$ die meisten Passagiere beförderten, die Indizes $i = 1, \dots, 4$ zugeordnet werden, gilt:⁸⁷⁵

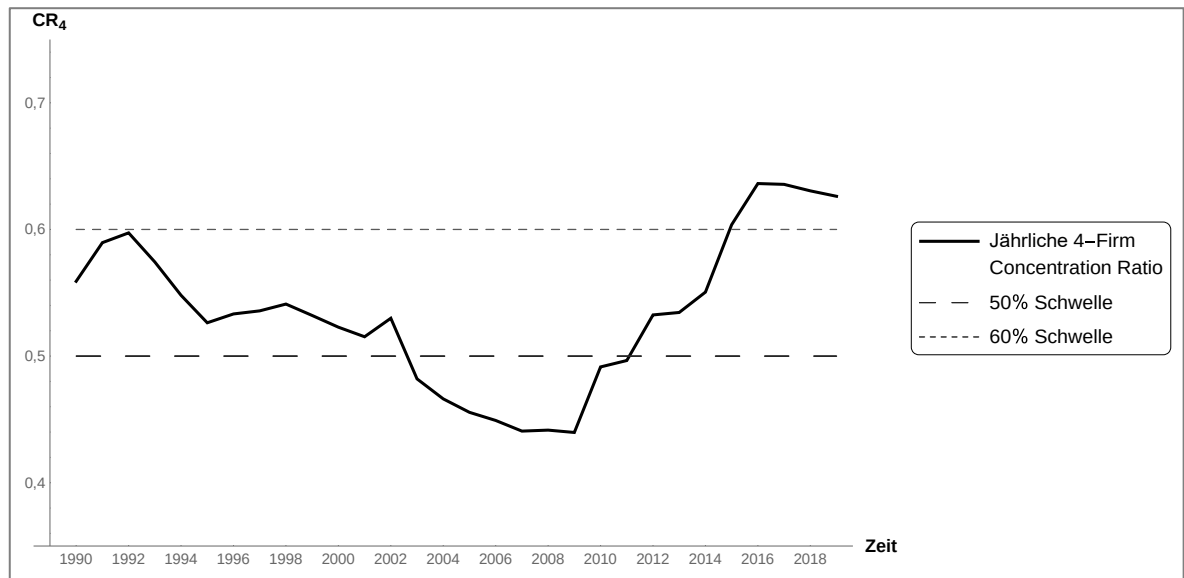
Berechnung der 4-Firm Concentration Ratio

$$CR_{4,\bar{T}_0} = \frac{\sum_{i=1}^4 Passagiere_{i,\bar{T}_0}}{\sum_{i=1}^N Passagiere_{i,\bar{T}_0}} \quad (\text{A XI.3})$$

Somit beschreibt $CR_{4,\bar{T}_0}$, wieviel Prozent aller Passagiere in der Periode $\bar{T}_0$ einen Flug mit einer der vier größten Gesellschaften gewählt haben.

Um Verzerrungen über saisonale Effekte zu vermeiden, wird die 4-Firm Concentration Ratio zur Nutzung in OPTA für die Jahre 1990 bis 2019 jeweils auf Jahresbasis ermittelt. Als Stellvertreter-Variable $CR_{4,\bar{T}_0}$ wird somit jeweils die Wettbewerbssituation genutzt, die für das Jahr ermittelt wurde, in welchem sich der Sicherungszeitpunkt T_0 befindet. Der Verlauf der für diese Arbeit relevanten 4-Firm Concentration Ratios ist in Abbildung 37 dargestellt. In Tabelle 75 im Anhang B I sind die jährlichen Basisdaten zusätzlich in tabellarischer Form zu finden.

⁸⁷⁵ Vgl. Naldi/Flamini (2014): S. 5.

Abbildung 37 – Der Verlauf der 4-Firm Concentration Ratio (1990 bis 2019)

Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf der 4-Firm Concentration Ratio gemäß (A XI.3) für den inneramerikanischen Markt. Hohe Werte der 4-Firm Concentration Ratio deuten auf eine geringe Wettbewerbsintensität hin.

Anhang A XII. Erläuterungen zu Kapitel 6.5**Anhang A XII. a) Erläuterungen: Kapitel 6.5.1 (Ausweichlösung und Fall-Back-Lösung)**

Im Hauptteil der Arbeit wurde nur sehr kurz skizziert, wieso für eine vollständige Simulationsstudie auch *Ausweichlösungen* und *Fall-Back-Lösungen* eingeführt und berücksichtigt werden müssen. An dieser Stelle wird daher in detaillierterer Form dargestellt, weshalb im Simulationsmodell die Notwendigkeit des Erzeugens solcher Lösungen entstehen kann und wie der aufgestellte Algorithmus diese Lösungen erstellt und nachverfolgt.

1. Ausweichlösung

Der Algorithmus prüft zunächst stets, ob in einem Entscheidungszeitpunkt das handelbare Instrumentenspektrum aufgrund einer angespannten finanziellen Situation eingeschränkt ist (siehe: Tabelle 11). Sofern nur wegen dieser Einschränkung die theoretisch optimale Instrumentenkombination nicht handelbar ist, wird dies bereits im Output einer jeden Simulation detektiert.

Sofern darüber hinaus durch die Einschränkung aus der finanziellen Situation nur Instrumentenkombinationen gehandelt werden können, die keine Konformität mit Restriktionen aus Sicherungszielen und/oder der Risikobereitschaft (siehe: Tabelle 61) ermöglichen, werden zunächst – konform zum realen Vorgehen in der Praxis – die durch interne Entscheidungen veranlassten Einschränkung der Instrumente aus Sicherungszielen (siehe: Kapitel 6.3.2.3) und/oder der Risikobereitschaft (siehe: Kapitel 6.3.2.2) fallen gelassen. Jegliche dieser Abschlüsse, die gegen Restriktionen aus internen Sicherungszielen und/oder der intern festgelegten Risikobereitschaft verstoßen, werden ebenfalls detektiert und im Output des Simulationsmodells gekennzeichnet. Im Rahmen solcher Abschlüsse können lediglich Long Calls oder Call Spreads gehandelt werden.

Sofern allerdings auch nach dem Fallenlassen dieser Restriktionen weiterhin keine Instrumentenkombination handelbar ist, die das gleichzeitige Einhalten der Nebenbedingungen (siehe: Kapitel 6.3.1) und Restriktionen (siehe: Kapitel 6.4.1) aus exogenen Faktoren sowie der internen Restriktionen aus Governance (siehe: Kapitel 6.3.2.4) erlaubt, wird zwangsweise die Handelsalternative *Keine Sicherung* gewählt. Auch solche Abschlüsse werden detektiert und im Output des Simulationsmodells gekennzeichnet.

2. Fall-Back-Lösung

Daneben wird im Rahmen von Simulationen ein weiteres Szenario berücksichtigt, in welchem durch eine hohe Risikoaversion des sichernden Unternehmens nur eine geringe VaR-Toleranz existiert (siehe: Kapitel 6.3.2.2), auf Basis von internen Entscheidungen der Abschluss von VaR-optimalen Swaps aber nicht erlaubt ist (siehe: Kapitel 6.4.2) und gleichzeitig eine ungünstige Konstellation von erwarteten Treibstoffmarktpreisen und erwarteten Einzahlungen aus Tickets vorliegt.

Es wird festgelegt, dass der Algorithmus beim Auftreten solcher Situationen, in denen er – aufgrund gültiger Instrumentenrestriktionen aus internen Entscheidungen und der VaR-Nebenbedingung – andernfalls kein Sicherungsgeschäft abschließen dürfte, als *Fall-Back-Lösung* immer den Abschluss des Swaps durchführt. Demnach wird in solchen Fällen das Einhalten der Nebenbedingung aus Risikobereitschaft (siehe: Kapitel 6.3.2.2) sichergestellt, indem ein Instrument gehandelt wird, dessen Einsatz gegen interne Restriktionen bezüglich der verfügbaren Instrumentenkombinationen gemäß Kapitel 6.4.2 verstößt.

Das Nutzen dieser *Fall-Back-Lösung* wird ebenfalls detektiert und im Output des Simulationsmodells ausgewiesen.

Anhang A XII. b) Ergänzung: Kapitel 6.5 (Erfüllungszeiträume ohne kompletten Sicherungsaufbau)

Im Rahmen eines Simulationslaufs können für diejenigen Terminmonate, welche beim Abschluss der ersten Sicherung des Simulationslaufs zeitlich bereits näher am Entscheidungszeitpunkt liegen als derjenige Terminmonat, der den maximalen Sicherungshorizont im ersten Sicherungszeitpunkt des Simulationslaufs beschreibt, weniger einzelne Sicherungen berücksichtigt werden, als dies gemäß gewählter Sicherungsstrategie der Fall sein sollte. Sofern für diese Terminmonate die relative Sicherungsmenge je Sicherungszeitpunkt gemäß (4.1) (siehe: Kapitel 4.2.1.4) bestimmt würde, ergäbe sich eine Gesamtsicherungsmenge, die unter dem gewünschten Zielsicherungsgrad läge. Um einen solchen Schiefstand in Bezug auf den Zielsicherungsgrad zu vermeiden, wird eine Anlaufphase definiert, die alle Terminmonate umfasst, für welche im Rahmen eines Simulationslaufs weniger Sicherungen abgeschlossen werden können, als dies gemäß Vorgaben der übergeordneten Sicherungsstruktur eigentlich der Fall sein sollte. Für Terminmonate, die in die Anlaufphase fallen, wird (4.1) daher so angepasst, dass die gesamte zu sichernde Menge pro rata auf die verfügbaren Sicherungszeitpunkte verteilt wird.

Die Anpassungslogik der Handelsmenge für solche Sicherungszeitpunkte wird nachfolgend anhand eines konkreten Beispiels beschrieben und veranschaulicht:

Sicherungen können über das Simulationsmodell frühestens in einem Entscheidungszeitpunkt am 15.05.2007 gehandelt werden.⁸⁷⁶ Sofern darüber hinaus exemplarisch für die Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur als maximaler Sicherungshorizont 24 Monate und als Sicherungsende sechs Monate gewählt werden, folgt, dass der Algorithmus im Entscheidungszeitpunkt 15.05.2007 Sicherungen für die 18 einzelnen Monate zwischen Dezember 2007 und Mai 2009 abschließt. Werden in einem Simulationslauf Sicherungen mit einer monatlichen Sicherungsfrequenz abgeschlossen (siehe: Kapitel 4.2.1.4), findet die nächstfolgende Sicherung in einem Entscheidungszeitpunkt am 15.06.2007 für die Monate Januar 2008 bis Juni 2009 statt. Demnach würde im Beispiel für Dezember 2007 lediglich eine Sicherung abgeschlossen.⁸⁷⁷

Sofern im Beispiel ein Zielsicherungsgrad von 90% vorgegeben ist, würden somit gemäß (4.1) (siehe: Kapitel 4.2.1.4) für Dezember 2007 lediglich für 5% der gesamten Treibstoffverbrauchsmenge Sicherungen abgeschlossen.⁸⁷⁸ Um einen solchen Schiefstand in Bezug auf den Sicherungsgrad im Simulationsmodell zu vermeiden, wird die zuvor bereits genannte Anlaufphase definiert. Diese Anlaufphase umfasst alle Monate, für welche im Rahmen eines Simulationslaufs weniger Sicherungen abgeschlossen werden können als dies gemäß der Formel: *Maximaler Sicherungshorizont* minus *Sicherungsende* (hier: $24 - 6 = 18$) vorgesehen wäre. Für Sicherungsmonate, die in die Anlaufphase fallen, wird (4.1) so angepasst, dass die gesamte zu sichernde Menge auf die jeweils verfügbaren Sicherungszeitpunkte verteilt wird. Demnach wird während der Anlaufphase zur Bestimmung der

⁸⁷⁶ Gemäß Kapitel 6.1 liegen die benötigten Daten für einzelne Gesellschaften ab dem 17.04.2007 vor. Da Sicherungen gemäß den Vorgaben in Kapitel 4.2.1.5 im Simulationsmodell immer zum 15. Kalendertag gehandelt werden, entspricht der 15.05.2007 dem ersten möglichen Entscheidungszeitpunkt.

⁸⁷⁷ Entsprechend werden für die Monate Januar 2009 bis April 2009 aufsteigend zwischen zwei und 17 Sicherungen abgeschlossen. Mai 2009 ist der erste Monat, für welchen 18 Sicherungen gehandelt werden.

⁸⁷⁸ Für Januar 2009 bis April 2009 würden entsprechend zwischen 10% und 85% des Volumens gesichert.

jeweiligen Sicherungsmenge für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ je Sicherungszeitpunkt T_0 die folgende Formel genutzt:

Berechnung relative Sicherungsmenge – Anlaufphase

$$MengeRelativ_{T_0, \bar{T}} = \frac{(SG / AnzahlSich_{\bar{T}})}{Frequenz} \quad (\text{A XII.1})$$

wobei $AnzahlSich_{\bar{T}}$ die Anzahl der maximal möglichen einzelnen Sicherungen für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ innerhalb der Anlaufphase erfasst. Im Beispiel würden somit etwa am 15.05.2007 für Dezember 2007 Sicherungen im Umfang von 90% des geplanten Kerosinbedarfs abgeschlossen.

Nach der Anlaufphase sind $AnzahlSich_{\bar{T}}$ und $Max.Horizont - Sicherungsende$ identisch, sodass die Formeln in (4.1) und (A XII.1) zu den gleichen Ergebnissen führen.

Die hier dargestellten Ausführungen besitzen primär für solche Auswertungen Relevanz, in welchen absolute Ausprägungen von Kennziffern miteinander verglichen werden.

Anhang A XIII. Erläuterungen zu Kapitel 7.1**Anhang A XIII. a) Hintergrund: Kapitel 7.1.2 (Ex-post Analyse optimaler Sicherungsstrategien) – Beispiel zur ex-post Auswertung einer Simulation**

Das nachfolgend dargestellte Beispiel zur Quantifizierung von ex-post Realisierungen knüpft an das zuvor im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.1.3 dargestellte Beispiel zur ex-ante Identifikation der optimalen Sicherung in einer Simulation an. Während in Kapitel 7.1.1.3 lediglich die ex-ante Sicht eingenommen und Erwartungswerte berechnet wurden, widmen sich die nachfolgenden Darstellungen der ex-post Sicht und der Berechnung von Realisierungen unter Rückgriff auf die in Kapitel 7.1.1.3 ausgewählte Sicherung. Die Analyse von ex-post Realisierungen erfolgt im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.2.

1. Die erste Sicherung: Ex-post Auswertung der gehandelten Sicherung

Um die Praxistauglichkeit des entwickelten Treibstoffpreissicherungsmodells zu überprüfen, wird im Rahmen dieser Arbeit auch untersucht, welche Ergebnisse sich bei Rückgriff auf die ex-ante identifizierten Treibstoffpreissicherungsgeschäfte aus der ex-post Perspektive realisieren. Diese Art der Analyse ist deshalb sinnvoll, weil bei der Bestimmung der ex-ante Optima im jeweiligen Entscheidungszeitpunkt angenommen wird, dass Unkenntnis über die Realisierungen der Zufallsvariablen im Erfüllungszeitraum herrscht. Entgegen dieser Annahme sind die Realisierungen der Zufallsvariablen in untersuchten Erfüllungszeiträumen heute allerdings bereits bekannt, sodass eine ex-post Analyse bezüglich der Güte der zuvor über das Optimierungsmodell getroffenen Entscheidung durchgeführt werden kann. Diese ex-post Analyse wird pro gehandelter Derivatekombination w in fünf aufeinander aufbauenden Schritten vollzogen:

- I. Bestimmen der Realisierungen der beiden Zufallsvariablen $Fuel_{\bar{T}_S}$ und $PUOF_{i,\bar{T}_S}$
- II. Bestimmen des Sicherungsergebnisses der ex-ante als optimale Sicherung identifizierten Derivatekombination w unter Berücksichtigung des Zielsicherungsgrades SG
- III. Bestimmen der Realisierungen von $FCF_{i,\bar{T}_S}$ unter Berücksichtigung der Derivatekombination w mit Zielsicherungsgrad SG sowie ohne Sicherung
- IV. Bestimmen der Realisierungen von $DWC_{i,\bar{T}_S}$ unter Rückgriff auf die DWC-Funktion aus dem Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n}$ sowohl unter Berücksichtigung der Derivatekombination w mit Zielsicherungsgrad SG sowie ohne Sicherung
- V. Bestimmen der Realisierungen von $DWCCF_{i,\bar{T}_S}$ unter Berücksichtigung der Derivatekombination w mit Zielsicherungsgrad SG sowie ohne Sicherung

Diese fünf einzelnen Schritte werden im Folgenden für die in Kapitel 7.1.1.3 vorgestellte Beispielsimulation durchgeführt:

Zur Bestimmung der Realisierungen von $Fuel_{\bar{T}_S}$ sowie $PUOF_{DL,\bar{T}_S}$ wird auf Ist-Daten zurückgegriffen. Die relevante Treibstoffpreisrealisierung entspricht dem Durchschnitt der diskreten werktäglichen Zufallsvariablenrealisierungen im Januar 2012. Die Berechnung des Durchschnittspreises erfolgt gemäß (2.2). Die Realisierung von $Fuel_{\bar{T}_S}$ liegt im Beispiel bei 129,02 US-Dollar pro Barrel. Als relevante Realisierung von $PUOF_{DL,\bar{T}_S}$ findet sich für das Beispiel im Januar 2012 ein Wert von 423,61 US-Dollar pro Barrel.

Unter Kenntnis über die Realisierung von $Fuel_{\bar{T}_S}$ kann das realisierte Sicherungsergebnis der ex-ante optimalen Sicherung bestimmt werden. Da im Beispiel im Entscheidungszeitpunkt ein Termingeschäft mit einem Strike von 115,39 US-Dollar pro Barrel gehandelt

wurde, muss die Gesellschaft für den gesicherten Teil der Treibstoffmenge einen im Vergleich zum Marktpreis um 13,63 US-Dollar pro Barrel verringerten Kerosinpreis zahlen. Für das Beispiel wird zudem ein Zielsicherungsgrad (SG) von 90% unterstellt, sodass sich aus der Sicherung ein ex-post Vorteil bezüglich des Treibstoffaufpreises in Höhe von 12,27 US-Dollar pro Barrel ergibt (folgt aus: $13,63 \text{ USD/bbl} \cdot 90\%$).

Unter Rückgriff auf diese Daten können die realisierten Free-Cash-Flows bestimmt werden. Da in Kapitel 7.1.1.3 bereits dargelegt wurde, dass im Beispiel gilt: $ErlösRest_{DL,\bar{T}_s} = 284,05 \text{ USD/bbl}$ sowie $AufwandRest_{DL,\bar{T}_s} = 470,33 \text{ USD/bbl}$, ergibt sich unter Berücksichtigung des gehandelten Termingeschäfts über (5.5) für Januar 2012 ein Free-Cash-Flow in Höhe von 96,46 US-Dollar pro Barrel.⁸⁷⁹ Der zugehörige Referenzwert für den Free-Cash-Flow ohne Sicherung liegt bei 86,65 US-Dollar pro Barrel.

Unter Rückgriff auf die zuvor im Entscheidungszeitpunkt aufgestellte DWC-Funktion (siehe: (5.11) und DWC-Parameter gemäß Tabelle 16) ergeben sich unter Berücksichtigung des gehandelten Termingeschäfts im Beispiel für Januar 2012 Deadweight-Costs in Höhe von 1,24 US-Dollar pro Barrel. Der Referenzwert ohne Sicherung liegt bei 0,76 US-Dollar pro Barrel. Demnach ergeben sich trotz der überlegenen realisierten Free-Cash-Flows leicht nachteilige realisierte Deadweight-Costs für den Fall mit Sicherung. Hintergrund dieser Beobachtung ist, dass der realisierte Free-Cash-Flow ohne Sicherung näher am ursprünglich erwarteten Free-Cash-Flow in Höhe von 85,54 US-Dollar pro Barrel liegt, woraus im Fall ohne Sicherung geringere DWC resultieren.

Unter Berücksichtigung des realisierten Free-Cash-Flows sowie der realisierten Deadweight-Costs beträgt der skalierte realisierte Deadweight-Cost-Cash-Flow bei Nutzung des optimalen Sicherungsgeschäftes somit 95,22 US-Dollar pro Barrel. Der Referenzwert ohne Sicherung liegt bei 85,89 US-Dollar pro Barrel. Somit wird bezüglich der zu maximierenden Größe des Deadweight-Cost-Cash-Flows durch den Abschluss der Sicherung ein Vorteil in Höhe von 9,33 US-Dollar pro Barrel generiert.

Eine Übersicht zu relevanten Realisierungen unter Berücksichtigung der ex-ante optimalen Sicherung sowie ohne Sicherung ist zudem in Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48 – Beispiel: Gewählte Sicherung vs. Keine Sicherung pro Barrel (ex-post)

Instrumenten-kombination	Treibstoffpreis in $\bar{T}_s$	$FCF_{DL,\bar{T}_s}^w$	$DWC_{DL,\bar{T}_s}^w$	$DWCCF_{DL,\bar{T}_s}^w$
Keine Sicherung	129,02	86,65	0,76	85,89
Swap	115,39 (für SG : 90%)	96,46	1,24	95,22

Die Tabelle bietet für das vorgestellte Beispiel mit *Delta Air Lines* für den Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011 und den Erfüllungszeitraum Januar 2012 eine ex-post Analyse über die Realisierungen verschiedener Kennziffern. Verglichen werden die ex-post Realisierungen für den Fall *Keine Sicherung* sowie die ex-post Realisierungen bei Abschluss des ex-ante optimalen Sicherungsgeschäfts (hier: Swap). Es ist ein Zielsicherungsgrad von 90% unterstellt. Werte sind in der Einheit US-Dollar pro gesichertem Barrel Kerosin dargestellt. Der Abschluss von *Keine Sicherung* ist im Beispiel aufgrund der Restriktionen aus Sicherungszielen sowie Risikobereitschaft nicht möglich. Die Ergebnisse werden lediglich als Referenzwerte vorgestellt.

⁸⁷⁹ Der zugehörige Free-Cash-Flow vor Steuern liegt bei 120,58 US-Dollar pro Barrel. Auf diesen werden gemäß Standardeinstellungen des Modells Steuern in Höhe von 20% fällig.

Anhang A XIII. b) Hintergrund: Kapitel 7.1.2 (Ex-post Analyse optimaler Sicherungsstrategien) – Beispiel zur ex-ante sowie zur ex-post Auswertung eines Simulations-laufs

Nachdem in Kapitel 7.1.1.3 im Hauptteil der Arbeit detailliert vorgestellt wurde, wie im Rahmen einer Simulation aus Sicht eines Entscheidungszeitpunktes das optimale Geschäft für einen Erfüllungszeitraum bestimmt wird, stellt dieses Kapitel dar, wie Ergebnisse im Rahmen eines kompletten Simulationslaufs von OPTA erzeugt und ausgewertet werden. Aus Vereinfachungs- und Übersichtlichkeitsgründen wird für die folgenden Beispieldarstellungen festgelegt, dass der Beispielsimulationslauf lediglich Sicherungen für Entscheidungszeiträume ($\bar{T}_s$) zwischen Januar 2012 und Dezember 2012 umfassen soll. Gemäß der im Hauptteil der Arbeit eingeführten Nomenklatur gilt somit, dass $s = 1$ dem Januar 2012 und $s = S$ dem Dezember 2012 zugeordnet wird.⁸⁸⁰

1. Übersicht und Analyse der ex-ante ermittelten Optima (gesamter Simulationslauf)

Gemäß der in Tabelle 14 sowie Tabelle 15 (siehe: Kapitel 7.1.1.3) festgelegten Rahmenbedingungen für den Simulationslauf werden Sicherungen im Beispiel ab 24 Monate (*maximaler Sicherungshorizont*) und bis sechs Monate (*Sicherungsende*) vor Beginn eines Erfüllungszeitraums einmal pro Monat (*Sicherungsfrequenz*) abgeschlossen. Demnach müssen durch OPTA im Beispiel 18 einzelne optimale Sicherungen je Erfüllungszeitraum gehandelt werden.

Ausgehend von der Einschränkung, dass Sicherungen im Beispiel lediglich für das Jahr 2012 betrachtet werden und unter Berücksichtigung der übergeordneten Sicherungsstruktur folgt, dass die Entscheidungszeitpunkte zum Handel von Sicherungen im Beispielsimulationslauf zwischen dem 15.01.2010 (frühester Handel für Januar 2012) und dem 15.05.2012 (spätester Handel für Dezember 2012) liegen. Beim Handel jedes einzelnen Sicherungsgeschäftes durchläuft OPTA den in Kapitel 7.1.1.3 detailliert vorgestellten Entscheidungspfad und berücksichtigt entsprechend der individuellen Ausgestaltung im jeweiligen Entscheidungszeitpunkt alle relevanten Nebenbedingungen und Restriktionen, die für die Beispielsimulation in Tabelle 16 exemplarisch festgehalten wurden. Es ist zu berücksichtigen, dass jegliche neu abzuschließende Sicherungen weiterhin im Rahmen der zweistufigen Optimierung betrachtet werden und dass für diese Optimierung immer lediglich die neu zu sichernde Teiltreibstoffmenge, für welche noch keine Sicherung existiert, Berücksichtigung findet. Bereits bestehende Sicherungen haben somit im Modell keinerlei Einfluss auf neue Sicherungen.

Insgesamt werden für den Beispielsimulationslauf 216 einzelne Simulationen (ergibt sich aus dem Produkt von 12 Erfüllungszeiträumen und 18 Sicherungen je Erfüllungszeitraum) durchgeführt. Die Rechenzeit zur Bestimmung der 216 Optima in *Wolfram Mathematica* beträgt in Summe knapp 178 Minuten. Tabelle 49 bietet eine Übersicht über die identifizierten optimalen Sicherungsgeschäfte je Erfüllungszeitraum. Tabelle 78 im Anhang B I bietet zudem eine Übersicht, welche auf die identischen Geschäfte als Datenbasis referenziert, jedoch abweichend nach dem Kriterium des Entscheidungszeitpunktes sortiert wurde.

Überraschenderweise wird im Beispiel teils das Instrument *Keine Sicherung* abgeschlossen, obwohl dieses Instrument gemäß der Darstellung in Tabelle 15 im Simulationslauf nicht zur Auswahl steht. Hintergrund dieser Entscheidung durch den Algorithmus sind

⁸⁸⁰ Diese enge Begrenzung des im Rahmen des Simulationslaufs betrachteten Zeitraums wird ausschließlich für das Beispiel gewählt. Abweichend dazu werden für Analysen im Hauptteil der Arbeit Simulationsläufe initial stets unter Berücksichtigung des gesamten verfügbaren historischen Zeitraums durchgeführt (max. 2007 bis 2019).

Einschränkungen der Instrumentenauswahl aufgrund der finanziellen Situation der Fluggesellschaft. Diese Einschränkungen wurden zuvor allgemein in Kapitel 6.4.1.2 eingeführt und in Tabelle 11 konkret dargestellt. Wie in Abbildung 59 im Anhang B II ersichtlich, lag die Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeit für *Delta Air Lines* für alle im Beispielsimulationslauf relevanten Entscheidungszeitpunkte über 0,52% p.a. Hieraus leiten sich für Sicherungen mit einer Laufzeit von mehr als zwölf Monaten gemäß Tabelle 11 teils Einschränkungen der verfügbaren Instrumentenkombinationen aus der finanziellen Situation ab. Die Anzahl der Sicherungen, die – entgegen den initialen Vorgaben aus der übergeordneten Sicherungsstruktur – zwangsweise aufgrund der Einschränkungen aus der finanziellen Situation abgeschlossen werden, sind in Tabelle 49 mit der Abkürzung *FNB* gekennzeichnet. Dieses Ausweichvorgehen, das sich an dem Vorgehen von realen Fluggesellschaften in der Praxis orientiert, wurde in Kapitel 6.5.1 im Hauptteil der Arbeit eingeführt und erläutert.⁸⁸¹

Tabelle 49 – Beispiel: Instrumentenkombinationen je Erfüllungszeitraum

Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$	Anzahl: Keine Sicherung	Anzahl: Swap	Anzahl: Collar	Anzahl: 3-Way PS	Summe
Januar 2012	2 (davon 2 FNB)	13	3	0	18
Februar 2012	1 (davon 1 FNB)	13	4	0	18
März 2012	1 (davon 1 FNB)	12	5	0	18
April 2012	1 (davon 1 FNB)	17	0	0	18
Mai 2012	1 (davon 1 FNB)	17	0	0	18
Juni 2012	1 (davon 1 FNB)	17	0	0	18
Juli 2012	2 (davon 2 FNB)	15	1	0	18
August 2012	1 (davon 1 FNB)	11	6	0	18
September 2012	1 (davon 1 FNB)	5	12	0	18
Oktober 2012	1 (davon 1 FNB)	5	11	1	18
November 2012	1 (davon 1 FNB)	3	13	1	18
Dezember 2012	1 (davon 1 FNB)	4	10	3	18
<i>Summe</i>	<i>14 (davon 14 FNB)</i>	<i>132</i>	<i>65</i>	<i>5</i>	<i>216</i>

Die Tabelle zeigt für das Beispiel mit *Delta Air Lines* für alle relevanten Erfüllungszeiträume die durch OPTA identifizierten optimalen Derivatekombinationen. Sicherungen, die zwangsweise aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden, aber gegen gültige Nebenbedingungen gemäß Tabelle 15 verstoßen, sind mit der Abkürzung *FNB* markiert (siehe: Kapitel 6.5.1). Eine identische Tabelle mit Sortierung anhand des Kriteriums Entscheidungszeitpunkt findet sich als Tabelle 78 im Anhang B I.

In Tabelle 79 im Anhang B I findet sich zudem eine tabellarische Übersicht, welche für den Beispielsimulationslauf unter Rückgriff auf die identifizierten 216 Derivatekombinationen für verschiedene Parameter durchschnittliche Erwartungswerte je Erfüllungszeitraum darstellt. In dieser Tabelle finden sich für das Beispiel auch diejenigen durchschnittlichen DWCCF-Erwartungswertdifferenzen je Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (hier: ein Kalendermonat), die im Hauptteil der Arbeit in (7.1) als $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ definiert werden. Darüber hinaus

⁸⁸¹ Wie in Kapitel 6.5.1 diskutiert, schließt OPTA im Fall einer erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeit zunächst das beste Geschäft ab, welches trotz der Restriktionen aus der finanziellen Situation handelbar und gemäß der Instrumentenauswahl in Tabelle 15 verfügbar ist. Sofern kein solches Geschäft handelbar ist, wird die Instrumentenauswahl – auch bei Nicht-Konformität mit den Restriktionen aus nachrangigen Sicherungszielen – auf diejenigen Instrumente erweitert, die gemäß der finanziellen Situation weiterhin zulässig sind. Findet sich unter diesen kein Instrument, bei dessen Handel sämtliche verbleibende Nebenbedingungen erfüllt sind, wird zwangsweise das Instrument *Keine Sicherung* gehandelt. Da im Beispiel aufgrund der Nicht-Bereitschaft zur Zahlung von Prämie weder der Long Call noch der Call Spread verfügbar sind, wählt OPTA daher teils die Alternative *Keine Sicherung*.

beinhaltet Tabelle 79 auch Informationen zu durchschnittlichen erwarteten Treibstoffpreisen, Free-Cash-Flows und Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$.

Unter Rückgriff auf Tabelle 79 kann darüber hinaus gezeigt werden, dass im Beispiel über alle zwölf betrachteten Monate hinweg pro gesichertem Barrel Kerosin (nach Diskontierung) im Vergleich zur Alternative der Nicht-Sicherung durchschnittlich vorteilhafte erwartete DWCCF in Höhe von 0,75 US-Dollar pro Barrel erzielt werden. Dieser durchschnittliche diskontierte Vorteil des gesamten Simulationslaufs entspricht der Kennziffer, die im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.1.5 als Parameter $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ definiert wird (siehe: (7.2)).

2. Ex-post Analyse der ex-ante ermittelten Optima (gesamter Simulationslauf)

Während im vorangegangenen Abschnitt zunächst über das aufgestellte Modell optimale Sicherungen für den gesamten Simulationslauf identifiziert wurden, wird im nächsten Schritt die ex-post Performance dieser Geschäfte evaluiert. Nur über eine solche Auswertung ist es möglich, die Praxistauglichkeit des aufgestellten Modells im Rahmen einer umfangreichen Simulationsstudie zu verifizieren.

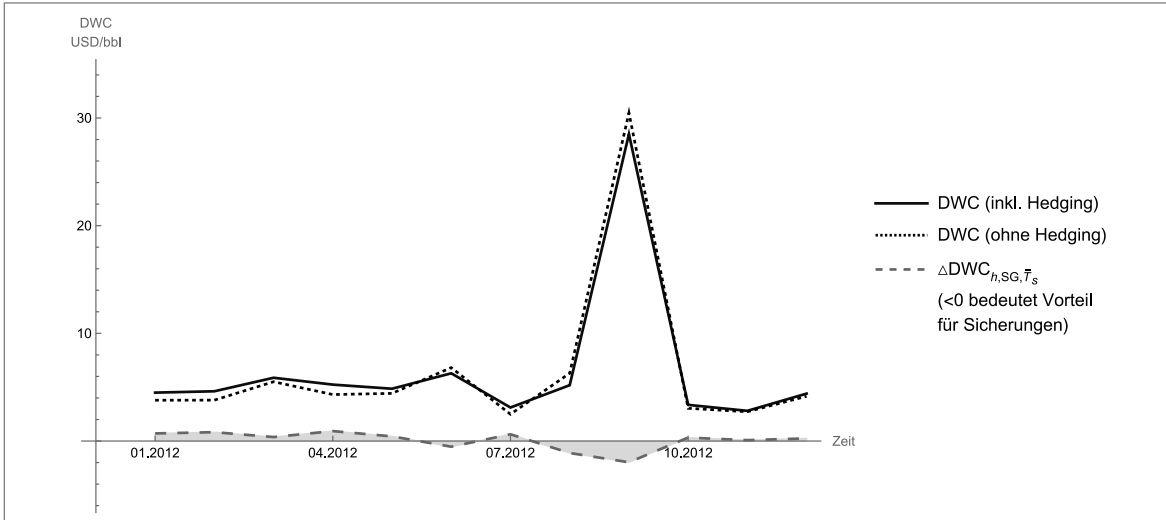
Das hierbei angewandte Analyseverfahren entspricht zunächst dem Vorgehen, welches für eine Simulation im Anhang A XIII. a) vorgestellt wurde. Unter Rückgriff auf die dort dargestellte Fünf-Schritte-Liste werden im Rahmen der ex-post Analyse zunächst pro Erfüllungszeitraum die Realisierungen der beiden Zufallsvariablen bestimmt. Anschließend werden die Auswirkungen dieser Realisierungen auf realisierte Free-Cash-Flows und Deadweight-Costs inklusive sowie exklusive Treibstoffpreissicherungen berechnet.

Zur Bestimmung der Realisierungen von $Fuel_{\bar{T}_s}$ sowie $PUOF_{i,\bar{T}_s}$ wird auf reale Ist-Daten zurückgegriffen. Die Realisierungen für alle zwölf betrachteten Erfüllungszeiträume sind in Tabelle 80 im Anhang B I in übersichtlicher Form dargestellt. Dort finden sich zudem die Realisierungen des Treibstoffpreises unter Berücksichtigung der Sicherungsergebnisse aller ex-ante optimalen Sicherungen. Im Beispiel wird ein Zielsicherungsgrad von 90% berücksichtigt.

Ausgehend von den Realisierungen der beiden Zufallsvariablen und unter Berücksichtigung der realisierten Sicherungsergebnisse können zunächst je einzelner Derivatekombination w die Realisierungen von $FCF_{i,\bar{T}_s}$, $DWC_{i,\bar{T}_s}$ und $DWCCF_{i,\bar{T}_s}$ berechnet werden. Zur Bestimmung der realisierten $DWC_{i,\bar{T}_s}$ wird jeweils auf die zugehörige DWC-Funktion aus dem Entscheidungszeitpunkt einer Sicherung zurückgegriffen. Anschließend werden, unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ gehandelten Derivatekombinationen, die durchschnittlichen Realisierungen von $FCF_{i,\bar{T}_s}$, $DWC_{i,\bar{T}_s}$ und $DWCCF_{i,\bar{T}_s}$ für jeden Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ berechnet. Die durchschnittlichen Realisierungen pro Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ für das Beispiel sind in Tabelle 80 dargestellt.

Zusammenfassend kann durch Rückgriff auf Tabelle 80 für den Beispielsimulationslauf gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des Zielsicherungsgrades von 90% durch die gewählte Sicherungsstrategie der Deadweight-Cost-Cash-Flow im Durchschnitt um 4,87 US-Dollar pro Barrel verbessert wird. Dieser durchschnittliche realisierte Vorteil des gesamten Simulationslaufes entspricht der Kennziffer, die im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.2.1 als Parameter $\Delta DWCCF_{h,SG}$ definiert wird (siehe: (7.4)).

Abbildung 38 veranschaulicht beispielhaft die durchschnittlichen Realisierungen von $DWC_{i,\bar{T}_s}$ je Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$. Ergänzend findet sich in Abbildung 73 im Anhang B II eine Darstellung der durchschnittlichen realisierten Treibstoffpreise sowie der durchschnittlichen realisierten Free-Cash-Flows mit sowie ohne Sicherung.

Abbildung 38 – Durchschnittliche realisierte DWC im Beispielsimulationslauf

Die Abbildung veranschaulicht die durchschnittlichen realisierten Deadweight-Costs im Jahr 2012 für den Beispielsimulationslauf (siehe: Tabelle 80). Die Grafik ist nach Erfüllungszeiträumen strukturiert. Beispielsweise entspricht der für Januar 2012 als „DWC (inkl. Hedging)“ dargestellte Wert dem arithmetischen Mittelwert der Deadweight-Costs-Realisierungen unter Berücksichtigung aller einzelnen Sicherungen für Januar 2012 sowie unter Berücksichtigung der jeweiligen DWC-Funktionen aus allen 18 Sicherungszeitpunkten. Zudem sind Referenzwerte unter Rückgriff auf identische DWC-Funktionen, aber ohne Sicherungen dargestellt („DWC (ohne Hedging)“). Die Delta-Betrachtung entspricht der Kennziffer $\Delta DW C_{h,SG,T_s}$, die gemäß (A XIII.3) definiert ist.

Anhang A XIII. c) Erläuterungen: Kapitel 7.1.2.1 (Beschreibung des ex-post Analyse-vorgehens)

Während im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.2.1 in den Formeln (7.3) und (7.4) lediglich für den Deadweight-Cost-Cash-Flow dargestellt ist, wie in der vorliegenden Arbeit durchschnittliche realisierte Differenzen zwischen bester Sicherung und Nicht-Sicherung ($\Delta DWCCF_{h,SG,T_s}$ sowie $\Delta DWCCF_{h,SG}$) ermittelt werden, finden sich nachfolgend die Formeln, welche zur Berechnung der entsprechenden durchschnittlichen Differenzen zwischen bester Sicherung und Nicht-Sicherung für den zu zahlenden Treibstoffpreis, den Free-Cash-Flow sowie die Deadweight-Costs genutzt werden.

Die Parameter $Fuel_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$, $FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ und $DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ beschreiben hierbei für Fall h unter Hinzuziehen des Sicherungsgrades SG die jeweiligen Realisierungen der genannten Parameter in der Periode $\bar{T}_s$ inklusive Berücksichtigung von Sicherung w , die in Zeitpunkt $T_{0,n}$ gehandelt wurde. Die zugehörigen Referenzwerte ohne Sicherung sind $Fuel_{\bar{T}_s}$, $FCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$ sowie $DWC_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$. Alle Werte sind auf US-Dollar pro Barrel skaliert. Wie zuvor bereits beschrieben, gilt, dass zur Bestimmung von Deadweight-Costs die Deadweight-Costs-Funktion berücksichtigt wird, die bei Abschluss von Sicherung w in Zeitpunkt $T_{0,n}$ aufgestellt wurde. Darüber hinaus sind die Anmerkungen zu den Formeln (7.3) und (7.4) im Hauptteil der Arbeit zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung aller Sicherungsgeschäfte w , die in einem Simulationslauf h mit identischem Zielsicherungsgrad SG zu verschiedenen Entscheidungszeitpunkten $T_{0,n}$ (mit: $n = 1, \dots, N$) für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (ein Kalendermonat) gehandelt wurden, lassen sich pro Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ die folgenden Kennziffern bestimmen (siehe auch: (7.3)):

Weitere Realisierungskennziffern pro Fall und Erfüllungszeitraum

$$\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Fuel_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s} - Fuel_{\bar{T}_s}) \quad (\text{A XIII.1})$$

$$\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s} - FCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.} \right) \quad (\text{A XIII.2})$$

$$\Delta DW C_{h,SG,\bar{T}_s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(DW C_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s} - DW C_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.} \right) \quad (\text{A XIII.3})$$

Äquivalent zu (7.4) für DWCCF können hiervon ausgehend aggregierte Kennziffern pro Fall h mit Zielsicherungsgrad SG bestimmt werden.

Weitere Realisierungskennziffern pro Fall

$$\Delta Fuel_{h,SG} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s} \quad (\text{A XIII.4})$$

$$\Delta FCF_{h,SG} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s} \quad (\text{A XIII.5})$$

$$\Delta DW C_{h,SG} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Delta DW C_{h,SG,\bar{T}_s} \quad (\text{A XIII.6})$$

Bezüglich der Parameter s und S gelten die Anmerkungen im Hauptteil der Arbeit.

Anhang A XIII. d) Erläuterungen: Kapitel 7.1.3 (Übergeordnete Analyse erwarteter und realisierter DWCCF)

Bei der Interpretation der im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.3 diskutierten Regressions-ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass dort ungeprüft angenommen wurde, dass das aufgestellte Regressionsmodell (siehe: (7.5)) Annahmen erfüllt, die es ermöglichen, die diskutierten Schlussfolgerungen zu ziehen. Damit dies möglich ist und damit die mittels der Regressionsanalyse erzielten Ergebnisse tatsächlich als Validierung des Modells angesehen werden können, muss daher zudem überprüft werden, ob das genutzte Regressionsmodell grundlegende Annahmen erfüllt und einhält. Diese Prüfung findet sich nachfolgend in diesem Kapitel. Zudem findet sich in diesem Kapitel auch die Prüfung der Effektstärken.

Im Kontext der Prüfung von Annahmen zum Aufstellen eines Regressionsmodells wurden zuvor in Kapitel 6.2.2.2 sowie im zugehörigen Anhang A X die in (6.4) bis (6.7) vorgestellten Gauss-Markov-Annahmen geprüft. Die für das Regressionsmodell in (7.5) zu prüfenden Annahmen unterscheiden sich aufgrund der Struktur des für die Regression genutzten Datensatzes (Querschnittsdatsatz) im Detail jedoch leicht von den zuvor in Kapitel 6.2.2.2 vorgestellten Gauss-Markov-Annahmen für Zeitreihendatsätze. Nachfolgend werden daher die in Wooldridge (2009) für Querschnittsdaten genannten Annahmen geprüft.⁸⁸² Für eine Diskussion zu den Detailunterschieden bezüglich der Annahmen für Querschnittsdaten und Zeitreihendaten wird auf die Darstellung in Wooldridge (2009) verwiesen.⁸⁸³

Als ein zu prüfendes Kriterium bei Querschnittsdaten nennt Wooldridge (2009), dass keine perfekte Multikollinearität zwischen erklärenden Variablen vorliegen darf.⁸⁸⁴ Die Nennung dieser Bedingung ist im vorliegenden Fall deshalb besonders erwähnenswert, weil beim Aufstellen des Regressionsmodells ein Modelldesign gewählt wurde, in welchem sowohl ein Achsenabschnitt als auch vier Dummy-Variablen für die vier betrachteten

⁸⁸² Wooldridge (2009) nennt für Querschnittsdaten fünf Gauss-Markov-Annahmen. Auf die detaillierte Prüfung der beiden Annahmen, welche er als MLR 1 (Linearität der Parameter) und MLR 2 (Zufallsauswahl) definiert, wird an dieser Stelle verzichtet. Diese werden als erfüllt angesehen. Nachfolgend werden die Annahmen MLR 3 (Kollinearität), MLR 4 (Erwartungswert der Störgrößen) und MLR 5 (Homoskedastizität) geprüft. Vgl. Wooldridge (2009): S. 104 f.

⁸⁸³ Querschnittsdaten: Wooldridge (2009): S. 84 ff. Zeitreihendaten: Wooldridge (2009): S. 345 ff.

⁸⁸⁴ Die Annahme wird in Wooldridge (2009) als MLR 3 definiert. Vgl. Wooldridge (2009): S. 85 f.

Fluggesellschaften untersucht werden. Würden die Dummy-Variablen in einem solchen Design nicht jeweils mit der erklärenden Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ multipliziert, würde im Regressionsmodell perfekte Multikollinearität vorliegen. In einem solchen Fall wäre die Matrix der erklärenden Variablen nicht mehr invertierbar, sodass keine Regressionskoeffizienten errechnet werden könnten. Durch den Rückgriff auf sogenannte *Interaction Terms*⁸⁸⁵ wird eine solche Nicht-Invertierbarkeit verhindert, sodass keine perfekte Multikollinearität vorliegt. Daher ist es auch weiterhin möglich, dass unverzerrte Regressionskoeffizienten existieren.⁸⁸⁶

Über die Problematik der perfekten Multikollinearität hinaus ist zu berücksichtigen, dass sowohl aufgrund des gewählten Modelldesigns als auch auf Basis der willentlich gewählten Zusammenhänge beim Aufstellen des Modells eine von null unterscheidbare Korrelation zwischen einzelnen erklärenden Variablen vorliegen kann. So wurde beispielsweise in den Kapiteln 6.4.2.2 sowie 6.4.2.3 festgelegt, dass ein Absenken der Risikobereitschaft (siehe: Tabelle 12) oder die Nennung des Ziels *Erhöhen der Planungssicherheit* (siehe: Kapitel 6.4.2.3) teilweise mit einer Erhöhung des Sicherungsgrades einhergehen. Um die Stärke der hierdurch erzeugten Zusammenhänge transparent zu quantifizieren, findet sich im Anhang B I in Tabelle 95 die Korrelationsmatrix aller erklärenden Variablen für den gesamten Untersuchungszeitraum.⁸⁸⁷ In dieser Korrelationsmatrix ist ersichtlich, dass – wie zu erwarten – moderate Korrelationen zwischen einzelnen erklärenden Variablen im Datensatz vorliegen. Das Extremum der beobachteten Korrelationskoeffizienten beträgt -0,58 (Korrelation zwischen dem *maximalen Sicherungshorizont* und dem *Interaction Term* für *United Airlines*). Hohe paarweise Korrelationen können ein Indiz für das Vorliegen von Multikollinearität im Modell darstellen. Sollte Multikollinearität vorliegen, könnte aus dieser primär eine Ungenauigkeit der Standardfehler der OLS-Schätzer resultieren, wodurch die Varianzen der Schätzer (zu) große Werte annehmen würden.⁸⁸⁸

Um vor diesem Hintergrund die erzielten Ergebnisse zusätzlich abzusichern, Verzerrungen durch Multikollinearität oder *nicht-berücksichtigte erklärende Variablen*⁸⁸⁹ zu vermeiden und die Erwartungstreue der ermittelten Schätzer zu plausibilisieren, werden zusätzlich abweichend Regressionsmodelle spezifiziert und zusätzliche Analysen durchgeführt.⁸⁹⁰

Zunächst wird ein angepasstes Regressionsmodell ohne Berücksichtigung der vier nachrangigen Sicherungsziele aufgestellt:

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen (Alternative 1)

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 \\ & * DL\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_5 \quad (\text{A XIII.7}) \\ & * Risiko_h + \beta_6 * Budget_h + \beta_7 * S.Ende_h + \beta_8 \\ & * S.Horizont_h + \beta_9 * SG_{h,SG} + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned}$$

⁸⁸⁵ Diese ergeben sich, da die vier fluggesellschaftsspezifischen Dummy-Variablen im Regressionsmodell mit der erklärenden Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ multipliziert werden. Siehe hierzu auch Fußnote 608 im Hauptteil der Arbeit.

⁸⁸⁶ Vgl. Wooldridge (2009): S. 85 f. Das Nicht-Vorliegen von perfekter Multikollinearität wird hier bereits dadurch belegt, dass alle Regressionskoeffizienten berechnet werden können. Würde perfekte Multikollinearität vorliegen, sodass die Matrix der erklärenden Variablen nicht invertierbar wäre, könnten mathematisch keine Ergebnisse bestimmt werden.

⁸⁸⁷ Exemplarisch nutzt auch Hackl (2013) in einem Beispiel die Korrelationsmatrix zur Prüfung auf Multikollinearität. Vgl. Hackl (2013): S. 180.

⁸⁸⁸ Vgl. Hackl (2013): S. 178 ff.; vgl. Rinne (2003): S. 616 ff.

⁸⁸⁹ Engl. *omitted variable bias*. Vgl. Wooldridge (2009): S. 345 ff.

⁸⁹⁰ Durch das testweise Ausschließen oder Hinzufügen einzelner erklärender Variablen lässt sich unter anderem prüfen, ob im Basismodell erzielte Ergebnisse durch Multikollinearität verzerrt sein könnten. Vgl. Rinne (2003): S. 616 f.

Des Weiteren wird ein Modell aufgestellt, in welchem neben $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ ausschließlich die nachrangigen Sicherungsziele als erklärende Variablen berücksichtigt werden:

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen (Alternativen 2)

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 \\ & * DL\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) \quad (A \text{ XIII.8}) \\ & + \beta_{10} * PrS\_dummy_h + \beta_{11} * PrV\_dummy_h + \beta_{12} \\ & * VV\_dummy_h + \beta_{13} * Plan\_dummy_h + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned}$$

Zudem werden drei weitere Regressionsmodelle aufgestellt, die jeweils auf die Berücksichtigung einer erklärenden Variable verzichten. Ausgeschlossen werden hierbei erklärende Variablen, für welche in der Korrelationsmatrix in Tabelle 95 die im Betrag ausgeprägtesten Korrelationskoeffizienten detektiert wurden. Diese sind: $Risiko_h$ (siehe: (A XIII.9)), $S.Ende_h$ (siehe: (A XIII.10)) sowie $S.Horizont_h$ (siehe: (A XIII.11)).⁸⁹¹

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen (Alternative 3)

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 \\ & * DL\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_6 \quad (A \text{ XIII.9}) \\ & * Budget_h + \beta_7 * S.Ende_h + \beta_8 * S.Horizont_h + \beta_9 * SG_{h,SG} \\ & + \beta_{10} * PrS\_dummy_h + \beta_{11} * PrV\_dummy_h + \beta_{12} \\ & * VV\_dummy_h + \beta_{13} * Plan\_dummy_h + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned}$$

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen (Alternative 4)

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 \\ & * DL\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_5 \quad (A \text{ XIII.10}) \\ & * Risiko_h + \beta_6 * Budget_h + \beta_8 * S.Horizont_h + \beta_9 * SG_{h,SG} \\ & + \beta_{10} * PrS\_dummy_h + \beta_{11} * PrV\_dummy_h + \beta_{12} \\ & * VV\_dummy_h + \beta_{13} * Plan\_dummy_h + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned}$$

Regressionsmodell zur ex-post Erklärung der DWCCF-Differenzen (Alternative 5)

$$\begin{aligned} \Delta DWCCF_{h,SG} = & \beta_0 + \beta_1 * AA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_2 \\ & * DL\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_3 * WN\_dummy_h \\ & * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_4 * UA\_dummy_h * \Delta E_{T_0}(DWCCF_h) + \beta_5 \quad (A \text{ XIII.11}) \\ & * Risiko_h + \beta_6 * Budget_h + \beta_7 * S.Ende_h + \beta_9 * SG_{h,SG} \\ & + \beta_{10} * PrS\_dummy_h + \beta_{11} * PrV\_dummy_h + \beta_{12} \\ & * VV\_dummy_h + \beta_{13} * Plan\_dummy_h + \varepsilon_{h,SG} \end{aligned}$$

Unter Nutzung dieser fünf alternativ spezifizierten Regressionsmodelle werden jeweils separate Regressionsanalysen für den gesamten Datensatz sowie für die beiden Teildatensätze

⁸⁹¹ Korrelationskoeffizienten gemäß Tabelle 95: (1) $Risiko_h$ und *Interaction Term* für UA : 0,49, (2) $S.Ende_h$ und *Interaction Term* für WN : -0,53 sowie (3) $S.Horizont_h$ und *Interaction Term* für UA : -0,58. Es ist jeweils einer der beiden paarweise korrelierten Parameter zu exkludieren. Demnach wäre es ebenso möglich, die *Interaction Terms* auszuschließen. Mit Blick auf das übergeordnete Ziel der Analyse, je Fluggesellschaft den Zusammenhang zwischen ex-ante und ex-post Einflüssen von Sicherungen auf DWCCF zu quantifizieren, wird es jedoch als sinnvoller erachtet, die *Interaction Terms*, welche diesen Zusammenhang je Fluggesellschaft beschreiben, dauerhaft in der Analyse zu berücksichtigen.

(Zeitraum 1 und Zeitraum 2) durchgeführt. Alle Analyseergebnisse bezüglich der alternativ spezifizierten Regressionsmodelle finden sich in Tabelle 96 bis Tabelle 98 im Anhang B I. Unter Rückgriff auf die dort vorgestellten Ergebnisse wird geschlussfolgert, dass das in (7.5) vorgestellte Regressionsmodell als bestmögliches Regressionsmodell zu betrachten ist, da nur bei gleichzeitigem Rückgriff auf alle darin enthaltenen erklärenden Variablen Verzerrungen durch *nicht-berücksichtigte erklärende Variablen*⁸⁹² vermieden werden können. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse der abweichenden Modelle, dass die ermittelten Schätzer für die vier im Fokus der Analyse stehenden Regressionskoeffizienten β_1 bis β_4 jeweils über alle Regressionsanalysen hinweg in ihrer absoluten Ausprägung überwiegend ähnlich sind⁸⁹³ und die beobachtete Signifikanz oder Nicht-Signifikanz stabil⁸⁹⁴ über die große Mehrzahl der Analysen hinweg vorliegt. Diese Beobachtungen unterstützen die Annahme, dass es sich um erwartungstreue Schätzer handelt.⁸⁹⁵

Des Weiteren wurde zuvor beim Aufstellen des Regressionsmodells im Hauptteil der Arbeit ungeprüft angenommen, dass es sich bei den errechneten OLS-Schätzern um die *besten linearen erwartungstreuen Schätzer* der Regressionskoeffizienten handelt. Um dies zu bestätigen, muss gemäß Wooldridge (2009) überprüft werden, ob der Erwartungswert der Störgrößen ($\varepsilon_{h,SG}$) einen bedingten Erwartungswert von null aufweist und ob im Modell Homoskedastizität vorliegt.⁸⁹⁶

Die Annahme zum Erwartungswert der Störgrößen entspricht – unter Vernachlässigung der Zeitkomponente – derjenigen Annahme, die zuvor im Rahmen der Gauss-Markov-Annahmen für Zeitreihendaten als (6.4) definiert wurde. Die Annahme besagt, dass der Erwartungswert der Störgröße, unabhängig von vorliegenden Regressoren, immer null sein muss. Zur Überprüfung dieser Annahme werden in den beiden ökonometrischen Grundlagenwerken Hackl (2013) sowie Wooldridge (2009) keine statistischen Standardtests für Querschnittsdaten aufgeführt.⁸⁹⁷ Um dennoch eine vollständige Prüfung aller notwendigen Gauss-Markov-Annahmen zu ermöglichen, wird für die Prüfung der Annahme, dass der Erwartungswert der Störgrößen einen bedingten Erwartungswert von null aufweist, hilfsweise abermals das Verfahren angewandt, welches zuvor bereits im Rahmen der Herleitung der Randverteilung von PUOF genutzt wurde (siehe: Anhang A X. d)). Zur Plausibilisierung der Erfüllung der Annahme werden beispielhaft die durch das Regressionsmodell errechneten Punktschätzer und die zugehörigen Residuen für den gesamten erfassten Zeitraum einander grafisch gegenübergestellt.⁸⁹⁸ Die erzeugte Darstellung findet sich in Abbildung 91 im Anhang B II. Wichtig ist bei der Analyse der Grafik, dass in diesem Schritt nur die Annahme

⁸⁹² Für Querschnittsdaten siehe: Wooldridge (2009): S. 89 ff.

⁸⁹³ Unter den 72 erfassten Koeffizienten (sechs Regressionsanalysen, drei Beobachtungszeiträume, vier Fluggesellschaften) findet sich bezüglich des Vorzeichens lediglich eine Abweichung: Zeitraum 2 (Tabelle 98) für β_3 (WN) abweichend positives Vorzeichen im Modell nach (A XIII.8). Bei den restlichen 71 Regressionskoeffizienten ist das Vorzeichen stets konsistent zur Beobachtung aus dem Standardmodell gemäß (7.5). Darüber hinaus deuten einzelne Abweichungen bezüglich der absoluten Ausprägungen von Schätzern auf Verzerrungen durch *nicht-berücksichtigte erklärende Variablen* in den Alternativmodellen hin. Als Extrembeispiel findet sich in Tabelle 98 für β_4 (UA) im Standardmodell gemäß (7.5) ein Wert von 19,99 und für das Alternativmodell nach (A XIII.8) ein Wert von 48,55. Die Erhöhung ist in diesem Fall auf die Nicht-Berücksichtigung der erklärenden Variablen für Risiko, Budget, Sicherungsende, -horizont und -grad zurückzuführen.

⁸⁹⁴ Unter den 72 erfassten Koeffizienten (sechs Regressionsanalysen, drei Beobachtungszeiträume, vier Fluggesellschaften) finden sich bezüglich der statistischen Signifikanz lediglich zwei insignifikante Ergebnisse: Zeitraum 1 (Tabelle 97) für β_3 (WN) keine statistische Signifikanz im Modell nach (A XIII.8). Zeitraum 2 (Tabelle 98) für β_3 (WN) keine statistische Signifikanz im Modell nach (A XIII.11). Für die restlichen 70 Regressionskoeffizienten liegen durchweg über alle aufgestellten Modelle statistisch signifikante Ergebnisse vor.

⁸⁹⁵ Vgl. Wooldridge (2009): S. 89 ff.

⁸⁹⁶ Vgl. Wooldridge (2009): S. 87 ff., 104 f.

⁸⁹⁷ Hackl (2013) stellt die Annahme in Kapitel 4.4 vor. Wooldridge (2009) setzt sich damit unter anderem in Kapitel 3.3 auseinander. Vgl. Hackl (2013): S. 69 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 87 ff.

⁸⁹⁸ Für Erläuterungen und Hintergründe zu diesem Vorgehen wird auf die Darstellung im Anhang A X. d) verwiesen.

plausibilisiert wird, dass der Erwartungswert der Residuen gleich null sein soll. Es wird nicht beurteilt, ob die Streuung der Residuen über den gesamten Prognosebereich konstant ist. Dies wird erst durch Prüfung der Homoskedastizitätsannahme geprüft, welche nachfolgend separat dargestellt ist.

Bezüglich der Prüfung der Annahme zum bedingten Erwartungswert der Störgrößen wird auf Basis der visuellen Analyse von Abbildung 91 geschlussfolgert, dass die Annahme, dass die Störgrößen ($\varepsilon_{h,SG}$) einen bedingten Erwartungswert von null aufweisen, als vertretbar und plausibel angesehen werden kann.⁸⁹⁹

Die Annahme des Vorliegens von Homoskedastizität entspricht inhaltlich derjenigen Annahme, die zuvor im Rahmen der Gauss-Markov-Annahmen für Zeitreihendaten als (6.5) definiert wurde. Zur Überprüfung der Annahme wird auch an dieser Stelle auf den *Breusch-Pagan-Test* zurückgegriffen. Mittels diesem wird für alle drei untersuchten Datensätze das Vorliegen von Heteroskedastizität im Datensatz mit hoher statistischer Signifikanz aufgezeigt.⁹⁰⁰ Gemäß dem Standardwerk Hackl (2013) ist das Auffinden von Heteroskedastizität jedoch typisch für die Untersuchung eines Querschnittsdatsatzes. Demnach deutet dieser Befund nicht notwendigerweise auf eine Fehlspezifikation des Modells hin und muss somit nicht zum Verwerfen oder zur Respezifizierung des Modells führen.⁹⁰¹ Im Fall des Vorliegens von Heteroskedastizität sind die ermittelten OLS-Schätzer ($\hat{\beta}$) weiterhin konsistent und erwartungstreu. Allerdings sind die über das Regressionsmodell ermittelten Schätzer für die Varianzen der Störgrößen verzerrt ($var(\hat{\beta})$), sodass bei Rückgriff auf diese ein nicht effizientes Schätzverfahren genutzt wird.⁹⁰² Vor diesem Hintergrund können die OLS-Schätzer weiterhin genutzt werden, es müssen jedoch alternative Standardfehler betrachtet werden, die über die beobachtete Verzerrung kontrollieren. Ein Standardvorgehen bei Vorliegen von Heteroskedastizität ist das Nutzen von heteroskedastie-robusten *White-Standardfehlern*.⁹⁰³ Aufgrund der im Modell vorliegenden Heteroskedastizität wurden daher *White-Standardfehler* bereits beim Berechnen der Ergebnisse für Tabelle 30 im Hauptteil der Arbeit berücksichtigt.⁹⁰⁴ Die angegebenen Signifikanzniveaus wurden ebenfalls bereits auf Basis der Berechnungen unter Berücksichtigung der *White-Standardfehler* bestimmt, sodass das Ziehen von statistisch gestützten Schlussfolgerungen (statistische Inferenz) trotz des Vorliegens von Heteroskedastizität möglich ist.

Aus der Einhaltung der vorgestellten Annahmen für Querschnittsdaten folgt demnach, dass die zuvor aus den Regressionsergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen in dieser Form gezogen werden können.

Um zu belegen, dass ein statistisches Modell für die zugrundeliegende praktische Anwendung Zusammenhänge identifiziert, die in ihrem Ausmaß auch in der Realität ökonomisch relevant sind, ist es zudem notwendig, neben der erfolgten Überprüfung auf statistische

⁸⁹⁹ Bei strenger Betrachtung lassen sich in Abbildung 91 gegebenenfalls für einzelne Intervalle des Punktschätzers positive oder negative Tendenzen bezüglich der Ausprägung des Residuums erahnen. Mit Blick auf den vergleichsweise kleinen Datensatz und unter Verweis darauf, dass in den beiden ökonometrischen Grundlagenwerken Hackl (2013) sowie Wooldridge (2009) keine Standardtests zur Überprüfung der Hypothese vorgestellt werden, sondern die Korrektheit der Annahme im Rahmen von Berechnungen vorausgesetzt wird, wird die im Fließtext getroffene Annahme als vertretbar angesehen.

⁹⁰⁰ Der p-Wert des *Breusch-Pagan-Tests* liegt in den Analysen für den gesamten Untersuchungszeitraum sowie für den zweiten Untersuchungszeitraum jeweils unter 0,01. Für den ersten Zeitraum liegt der p-Wert bei 0,05. Demnach kann für alle drei Analysen die Nullhypothese des Vorliegens von Homoskedastizität zum Signifikanzniveau 5% abgelehnt werden. Auch visuell lässt sich das Vorliegen von Heteroskedastizität beim Blick auf Abbildung 91 bereits erahnen.

⁹⁰¹ Vgl. Hackl (2013): S. 189 ff.

⁹⁰² Vgl. Hackl (2013): S. 191; vgl. Wooldridge (2009): S. 264 ff.

⁹⁰³ Vgl. Hackl (2013): S. 197 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 267.

⁹⁰⁴ Auch in Tabelle 96, Tabelle 97 sowie Tabelle 98 im Anhang B I wird beim Darstellen der alternativen Regressionsergebnisse bereits auf heteroskedastie-robuste *White-Standardfehler* zurückgegriffen.

Signifikanz auch die *ökonomische Signifikanz*⁹⁰⁵ zentraler Ergebnisse zu überprüfen. Wie bereits im Hauptteil dieser Arbeit kurz dargestellt, diskutieren unter anderem Wooldridge (2009) sowie Ellis (2010) den Unterschied zwischen statistischer und ökonomischer Signifikanz und erläutern, weshalb statisch signifikante Ergebnisse nicht gleichbedeutend mit einem ökonomisch relevanten Einfluss einer erklärenden Variable sein müssen.⁹⁰⁶

Während Wooldridge (2009) in seinen Erläuterungen den Fokus auf eine eher qualitative und pragmatische Art der Analyse legt, indem er beispielsweise eine logische Überprüfung des Vorzeichens und der Ausprägung aller Koeffizientenschätzer empfiehlt, nennt Ellis (2010) als quantitative Methode zur Analyse der ökonomischen Signifikanz unter anderem die Bestimmung der Effektstärke (engl. *effect size*). Während die Ausführungen zur ökonomischen Signifikanz im Hauptteil der vorliegenden Arbeit in Kapitel 7.1.3 eher qualitativer Natur sind und sich dabei an der von Wooldridge (2009) vorgestellten Herangehensweise orientieren, wird an dieser Stelle zusätzlich die quantitative Überprüfung der ökonomischen Signifikanz über die Messung der Effektstärke ergänzt.

Als Maß zur Quantifizierung der Effektstärke des gesamten Regressionsmodells nennt Ellis (2010) unter anderem die Bestimmtheitsmaße R^2 und $Adj. R^2$.⁹⁰⁷ Auf eine weiterführende Diskussion zur Ausgestaltung der beiden Bestimmtheitsmaße im Anwendungsfall wird an dieser Stelle mit Verweis auf die kurze Diskussion zu deren Ausgestaltung in Kapitel 7.1.3 allerdings verzichtet.

Als Maß zur Quantifizierung der Effektstärke einzelner erklärender Variablen in einem multivariaten Regressionsmodell nennt Ellis (2010) darüber hinaus Cohens f^2 .⁹⁰⁸ Diese Kennziffer quantifiziert die Effektstärke einer einzelnen erklärenden Variable, indem sie preisgibt, welchen Erklärungsgehalt ein multivariates Regressionsmodell durch das Exkludieren dieser einzelnen erklärenden Variable einbüßt.⁹⁰⁹

Zur Berechnung von Cohens f^2 wird zunächst jeweils das Bestimmtheitsmaß R^2 für ein Basis-Regressionsmodell errechnet. Zur eindeutigen Abgrenzung wird das Bestimmtheitsmaß des jeweiligen Basis-Regressionsmodells in diesem Kapitel fortan auch als R^2_{Basis} dargestellt. Anschließend wird das Basis-Regressionsmodell angepasst, indem eine einzelne erklärende Variable nicht mehr berücksichtigt wird. Für dieses alternativ spezifizierte Regressionsmodell wird nachfolgend ebenfalls das Bestimmtheitsmaß R^2 errechnet und mit dem Bestimmtheitsmaß des ursprünglichen Regressionsmodells verglichen. Zur klaren Abgrenzung wird das Bestimmtheitsmaß des alternativen Regressionsmodells nach Ausschluss einer einzelnen erklärenden Variable, deren Einfluss im ursprünglichen Basis-Regressionsmodell über den Regressionskoeffizienten β_i erfasst wurde, fortan als $R^2_{\beta_i}$ dargestellt.

Unter Rückgriff auf diese Definitionen kann Cohens f^2 für diejenige erklärende Variable, deren Einfluss auf die zu erklärende Variable im Basis-Regressionsmodell durch den Regressionskoeffizienten β_i ausgedrückt wird, allgemein bestimmt werden über:⁹¹⁰

⁹⁰⁵ Wie bereits in Fußnote 613 im Hauptteil der Arbeit dargestellt, nutzt Ellis (2010) als Synonym für ökonomische Signifikanz den Begriff *praktische Signifikanz*. Aus Vereinfachungsgründen wird im folgenden Abschnitt allerdings ausschließlich der Begriff ökonomische Signifikanz genutzt. Vgl. Ellis (2010): S. 3 ff.

⁹⁰⁶ Vgl. Ellis (2010): S. 3 ff.; vgl. Wooldridge (2009): S. 135 ff.

⁹⁰⁷ Vgl. Ellis (2010): S. 3 ff., 12, 14, 41; vgl. Wooldridge (2009): S. 135 ff.

⁹⁰⁸ Vgl. Ellis (2010): S. 12, 14, 41.

⁹⁰⁹ Vgl. Cohen (1988): S. 410 ff.; vgl. Ellis (2010): S. 12, 14, 41.

⁹¹⁰ Vgl. Cohen (1988): S. 410 ff.

Effektstärke: Cohens f^2

$$f_i^2 = \frac{R_{Basis}^2 - R_{\beta_i}^2}{1 - R_{Basis}^2} \quad (\text{A XIII.12})$$

Unter Rückgriff auf diese Formel ergeben sich gemäß Cohen (1988) folgende Intervalle zur Einordnung der Effektstärke einzelner erklärender Variablen:

Tabelle 50 – Effektstärke: Intervalle von Cohens f^2

Effektstärke: f^2 gemäß Cohen (1988)	Einordnung der Effektstärke gemäß Cohen (1988)
$0,35 \leq f^2$	Groß
$0,15 \leq f^2 < 0,35$	Mittel
$0,02 \leq f^2 < 0,15$	Gering
$f^2 < 0,02$	Keine

Die Tabelle ordnet Ausprägungen von Cohens f^2 vier Effektstärkenkategorien zu. Größen der Intervalle sowie Bezeichnungen der einzelnen Kategorien gemäß Cohen (1988). Die Berechnung von Cohens f^2 erfolgt gemäß (A XIII.12). Es ist zu berücksichtigen, dass auch eine „geringe“ Effektstärke auf einen messbaren und erkennbaren Einfluss hindeutet.⁹¹¹

Da im Rahmen der Analyse in Kapitel 7.1.3 federführend der Zusammenhang zwischen errechneten ex-ante Erwartungswertunterschieden und realisierten ex-post DWCCF-Differenzen für einzelne Fluggesellschaften untersucht wird, werden in diesem Kapitel nachfolgend auch ausschließlich die Effektstärken der entsprechenden vier erklärenden Variablen (zugehörige Regressionskoeffizienten: β_1 bis β_4) untersucht, indem die jeweiligen Werte für Cohens f_i^2 ermittelt werden. Im Einklang mit vorangegangenen Analysen werden die Kennziffern $R_{\beta_i}^2$ sowie f_i^2 zudem jeweils unter Rückgriff auf den gesamten Datensatz sowie separat unter Rückgriff auf Daten für Zeitraum 1 sowie Zeitraum 2 errechnet. Als Referenzwerte werden je Zeitraum die über das Regressionsmodell gemäß (7.5) errechneten und in Tabelle 30 dargestellten Bestimmtheitsmaße R^2 als R_{Basis}^2 berücksichtigt. Die über dieses Vorgehen ermittelten Bestimmtheitsmaße und Effektstärken finden sich in Tabelle 51.

Tabelle 51 – Effektstärke: Cohens f^2 für Ergebnisse des Regressionsmodells in (7.5)

Gesellschaft	Kennziffer	2007 - 2019	2007 – 2014	2015 - 2019
American Airlines	$R_{\beta_1}^2$ f_1^2	60,3% 0,70***	71,3% 0,61***	75,9% 0,06*
Delta Air Lines	$R_{\beta_2}^2$ f_2^2	69,7% 0,30**	75,5% 0,38***	72,5% 0,20**
Southwest Airlines	$R_{\beta_3}^2$ f_3^2	70,9% 0,25**	76,5% 0,32**	76,8% 0,02*
United Airlines	$R_{\beta_4}^2$ f_4^2	64,6% 0,52***	70,8% 0,64***	76,6% 0,03*

Die Tabelle stellt zentrale Ergebnisse zur Ermittlung der Effektstärken (gemessen über Cohens f^2) ausgewählter erklärender Variablen dar. Das Basis-Regressionsmodell findet sich in (7.5). Bestimmtheitsmaße des Basis-Regressionsmodells sind in Tabelle 30 zu finden. Genutzte Regressionsgleichungen unter Ausschluss einzelner erklärender Variablen sind nicht separat dargestellt. Die Herleitung aus (7.5) ist jedoch trivial. Werte für Cohens f^2 werden gemäß (A XIII.12) berechnet. Sofern ein Effekt über Cohens f^2 messbar ist, wird dargestellt, ob der Effekt der einzelnen erklärenden Variable gemäß der in Cohen (1988) festgelegten Ergebnisintervalle als hoch (***), mittel (**) oder gering (*) einzustufen ist. Für die Definition der Ergebnisintervalle wird auf Tabelle 50 verwiesen.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen übergeordnet, dass die erklärenden Variablen auch einen über Cohens f^2 quantifizierten ökonomisch signifikanten Einfluss auf die zu erklärende Variable ausüben. Es ist ersichtlich, dass die Effektstärke insbesondere bei Berücksichtigung

⁹¹¹ Vgl. Cohen (1988): S. 77 ff., 413 f.; vgl. Ellis (2010): S. 40 ff.

des gesamten Zeitraums sowie von Zeitraum 1 durchweg mittel bis hoch ist. Bei alleiniger Berücksichtigung von Zeitraum 2 befindet sich die Effektstärke gemäß der Definition in Cohen (1988) zwar lediglich im mittleren bis niedrigen Bereich, es finden sich aber auch für diesen Zeitraum durchweg eindeutige und messbare Effekte.

Anhang A XIV. Erläuterungen zu Kapitel 7.2**Anhang A XIV. a) Erläuterungen: Kapitel 7.2.1 (Methodik und die Berücksichtigung des Gesamtportfolios)**

Während im Hauptteil der Arbeit die zentralen Größen zur Bestimmung der Unternehmenswertdifferenz nur in sehr kurzer Form eingeführt wurden, findet sich an dieser Stelle eine ausführliche Herleitung inklusive der Vorstellung zentraler Hintergründe.

Wie im Hauptteil der Arbeit dargelegt, werden im Rahmen der Berechnung zunächst jeweils absolute Unternehmenswertdifferenzen in US-Dollar bestimmt. Diese werden in einem Zeitpunkt T_m durch die Variable $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ dargestellt. Für die Berechnung von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ im Zeitpunkt T_m werden zunächst für Fall h alle Derivatekombinationen w (mit: $w = 1, \dots, W$) identifiziert, für welche gilt: $T_{0,n} \leq T_m$ sowie $T_m < T_s$.⁹¹²

Wie ebenfalls im Hauptteil bereits kurz diskutiert, ist zudem zu beachten, dass in einem Zeitpunkt T_m für Derivate, die in einem Zeitpunkt $T_{0,n}$ (gilt für: $T_{0,n} < T_m$) gehandelt wurden, gilt, dass diese einen von null unterscheidbaren Einfluss auf den erwarteten FCF ausüben können (siehe: Fußnote 628). Beschreibt $FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ den FCF der Periode $\bar{T}_s$ unter Berücksichtigung von Sicherung w , die für Fall h in Zeitpunkt $T_{0,n}$ als optimale Sicherung für Periode $\bar{T}_s$ identifiziert wurde und berücksichtigt man lediglich ein Barrel als Einheit der Analyse, dann berechnet sich für die Periode $\bar{T}_s$ die FCF-Erwartungswertdifferenz für ein Barrel (neue Variable: $\Delta E_{T_m}(FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Barrel})$) gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung (FCF der Periode $\bar{T}_s$ ohne Sicherung: $FCF_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.}$) im Zeitpunkt T_m über:

Eine Sicherung: Skalierte Differenz erwarteter FCF (Stichtag)

$$\Delta E_{T_m}(FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Barrel}) = E_{T_m}(FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}) - E_{T_m}(FCF_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.}) \quad (\text{A XIV.1})$$

Zudem ist zu beachten, dass im Zeitpunkt $T_m > T_{0,n}$ zur korrekten Bewertung des Unternehmens nicht mehr die DWC-Funktionen aus den Entscheidungszeitpunkten ($T_{0,n}$) der bestehenden Sicherungsgeschäfte genutzt werden dürfen. Stattdessen müssen unter Berücksichtigung aller neu verfügbaren Informationen neue DWC-Funktionen aus Sicht des Zeitpunktes T_m bestimmt werden.

Beschreibt die Variable $DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ die DWC der Periode $\bar{T}_s$ unter Berücksichtigung von Sicherung w , die für Fall h bereits in Zeitpunkt $T_{0,n}$ als optimale Sicherung für Periode $\bar{T}_s$ identifiziert wurde, dann berechnet sich die DWC-Erwartungswertdifferenz für ein Barrel (neue Variable: $\Delta E_{T_m}(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Barrel})$) gegenüber der Alternative der Nicht-Sicherung (DWC der Periode $\bar{T}_s$ ohne Sicherung: $DWC_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.}$) im Zeitpunkt T_m über:

Eine Sicherung: Skalierte Differenz erwarteter DWC (Stichtag)

$$\Delta E_{T_m}(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Barrel}) = E_{T_m}(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}) - E_{T_m}(DWC_{h,\bar{T}_s}^{KeineSich.}) \quad (\text{A XIV.2})$$

Erwartungswertdifferenzen nach (A XIV.1) und (A XIV.2) werden in der Einheit US-Dollar pro Barrel berechnet. Beide Erwartungswerte werden unter Berücksichtigung aller in diesem

⁹¹² Es ist zu berücksichtigen, dass – wie im Hauptteil der Arbeit bereits dargestellt – an dieser Stelle $T_{0,n}$ allgemein den Entscheidungszeitpunkt einer gehandelten Sicherung w beschreibt. T_s erfasst allgemein das Ende eines zugehörigen Erfüllungszeitraumes $\bar{T}_s$. Für eine Sicherung w gilt $T_{0,n} < T_s$. T_m determiniert einen Stichtag zur Unternehmenswertermittlung.

Zeitpunkt vorliegenden Informationen unter Rückgriff auf eine in Zeitpunkt T_m aufgestellte DWC-Funktion berechnet. Die Nennung von Fall h im Index ist in beiden Formeln auch für die Referenzwerte ohne Sicherung von Relevanz, da der Index jeweils eindeutig determiniert, auf welche Fluggesellschaft sich eine Beobachtung bezieht. Es ist außerdem zu beachten, dass bei der Bestimmung von $E_{T_m}(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s})$ sowie von $E_{T_m}(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s})$ für jede Sicherung w bereits der Zielsicherungsgrad SG berücksichtigt wird.⁹¹³

Um $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ zu bestimmen, werden im nächsten Schritt diese Ergebnisse pro Barrel in absolute Werte in US-Dollar umgerechnet. Hierbei ist zu beachten, dass jede Sicherung w für Zeitraum $\bar{T}_s$ nur für einen Anteil der gesamten für Periode $\bar{T}_s$ geplanten Treibstoffmenge abgeschlossen wurde.⁹¹⁴ Für den absoluten Einfluss der einzelnen Derivatekombination w auf den Unternehmenswert gilt daher:

Eine Sicherungskombination: Absolute Differenz erwarteter DWCCF (Stichtag)

$$\begin{aligned} \Delta E_{T_m} \left(DWCCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right) \\ = \left(\Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right) - \Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right) \right) \quad (A \text{ XIV.3}) \\ * \left((MengeRelativ_{h,SG,\bar{T}_s} / SG_{h,SG}) * Treibstoffmenge_{h,\bar{T}_s} \right) \end{aligned}$$

Hierbei beschreibt die Variable $MengeRelativ_{h,SG,\bar{T}_s}$ (nach Berücksichtigung des Zielsicherungsgrades SG) die in Fall h pro Sicherungstermin für Zeitraum $\bar{T}_s$ zu handelnde Sicherungsmenge in Barrel. Die Variable wurde in Kapitel 4.2 eingeführt (siehe: Formel (4.1)). $Treibstoffmenge_{\bar{T}_s}$ beschreibt die gesamte für Zeitraum $\bar{T}_s$ auf Kontinentalverbindungen geplante Treibstoffmenge in Barrel. Die Variable wurde in Kapitel 5.1.2.2 eingeführt.

Anschließend werden zur Bestimmung der gesamten Erwartungswertdifferenz im Stichtag T_m die Erwartungswertdifferenzen aller in Zeitpunkt T_m im Bestand befindlichen Sicherungen w (mit: $w_1, \dots, W$) summiert und es wird $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ bestimmt.⁹¹⁵

⁹¹³ Dieses Vorgehen weicht von der Erwartungswertanalyse in Kapitel 7.1.1 ab. Zur Berechnung von $E_{T_m}(FCF)$ wird an dieser Stelle konkret auf die Berechnung gemäß (5.6) zurückgegriffen, wobei $HedgeResult_{i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, \mathbf{k}_w)$ im Rahmen der Erwartungswertbestimmung jeweils bereits mit dem relevanten Zielsicherungsgrad (SG) multipliziert wird. Da die DWC als Funktion von FCF definiert wurden (siehe: (5.9)), kann der Zielsicherungsgrad bei der Bestimmung von $E_{T_m}(DWC)$ durch Einfügen dieses vorgelagerten Rechenschritts in die Formel für $E_{T_m}(DWC)$ ebenfalls direkt berücksichtigt werden.

⁹¹⁴ Konkret bedeutet dies: Plant eine Gesellschaft für Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ einen Treibstoffverbrauch von 100 Barrel und sind zehn einzelne Sicherungen für diesen Zeitraum vorgesehen, dann werden die auf Barrel skalierten und den Zielsicherungsgrad bereits berücksichtigenden $\Delta E_{T_m}(FCF)$ und $\Delta E_{T_m}(DWC)$ für jede der zehn Derivatekombinationen w jeweils mit 10 Barrel multipliziert. Dies gilt unabhängig vom konkreten Zielsicherungsgrad SG des betrachteten Falles.

⁹¹⁵ Da für eine Periode $\bar{T}_s$ und einen Fall h der Erwartungswert der Summe der FCF inklusive aller Sicherungen w (mit: $w = 1 \dots W$) der Summe der Erwartungswerte der FCF inklusive dieser Sicherungen entspricht (Schema: $E_{T_m}(FCF_{w=1,\bar{T}_s}) + \dots + E_{T_m}(FCF_{w=W,\bar{T}_s}) = E_{T_m}(FCF_{w=1,\bar{T}_s} + \dots + FCF_{w=W,\bar{T}_s})$), ergeben sich aus dieser Methodik korrekte Werte für erwartete FCF. Für erwartete DWCCF gilt dieser Zusammenhang jedoch nicht, sodass aufgrund der genutzten Berechnungslogik leichte Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der erwarteten DWCCF für eine Periode $\bar{T}_s$ entstehen können (Schema: $E_{T_m}(DWCCF_{w=1,\bar{T}_s}) + \dots + E_{T_m}(DWCCF_{w=W,\bar{T}_s}) \neq E_{T_m}(DWCCF_{w=1,\bar{T}_s} + \dots + DWCCF_{w=W,\bar{T}_s})$). Der Grund für diese Beobachtung ist der nicht-lineare Zusammenhang zwischen erwarteten FCF und erwarteten DWC. Da der Erwartungswert einer Summe von DWCCF für eine Periode $\bar{T}_s$ unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller im Bestand befindlichen Derivate w (hier: $E_{T_m}(DWCCF_{w=1,\bar{T}_s} + \dots + DWCCF_{w=W,\bar{T}_s})$) innerhalb vertretbarer zeitlicher Grenzen bei Rückgriff auf das genutzte System nicht berechenbar ist, wird die in (A XIV.4) dargestellte approximative Lösung allerdings als akzeptabel erachtet. Es wird angenommen, dass resultierende Ungenauigkeiten im Kontext der übergeordneten Fragestellung dieser Arbeit so gering sind, dass diese keinen relevanten Einfluss auf nachfolgend gezogene Schlussfolgerungen ausüben. Für weitere Informationen und Hintergründe siehe auch: Anhang A VI sowie die Anmerkungen zur alternativen Herleitung im Anhang A XIV. b).

Absolute Wertänderung durch Hedging

$$\Delta Vabs_{h,SG,T_m} = \sum_{w=1}^W \left(\frac{\Delta E_{T_m} \left(DWCCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right)}{(1 + WACC_{i,T_m})^{T_s - T_m}} \right) \quad (\text{A XIV.4})$$

Die Erwartungswertdifferenz des DWCCF je Sicherung w wird unter Nutzung von $WACC_{i,T_m}$ jeweils auf den Stichtag T_m diskontiert.⁹¹⁶ Hierbei ordnet Index i die jeweilige Beobachtung einer Fluggesellschaft zu. Da ein Fall h sich stets eindeutig auf eine Gesellschaft i bezieht, wird bei anderen Variablen auf die Nennung von i verzichtet. Aus der Summe aller diskontierten DWCCF-Erwartungswertdifferenzen wird schließlich die absolute Differenz des Unternehmenswertes für Fall h in Zeitpunkt T_m errechnet.⁹¹⁷

Darüber hinaus lassen sich $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ (sowie die im Hauptteil der Arbeit eingeführte Variable $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$) alternativ auch als Summe der Einflüsse aus Free-Cash-Flows ($\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$) und Deadweight-Costs ($\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$) berechnen. Die Darstellung hierzu findet sich separat im nachfolgenden Anhang A XIV. b). Dort werden auch die vier Variablen zur Beschreibung der partiellen FCF- und DWC-Einflüsse ($\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$ sowie $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$) definiert.

Anhang A XIV. b) Alternative Herleitung: Kapitel 7.2.1 (Methodik und die Berücksichtigung des Gesamtportfolios)

Im vorangegangenen Anhang A XIV. a) wurde die Variable $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ hergeleitet und definiert. Im Rahmen der Herleitung wurde in (A XIV.3) $E_{T_m} \left(DWCCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$ aus der Differenz zwischen $\Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right)$ und $\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right)$ berechnet. An dieser Stelle werden alternative Zwischenschritte zur Bestimmung von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ vorgestellt.

Gemäß Distributivgesetz ist es alternativ möglich, zunächst absolute Werte für die aus einer einzelnen Sicherung w resultierenden Erwartungswertdifferenzen bezüglich der erwarteten Free-Cash-Flows sowie bezüglich der erwarteten Deadweight-Costs zu ermitteln. Hierfür wird auf die skalierten Darstellungen aus (A XIV.1) (Free-Cash-Flow) sowie aus (A XIV.2) (Deadweight-Costs) zurückgegriffen.

Für die absolute Unternehmenswertdifferenz, welche im Zeitpunkt T_m aus erwarteten Free-Cash-Flows der Sicherung w resultiert, gilt demnach:

Eine Sicherung: Absolute Differenz erwarteter FCFs (Stichtag)

$$\begin{aligned} \Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right) \\ = \Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right) \\ * \left((MengeRelativ_{h,SG,\bar{T}_s} / SG_{h,SG}) * Treibstoffmenge_{h,\bar{T}_s} \right) \end{aligned} \quad (\text{A XIV.5})$$

Für die Unternehmenswertdifferenz aus Deadweight-Costs gilt gleichfalls:

⁹¹⁶ Der WACC ist unabhängig vom individuellen Fall h je Gesellschaft i definiert. Siehe: Kapitel 6.1.2.3.

⁹¹⁷ Siehe hierzu auch Darstellung in Kapitel 5.3.1 sowie dort (5.13).

Eine Sicherung: Absolute Differenz erwarteter DWCs (Stichtag)

$$\begin{aligned} \Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right) \\ = \Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right) \\ * \left((MengeRelativ_{h,SG,\bar{T}_s} / SG_{h,SG}) * Treibstoffmenge_{h,\bar{T}_s} \right) \end{aligned} \quad (A \text{ XIV.6})$$

Somit lässt sich die aus einer Sicherung w resultierende absolute Unternehmenswertdifferenz auf die Einflüsse aus FCF sowie aus DWC aufteilen.

Es wird festgelegt, dass die Variable $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ den Teil der absoluten Unternehmenswertdifferenz im Zeitpunkt T_m beschreibt, welcher auf unterschiedliche erwartete FCF zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung zurückzuführen ist. Die Variable $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ beschreibt denjenigen Anteil der absoluten Unternehmenswertdifferenz im Zeitpunkt T_m , welcher auf unterschiedliche erwartete DWC zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung zurückzuführen ist. Angelehnt an (A XIV.4) gilt zur Ermittlung der beiden anteiligen Unternehmenswertdifferenzen, die aus allen im Zeitpunkt T_m im Bestand befindlichen Derivatekombinationen w (mit: $w_1, \dots, W$) resultieren, demnach:⁹¹⁸

Anteile absolute Wertänderung aus FCF / DWC durch Hedging

$$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF} = \sum_{w=1}^W \left(\frac{\Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right)}{(1 + WACC_{i,T_m})^{T_s - T_m}} \right) \quad (A \text{ XIV.7})$$

$$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC} = \sum_{w=1}^W \left(\frac{\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Absolut} \right)}{(1 + WACC_{i,T_m})^{T_s - T_m}} \right) * (-1) \quad (A \text{ XIV.8})$$

Für weitere Erläuterungen zu den beiden Formeln und zu den Bedeutungen aller genutzten Indizes wird auf die Erläuterungen zu (A XIV.4) im Anhang A XIV. a) verwiesen. Folglich lässt sich $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ im Rahmen der festgelegten Berechnungslogik alternativ auch berechnen über:

Absolute Wertänderung durch Hedging (Alternativdarstellung)

$$\Delta Vabs_{h,SG,T_m} = \Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF} + \Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC} \quad (A \text{ XIV.9})$$

Unter Berücksichtigung der Darstellungen im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.2.1 sowie im Anhang A XIV. a) kann demnach auch definiert werden:

Anteile relative Wertänderung aus FCF / DWC durch Hedging (Entity-Value-Ansatz)

$$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF} = \frac{\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}}{V_{i,T_m} * KontRatio_{i,T_m}} \quad (A \text{ XIV.10})$$

⁹¹⁸ Unter Verweis auf die Erläuterungen in Fußnote 915 im Anhang A XIV. a) ist bei den separaten Darstellungen für FCF und DWC zu berücksichtigen, dass für FCF über die Darstellung in (A XIV.7) korrekte Werte ermittelt werden. Es gilt: $E_{T_m}(FCF_{w=1,\bar{T}_s}) + \dots + E_{T_m}(FCF_{w=W,\bar{T}_s}) = E_{T_m}(FCF_{w=1,\bar{T}_s} + \dots + FCF_{w=W,\bar{T}_s})$. Da für erwartete DWC jedoch gilt: $E_{T_m}(DWC_{w=1,\bar{T}_s}) + \dots + E_{T_m}(DWC_{w=W,\bar{T}_s}) \neq E_{T_m}(DWC_{w=1,\bar{T}_s} + \dots + DWC_{w=W,\bar{T}_s})$, entstehen bei Rückgriff auf (A XIV.8) leichte Ungenauigkeiten. Wie bereits in Fußnote 915 erläutert, wird die dargestellte approximative Lösung unter Verweis auf die relevanten Systemgrenzen jedoch als akzeptabel erachtet. Für weitere Hintergründe siehe: Fußnote 915.

$$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC} = \frac{\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}}{V_{i,T_m} * KontRatio_{i,T_m}} \quad (A\ XIV.11)$$

Somit kann als alternative Darstellungsform von (7.6) auch genutzt werden:

Relative Wertänderung durch Hedging (Entity-Value-Ansatz - Alternativdarstellung)

$$\Delta Vrel_{h,SG,T_m} = \Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF} + \Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC} \quad (A\ XIV.12)$$

Anhang A XIV. c) Erläuterungen: Kapitel 7.2.2 (Ausgewählte Fälle und betrachteter Zeitraum)

Wie im Hauptteil der Arbeit dargestellt, werden $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ und $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ jeweils zum Ende eines jeden Quartals bestimmt. Um Verzerrungen aus unvollständigen Sicherungsportfolien zu Beginn und am Ende analysierter Zeitreihen zu vermeiden, wurde außerdem festgelegt, dass im Rahmen von Analysen jeweils nur solche Stichtage berücksichtigt werden, an welchen das Sicherungsportfolio mehr als 50% der Sicherungen im Bestand hat, die bei vollständiger Regelsicherung im konkreten Fall h zu erwarten wären. Der Mechanismus zur Beschreibung dieser 50%-Hürde wird nachfolgend anhand eines Beispiels veranschaulicht: Exemplarisch befinden sich für Fall 94 (*United Airlines*, siehe: Tabelle 84) beim gewählten Sicherungsende von sechs Monaten und dem maximalen Sicherungshorizont von 18 Monaten an einem Stichtag bei vollständiger Regelsicherung im Normalfall 150 Sicherungen im Bestand. Dies ergibt sich daraus, dass (1) der Handel in dem Monat, in welchem sich der Stichtag befindet, bereits stattgefunden hat und dass (2) zudem unterstellt wird, dass die Derivate zur Sicherung des Monats, in welchem sich der Stichtag befindet, bereits abgerechnet wurden (siehe: Kapitel 7.2.2). Demnach befinden sich für die zeitlich auf den Stichtag folgenden sieben Monate jeweils zwölf Sicherungen im Bestand (siehe: Kapitel 4.2.1 sowie dort Abbildung 10). Außerdem befinden sich für einen Monat elf Sicherungen im Bestand, für einen Monat zehn Sicherungen, für einen Monat neun Sicherungen und so weiter. Hieraus ergibt sich eine Summe von insgesamt 150 Sicherungen.⁹¹⁹ In der Simulationsstudie werden Sicherungen für *United Airlines* ab dem 15.03.2010 abgeschlossen (siehe: Tabelle 13). Da in Kapitel 7.2 jeweils Quartalsenden als Stichtage berücksichtigt werden, wird vor dem ersten relevanten Stichtag, dem 31.03.2010, jeweils nur eine Sicherung je Terminmonat durch den Algorithmus gehandelt. Da sich somit in diesem Fall per 31.03.2010 nur zwölf Sicherungen im Bestand befinden, wird dieser Stichtag bei der Unternehmenswertanalyse nicht betrachtet. Bis zum nächsten Quartalsende vergehen drei Monate, sodass in Summe 36 neue Sicherungen gehandelt werden können (hier: 3 Entscheidungszeitpunkte mit jeweils 12 Sicherungen je Entscheidungszeitpunkt). Per 30.06.2010 befinden sich somit 48 Sicherungen im Bestand, weshalb dieser Stichtag ebenfalls nicht berücksichtigt wird. Am 30.09.2010 befinden sich hingegen 84 (Kriterium: $84 > (150 * 50\%)$) Sicherungen im Bestand, sodass dieser Stichtag berücksichtigt wird. Entsprechend der gewählten Nomenklatur gilt in diesem Fall, dass der Stichtag T_1 dem 30.09.2010 entspricht. Gleichfalls gilt im Beispiel, dass per 28.06.2019 (72 Sicherungen) sowie per 30.09.2019 (36 Sicherungen) ebenfalls zu wenige Sicherungen im Bestand der Gesellschaft sind, sodass auch diese Stichtage im Rahmen der Analyse nicht beachtet werden. Der letzte Stichtag im Beispiel ist der 29.03.2019, weshalb entsprechend der gewählten Nomenklatur in diesem Fall gilt, dass der Stichtag T_M dem 29.03.2019 (letzter Börsenhandelstag des ersten Quartals 2019) entspricht.

⁹¹⁹ Die aktive Wahl von *Keine Sicherung* wird hierbei berücksichtigt.

Anhang A XIV. d) Erläuterungen: Kapitel 7.2.3 (Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse)

An dieser Stelle werden die Variablen $\Delta Vabs_{h,SG}$, $\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ sowie $\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$ und $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$ definiert. Diese erfassen jeweils pro Fall h den arithmetischen Mittelwert der Ausprägungen einer Variable für alle relevanten Stichtage T_m (mit: $m = 1, \dots, M$). Unter Rückgriff auf die Darstellung in Kapitel 7.2.3 sowie unter Verweis auf die entsprechende Formel für $\Delta Vrel_{h,SG}$ in (7.7) im Hauptteil der Arbeit gilt demnach:

Durchschnittliche absolute Unternehmenswertdifferenzen je Fall

$$\Delta Vabs_{h,SG} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vabs_{h,SG,T_m}) \quad (\text{A XIV.13})$$

Durchschnittliche relative und absolute erwartete FCF-Differenzen je Fall

$$\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}) \quad (\text{A XIV.14})$$

$$\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}) \quad (\text{A XIV.15})$$

Durchschnittliche relative und absolute erwartete DWC-Differenzen je Fall

$$\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}) \quad (\text{A XIV.16})$$

$$\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}) \quad (\text{A XIV.17})$$

Anhang A XIV. e) Erläuterungen: Kapitel 7.2.3.1 (Relative Unternehmenswertdifferenzen)

Auch bezüglich der Einflüsse der beiden Komponenten ($\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$), welche in Summe die relative Unternehmenswertdifferenz determinieren, können interessante Beobachtungen vorgestellt werden. Alle zugehörigen Ergebnisse, welche die Basis der folgenden Diskussion bilden, finden sich in Tabelle 52 sowie in Tabelle 99 im Anhang B I. Zudem wird auf die Herleitungen und Definitionen der einzelnen Variablen im Anhang A XIV. b) sowie im Anhang A XIV. d) verwiesen. Für die Interpretation der in Tabelle 52 dargestellten Ergebnisse wird auch auf die kurze allgemeine Erläuterung im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.2.3.1 verwiesen.

Berücksichtigt man ausschließlich erwartete Free-Cash-Flows ($\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$), ergeben sich bei Berücksichtigung des gesamten Zeitraums in elf von 16 Fällen (Quote: 69%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen relative Vorteile (siehe: Tabelle 52). Die Höhe von $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 0,83% (Fall 2 – *American Airlines*) und -0,71% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im Durchschnitt der 16 betrachteten Fälle ergibt sich bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ über den gesamten Untersuchungszeitraum ein geringer relativer Vorteil aus Sicherungen in Höhe von 0,16%. Schließt man mit Blick auf die zugehörige Diskussion im Hauptteil der Arbeit die Beobachtungen für *Delta Air Lines* aus, erhöht sich dieser Vorteil auf 0,26% (siehe: Tabelle 99).

Bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 1 beziehungsweise Zeitraum 2 finden sich bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ Vorteile aus Sicherungen in 13 (Zeitraum 1, Quote: 81%) sowie in null (Zeitraum 2) Fällen. Die Höhe der durchschnittlichen $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ im ersten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 1,63% (Fall 2 – *American Airlines*) und -0,17% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im zweiten Untersuchungszeitraum variiert der durchschnittliche Nachteil zwischen -0,04% (Fall 19 – *American Airlines*) und -1,63% (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Während im ersten Zeitraum über die 16 Fälle hinweg im Durchschnitt ein Vorteil aus Sicherungen von 0,58% vorliegt, ergibt sich in Zeitraum 2 ein durchschnittlicher Nachteil von -0,51%. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, ergeben sich Werte von 0,67% (Zeitraum 1) und -0,36% (Zeitraum 2).

Tabelle 52 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung III

Kennziffer	Zeitraum	# Fälle Vorteil Sicherung / # Fälle Nachteil Sicherung				
		AA	DL	WN	UA	Gesamt
$\Delta Vrel_{h,SG}$	2007-2019	Vorteil: 4 / Nachteil: 0	2 / 2	4 / 0	4 / 0	14 / 2
	2007-2014	4 / 0	3 / 1	4 / 0	4 / 0	15 / 1
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$	Extrema	4 / 0	4 / 0	4 / 0	4 / 0	16 / 0
$\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$	2007-2019	4 / 0	2 / 2	1 / 3	4 / 0	11 / 5
	2007-2014	4 / 0	3 / 1	2 / 2	4 / 0	13 / 3
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$	Extrema	4 / 0	4 / 0	3 / 1	4 / 0	15 / 1
$\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$	2007-2019	4 / 0	3 / 1	4 / 0	4 / 0	15 / 1
	2007-2014	4 / 0	4 / 0	4 / 0	4 / 0	16 / 0
	2015-2019	1 / 3	0 / 3	0 / 2	0 / 1	1 / 9
$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$	Extrema	4 / 0	4 / 0	4 / 0	4 / 0	16 / 0

Die Tabelle gibt an erster Stelle je Zeile an, in wie vielen Fällen bezüglich der dargestellten Kennziffer ein Vorteil aus Sicherungen vorliegt. Nach dem Zeichen „/“ ist dargestellt, in wie vielen Fällen ein Nachteil aus Sicherungen vorliegt. Vorteile der Sicherung bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}$ ergeben sich aus $\Delta Vrel_{h,SG} > 0$. Nachteile ergeben sich aus $\Delta Vrel_{h,SG} < 0$. Dies gilt gleichfalls für $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$ sowie $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$. Für |Extrema| werden die Beträge des maximalen Vor- sowie Nachteils an einem Stichtag ($\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$, $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$ und $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$) je Fall h miteinander verglichen. Je Fluggesellschaft werden vier Fälle untersucht. Sofern die hier dargestellte Summe aus der Anzahl von Vor- und Nachteilen teils kleiner als vier ist, liegt teils eine Differenz von null vor. Im Hauptteil der Arbeit findet sich in Tabelle 32 die gekürzte Darstellung dieser Tabelle. In Tabelle 53 findet sich die identische Darstellung für absolute Unternehmenswertdifferenzen. Die zugrundeliegenden Detailergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 99 im Anhang B I.

Darüber hinaus findet sich bei alleiniger Berücksichtigung des FCF ein Fall (Fall 63 – *Southwest Airlines*), in welchem der Betrag des maximalen Vorteils aus Sicherungen bezüglich eines einzelnen Stichtages T_m unter dem Betrag des maximalen Nachteils des gleichen Falles liegt (Kennziffer: $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$). Der über alle Fälle hinweg maximale Vorteil aus Sicherungen gemäß $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$ beträgt 24,60%. Dieser wird für *Southwest Airlines* (Fall 52) am Stichtag 30.06.2008 gemessen. Der maximale Nachteil an einem Stichtag findet sich mit -22,86% ebenfalls für *Southwest Airlines* (Fall 56 – Stichtag 31.12.2008). Der maximale Nachteil bezüglich des FCF tritt demnach in dem Fall auf, für welchen zuvor im Hauptteil der Arbeit auch der maximale Nachteil bezüglich der gesamten Unternehmenswertdifferenz detektiert wurde (siehe: Tabelle 99).

Berücksichtigt man ausschließlich erwartete Deadweight-Costs ($\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$), ergeben sich bei Erfassung des gesamten Zeitraums in 15 von 16 Fällen (Quote: 94%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen Vorteile. Die Höhe des je Fall

durchschnittlichen Einflusses von Sicherungen auf $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$ über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 0,40% (Fall 19 – *American Airlines*) und -0,01% (Fall 39 – *Delta Air Lines*). Im Durchschnitt der 16 betrachteten Fälle ergibt sich über den gesamten Untersuchungszeitraum für $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$ ein Wert von 0,18%. Schließt man die Beobachtungen für *Delta Air Lines* aus, erhöht sich der Vorteil aus Sicherungen auf 0,22%. Bei alleiniger Betrachtung von Zeitraum 1 beziehungsweise Zeitraum 2 finden sich bezüglich $\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$ Vorteile aus Sicherungen in 16 Fällen (Zeitraum 1, Quote: 100%) beziehungsweise in einem Fall (Zeitraum 2, Quote: 6% – fünf Fälle: keine Differenz). Die Höhe des durchschnittlichen Vorteils aus DWC im ersten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 0,63% (Fall 2 – *American Airlines*) und 0,08% (Fall 39 – *Delta Air Lines*). In Zeitraum 2 variieren die Werte zwischen einem Vorteil von 0,01% (Fall 19 – *American Airlines*) und einem Nachteil von -0,16% (Fall 39 – *Delta Air Lines*). Während im ersten Zeitraum über die 16 Fälle hinweg im Durchschnitt ein Vorteil aus Sicherungen in Höhe von 0,30% existiert, ergibt sich im zweiten Untersuchungszeitraum ein durchschnittlicher Nachteil von -0,03%. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, ergeben sich Werte von 0,37% (Zeitraum 1) und -0,01% (Zeitraum 2).

Darüber hinaus findet sich bei alleiniger Berücksichtigung der DWC kein Fall, in welchem der maximale Vorteil bezüglich eines einzelnen Stichtages T_m unter dem maximalen Nachteil des gleichen Falles liegt. Der über alle Fälle hinweg maximale Stichtagswert für $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$ beträgt 7,90%. Dieser wird für *American Airlines* (Fall 2) am Stichtag 30.06.2008 gemessen. Der maximale Nachteil an einem Stichtag findet sich mit -3,30% ebenfalls für *American Airlines* (Fall 9) am 31.12.2008 (siehe: Tabelle 99).

Eine in diesem Kontext wichtige Beobachtung ist zudem, dass in drei von 16 Fällen (*Southwest Airlines*: Fälle 52, 56 und 63) bei Berücksichtigung des gesamten Untersuchungszeitraums bestehende Nachteile aus erwarteten FCF ($\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$) durch Vorteile aus erwarteten DWC ($\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$) überkompensiert werden können. In diesen Fällen können nur aufgrund von stark vorteilhaften erwarteten DWC in Summe relative Unternehmenswertvorteile durch Treibstoffpreissicherungen generiert werden ($\Delta Vrel_{h,SG}$).

Es folgt somit als wichtige Erkenntnis dieser Analyse, dass zur korrekten Quantifizierung des Einflusses von Hedging auf den Unternehmenswert der Einfluss von erwarteten DWC berücksichtigt werden muss. Wissenschaftliche Arbeiten und Studien, die ausschließlich den Einfluss erwarteter FCF berücksichtigen, unterschätzen möglicherweise strukturell die aus bestehenden Sicherungen resultierenden Vorteile.

Anhang A XIV. f) Erläuterungen: Kapitel 7.2.3.2 (Absolute Unternehmenswertdifferenzen)

Neben der im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.2.3.2 dargestellten Diskussion zur Kennziffer $\Delta Vabs_{h,SG}$ ergeben sich auch bei Berücksichtigung der beiden Komponenten, welche in Summe die absolute Unternehmenswertdifferenz determinieren, interessante Einblicke. Als Quelle zu den nachfolgend genannten Ergebnissen und Zahlen wird auf Tabelle 53 sowie auf Tabelle 100 im Anhang B I verwiesen. Zudem wird auf die Herleitungen und Definitionen der einzelnen Variablen im Anhang A XIV. d) verwiesen.

Berücksichtigt man ausschließlich erwartete Free-Cash-Flows ($\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$), ergeben sich bei Erfassung des gesamten Zeitraumes nur in fünf von 16 Fällen (Quote: 31%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen Unternehmenswertvorteile (siehe: Tabelle

53). Die Höhe des je Fall durchschnittlichen Einflusses aus FCF auf den Unternehmenswert über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 31 Millionen US-Dollar (Fall 19 – *American Airlines*) und -201 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im Durchschnitt der 16 betrachteten Fälle ergibt sich über den gesamten Untersuchungszeitraum gar ein absoluter Nachteil durch Sicherungen in Höhe von -39 Millionen US-Dollar (Referenzwert für $\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$: Vorteil 0,16%). Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, verbleibt ein Nachteil in Höhe von -20 Millionen US-Dollar ($\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$: 0,26%).

Tabelle 53 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung II

Kennziffer	Zeitraum	# Fälle Vorteil Sicherung / # Fälle Nachteil Sicherung				
		AA	DL	WN	UA	Gesamt
$\Delta Vabs_{h,SG}$	2007-2019	Vorteil: 4 / Nachteil: 0	1 / 3	1 / 3	2 / 2	8 / 8
	2007-2014	4 / 0	2 / 2	3 / 1	4 / 0	13 / 3
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$	Extrema	4 / 0	1 / 3	4 / 0	4 / 0	13 / 3
$\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$	2007-2019	3 / 1	1 / 3	0 / 3	2 / 2	6 / 9
	2007-2014	4 / 0	2 / 2	1 / 3	4 / 0	11 / 5
	2015-2019	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 4	0 / 16
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$	Extrema	4 / 0	1 / 3	3 / 1	4 / 0	12 / 4
$\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$	2007-2019	4 / 0	1 / 2	4 / 0	4 / 0	13 / 2
	2007-2014	4 / 0	4 / 0	4 / 0	4 / 0	16 / 0
	2015-2019	0 / 3	0 / 3	0 / 2	1 / 1	1 / 9
$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$	Extrema	4 / 0	3 / 1	4 / 0	3 / 1	14 / 2

Die Tabelle gibt an erster Stelle je Zelle an, in wie vielen Fällen bezüglich der genannten Kennziffer ein Vorteil aus Sicherungen vorliegt. Nach dem Zeichen „/“ ist dargestellt, in wie vielen Fällen ein Nachteil aus Sicherungen vorliegt. Vorteile der Sicherung bezüglich $\Delta Vabs_{h,SG}$ ergeben sich aus $\Delta Vabs_{h,SG} > 0$. Nachteile ergeben sich aus $\Delta Vabs_{h,SG} < 0$. Dies gilt gleichfalls für $\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$ sowie $\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$. Für |Extrema| werden die Beträge des maximalen Vor- sowie Nachteils an einem Stichtag ($\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$, $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ und $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$) je Fall h miteinander verglichen. Je Fluggesellschaft werden vier Fälle untersucht. Sofern die hier dargestellte Summe aus der Anzahl von Vor- und Nachteilen teils kleiner als vier ist, liegt teils eine Differenz von null vor. Im Hauptteil der Arbeit findet sich in Tabelle 34 die gekürzte Darstellung dieser Tabelle. In Tabelle 52 findet sich die identische Darstellung für relative Unternehmenswertdifferenzen. Die zugrundeliegenden Detailergebnisse je Fall finden sich in Tabelle 100 im Anhang B I.

Bei alleiniger Betrachtung des ersten beziehungsweise zweiten Untersuchungszeitraums finden sich bezüglich $\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$ Vorteile aus Sicherungen in elf (Zeitraum 1, Quote: 69%) beziehungsweise in null (Zeitraum 2) Fällen. Die Höhe des durchschnittlichen Einflusses auf den Unternehmenswert aus FCF im ersten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 114 Millionen US-Dollar (Fall 2 – *American Airlines*) und -60 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Im zweiten Untersuchungszeitraum variiert der durchschnittliche Nachteil zwischen -10 Millionen US-Dollar (Fall 89 – *United Airlines*) und -438 Millionen US-Dollar (Fall 33 – *Delta Air Lines*). Während im ersten Zeitraum über die 16 Fälle hinweg durch Sicherungen im Durchschnitt ein Vorteil in Höhe von 23 Millionen US-Dollar erreicht wird, ergibt sich im zweiten Untersuchungszeitraum im Durchschnitt ein Nachteil in Höhe von -140 Millionen US-Dollar. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, liegen die Ergebnisse bei 28 Millionen US-Dollar (Zeitraum 1) sowie -100 Millionen US-Dollar (Zeitraum 2).

Darüber hinaus finden sich bei alleiniger Berücksichtigung des FCF vier Fälle, in welchen der Betrag des maximalen Vorteils bezüglich eines einzelnen Stichtages T_m unter dem

Betrag des maximalen Nachteils des gleichen Falles liegt (Kennziffer: $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$). Der über alle Fälle hinweg maximale Stichtagswert für $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$ beträgt 2.026 Millionen US-Dollar. Dieser wird für *Southwest Airlines* (Fall 52) am Stichtag 30.06.2008 gemessen. Der maximale Nachteil an einem Stichtag findet sich mit -2.003 Millionen US-Dollar für *Delta Air Lines* (Fall 39) am Stichtag 31.12.2015 (siehe: Tabelle 100).

Berücksichtigt man ausschließlich Deadweight-Costs ($\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$), ergeben sich bei Erfassung des gesamten Zeitraums in 13 von 16 Fällen (Quote: 81%) im Durchschnitt durch den Einsatz von Treibstoffpreissicherungen Vorteile (siehe: Tabelle 53). Die Höhe des durchschnittlichen Einflusses der DWC auf den Unternehmenswert über den gesamten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 28 Millionen US-Dollar (Fall 19 – *American Airlines*) und -13 Millionen US-Dollar (Fall 39 – *Delta Air Lines*). Im Durchschnitt der 16 betrachteten Fälle ergibt sich über den gesamten Untersuchungszeitraum ein absoluter Vorteil in Höhe von 10 Millionen US-Dollar. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, ergibt sich ein durchschnittlicher Vorteil in Höhe von 14 Millionen US-Dollar.

Bei alleiniger Betrachtung des ersten beziehungsweise zweiten Untersuchungszeitraums finden sich bezüglich $\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$ Vorteile aus Sicherungen in 16 (Zeitraum 1, Quote: 100%) beziehungsweise in null (Zeitraum 2 – sechs Fälle: keine Differenz) Fällen. Die Höhe des durchschnittlichen Vorteiles aus DWC im ersten Untersuchungszeitraum liegt für alle Fälle zwischen 47 Millionen US-Dollar (Fall 2 – *American Airlines*) und 4 Millionen US-Dollar (Fall 39 – *Delta Air Lines* sowie Fall 81 – *United Airlines*). Im zweiten Untersuchungszeitraum variiert der durchschnittliche Nachteil zwischen 0 Millionen US-Dollar (unter anderem Fall 19 – *American Airlines*) und -42 Millionen US-Dollar (Fall 39 – *Delta Air Lines*). Während im ersten Zeitraum über die 16 Fälle hinweg im Durchschnitt ein Vorteil in Höhe von 21 Millionen US-Dollar generiert wird, ergibt sich im zweiten Untersuchungszeitraum ein durchschnittlicher Nachteil in Höhe von -8 Millionen US-Dollar. Exkludiert man die Beobachtungen für *Delta Air Lines*, ergeben sich Werte von 26 Millionen US-Dollar (Zeitraum 1) und -5 Millionen US-Dollar (Zeitraum 2).

Darüber hinaus finden sich bei alleiniger Berücksichtigung der DWC zwei Fälle (Fall 39 – *Delta Air Lines* sowie Fall 75 – *United Airlines*), in welchen der Betrag des maximalen Vorteils bezüglich eines einzelnen Stichtages T_m unter dem Betrag des maximalen Nachteils des gleichen Falles liegt (Kennziffer: $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$). Der über alle Fälle hinweg maximale Stichtagswert für $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$ beträgt 604 Millionen US-Dollar. Dieser wird für *American Airlines* (Fall 2) am Stichtag 30.06.2008 gemessen. Der maximale Nachteil an einem Stichtag findet sich mit -281 Millionen US-Dollar ebenfalls für *Southwest Airlines* (Fall 52) am 30.06.2009 (siehe: Tabelle 100).

Übergeordnet ist eine zentrale Beobachtung der vorgestellten Analyse, dass lediglich in einem von 16 Fällen (Fall 16 – *American Airlines*) bei Berücksichtigung des gesamten Untersuchungszeitraums bestehende Nachteile aus durchschnittlichen erwarteten Free-Cash-Flows ($\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$) durch Vorteile aus erwarteten Deadweight-Costs ($\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$) (über-)kompensiert werden können. In diesem Fall kann in Summe ein durchschnittlicher Vorteil aus Sicherungen generiert werden ($\Delta Vabs_{h,SG}$). Bei der Betrachtung von relativen Kennziffern (siehe: Anhang A XIV. e)) war eine solche Kompensation in drei Fällen möglich.

Anhang B Tabellen und Abbildungen

Anhang B I. Tabellen

Tabelle 54 – Umrechnung: Volumeneinheiten

<i>Ein/e [waagerecht] entspricht ... [senkrecht]</i>	Liter	Kubikmeter	US-Gallone	Barrel
Liter		1.000	3,7854	158,9873
Kubikmeter	0,0010		0,0038	0,1590
US-Gallone	0,2642	264,1721		42
Barrel	0,0063	6,2898	0,0238	

Die Tabelle zeigt die in dieser Arbeit genutzten Faktoren zur Umrechnung verschiedener Volumina.⁹²⁰ Werte sind zur Veranschaulichung auf maximal vier Nachkommastellen gerundet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.1.2.1.

Tabelle 55 – Umrechnung: Volumina und spezifische Gewichte

<i>Ein [waagerecht] entspricht ... [senkrecht]</i>	Barrel Rohöl	Kubikmeter Rohöl	Barrel Kerosin	Kubikmeter Kerosin
Tonnen	0,1322	0,8314	0,1272	0,8000

Die Tabelle zeigt die in dieser Arbeit genutzten Faktoren zur Umrechnung zwischen Massen und Volumina. Rohöl bezieht sich in dieser Tabelle auf die beiden Benchmarkrohöle der Sorten *Brent Blend* und *WTI Blend*. Für diese wird gemäß den Vorgaben in Maugeri (2006) vereinfachend eine einheitliche *API-Dichte*⁹²¹ von 38,7 unterstellt. Daraus ergibt sich eine spezifische Dichte dieser Rohölsorten von: 0,8314 Tonnen pro Kubikmeter.⁹²² Kerosin bezieht sich in dieser Tabelle auf die Standardspezifikation *Jet A1*. Für diese wird vereinfachend eine spezifische Dichte von 0,80 Tonnen pro Kubikmeter unterstellt.⁹²³ Querverweis auf Tabelle im Anhang A V. a).

⁹²⁰ Vgl. Clark (2014): S. 273; vgl. Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): S. 693.

⁹²¹ *API* als Abkürzung für *American Petroleum Institute*. Die *API*-Skala ermöglicht eine Einordnung der relativen Dichte von Rohöl in Bezug auf die Dichte von Wasser bei 60 Grad Fahrenheit ($\approx 15,6^\circ\text{C}$). Wasser besitzt einen *API*-Wert von 10. Rohöle weisen in etwa Werte zwischen 10 und 45 auf der *API*-Skala auf. Für weitere Hintergründe sowie zur Umrechnung zwischen der *API*-Skala und der in der Tabelle dargestellten spezifischen Dichte siehe: Maugeri (2006): S. 233 f.; Santos et al. (2014): S. 574.

⁹²² Vgl. Maugeri (2006): S. 275 f. Zur Umrechnung zwischen *API*-Skala und relativer Dichte siehe: Santos et al. (2014): S. 574.

⁹²³ Die Spezifikation ASTM D1655 gibt für Kerosin Jet A1 lediglich eine Spannbreite der Dichte zwischen 0,7750 Tonnen pro Kubikmeter und 0,8400 Tonnen pro Kubikmeter an. Die Umrechnung mit 0,8000 Tonnen pro Kubikmeter für Jet A1 findet sich beispielsweise in: SAS Scandinavian Airlines (2019). Vgl. ASTM D1655 (2021): S. 5; vgl. SAS Scandinavian Airlines (2019): S. 145.

Tabelle 56 – Übersicht: Derivatetypen, Derivatearten und Derivatkombinationen

Derivatetyp	Derivateart	Abrechnung gegen ...	Derivatekombinationen (in dieser Arbeit berücksichtigt)
Unbedingtes Geschäft	<i>Forwards/Futures</i>	<i>Stichtagspreis</i>	Es werden die in Tabelle 3 dargestellten Kombinationen von Swaps und/oder asiatischen Optionen berücksichtigt, die auch in der Praxis genutzt werden. Alle relevanten Kombinationen werden gegen Durchschnittspreise abgerechnet.
	Swaps	Durchschnittspreis	
Bedingtes Geschäft	<i>Plain-Vanilla-Optionen</i>	<i>Stichtagspreis</i>	
	Asiatische Optionen	Durchschnittspreis	

Die Tabelle stellt den Zusammenhang zwischen Derivatetypen gemäß der Definition in Kapitel 2.2.1 dieser Arbeit und Derivatearten gemäß der Definition in Kapitel 2.2.3 dieser Arbeit dar. Die für diese Arbeit relevanten Derivatekombinationen werden alle aus Praxisbeobachtungen abgeleitet und in Kapitel 4.2.3.2 (siehe dort: Tabelle 3) im Detail vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wird teils auch der Begriff Instrumentenkombination als Synonym für den Begriff Derivatekombination genutzt. Die in der vorliegenden Arbeit relevanten Derivatearten sind fett markiert. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 2.2.3.

Tabelle 57 – Übersicht: Gründe für Hedging in der Literatur (Auswahl)

#	Grund für Hedging	Wichtige Grundlagenliteratur	Schaffung von Unternehmenswert durch
1	Potenzielle Insolvenzkosten	Mayers/Smith (1982) Smith/Stulz (1985)	Vermeiden extremer negativer Cash-Flows
2	Konvexe Unternehmensbesteuerung	Smith/Stulz (1985)	Verringern der Cash-Flow Volatilität
3	Anreizgestaltung des Managements	Smith/Stulz (1985)	Vermeiden extremer negativer Cash-Flows
4	Asset Substitution Problem	Campbell/Kracaw (1990)	Verringern der Cash-Flow Volatilität
5	Unterinvestitionsproblem	Bessembinder (1991)	Verringern der Cash-Flow Volatilität
6	Teure externe Finanzierung	Froot/Scharfstein/Stein (1993)	Verringern der Cash-Flow Volatilität
7	Steuervorteile durch Tax Shields	Stulz (1996) Leland (1998)	Verringern der Cash-Flow Volatilität

Die Tabelle bietet eine Übersicht über die in theoretischen Arbeiten hergeleiteten Gründe für Hedging. Es ist dargestellt, welche Autoren den jeweiligen Grund maßgeblich und chronologisch früh in der Literatur vorstellten, wobei es sich nicht um diejenige Arbeit handeln muss, welche den Grund für Hedging erstmals in der Literatur nannte. Darüber hinaus ist vereinfacht dargestellt, durch welche Auswirkung von Hedging unter dem genannten Argument jeweils Unternehmenswert geschaffen werden kann. Wie im Fließtext im Hauptteil der Arbeit wird hierbei ebenfalls eine vereinfachende Äquivalenz von Cash-Flows und Gewinnen unterstellt. Alle zugehörigen Literaturverweise und Quellenangaben wurden im Fließtext von Kapitel 3.1.1.2 vorgestellt. Auf eine abermalige Nennung aller Quellenbelege wird daher an dieser Stelle verzichtet. Es ist bekannt, dass es sich bei der Darstellung um eine unvollständige Auswahl aus allen in der Literatur genannten Gründen für Hedging handelt. Für weitere Hintergründe bezüglich dieser Auswahl wird auf Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit verwiesen. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 3.1.1.2.

Tabelle 58 – Fluggesellschaften und Sicherungsziele in der Praxis

Kontinent	Fluggesellschaft	Sicherungsziele (wörtliche Zitate)
Europa	Air-France KLM Group	- <i>“Market risk management[:] The aim of the Air France-KLM Group’s risk management strategy is to reduce its exposure to such risks.”</i> ⁹²⁴
	easyJet	- <i>“easyJet’s policy is not to speculatively trade derivatives but ... to hedge anticipated exposure.”</i> ⁹²⁵ - <i>“easyJet’s policy is ... to hedge anticipated exposure and gain cash flow certainty.”</i> ⁹²⁶ - <i>“The objective ... is to provide protection against sudden and significant increases in jet fuel prices, thus mitigating volatility in the income statement in the short-term.”</i> ⁹²⁷
	IAG (International Airlines Group)	- <i>“The Group is also careful to understand its hedging positions compared to competitors to ensure that it is not commercially disadvantaged by being over-hedged in a favorable market.”</i> ⁹²⁸ - <i>“The Group’s Financial Risk Management programme ... seeks to minimise the risk of incremental costs arising from adverse financial markets movements.”</i> ⁹²⁹ - <i>“The Group’s fuel price risk management strategy aims to provide protection against sudden and significant increases in fuel prices while ensuring that the Group is not competitively disadvantaged in the event of a substantial fall in the price.”</i> ⁹³⁰
	Lufthansa Group	- <i>„Ziel ist es, die Schwankungen der Treibstoffpreise zu verringern.“</i> ⁹³¹ - <i>„Dabei wird ein begrenzter Schutz vor einem Preisanstieg in Kauf genommen, um an einem eventuellen Preisverfall möglichst weitreichend partizipieren zu können.“</i> ⁹³² - <i>„Das Chartergeschäft wird bis zu 100 % ... mit Termingeschäften gesichert. Damit wird das Risiko aus einem Treibstoffpreisanstieg weitgehend eliminiert. Die Chance, an einem Preisverfall zu partizipieren, besteht jedoch dementsprechend nicht.“</i> ⁹³³
	Norwegian Air Shuttle	- <i>“The objective of the jet-fuel price risk management policy is to safeguard against significant and sudden increases in jet-fuel prices whilst retaining access to price reductions.”</i> ⁹³⁴

⁹²⁴ Air France-KLM Group (2019): S. 82 f.⁹²⁵ easyJet (2019): S. 146.⁹²⁶ easyJet (2019): S. 167.⁹²⁷ easyJet (2019): S. 171.⁹²⁸ IAG (2019): S. 63.⁹²⁹ IAG (2019): S. 166.⁹³⁰ IAG (2019): S. 166.⁹³¹ Lufthansa Group (2019): S. 72.⁹³² Lufthansa Group (2019): S. 72.⁹³³ Lufthansa Group (2019): S. 72.⁹³⁴ Norwegian Air Shuttle (2018): S. 19.

		- <i>“The Group’s overall financial risk management program focuses on changes and fluctuations in financial markets and seeks to minimize potential adverse effects on the Group’s financial performance.”</i> ⁹³⁵
	Ryanair	- <i>“Ryanair has historically entered into hedging arrangements providing for substantial protection against fluctuations in fuel prices”.</i>⁹³⁶ - <i>“The objective of financial risk management at Ryanair is to minimize the negative impact of commodity price ... fluctuations on the Company’s earnings, cash flows and equity. ... The Company enters into these arrangements with the goal of hedging its operational and balance sheet risk.”</i>⁹³⁷ - <i>“The Company’s .. fuel risk management policy has been to hedge between 70% and 90% of the forecast rolling annual volumes required to ensure that the future cost per gallon of fuel is locked in. This policy was adopted to prevent the Company being exposed, in the short term, to adverse movements in global jet fuel prices.”</i>⁹³⁸
	SAS Scandinavian Airlines	- <i>“Financial risks ... are hedged with derivatives, which aim to counter short-term negative fluctuations and provide scope for adapting operations to longer-term changes in levels. Another aim of SAS’ hedging strategy is to enable SAS to act quickly when changes in ... fuel prices are advantageous.”</i> ⁹³⁹
	Turkish Airlines	- <i>“The strategies mainly aim to increase the predictability and minimize the financial impact of such fluctuations.”</i>⁹⁴⁰ - <i>“With these hedging transactions, the Company aims to fix the fuel cost at a single level or to keep it within a certain range.”</i>⁹⁴¹ - <i>“In addition, other hedging strategies implemented across the industry are analyzed regularly and the Company’s fuel price hedging methodology is updated accordingly, if necessary.”</i>⁹⁴² - <i>“... aims to provide reasonable assurance against possible shocks and to minimize the effects of fluctuating fuel prices ... on its cash flow”.</i>⁹⁴³
	Wizz Air	- <i>“The aim of our hedging policy is to reduce short-term volatility in earnings and liquidity.”</i>⁹⁴⁴ - <i>“The Group enters into ... jet fuel price hedging transactions to minimise the impact of fluctuations in ... fuel price on the Group.”</i>⁹⁴⁵ - <i>“The objective of financial risk management at Wizz Air is to minimise the impact of commodity price ... fluctuations on the Group’s earnings, cash flows and equity.”</i>⁹⁴⁶

⁹³⁵ Norwegian Air Shuttle (2018): S. 35.

⁹³⁶ Ryanair (2019a): S. 59.

⁹³⁷ Ryanair (2019a): S. 137.

⁹³⁸ Ryanair (2019a): S. 163.

⁹³⁹ SAS Scandinavian Airlines (2019): S. 58.

⁹⁴⁰ Turkish Airlines (2018): S. 163.

⁹⁴¹ Turkish Airlines (2018): S. 164.

⁹⁴² Turkish Airlines (2018): S. 164.

⁹⁴³ Turkish Airlines (2018): S. 179.

⁹⁴⁴ Wizz Air (2019): S. 14.

⁹⁴⁵ Wizz Air (2019): S. 98.

⁹⁴⁶ Wizz Air (2019): S. 108.

Nordamerika	Air Canada	- <i>“The Corporation enters into ... fuel derivatives ... to manage the associated risks.”⁹⁴⁷</i> - <i>“Fuel price risk is the risk that future cash flows will fluctuate because of changes in jet fuel prices. In order to manage its exposure to jet fuel prices and to help mitigate volatility in operating cash flows, the Corporation can elect to enter into derivative contracts with financial intermediaries.”⁹⁴⁸</i>
	Alaska Airlines	- <i>“All of our future oil positions are call options, which are designed to effectively cap the cost of the crude oil component of our jet fuel purchase. With call options, we are hedged against volatile crude oil price increases; and, during a period of decline in crude oil prices, we only forfeit cash previously paid for hedge premium.”⁹⁴⁹</i>
	Hawaiian Airlines	- <i>“To manage economic risks associated with fluctuations in aircraft fuel prices, the Company periodically enters into derivative financial instruments.”⁹⁵⁰</i>
	jetBlue Airways	- <i>“We ... protect ourselves against the volatility of fuel prices by entering into a variety of derivative instruments.”⁹⁵¹</i> - <i>“We ... enter into ... contracts ... to partially protect against significant increases in fuel prices.”⁹⁵²</i> - <i>“We view our hedge portfolio as a form of insurance to help mitigate the impact of price volatility and protect us against severe spikes in oil prices, when possible.”⁹⁵³</i>
	Southwest Airlines	- <i>“The Company utilizes financial derivative instruments ... as a form of insurance against the potential for significant increases in fuel prices. The Company believes there can be significant risk in not hedging against the possibility of such fuel price increases.”⁹⁵⁴</i> - <i>“The Company may increase or decrease the size of its fuel hedge based on its expectation of future market prices, as well as its perceived exposure to cash collateral requirements.”⁹⁵⁵</i> - <i>“The Company endeavors to acquire jet fuel at the lowest possible cost and to reduce volatility in operating expenses through its fuel hedging program.”⁹⁵⁶</i>

Die Tabelle stellt die mit der Treibstoffpreissicherung verbundenen Ziele ausgewählter europäischer und nordamerikanischer Fluggesellschaften dar. Querverweis auf Tabelle initial in Kapitel 4.1.1.2.

⁹⁴⁷ Air Canada (2019): S. 16.

⁹⁴⁸ Air Canada (2019): S. 65.

⁹⁴⁹ Alaska Airlines (2019): S. 44.

⁹⁵⁰ Hawaiian Airlines (2019): S. 74.

⁹⁵¹ jetBlue Airways (2019): S. 11.

⁹⁵² jetBlue Airways (2019): S. 17.

⁹⁵³ jetBlue Airways (2019): S. 74.

⁹⁵⁴ Southwest Airlines (2019): S. 71.

⁹⁵⁵ Southwest Airlines (2019): S. 71.

⁹⁵⁶ Southwest Airlines (2019): S. 107.

Tabelle 59 – Übersicht zur Ausgestaltung von Sicherungsstrategien

Kontinent	Fluggesellschaft	Übergeordnete Sicherungsstruktur				Referenzprodukt	Sicherung und exakte Struktur	
		Max. Horizont (vor Verbrauch)	Zielsicherungsgrad	Sicherungsende (vor Verbrauch)	Frequenz und Zeitpunkt		Handelsplatz	Derivatetypen und Instrumente
Europa	Air-France KLM Group ⁹⁵⁷	24 Monate	60%	9 Monate	regelbasiert (10% je Quartal)	Rohöl, Gasöl, Kerosin	-	Swaps, Calls, Call Spreads, 3-Ways, 4-Ways, Collars
	easyJet ⁹⁵⁸	24 Monate	65% - 85%	-	regelbasiert	Kerosin	OTC	Swaps
	IAG ⁹⁵⁹	36 Monate	ca. 90%	9 Monate	regelbasiert	Rohöl, Gasöl, Kerosin	OTC	Swaps, Futures, Optionen
	Lufthansa Group ⁹⁶⁰	24 Monate	85%	6 Monate	regelbasiert (bis 5% je Monat)	Rohöl, Gasöl, Kerosin	-	Collars, andere Optionskombinationen
	Norwegian Air Shuttle ⁹⁶¹	24 Monate	bis zu 100%	-	opportunistisch	Kerosin	OTC	Forwards
	Ryanair ⁹⁶²	18 Monate	70% - 90%	ca. 12 Monate	Zeitpunkte: teils opportunistisch, Menge: regelbasiert	Kerosin	OTC	Forwards
	SAS Scandinavian Airlines ⁹⁶³	18 Monate	40% - 80%	-	regelbasiert	-	-	Swaps, Call-Optionen, Collars
	Turkish Airlines ⁹⁶⁴	24 Monate	60%	1 Monat	regelbasiert	Rohöl	-	Swaps, zero-cost Collars, Optionen mit Prämie
	Wizz Air ⁹⁶⁵	18 Monate	50% - 70%	-	regelbasiert	-	OTC	zero-cost Collars

⁹⁵⁷ Vgl. Air France-KLM Group (2019): S. 82 f.

⁹⁵⁸ Vgl. easyJet (2019): S. 43, 140, 146, 167, 170. Lediglich auf S. 170 wird klargestellt, dass keine reinen Forwards sondern Swaps gehandelt werden.

⁹⁵⁹ Vgl. IAG (2019): S. 63, 77, 142, 166, 172; vgl. IAG (2020b): S. 11.

⁹⁶⁰ Vgl. Lufthansa Group (2019): S. 72, 153, 207.

⁹⁶¹ Vgl. Norwegian Air Shuttle (2018): S. 19, 35 f.; vgl. Norwegian Air Shuttle (2020): S. 18. Per 12.12.2019 befanden sich keine Treibstoffpreissicherungsgeschäfte im Bestand.

⁹⁶² Vgl. Ryanair (2019a): S. 59, 85, 137, 163; vgl. Ryanair (2019b): S. 14. Praktisches Vorgehen scheint teils von vorgegebenem Ansatz abzuweichen: Per 30.06.2019 waren für 21 Monate (bis 31.03.2021) Derivate im Bestand. Vgl. Ryanair (2019b): S. 14.

⁹⁶³ Vgl. SAS Scandinavian Airlines (2019): S. 58 ff., 105, 110; vgl. SAS Scandinavian Airlines (2020): S. 14.

⁹⁶⁴ Vgl. Turkish Airlines (2018): S. 163 f., 179; vgl. Turkish Airlines (2019): S. 30.

⁹⁶⁵ Vgl. Wizz Air (2019): S. 14, 98, 110; vgl. Wizz Air (2020): S. 17.

Nordamerika	Air Canada ⁹⁶⁶	> 24 Monate	75%	keine Grenze	opportunistisch	Rohöl, Heizöl, Kerosin	OTC	Als Beispiel nur genannt: Long Calls
	Alaska Airlines ⁹⁶⁷	18 Monate	50%	6 Monate	regelbasiert	Rohöl	-	Call-Optionen
	Hawaiian Airlines ⁹⁶⁸	12 Monate	-	-	regelbasiert	-	-	Call-Optionen, andere Kombinationen
	jetBlue Airways ⁹⁶⁹	24 Monate	-	-	opportunistisch	Rohöl, Heizöl, Kerosin	OTC	Swaps, Caps, Calls, Collars, Call Spreads
	Southwest Airlines ⁹⁷⁰	> 36 Monate	situationsabhängig	-	opportunistisch	Rohöl, Benzin, Heizöl, Kerosin	OTC	Swaps, Calls, Collars, Call Spreads, Put Spreads

Die Tabelle stellt die Details der Treibstoffpreissicherungen von 14 ausgewählten Fluggesellschaften dar. Informationen sind nur für diejenigen Fluggesellschaften aufgeführt, die im beobachteten Zeitraum auch Treibstoffpreissicherungen abgeschlossen haben (siehe: Kapitel 4). Sofern diese vorliegen, sind Informationen generellen strategischen Beschreibungen des gewöhnlichen Sicherungsvorgehens entnommen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass individuelle Sicherungsstrategien in der praktischen Umsetzung temporär von diesem stilisierten Schema abweichen. Andernfalls werden Informationen aus dem Ist-Derivatebestand an einem spätmöglichen Stichtag abgeleitet. Sofern eindeutige Angaben zur Ausgestaltung einzelner Parameter fehlen, ist dies in der Tabelle ersichtlich (Markierung: „-“). Bei einzelnen Fluggesellschaften finden sich zudem Hinweise darauf, dass situativ vom vorgestellten Regelvorgehen abgewichen werden kann. Ausprägungen solcher Abweichungen werden an dieser Stelle nicht dargestellt. Die Information, dass Derivate auf dem OTC Markt gehandelt werden, wird häufig nicht explizit genannt. Sofern Gesellschaften jedoch angeben, ausschließlich Forwards zu handeln, ist – auf Basis der Definition des Forwards (siehe: Kapitel: 2.2.3.1) – davon auszugehen, dass OTC Handel stattfindet. Eine gekürzte Darstellung dieser Tabelle für fünf ausgewählte Fluggesellschaften findet sich mit Tabelle 2 (siehe: Kapitel 4.2.1) bereits im Hauptteil der Arbeit. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 4.2.1.

⁹⁶⁶ Vgl. Air Canada (2019): S. 16, 66. Air Canada (2019) gibt einen theoretische Sicherungsgrad von bis zu 25% für beliebig viele Jahre nach dem 24. Kalendermonat an. Per 31.12.2019 befanden sich keine Treibstoffpreissicherungsgeschäfte im Bestand. Im Laufe des Jahres 2019 wurden aber Ergebnisse aus Treibstoffpreissicherungen realisiert.

⁹⁶⁷ Vgl. Alaska Airlines (2019): S. 44, 63.

⁹⁶⁸ Vgl. Hawaiian Airlines (2019): S. 74 f. Die Angaben zum maximalen Sicherungshorizont sind nicht eindeutig. Es ist lediglich ersichtlich, dass für mindestens zwölf Monate Derivate im Bestand sind. Ob darüber hinaus weitere Derivate im Bestand sind, wird nicht dargestellt.

⁹⁶⁹ Vgl. jetBlue Airways (2019): S. 11, 17, 41, 74 ff.

⁹⁷⁰ Vgl. Southwest Airlines (2019): S. 26, 53 f., 71, 86, 107 f.

Tabelle 60 – Aufbau aller relevanten Derivatekombinationen

<i>Derivatekombination</i>	<i>Auszahlungsprofil</i>	Long Put ($K_{T_0}^{Put,Long}$)	Short Put ($K_{T_0}^{Put,Short}$)	Swap ($K_{T_0}^{Swap} = Fuel_{T_0,\bar{T}}$)	Long Call ($K_{T_0}^{Call,Long}$)	Short Call ($K_{T_0}^{Call,Short}$)
Innerhalb einer Derivatekombination gilt stets: $K_{T_0}^{Put,Long} < K_{T_0}^{Put,Short} < (K_{T_0}^{Swap} \leq K_{T_0}^{Call,Long}) < K_{T_0}^{Call,Short}$						
Keine Sicherung	–	–	–	–	–	–
Swap	• Formel (2.3) • Abbildung 7	–	–	✓	–	–
Long Call	• Formel (2.4) • Abbildung 7	–	–	–	✓	–
Collar	• Formel (A V.2) • Abbildung 45	–	✓	–	✓	–
Cap	• Formel (A V.3) • Abbildung 46	✓	–	✓	–	–
Call Spread	• Formel (A V.4) • Abbildung 47	–	–	–	✓	✓
3-Way mit Call Spread	• Formel (A V.5) • Abbildung 48	–	✓	–	✓	✓
3-Way mit Put Spread	• Formel (A V.6) • Abbildung 48	✓	✓	–	✓	–
4-Way	• Formel (A V.7) • Abbildung 49	✓	✓	–	✓	✓

Die Tabelle stellt alle neun Derivatekombinationen vor, die von den 14 analysierten Fluggesellschaften genannt werden (siehe: Tabelle 59). Durch das Zeichen ✓ ist dargestellt, dass das jeweilige Instrument in einer Instrumentenkombination zum Einsatz kommt. Bezüglich der relativen Lage der Strikes der einzelnen Instrumente innerhalb einer Kombination ist die Vorgabe in der zweiten Zeile der Tabelle stets zu berücksichtigen. In jeder Sicherungskombination muss stets entweder ein Swap (mit Strike exakt am Terminpreis) oder ein Long Call (mit Strike größer oder gleich dem Terminpreis) enthalten sein. Dies ergibt sich aus den Regularien der Bilanzierungsvorschriften (siehe: Kapitel 4.1.2.1). Zusätzlich ist dargestellt, in welcher Formel und in welcher Abbildung das Auszahlungsprofil einer Instrumentenkombination mathematisch und grafisch beschrieben werden. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 4.2.3.2 sowie bei Herleitung der Nebenbedingungen für das Simulationsmodell in Kapitel 6.3.

Tabelle 61 – Verfügbare Derivatekombinationen: Restriktionen aus Risikobereitschaft und Sicherungszielen

Derivatekombination	Relative Risikobereitschaft	Ziel: Planungssicherheit	Ziel: Verringern der Volatilität	Ziel: Schutz vor Preisanstieg	Ziel: Mitnahme von Preisverfall
Keine Sicherung	4	(-2)	(-2)	(-2)	(+2)
Swap	2	(+2)	(+2)	(+2)	(-2)
Long Call	1	(-1)	(-1)	(+2)	(+2)
Collar	2	(+1)	(+1)	(+2)	(-2)
Cap	1	(+2)	(+2)	(+2)	(-1)
Call Spread	3	(-1)	(-1)	(+1)	(+2)
3-Way mit Call Spread	3	(+1)	(+1)	(+1)	(-2)
3-Way mit Put Spread	2	(+1)	(+1)	(+2)	(-1)
4-Way	3	(+1)	(+1)	(+1)	(-1)

Die Tabelle stellt alle neun Derivatekombinationen vor, die von den 14 analysierten Fluggesellschaften genannt werden (siehe: Tabelle 59). Darüber hinaus wird die relative Risikobereitschaft, welche mit dem Handel einer Kombination verbunden ist, dargestellt. Zur Beschreibung der Risikobereitschaften wird auf Tabelle 1 verwiesen. Für die Simulation in OPTA gilt, dass risikoaffinere Gesellschaften im Rahmen der Simulation jeweils auch diejenigen Derivatekombinationen abschließen können, die einer geringeren Risikobereitschaftsgruppe zugeordnet sind. Siehe hierzu auch Tabelle 12 (siehe: Kapitel 6.4.2.2) sowie die zugehörigen Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit. Zusätzlich ist dargestellt, wie gut der Einsatz einer Derivatekombination zum Erreichen einzelner Sicherungsziele geeignet ist. Das genutzte Schema ist wie folgt strukturiert: (+2) sehr gut geeignet, (+1) eher gut geeignet, (-1) eher schlecht geeignet, (-2) sehr schlecht geeignet. Zur Simulation mittels OPTA können jeweils bis zu zwei Sicherungsziele gleichzeitig gewählt werden. Geeignete Instrumentenkombinationen werden anhand des dargestellten Schemas identifiziert. Es können nur solche Kombinationen genutzt werden, für welche als Summe der zugeordneten Werte aller gewählten Ziele ein positiver Wert gemäß diesem Schema ermittelt wird. Detaillierte Hintergrundinformationen zu allen dargestellten Derivatekombinationen finden sich in Kapitel 4.2.3.2. Zum Aufbau der Derivatekombinationen wird außerdem auf Tabelle 60 verwiesen. Querverweis auf Tabelle unter anderem in Kapitel 4.2.3.2 sowie in Kapitel 6.4.2.

Tabelle 62 – Herleitung GuV-Struktur für Zielfunktion

Basis GuV	GuV Brücke	GuV-Struktur in dieser Arbeit
Passagiererlöse	Ticketerlöse	<i>Ticketerlös</i>
	Sonstige passagierbezogene Erlöse	<i>ErlösRestAbs</i>
Sonstige operative Erlöse	Sonstige operative Erlöse	
Materialaufwand	Treibstoffaufwand	<i>FuelCost</i> (Aufwand für physischen Verbrauch)
		<i>HedgeResultAbs</i> (Ergebnis aus <i>Hedging</i>)
	Restlicher Materialaufwand	<i>AufwandRestAbs</i>
Personalaufwand	Personalaufwand	
Abschreibungen	Abschreibungen	
Sonstige operative Aufwendungen	Sonstige operative Aufwendungen	

= EBIT (Gewinn der Gesellschaft aus operativer Tätigkeit)

Die Tabelle leitet mit dem EBIT die als Basis der Zielfunktion genutzte Darstellung des Gewinns nach GuV für diese Arbeit her. Grundlage der Struktur ist eine von Fluggesellschaften in der Praxis genutzte Darstellung der GuV.⁹⁷¹ Querverweis auf Tabelle in Kapitel 5.1.2.1.

Tabelle 63 – Schema: Einzahlungen für Tickets im Lauf einer Periode

	Periode $\bar{T} = 1$	Periode $\bar{T} = 2$	Periode $\bar{T} = 3$	Periode $\bar{T} = 4$
<i>Ticketerlös_{$\bar{T}$}</i> (erbrachte und in GuV verbuchte Leistung in jeweiliger Periode)	80 USD	100 USD	200 USD	80 USD
<i>VerbFlug_{$\bar{T}$}</i> (nicht ausgeflogene Flugdokumente am Ende der jeweiligen Periode)	20 USD	70 USD	10 USD	30 USD
<i>Ticketeinzahlung_{$\bar{T}$}</i> (errechnete Einzahlungen für Tickets im Lauf der Periode)	<i>Keine Aussage möglich</i>	(70 USD – 20 USD) + 100 USD = 150 USD	(10 USD – 70 USD) + 200 USD = 140 USD	(30 USD – 10 USD) + 80 USD = 100 USD

Die Tabelle stellt dar, wie *Ticketeinzahlung _{$\bar{T}$}* ex-post approximativ berechnet werden kann. Die Information *Ticketerlös _{$\bar{T}$}* kann der GuV, die Information *VerbFlug _{$\bar{T}$}* der Bilanz einer Fluggesellschaft entnommen werden. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 5.1.2.6.

⁹⁷¹ Der schematische Aufbau der GuV orientiert sich an Beispielen aus der Praxis. Beispielhaft hierfür siehe: American Airlines (2019): S.117; Lufthansa Group (2019): S. 36; United Airlines (2019): S. 43.

Tabelle 64 – Größte Fluggesellschaften auf Strecken innerhalb der USA je Kalenderjahr (Kriterium: Anzahl Passagiere)

Passagiere in Mio.	Platz 1	Platz 2	Platz 3	Platz 4	Platz 5	Platz 6	Platz 7	Platz 8	Platz 9	Platz 10
1990	AA (67,7)	DL (66,2)	US (63,5)	UA (53,5)	NW (35,8)	CO (33)	WN (26,2)	TW (21,4)	EA (21,2)	HP (16,4)
1991	DL (74,1)	AA (68,1)	US (57,6)	UA (56,6)	NW (35,8)	CO (34,2)	WN (29,6)	TW (18,9)	HP (17,5)	AS (6,5)
1992	DL (80,4)	AA (76)	UA (58,9)	US (56)	NW (37,5)	WN (35,9)	CO (35)	TW (21)	HP (15,9)	AS (6,8)
1993	DL (81,4)	AA (70,5)	UA (60,6)	US (54,3)	WN (43,2)	NW (38,2)	CO (34,9)	TW (18,2)	HP (15,6)	AS (7)
1994	DL (84,7)	AA (68)	UA (64,3)	US (60)	WN (50,5)	CO (40,1)	NW (39,5)	TW (19,9)	HP (16,6)	AS (9,4)
1995	DL (82,6)	UA (68,8)	AA (64,6)	WN (57,4)	US (56,5)	NW (42,5)	CO (33,4)	TW (20,5)	HP (17,5)	AS (10,5)
1996	DL (93,1)	UA (71,4)	WN (64,1)	AA (63,8)	US (56,1)	NW (44,8)	CO (33)	TW (22)	HP (18,5)	AS (12)
1997	DL (99,3)	UA (73,1)	AA (65,1)	WN (64,9)	US (57,9)	NW (46,4)	CO (34,5)	TW (22,5)	HP (18,6)	AS (12,4)
1998	DL (101)	UA (76,6)	WN (68,8)	AA (65)	US (56,9)	NW (43)	CO (35,6)	TW (23,3)	HP (17,9)	AS (12,8)
1999	DL (101)	UA (76,9)	WN (75,3)	AA (64,9)	US (54,4)	NW (47,7)	CO (36,7)	TW (25)	HP (18,8)	AS (13,1)
2000	DL (100,4)	WN (82,2)	UA (73,8)	AA (69,4)	US (58)	NW (49,5)	CO (37,1)	TW (25,4)	HP (20)	AS (12,8)
2001	DL (88,9)	WN (82,2)	UA (65,3)	AA (62,7)	US (53,8)	NW (45,6)	CO (35,1)	TW (20,1)	HP (19,4)	AS (12,9)
2002	DL (85,1)	WN (80,4)	AA (78,6)	UA (59)	US (44,4)	NW (44)	CO (32)	HP (19,2)	AS (13,2)	MQ (11)
2003	WN (82)	DL (78,7)	AA (73,1)	UA (57,3)	NW (43,8)	US (37,9)	CO (31,2)	HP (19,6)	AS (14)	FL (11,7)
2004	WN (88,9)	DL (80,3)	AA (73,4)	UA (61)	NW (46,6)	US (38,4)	CO (31,9)	HP (20,6)	AS (15,2)	MQ (14,4)
2005	WN (95,8)	DL (78,3)	AA (78,1)	UA (56,1)	NW (47,3)	US (37,7)	CO (33,3)	HP (21,3)	MQ (16,9)	FL (16,7)
2006	WN (104)	AA (77,7)	DL (64,1)	UA (58,2)	NW (45,8)	CO (36,1)	US (32,4)	HP (20,4)	FL (20,3)	OO (18,7)
2007	WN (110,6)	AA (77,7)	DL (62,2)	UA (57,3)	NW (44,4)	US (37,7)	CO (37,4)	FL (24)	OO (21)	B6 (20,6)
2008	WN (110,9)	AA (72,4)	DL (60)	UA (52,4)	US (49,3)	NW (39)	CO (34,8)	FL (24,8)	B6 (20,6)	OO (19,7)
2009	WN (109,7)	AA (66,9)	DL (56,3)	UA (46,3)	US (45,3)	NW (33)	CO (32,2)	FL (24)	OO (20,1)	B6 (20,1)
2010	WN (114,3)	DL (91)	AA (66,5)	US (45,9)	UA (44,1)	CO (31)	FL (24,2)	OO (22,8)	B6 (21,2)	AS (15,4)
2011	WN (119,5)	DL (93,4)	AA (66,1)	US (46,9)	UA (40,2)	CO (31,6)	FL (23,9)	B6 (23)	OO (22,9)	AS (16,6)
2012	WN (120)	DL (96,1)	UA (68,4)	AA (65,7)	US (48,2)	EV (29,8)	B6 (24,9)	OO (24,9)	FL (20,5)	MQ (17,4)
2013	WN (122,4)	DL (99)	UA (65,8)	AA (65,5)	US (50,8)	EV (30,2)	B6 (26)	OO (25,7)	AS (18,5)	FL (16,2)
2014	WN (133,4)	DL (106,9)	AA (66,7)	UA (65,3)	US (51,5)	EV (28)	B6 (26,6)	OO (26,1)	AS (19,8)	MQ (14,7)
2015	WN (147,8)	DL (115,6)	AA (94,1)	UA (69,8)	B6 (28,9)	OO (27,9)	US (25,1)	EV (24)	AS (21,9)	NK (16,3)
2016	WN (153,3)	DL (119,7)	AA (117,6)	UA (74,4)	B6 (31,3)	OO (29,2)	AS (23,2)	EV (20,6)	NK (19,8)	F9 (14,2)
2017	WN (158,6)	DL (121,4)	AA (117,3)	UA (81)	OO (34,1)	B6 (32,5)	AS (24,7)	NK (22,3)	F9 (16,2)	YX (15,8)
2018	WN (163,4)	DL (127,1)	AA (119,9)	UA (86,4)	OO (37,6)	B6 (34)	AS (32)	NK (26,9)	F9 (19)	YX (17,6)
2019	WN (162,5)	DL (136,8)	AA (126,4)	UA (88)	OO (41,2)	AS (34,2)	B6 (33,8)	NK (31,4)	F9 (22)	YX (17,9)

Die Tabelle zeigt die jeweils 10 größten Fluggesellschaften pro Kalenderjahr auf inneramerikanischen Strecken. Kriterium für die Größe ist die Anzahl der Passagiere. Dargestellt ist die Anzahl der Passagiere in Millionen pro Kalenderjahr. Für die Definition der relevanten Strecken siehe Kapitel 6.1. Datengrundlage für Passagierzahlen ist der Datensatz des BOTS (siehe: Kapitel 6.1.2). Die Anzahl der Passagiere wurde entsprechend der in Kapitel 6.1.2 definierten Variable *Passagiere* ermittelt und bezieht sich auf die Anzahl der geflogenen Segmente. Die Zuweisung der Passagiere zu einer Fluggesellschaft erfolgt auf Basis der Datentabelle „T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)“ und gemäß den Angaben des BOTS über den „UniqueCarrierCode“ (siehe: Kapitel 6.1.2). Die einzigen Gesellschaften, die in allen 30 Jahren zu den zehn größten Fluggesellschaften gehören, sind: AA (*American Airlines*), DL (*Delta Air Lines*), UA (*United Airlines*) und WN (*Southwest Airlines*). Abweichungen zu anderen Quellen können beispielsweise daraus resultieren, dass (1) Passagiere nicht anhand von Segmenten sondern anhand von Tickets gezählt werden oder (2) die Definition von inneramerikanischen Strecken abweichend gewählt ist. Weitere Gründe für Abweichungen können ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Sonstige Fluggesellschaften in der Tabelle sind: AS (*Alaska Airlines*), B6 (*JetBlue Airways*), CO (*Continental Airlines*), EA (*Eastern Air Lines*), EV (*ExpressJet Airlines*), FL (*AirTran Airways*), F9 (*Frontier Airlines*), HP (*America West Airlines*), MQ (*American Eagle Airlines / Envoy Air*), NK (*Spirit Airlines*), NW (*Northwest Airlines*), OO (*SkyWest Airlines*), TW (*Trans World Airlines*), US (*US Airways*) und YX (*Republic Airlines*). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.1.1.

Tabelle 65 – Übersicht der genutzten gesellschaftsindividuellen BOTS-Daten

Bezeichnung Variable in OPTA	Bezeichnung der Rohdaten in BOTS-Datentabelle und Berechnung der Variable	BOTS Datentabelle	Verfügbarkeit Rohdaten
<i>Ticket Erlös</i>	„TransRevPax – 39010“	<i>Schedule P-1.2</i>	Quartal
<i>ErlösRestAbs</i>	(„OpRevenues – 49990“) – („TransRevPax – 39010“)	<i>Schedule P-1.2</i>	Quartal
<i>KontRatio</i>	(„TransRevPax – 39010“ [Filter: Domestic]) / („TransRevPax – 39010“ [Gesamtsumme])	<i>Schedule P-1.2</i>	Quartal
<i>VerbFlug</i>	„LiabAirTraffic – 21600“ * <i>KontRatio</i>	<i>Schedule B-1</i>	Quartal
<i>AufwandRestAbs</i>	(„OpExpenses – 71990“) – (STDOMCost)	<i>Schedule P-1.2 und Schedule P-12(a)</i>	Quartal und Monat
<i>Treibstoffmenge</i>	STDOMGallons [Manuelle Umrechnung in Barrel]	<i>Schedule P-12(a)</i>	Monat
<i>Passagiere</i>	Σ (Passengers(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)</i>	Monate
<i>Sitze</i>	Σ (Seats(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)</i>	Monate
<i>SLF</i>	Σ (Passengers(Segment)) / Σ (Seats(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)</i>	Monate
<i>RSK</i>	Σ (Distance(Segment) [Manuelle Umrechnung in Kilometer] * Passengers(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)</i>	Monate
<i>ASK</i>	Σ (Distance(Segment) [Manuelle Umrechnung in Kilometer] * Seats(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)</i>	Monate
<i>Effizienz</i> (Treibstoffverbrauch in Liter je 100 ASK)	100 * STDOMGallons [Manuelle Umrechnung in Liter] / Σ (Distance(Segment) [Manuelle Umrechnung in Kilometer] * Seats(Segment))	<i>T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers) und Schedule P-12(a)</i>	Monate

Die Tabelle bietet eine Übersicht darüber, welche gesellschaftsindividuellen Daten aus der BOTS-Datenbank genutzt werden und wie diese in das Modell OPTA einfließen. Die hier genannten Daten werden jeweils pro Fluggesellschaft aus der BOTS-Datenbank abgerufen. Die Zuordnung erfolgt dabei über den „Unique Carrier Codes“. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.1.2.1 sowie im Anhang A IX. a).

Tabelle 66 – Operative und finanzielle Kennziffern der betrachteten Fluggesellschaften

Kennziffer und Ausprägung		2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010 ⁹⁷²	2009	2008	2007 ⁹⁷³
<i>Fuel</i> (Jet USGC in USD pro Barrel)		78,7	84,8	65,4	52,4	64,0	113,4	122,7	128,3	125,8	90,3	70,1	123,6	95,4
AA	<i>Ticketeinzahlung</i> (in Mio. USD)	20.643	19.772	19.277	16.969	16.816	11.856	11.338	11.103	10.822	10.157	9.024	10.799	3.407
	<i>ErlösRestAbs</i> (in Mio. USD)	11.400	10.895	10.334	8.451	5.452	3.688	3.301	3.311	3.269	3.003	2.790	3.057	948
	<i>AufwandRestAbs</i> (in Mio. USD)	24.952	23.777	22.464	20.602	14.232	9.981	9.654	10.134	10.467	9.502	9.724	10.943	3.566
	<i>Treibstoffmenge</i> (in Mio. Barrel)	54,1	52,5	51,0	52,0	42,4	32,0	32,8	33,3	34,4	35,9	37,1	40,4	14,4
	<i>PUOF</i> (in USD pro Barrel)	381,4	376,4	378,3	326,2	396,4	370,9	345,7	333,2	314,2	282,9	243,2	267,6	237,1
	<i>FCF (ohne Sicherung)</i> (in USD pro Barrel)	42,1	37,8	60,2	33,0	107,5	48,4	22,6	0,1	-17,2	9,1	-10,9	-41,7	-42,5
DL	<i>Ticketeinzahlung</i> (in Mio. USD)	22.396	20.079	18.511	17.656	17.889	16.899	15.066	13.757	13.042	12.225	6.602	7.761	589
	<i>ErlösRestAbs</i> (in Mio. USD)	12.032	11.438	11.376	10.687	10.173	10.134	9.920	10.245	9.782	8.907	5.666	5.954	455
	<i>AufwandRestAbs</i> (in Mio. USD)	25.465	23.680	21.981	20.327	18.504	20.114	17.784	17.024	15.339	14.450	9.293	9.927	794
	<i>Treibstoffmenge</i> (in Mio. Barrel)	52,1	50,1	47,6	45,4	41,8	39,1	37,9	36,4	37,4	39,5	25,2	26,1	2,3
	<i>PUOF</i> (in USD pro Barrel)	429,6	400,7	388,9	388,7	428,2	432,1	397,6	377,6	348,6	309,2	261,8	297,1	253,0
	<i>FCF (ohne Sicherung)</i> (in USD pro Barrel)	75,5	58,1	81,9	101,2	134,9	52,4	54,1	52,0	59,6	63,9	39,2	11,0	9,6

⁹⁷² Für UA werden Daten für das Jahr 2010 nur anteilig für diejenigen Monate berücksichtigt, für welche Sicherungen mittels OPTA gehandelt werden können. Siehe auch Anmerkungen zur Tabelle.

⁹⁷³ Für AA, DL und WN werden Daten für das Jahr 2007 nur anteilig für diejenigen Monate berücksichtigt, für welche Sicherungen mittels OPTA gehandelt werden können. Siehe auch Anmerkungen zur Tabelle.

WN	<i>Ticketeinzahlung</i> (in Mio. USD)	19.676	19.869	19.022	18.363	18.111	17.764	16.915	15.062	13.220	11.276	9.642	10.257	2.841
	<i>ErlösRestAbs</i> (in Mio. USD)	2.448	2.179	1.983	1.797	1.499	936	965	1.539	1.073	981	789	798	232
	<i>AufwandRestAbs</i> (in Mio. USD)	14.854	13.946	13.544	12.902	12.072	11.151	10.757	10.076	8.346	7.661	7.196	7.063	2.210
	<i>Treibstoffmenge</i> (in Mio. Barrel)	48,9	49,3	48,2	47,1	45,0	42,5	42,9	41,9	35,9	34,2	34,0	36,0	11,9
	<i>PUOF</i> (in USD pro Barrel)	402,7	403,4	394,9	389,6	402,9	417,6	394,0	359,8	368,5	329,6	283,6	285,1	237,9
	<i>FCF (ohne Sicherung)</i> (in USD pro Barrel)	56,4	64,2	71,5	81,8	83,5	50,9	34,2	24,4	31,8	35,2	20,0	-10,9	-25,6
UA	<i>Ticketeinzahlung</i> (in Mio. USD)	16.649	15.850	14.172	13.076	13.269	13.171	12.628	13.342	7.384	3.203	—	—	—
	<i>ErlösRestAbs</i> (in Mio. USD)	10.535	10.017	9.093	9.156	8.764	9.282	9.527	8.801	5.718	2.710	—	—	—
	<i>AufwandRestAbs</i> (in Mio. USD)	20.697	19.803	17.898	17.000	16.702	17.248	17.168	16.994	10.140	5.021	—	—	—
	<i>Treibstoffmenge</i> (in Mio. Barrel)	41,8	40,3	38,0	35,7	34,6	34,6	35,8	36,9	21,8	11,9	—	—	—
	<i>PUOF</i> (in USD pro Barrel)	398,3	393,3	373,3	365,9	383,9	380,4	352,8	361,6	338,1	268,2	—	—	—
	<i>FCF (ohne Sicherung)</i> (in USD pro Barrel)	61,2	53,5	61,9	76,5	72,4	28,8	13,6	9,6	6,2	-15,6	—	—	—

Die Tabelle zeigt die Jahressumme beziehungsweise den Jahresdurchschnitt der Ausprägungen ausgewählter Kennziffern pro Kalenderjahr. Dargestellt sind absolute Jahreswerte in Millionen US-Dollar für die Variablen *Ticketeinzahlung_T* (Summe der Ticketeinzahlungen, siehe: Formel (5.3)), *ErlösRestAbs_T* (Summe der sonstigen Erlöse, siehe: Kapitel 5.1.2.5) sowie *AufwandRestAbs_T* (Summe der sonstigen Aufwendungen, siehe: Kapitel 5.1.2.4). Darüber hinaus sind jährliche Treibstoffverbrauchsmengen auf inneramerikanischen Strecken in Millionen Barrel dargestellt (*Treibstoffmenge_T*, siehe: Kapitel 6.1.2.1). Unter Rückgriff auf *Treibstoffmenge_T* sowie *Ticketeinzahlung_T* wird der dargestellte Jahresdurchschnittswert für *PUOF_T* in der skalierten Einheit US-Dollar pro Barrel errechnet (siehe: Kapitel 5.1.2.7 und dort (5.4)). Zusätzlich ist der durchschnittliche Free-Cash-Flow (*FCF_T*) pro Jahr gemäß der Definition in Formel (5.5) (siehe: Kapitel 5.1.2.8) in der Einheit US-Dollar pro Barrel dargestellt. Zur Ermittlung des Jahresdurchschnitts wird auf die FCF-Durchschnittswerte pro Monat zurückgegriffen. Aufgrund der nicht-linearen Verteilung von Treibstoffverbrauchsmengen innerhalb eines Jahres ist es möglich, dass dieser durchschnittliche Jahreswert sich nicht aus den dargestellten Summenwerten pro Jahr errechnen lässt. Für das Jahr 2007 werden Daten nur anteilig berücksichtigt, da Sicherungen von OPTA – aufgrund der verfügbaren Daten – nur für die letzten vier Kalendermonate (AA und WN) beziehungsweise nur für den letzten Kalendermonat (DL) dieses Jahres erzeugt werden können. Für UA gilt diese anteilige Berechnungsweise für das Jahr 2010, da Sicherungen für UA durch OPTA frühestens für Juli 2010 gehandelt werden können (siehe u.a.: Kapitel 4.2.1.3 und 6.1.3). Es wird durchweg angenommen: *Steuer* = 20%. Zusätzlich findet sich in der Tabelle der durchschnittliche jährliche Treibstoffpreis (*Jet USGC*) in der Einheit US-Dollar pro Barrel auf Basis der Bloomberg-Daten (siehe: Kapitel 6.1.3.1 – Daten für das Jahr 2007 ab 17.04.2007). Da die berücksichtigten Daten sich ausschließlich auf Kennziffern für den inneramerikanischen Verkehr beziehen (siehe hierzu u.a. Hintergründe in Kapitel 6.1.2) und teils auf vereinfachenden Berechnungen beruhen (siehe hierzu u.a. die Darstellungen in den Kapiteln 5.1.2.6 bis 5.1.2.8) können die hier ausgewiesenen Kennziffern von den Ausprägungen der Kennziffern abweichen, die in Veröffentlichungen der Gesellschaften zu finden sind. Hintergründe zum Abgriff und zur exakten Definition aller Daten finden sich in Kapitel 6.1.2.1 sowie 6.1.2.2. Es sind ausschließlich Daten für die Jahre 2007 bis 2019 dargestellt, da mittels OPTA auch nur für diesen Zeitraum Simulationen zum Abschluss optimaler Sicherungen vorgenommen werden können (siehe: Kapitel 7). Querverweis auf Tabelle u.a. in Kapitel 6.1.2.1 und 6.1.2.2.

Tabelle 67 – Kapitalstruktur und Kapitalkosten der betrachteten Fluggesellschaften

	Kennziffer	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
AA	$EK_{AA,T}$	12.281	14.790	24.741	23.686	26.453	37.406	13.302	11.528	9.754	7.979	6.205	4.431	2.657
	$FK_{AA,T}$	33.444	34.029	25.065	24.344	20.561	17.720	16.799	8.535	8.220	11.136	11.697	10.957	11.142
	$V_{AA,T}$	32.770	34.503	44.740	41.671	40.760	47.823	20.850	16.171	13.973	14.619	13.503	12.281	9.264
	$WACC_{AA,T}$	4,4%	5,9%	6,5%	6,7%	8,4%	9,4%	14,8%	13,6%	12,4%	11,2%	9,9%	8,7%	7,5%
DL	$EK_{DL,T}$	37.589	33.929	39.603	35.945	39.477	40.594	23.389	10.106	6.838	10.518	8.921	8.004	4.351
	$FK_{DL,T}$	17.255	16.527	8.834	7.332	8.329	9.661	11.342	12.709	13.791	15.252	17.198	16.571	9.295
	$V_{DL,T}$	40.722	45.867	41.932	45.798	40.028	44.369	46.951	30.928	19.441	17.014	22.160	21.441	20.108
	$WACC_{DL,T}$	6,5%	8,1%	9,7%	8,7%	8,8%	9,6%	8,7%	5,8%	5,3%	9,6%	9,2%	8,1%	8,9%
WN	$EK_{WN,T}$	28.019	25.685	36.168	30.660	27.886	28.591	13.197	7.478	6.613	9.702	8.490	6.379	8.965
	$FK_{WN,T}$	4.081	3.377	3.668	4.002	3.210	2.692	2.820	3.154	3.790	3.380	3.515	3.661	2.091
	$V_{WN,T}$	24.602	26.697	25.373	36.563	31.357	28.045	28.295	12.865	7.663	7.259	9.544	9.412	8.237
	$WACC_{WN,T}$	7,9%	10,2%	9,5%	8,7%	9,1%	8,8%	8,0%	7,8%	7,5%	9,8%	8,5%	7,5%	8,9%
UA	$EK_{UA,T}$	22.130	22.600	19.342	22.929	20.892	25.052	13.705	8.470	6.274	7.811	2.164	—	—
	$FK_{UA,T}$	20.450	19.787	14.392	11.705	11.759	11.947	12.409	13.166	12.735	15.133	8.543	—	—
	$V_{UA,T}$	27.838	31.931	32.369	29.861	30.134	27.385	32.541	20.993	15.093	11.247	14.264	—	—
	$WACC_{UA,T}$	5,3%	7,0%	8,2%	7,6%	7,5%	8,9%	7,9%	5,6%	6,0%	9,5%	8,6%	—	—

Die Tabelle zeigt die genutzten Ausprägungen der von *Bloomberg Professional Services* zur Verfügung gestellten Kennziffern $V_{i,T}$ (Unternehmenswert als *Entity Value*), $EK_{i,T}$ (Wert des Eigenkapitals als Marktwert der börsen-gehandelten Anteile), $FK_{i,T}$ (als Summe aus kurz- und langfristigem Fremdkapital gemäß Bilanz) sowie $WACC_{i,T}$ (als Gesamtkapitalkostenzins unter Berücksichtigung der Eigen- und Fremdkapitalkosten) für alle vier betrachteten Fluggesellschaften. Darstellung aller Daten zu Eigen- und Fremdkapital sowie zum Gesamtunternehmenswert in Millionen US-Dollar. Der Abgriff der Daten erfolgt jeweils zum letzten nutzbaren Stichtag eines Kalenderjahres. Daten werden jeweils dem Kalenderjahr zugeordnet, in welchem sich der relevante Stichtag befindet. Wie in Kapitel 6.1.2.3 erläutert, berücksichtigen die Werte für $V_{i,T}$ ab 2018 mögliche Korrekturen durch den Einsatz von operationellen Leases (siehe auch: Kapitel 5.1.2.4). Hintergründe zum Abgriff und zur exakten Definition aller Daten finden sich in Kapitel 6.1.2.3. Wie dort diskutiert, stellt *Bloomberg Professional Services* für *American Airlines* für 2008 bis 2012 keine Daten zu $EK_{i,T}$ sowie $WACC_{i,T}$ zur Verfügung. Für $V_{i,T}$ finden sich keine Daten für die Jahre 2007 bis 2012. Aus diesem Grund wurden die hier dargestellten und genutzten Daten für $EK_{AA,T}$ durch Interpolation der verfügbaren Daten für 2007 und 2013 ermittelt. Anschließend wurden unter Rückgriff auf diese Daten und unter Interpolation des Eigenkapitalkostenzinses zwischen 2007 und 2012 die dargestellten Daten für $WACC_{AA,T}$ errechnet. Zur Berechnung von $V_{AA,T}$ wurde anschließend die von Bloomberg angewandte Berechnungslogik genutzt: Zur Bestimmung der als „*Enterprise Value*“ ausgewiesenen Kennziffer (entspricht dem *Entity Value* in der vorliegenden Arbeit) ermittelt Bloomberg die Summe aus $FK_{i,T}$ und $EK_{i,T}$. Von dieser Summe werden die liquiden Zahlungsmittel („*Cash & Equivalents*“) subtrahiert. Das erzielte Ergebnis entspricht dem *Entity Value*. Zusätzlich werden zur Bestimmung von korrekten Werten für $V_{i,T}$ in Bloomberg teils weitere Korrekturen und Anpassungen vorgenommen (siehe hierzu Beschreibung in *Bloomberg Professional Services*). Da *Bloomberg Professional Services* für die Jahre 2007 bis 2012 sowohl Daten zu $FK_{AA,T}$ sowie zu „*Cash & Equivalents*“ zur Verfügung stellt, konnten unter Rückgriff auf die über Interpolation errechneten Daten für $EK_{AA,T}$ nutzbare Werte für den *Entity Value* ($V_{AA,T}$) für 2007 bis 2012 manuell ermittelt werden. Querverweis auf Tabelle unter anderem in Kapitel 6.1.2.3.

Tabelle 68 – Übersicht: Zuordnung Bloomberg-Ticker für Rohwarenterminpreise

	Mitteldestillat (NYH ULSD)	Jet Differential (Jet US Gulf Coast - NYH ULSD)
Spotpreis Zeitpunkt T_0 in Periode $\bar{T}_0$ (mit: $\tau \leq T_0 \leq T$)	HO1 Comdty	WU1 Comdty
Terminmonat: $\bar{T}_1$	HO2 Comdty	WU2 Comdty
Terminmonat: $\bar{T}_2$	HO3 Comdty	WU3 Comdty
Terminmonat: $\bar{T}_3$	HO4 Comdty	WU4 Comdty
...		
Terminmonat: $\bar{T}_{35}$	HO36 Comdty	WU36 Comdty
Verfügbare Daten		
Spotpreise verfügbar ab	1991	2004
Anzahl verfügbare Terminpreise	Ab 1991: 17 Terminmonate / 2007: 35 / 2012: 43	2004: 33 / 2013: 35
Datenverfügbarkeit	Täglich	Täglich

Die Tabelle bietet eine Übersicht über die genutzten Bloomberg-Ticker zur Ermittlung der für die Simulationen relevanten Spot- und Terminpreise. Darüber hinaus liefert die Tabelle Informationen zur historischen Verfügbarkeit einzelner Datenreihen. Eine tägliche Datenverfügbarkeit bezieht sich ausschließlich auf Werktage. Bei den genutzten Ticks handelt es sich jeweils um flexible Ticks. Dies bedeutet, dass beispielsweise „HO1“ zu jedem Zeitpunkt den Terminpreis für den nächstfälligen Mitteldestillat-Kontrakt ausgibt, welcher als Spotpreis berücksichtigt wird. Diese automatische Zuordnung gilt auch beim Abgriff historischer Daten. Zur Bestimmung von Kerosinpreisen als Summe aus dem Preis eines Mitteldestillates und dem Marktpreis des Jet Differentials siehe auch: Abbildung 8. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.1.3.1.

Tabelle 69 – Regressionsergebnisse für relative PUOF-Veränderung (ungekürzte Datensätze)

	AA	DL	UA	WN
Zeitraum	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
Beobachtungen Basisdatensatz	66	66	66	66
β_1 (Δ ASK)	-0,01	-0,48	-0,05	-0,80***
β_2 (Δ Effizienz)	-0,62	-0,27	-0,54	-2,25***
β_3 (Δ SLF)	0,53**	0,37	0,79***	0,07
β_0 (Effekt Q1)	0,14***	0,23***	0,20***	0,15***
β_3 (Dummy Q2)	-0,18***	-0,33***	-0,25***	-0,11***
β_4 (Dummy Q3)	-0,26***	-0,35***	-0,33***	-0,15***
β_5 (Dummy Q4)	-0,11***	-0,24***	-0,21***	-0,24***
Adj. R^2	69,6%	80,5%	75,8%	80,1%

Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Regressionsgleichung aus (6.2) (siehe: Kapitel 6.2.2.1) für ungekürzte Datensätze dar. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse für um Ausreißer korrigierte, gekürzte Datensätze sind in Tabelle 45 dargestellt. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.2.2.1.

Tabelle 70 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: American Airlines

<i>Regressionsmodell nach ...</i>	<i>Formel (6.2)</i>	<i>Formel (A X.14)</i>	<i>Formel (A X.15)</i>	<i>Formel (A X.16)</i>	<i>Formel (A X.17)</i>	<i>Formel (A X.18)</i>
<i>Zeitraum</i>	'90 – '06	'90 – '06	'90 – '06	'90 – '06	'90 – '06	'90 – '06
<i>Beobachtungen</i>	62	62	62	62	62	62
β_0 (Effekt Q1)	0,14***	0,14***	0,14***	0,14***	0,14***	0,14***
β_1 (Dummy Q2)	-0,20***	-0,20***	-0,14***	-0,19***	-0,20***	-0,19***
β_2 (Dummy Q3)	-0,25***	-0,26***	-0,25***	-0,26***	-0,25***	-0,25***
β_3 (Dummy Q4)	-0,12***	-0,12***	-0,14***	-0,12***	-0,12***	-0,12***
β_4 (Δ ASK)	-0,15	-	-0,12	-0,14	-0,14	-0,81**
β_5 (Δ Effizienz)	-0,59	-0,58	-0,21	-	-0,60	-0,57
β_6 (Δ SLF)	0,73***	0,72***	-	0,61**	0,72***	-
β_7 (Δ Arbeitslos)	-	-	-	-	-0,06	-
β_8 (Δ RSK)	-	-	-	-	-	0,65**
R^2	77,5%	77,2%	74,0%	76,6%	77,5%	77,0%
$Adj. R^2$	75,0%	75,1%	71,7%	74,5%	74,6%	74,5%

Die Tabelle stellt für *American Airlines* vergleichend die Ergebnisse der führenden Regressionsgleichung gemäß (6.2) den Ergebnissen der alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A X.14) bis (A X.18) gegenüber. Ergebnisse zur Regression aus (6.2) siehe auch: Tabelle 45. Es ist zu beachten, dass die Zuordnung der β_k aus Einheitlichkeitsgründen nicht der Zuordnung gemäß (6.2) entspricht. Genutzt werden die Beobachtungen im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006 nach Kürzung des Basisdatensatzes über den Cook-Abstand. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.2.2.1 sowie im Anhang A X. c).

Tabelle 71 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Delta Air Lines

<i>Regressionsmodell nach ...</i>	<i>Formel (6.2)</i>	<i>Formel (A X.14)</i>	<i>Formel (A X.15)</i>	<i>Formel (A X.16)</i>	<i>Formel (A X.17)</i>	<i>Formel (A X.18)</i>
<i>Zeitraum</i>	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
<i>Beobachtungen</i>	63	63	63	63	63	63
β_0 (Effekt Q1)	0,24***	0,25***	0,23***	0,24***	0,24***	0,24***
β_1 (Dummy Q2)	-0,33***	-0,36***	-0,30***	-0,33***	-0,34***	-0,33***
β_2 (Dummy Q3)	-0,33***	-0,35***	-0,33***	-0,33***	-0,34***	-0,34***
β_3 (Dummy Q4)	-0,25***	-0,26***	-0,26***	-0,25***	-0,25***	-0,24***
β_4 (Δ ASK)	-0,49*	-	-0,57**	-0,50*	-0,48*	-0,87***
β_5 (Δ Effizienz)	-0,05	-0,27	0,22	-	-0,03	-0,04
β_6 (Δ SLF)	0,39**	0,44**	-	0,39**	0,40**	-
β_7 (Δ Arbeitslos)	-	-	-	-	0,03	-
β_8 (Δ RSK)	-	-	-	-	-	0,37*
R^2	88,1%	87,4%	87,2%	88,1%	88,1%	87,9%
<i>Adj. R^2</i>	86,8%	86,3%	86,0%	87,1%	86,6%	86,6%

Die Tabelle stellt für *Delta Air Lines* vergleichend die Ergebnisse der führenden Regressionsgleichung gemäß (6.2) den Ergebnissen der alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A X.14) bis (A X.18) gegenüber. Ergebnisse zur Regression aus (6.2) siehe auch: Tabelle 45. Es ist zu beachten, dass die Zuordnung der β_k aus Einheitlichkeitsgründen nicht der Zuordnung gemäß (6.2) entspricht. Genutzt werden die Beobachtungen im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006 nach Kürzung des Basisdatensatzes über den Cook-Abstand. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.2.2.1 sowie im Anhang A X. c).

Tabelle 72 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Southwest Airlines

<i>Regressionsmodell nach ...</i>	<i>Formel (6.2)</i>	<i>Formel (A X.14)</i>	<i>Formel (A X.15)</i>	<i>Formel (A X.16)</i>	<i>Formel (A X.17)</i>	<i>Formel (A X.18)</i>
<i>Zeitraum</i>	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
<i>Beobachtungen</i>	60	60	60	60	60	60
β_0 (Effekt Q1)	0,16***	0,15***	0,15***	0,16***	0,16***	0,15***
β_1 (Dummy Q2)	-0,15***	-0,18***	-0,13***	-0,12***	-0,15***	-0,15***
β_2 (Dummy Q3)	-0,16***	-0,18***	-0,15***	-0,16***	-0,16***	-0,16***
β_3 (Dummy Q4)	-0,25***	-0,25***	-0,25***	-0,25***	-0,25***	-0,25***
β_4 (Δ ASK)	-0,53*	-	-0,56**	-0,47	-0,54*	-0,67**
β_5 (Δ Effizienz)	-2,09***	-2,00***	-1,80***	-	-2,10***	-2,00***
β_6 (Δ SLF)	0,21	0,27	-	-0,20	0,21	-
β_7 (Δ Arbeitslos)	-	-	-	-	-0,02	-
β_8 (Δ RSK)	-	-	-	-	-	0,14
R^2	85,6%	84,5%	85,4%	82,7%	85,6%	85,5%
$Adj. R^2$	83,9%	83,1%	84,0%	81,1%	83,6%	83,8%

Die Tabelle stellt für *Southwest Airlines* vergleichend die Ergebnisse der führenden Regressionsgleichung gemäß (6.2) den Ergebnissen der alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A X.14) bis (A X.18) gegenüber. Ergebnisse zur Regression aus (6.2) siehe auch: Tabelle 45. Es ist zu beachten, dass die Zuordnung der β_k aus Einheitlichkeitsgründen nicht der Zuordnung gemäß (6.2) entspricht. Genutzt werden die Beobachtungen im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006 nach Kürzung des Basisdatensatzes über den Cook-Abstand. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.2.2.1 sowie im Anhang A X. c).

Tabelle 73 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: United Airlines

<i>Regressionsmodell nach ...</i>	<i>Formel (6.2)</i>	<i>Formel (A X.14)</i>	<i>Formel (A X.15)</i>	<i>Formel (A X.16)</i>	<i>Formel (A X.17)</i>	<i>Formel (A X.18)</i>
<i>Zeitraum</i>	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06	‘90 – ‘06
<i>Beobachtungen</i>	61	61	61	61	61	61
β_0 (Effekt Q1)	0,18***	0,18***	0,15***	0,18***	0,18***	0,18***
β_1 (Dummy Q2)	-0,25***	-0,25***	-0,14***	-0,25***	-0,25***	-0,24***
β_2 (Dummy Q3)	-0,31***	-0,31***	-0,26***	-0,31***	-0,31***	-0,31***
β_3 (Dummy Q4)	-0,20***	-0,19***	-0,22***	-0,20***	-0,20***	-0,19***
β_4 (Δ ASK)	-0,07	-	-0,21	-0,13	-0,08	-0,80**
β_5 (Δ Effizienz)	-0,30	-0,36	-0,18	-	-0,33	-0,33
β_6 (Δ SLF)	0,81***	0,81***	-	0,80***	0,80***	-
β_7 (Δ Arbeitslos)	-	-	-	-	-0,03	-
β_8 (Δ RSK)	-	-	-	-	-	0,76***
R^2	79,0%	79,0%	73,5%	78,9%	79,0%	78,3%
<i>Adj. R^2</i>	76,6%	77,0%	71,1%	77,0%	76,2%	75,9%

Die Tabelle stellt für *United Airlines* vergleichend die Ergebnisse der führenden Regressionsgleichung gemäß (6.2) den Ergebnissen der alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A X.14) bis (A X.18) gegenüber. Ergebnisse zur Regression aus (6.2) siehe auch: Tabelle 45. Es ist zu beachten, dass die Zuordnung der β_k aus Einheitlichkeitsgründen nicht der Zuordnung gemäß (6.2) entspricht. Genutzt werden die Beobachtungen im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006 nach Kürzung des Basisdatensatzes über den Cook-Abstand. Die ausgewiesenen Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf reguläre OLS-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.2.2.1 sowie im Anhang A X. c).

Tabelle 74 – Nebenbedingung: DWC-Parameter und finanzielle Situation

<i>Ausfallrisiko</i> _{<i>i,T₀,T̄</i>}	Ausgestaltung der DWC-Parameter
Geringe Ausfall- wahrscheinlichkeit: [0,00%, 0,52%]	$TrigInso_{i,T_0,\bar{T}} = \min(-20 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - 20 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = \max(40 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) + 40 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = \max\left(-5 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - \left(TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} - E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})\right)\right)$ $maxInso_{i,T_0,\bar{T}} = 15$ $maxNegF_{i,T_0,\bar{T}} = 7,5$ $maxPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 5$ $SteigInso_{i,T_0,\bar{T}} = 0,2$ $SteigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = SteigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 0,1$
Mittlere Ausfall- wahrscheinlichkeit: (0,52%, 10,00%]	$TrigInso_{i,T_0,\bar{T}} = \min(-15 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - 15 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = \max(30 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) + 30 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = \max\left(0, E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - \left(TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} - E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})\right)\right)$ $maxInso_{i,T_0,\bar{T}} = 15$ $maxNegF_{i,T_0,\bar{T}} = 10$ $maxPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 7,5$ $SteigInso_{i,T_0,\bar{T}} = 0,2$ $SteigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = SteigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 0,125$
Erhöhte Ausfall- wahrscheinlichkeit: (10,00%, 100,00%]	$TrigInso_{i,T_0,\bar{T}} = \min(-10 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - 10 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = \max(20 * (1,5 - VSG_{i,T_0}), E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) + 20 * (1,5 - VSG_{i,T_0}))$ $TrigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = \max\left(0, E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}}) - \left(TrigPosF_{i,T_0,\bar{T}} - E_{T_0}(FCF_{i,\bar{T}})\right)\right)$ $maxInso_{i,T_0,\bar{T}} = 15$ $maxNegF_{i,T_0,\bar{T}} = 12,5$ $maxPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 10$ $SteigInso_{i,T_0,\bar{T}} = 0,2$ $SteigNegF_{i,T_0,\bar{T}} = SteigPosF_{i,T_0,\bar{T}} = 0,15$

In der Tabelle sind die Ausgestaltungen der DWC-Parameter dargestellt, welche in OPTA abhängig von der jeweiligen Ausfallwahrscheinlichkeit (*Ausfallrisiko*_{*i,T₀,T̄*}) sowie dem Verschuldungsgrad (*VSG*_{*i,T₀*}) einer Gesellschaft *i* im Sicherungszeitpunkt *T₀* genutzt werden. Die DWC-Parameter werden individuell je Gesellschaft *i*, Sicherungszeitpunkt *T₀* und Erfüllungszeitraum *T̄* bestimmt. Zum Vergleich der Effekte, welche aus den unterschiedlichen Ausgestaltungen der DWC-Parameter resultieren, findet sich in Abbildung 71 im Anhang B II eine Veranschaulichung dreier exemplarischer DWC-Funktionen. Abbildung 59 im Anhang B II ermöglicht zudem eine Visualisierung des historischen Verlaufs der standardisierten Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeiten. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.3.1.2.

Tabelle 75 – Maße der Wettbewerbsintensität auf inneramerikanischen Strecken – Jahresübersicht

	Anzahl aktive Gesellschaften	Passagiere gesamt (in Mio.)	Passagiere Top 4 (in Mio.)	4-Firm Concentration Ratio	Herfindahl- Hirschman- Index
1990	116	449	251	55,9%	10,1%
1991	118	435	256	59,0%	11,0%
1992	120	454	271	59,7%	11,4%
1993	141	464	267	57,4%	10,9%
1994	144	505	277	54,8%	10,2%
1995	143	519	273	52,6%	9,7%
1996	149	548	292	53,3%	9,8%
1997	149	564	302	53,6%	9,9%
1998	143	575	311	54,1%	9,9%
1999	146	598	318	53,2%	9,6%
2000	144	623	326	52,3%	9,3%
2001	131	580	299	51,5%	9,1%
2002	205	572	303	53,0%	9,0%
2003	250	604	291	48,2%	7,6%
2004	223	651	304	46,6%	7,2%
2005	219	677	308	45,6%	7,0%
2006	216	677	304	44,9%	7,0%
2007	214	698	308	44,1%	6,9%
2008	198	670	296	44,2%	7,2%
2009	189	635	279	44,0%	7,2%
2010	194	646	318	49,1%	8,1%
2011	200	656	326	49,6%	8,3%
2012	187	658	350	53,2%	9,0%
2013	192	660	353	53,4%	9,2%
2014	199	676	372	55,1%	9,7%
2015	196	708	427	60,4%	10,7%
2016	195	731	465	63,6%	11,5%
2017	198	753	478	63,6%	11,5%
2018	206	788	497	63,0%	11,4%
2019	117	820	514	62,6%	11,3%

Die Tabelle stellt die Anzahl der Segment-Passagiere auf inneramerikanischen Strecken je Kalenderjahr gemäß der in Kapitel 6.1.2.1 sowie Anhang A IX. a) beschriebenen Datenbasis und Berechnungslogik dar. Als Anzahl der Fluggesellschaften wird die Gesamtzahl aller Gesellschaften ausgewiesen, unter deren individuellen „Unique Carrier Codes“ in einem Kalenderjahr Flugsegmente durch das BOTS erfasst wurden. Berechnung der 4-Firm Concentration Ratio gemäß der Beschreibung in Kapitel 6.3.1.3 sowie im Anhang A XI. c) (siehe insbesondere: (A XI.3)). Berechnung des Herfindahl-Hirschman-Index gemäß der Darstellung in Naldi und Flamini (2014) als alternatives Maß zur Bestimmung der Wettbewerbssituation.⁹⁷⁴ Daten korrespondieren zu grafischer Darstellung in Abbildung 37 im Anhang A XI. c). Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.3.1.3 sowie im Anhang A XI. c).

⁹⁷⁴ Vgl. Naldi/Flamini (2014): S. 3 f.

Tabelle 76 – Nebenbedingung: Vorgaben aus Governance

Instrument	Verbale Beschreibung der Vorgabe	Allgemeine Darstellung der Nebenbedingung	Betroffene Instrumentenkombinationen	Konkrete Quantifizierung der Vorgabe für Simulation mittels OPTA
Long Call	Vorgabe bezüglich des maximal genehmigten Strikes	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Long} \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} + govNB_1$	LC, Collar, CS, 3-Way CS, 3-Way PS, 4-Way	$govNB_1 = \begin{cases} 20 & \text{für } Fuel_{T_0,\bar{T}} < 100 \\ 30 & \text{für } 100 \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} \end{cases}$
Short Call	Vorgabe bezüglich des minimal genehmigten Strikes	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Short} \geq Fuel_{T_0,\bar{T}} + govNB_2$	CS, 3-Way CS, 4-Way	$govNB_2 = \begin{cases} 30 & \text{für } Fuel_{T_0,\bar{T}} < 100 \\ 40 & \text{für } 100 \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} \end{cases}$
Long Call & Short Call	Vorgabe bezüglich der genehmigten Call-Spread-Breite	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Short} - K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Long} = govNB_3$ $= CallSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	CS, 3-Way CS, 4-Way	$govNB_3 = \begin{cases} 25 & \text{für } Fuel_{T_0,\bar{T}} < 100 \\ 35 & \text{für } 100 \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} \end{cases}$
Short Put	Vorgabe bezüglich des maximal genehmigten Strikes	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Short} \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} - govNB_4$	Collar, 3-Way CS, 3-Way PS, 4-Way	$govNB_4 = 10$
Long Put	Vorgabe bezüglich des minimal genehmigten Strikes	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Long} \geq Fuel_{T_0,\bar{T}} - govNB_5$	Cap, 3-Way PS, 4-Way	$govNB_5 = \begin{cases} 30 & \text{für } Fuel_{T_0,\bar{T}} < 100 \\ 40 & \text{für } 100 \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} \end{cases}$
Short Put & Long Put	Vorgabe bezüglich der genehmigten Put-Spread-Breite	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Short} - K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Long} = govNB_6$ $= PutSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	3-Way PS, 4-Way	$govNB_6 = \begin{cases} 15 & \text{für } Fuel_{T_0,\bar{T}} < 100 \\ 20 & \text{für } 100 \leq Fuel_{T_0,\bar{T}} \end{cases}$
Long Call & Short Put	Vorgabe bezüglich der minimalen genehmigten Spread-Breite	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Call,Long} - K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Short} \geq govNB_7$ $= CollarSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	Collar, 3-Way CS, 3-Way PS, 4-Way	$govNB_7 = 10$
Swap & Long Put	Vorgabe bezüglich der maximal genehmigten Cap-Spread-Breite	$K_{w,T_0,\bar{T}}^{Swap} - K_{w,T_0,\bar{T}}^{Put,Long} \leq govNB_8$ $= CapSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	Cap	$govNB_8 = 15$

Die Tabelle stellt die Governance-Nebenbedingungen dar, welche von OPTA bei Abschluss einer Derivatekombinationen w berücksichtigt werden müssen. Aus den Darstellungen in Tabelle 60 im Anhang B I ergeben sich zudem folgende Abhängigkeiten: (1) $govNB_1 < govNB_2$, (2) $govNB_4 < govNB_5$, (3) $govNB_4 \geq govNB_8$. Neben der allgemeinen Form ist ebenfalls dargestellt, welche konkreten Vorgaben im Rahmen der Optimierung mittels OPTA in dieser Arbeit genutzt werden. Zusätzlich zu den hier dargestellten Nebenbedingungen sind die allgemeinen Nebenbedingungen in Tabelle 10 (Kapitel 6.3.3) zu berücksichtigen, die sich teils mit den hier genannten Nebenbedingungen überschneiden. Sofern zwei Restriktionen denselben Parameter betreffen, besitzt jeweils die im Rahmen einer Simulation restriktivere der beiden Vorgaben Gültigkeit. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 6.3.2.4.

Tabelle 77 – Beispiel: Optima im Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011

Zeitraum $\bar{T}$ (Terminmonat)	Gewähltes Instrument	Lage der optima- len Strikes	$E_{T_0}(DWC_{DL,T_0,\bar{T}}^w)$	$E_{T_0}(DWCCF_{DL,T_0,\bar{T}}^w)$
Februar 2012 (13)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,99$	5,33	94,59
März 2012 (14)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,11$	5,29	99,28
April 2012 (15)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,55$	6,97	36,94
Mai 2012 (16)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,08$	7,20	37,18
Juni 2012 (17)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,19$	7,83	28,19
Juli 2012 (18)	Swap	$K_{T_0,\bar{T}}^{Swap} = 114,76$	17,51	-21,98
August 2012 (19)	Collar	$K_{T_0,\bar{T}}^{LC} = 128,92$ $K_{T_0,\bar{T}}^{SP} = 105,26$	19,98	-35,43
September 2012 (20)	Collar	$K_{T_0,\bar{T}}^{LC} = 129,56$ $K_{T_0,\bar{T}}^{SP} = 105,82$	24,76	-59,22
Oktober 2012 (21)	Collar	$K_{T_0,\bar{T}}^{LC} = 128,59$ $K_{T_0,\bar{T}}^{SP} = 104,79$	22,49	-46,02
November 2012 (22)	Collar	$K_{T_0,\bar{T}}^{LC} = 129,18$ $K_{T_0,\bar{T}}^{SP} = 105,33$	25,30	-60,52
Dezember 2012 (23)	Collar	$K_{T_0,\bar{T}}^{LC} = 129,88$ $K_{T_0,\bar{T}}^{SP} = 105,95$	21,56	-37,81

Die Tabelle bezieht sich auf das in Kapitel 7.1.1.3 sowie im Anhang A XIII behandelte Beispiel für *Delta Air Lines*. Sie stellt für das Beispiel für den Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011 die über das Programm *Wolfram Mathematica* ermittelten Optima für alle relevanten Terminmonate innerhalb des Jahres 2012 dar (siehe auch: Anhang A XIII. b)). Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.3.

Tabelle 78 – Beispiel: Instrumentenkombinationen je Entscheidungszeitpunkt

Entscheidungszeitpunkt $T_{0,n}$	Anzahl: Keine Sicherung	Anzahl: Swap	Anzahl: Collar	Anzahl: 3-Way PS	Summe
15.01.2010	1 / 1 FNB	0	0	0	1
16.02.2010	2 / 2 FNB	0	0	0	2
15.03.2010	1 / 1 FNB	0	2	0	3
15.04.2010	1 / 1 FNB	2	1	0	4
17.05.2010	1 / 1 FNB	4	0	0	5
15.06.2010	1 / 1 FNB	2	3	0	6
15.07.2010	1 / 1 FNB	6	0	0	7
16.08.2010	2 / 2 FNB	6	0	0	8
15.09.2010	1 / 1 FNB	6	2	0	9
15.10.2010	1 / 1 FNB	6	3	0	10
15.11.2010	1 / 1 FNB	6	4	0	11
15.12.2010	1 / 1 FNB	7	4	0	12
18.01.2011	0	7	5	0	12
15.02.2011	0	7	5	0	12
15.03.2011	0	6	6	0	12
15.04.2011	0	8	4	0	12
16.05.2011	0	9	3	0	12
15.06.2011	0	10	2	0	12
15.07.2011	0	7	4	0	11
15.08.2011	0	6	4	0	10
15.09.2011	0	6	3	0	9
17.10.2011	0	7	1	0	8
15.11.2011	0	7	0	0	7
15.12.2011	0	6	0	0	6
17.01.2012	0	0	5	0	5
15.02.2012	0	0	3	1	4
15.03.2012	0	0	1	2	3
16.04.2012	0	1	0	1	2
15.05.2012	0	0	0	1	1
Summe	14 / 14 FNB	132	65	5	216

Die Tabelle bezieht sich auf das im Anhang A XIII behandelte Beispiel für *Delta Air Lines*. Die Tabelle visualisiert für alle relevanten Entscheidungszeitpunkte die abgeschlossenen Derivatekombinationen. Alle Sicherungsabschlüsse beziehen sich jeweils auf einen Erfüllungszeitraum im Jahr 2012. Sicherungen, die zwangsweise aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden, aber gegen gültige Nebenbedingungen gemäß Tabelle 15 verstoßen, sind mit der Abkürzung *FNB* markiert (siehe: Kapitel 6.5.1). Die identische Tabelle mit Sortierung anhand des Kriteriums Erfüllungszeitraum findet sich im Anhang A XIII. b) bereits in Tabelle 49. Querverweis auf Tabelle in Anhang A XIII. b).

Tabelle 79 – Beispiel: Erwartungswerte pro Erfüllungszeitraum (ex-ante)

Zeitraum $\bar{T}_s$	$\emptyset$ Fuel $_{T_0, \bar{T}}$	$\emptyset$ $E_{T_0}(\text{PUOF}_{DL, \bar{T}})$	$\emptyset$ $E_{T_0}(\text{FCF}_{DL, T_0, \bar{T}})$	$\emptyset$ $E_{T_0}(\text{DWC}_{DL, T_0, \bar{T}}^w)$		$\Delta E_{T_0}(\text{DWCCF}_{h, \bar{T}})$
				Beste Siche- rung	Keine Siche- rung	
Januar 2012	109,85	418,84	98,17	5,44	6,04	0,53
Februar 2012	111,54	419,57	111,98	5,34	5,96	0,55
März 2012	112,45	392,03	115,20	5,13	5,77	0,57
April 2012	114,45	356,82	48,09	7,42	8,89	1,33
Mai 2012	115,05	360,13	50,16	7,36	8,77	1,28
Juni 2012	117,20	332,67	42,36	7,79	9,25	1,34
Juli 2012	118,78	284,03	-0,42	15,21	16,32	1,04
August 2012	120,84	286,90	-11,08	18,12	18,88	0,71
September 2012	123,29	305,79	-28,33	22,64	22,99	0,33
Oktober 2012	124,47	320,53	-13,55	18,95	19,47	0,49
November 2012	126,04	324,30	-24,52	21,81	22,12	0,29
Dezember 2012	126,91	338,00	-2,42	16,40	17,03	0,59
$\emptyset$ (arithme- tisch)	118,41	344,97	32,14	12,63	13,46	$\Delta E_{T_0}(\text{DWCCF}_h)$ = 0,75

Die Tabelle bezieht sich auf das im Anhang A XIII behandelte Beispiel für *Delta Air Lines*. Die Tabelle stellt für alle Erfüllungszeiträume im Jahr 2012 den arithmetischen Mittelwert wichtiger errechneter Kenngrößen dar. Der arithmetische Mittelwert ergibt sich jeweils aus allen einzelnen Erwartungswerten einer Kennziffer in US-Dollar pro Barrel für einen Erfüllungszeitraum. Die einzelnen Erwartungswerte für einen Erfüllungszeitraum werden jeweils in allen relevanten Entscheidungszeitpunkten ermittelt. Pro Erfüllungszeitraum und dargestellter Kennziffer werden demnach 18 Erwartungswerte berücksichtigt (siehe: Tabelle 49). Die dargestellten Erwartungswertmittelwerte für Treibstoffpreis, PUOF, FCF sowie DWC wurden nicht diskontiert. Die Berechnung von $\Delta E_{T_0}(\text{DWCCF}_{h, \bar{T}})$ erfolgt gemäß dem in Formel (7.1) dargestellten Schema. Die dargestellten Werte sind somit diskontiert. Aus diesem Grund ist der einfache Übertrag der dargestellten und nicht diskontierten Werte für DWC zu den DWCCF-Differenzen nicht direkt möglich. Aus Vereinfachungsgründen wird auf die Darstellung von s im Index (beispielsweise für: $\bar{T}_s$) verzichtet. Die Berechnung von $\Delta E_{T_0}(\text{DWCCF}_h)$ erfolgt gemäß dem in Formel (7.2) dargestellten Schema. Querverweis auf Tabelle im Anhang A XIII. b).

Tabelle 80 – Beispiel: Realisierungen pro Erfüllungszeitraum (ex-post)

Zeit- raum $\bar{T}_s$	$\bar{\emptyset}$ $\text{PUOF}_{\text{DL},\bar{T}}$	$\bar{\emptyset}$ (Fuel $\bar{T}$)		$\bar{\emptyset}$ FCF $^w_{\text{DL},\bar{T}}$		$\bar{\emptyset}$ DWC $^w_{\text{DL},\bar{T}}$		$\bar{\emptyset}$ DWCCF $^w_{\text{DL},\bar{T}}$		$\Delta \text{DWCCF}_{h,SG,\bar{T}}$
		Beste Siche- rung	Keine Siche- rung	Beste Siche- rung	Keine Siche- rung	Beste Siche- rung	Keine Siche- rung	Beste Siche- rung	Keine Siche- rung	
Januar 2012	423,61	116,17	129,02	96,93	86,65	4,50	3,79	92,43	82,86	9,57
Feb- ruar 2012	437,40	118,25	134,95	120,87	107,51	4,62	3,80	116,25	103,71	12,54
März 2012	472,91	120,30	136,75	173,63	160,47	5,88	5,50	167,75	154,97	12,79
April 2012	409,42	117,94	135,01	87,38	73,73	5,24	4,32	82,15	69,41	12,73
Mai 2012	405,86	117,43	124,78	84,84	78,95	4,86	4,43	79,98	74,52	5,45
Juni 2012	406,25	117,28	111,99	101,16	105,40	6,29	6,82	94,88	98,58	-3,71
Juli 2012	309,67	122,20	121,22	17,35	18,13	3,11	2,49	14,23	15,64	-1,41
August 2012	310,93	127,30	132,33	2,97	-1,05	5,18	6,30	-2,21	-7,35	5,14
Sep- tember 2012	293,80	130,50	134,71	-43,69	-47,06	28,50	30,47	-72,19	-77,53	5,34
Okto- ber 2012	373,34	129,16	131,60	24,96	23,00	3,36	3,04	21,60	19,96	1,64
No- vember 2012	369,83	125,18	124,19	12,60	13,39	2,80	2,72	9,79	10,67	-0,88
De- zember 2012	343,00	124,19	123,49	3,74	4,31	4,40	4,16	-0,66	0,15	-0,81
$\bar{\emptyset}$ (arith- me- tisch)	344,97	122,16	128,34	56,90	51,95	6,56	6,49	50,33	45,47	$\Delta \text{DWCCF}_{h,SG}$ = 4,87

Die Tabelle bezieht sich auf das im Anhang A XIII behandelte Beispiel für *Delta Air Lines*. Die Tabelle stellt für alle Erfüllungszeiträume im Jahr 2012 den arithmetischen Mittelwert skaliert auf US-Dollar pro gesichertem Barrel Kerosin für wichtige Kenngrößen dar. Der arithmetische Mittelwert ergibt sich jeweils aus allen einzelnen Realisierungen in US-Dollar pro Barrel für einen Erfüllungszeitraum. Die einzelnen Realisierungen für einen Erfüllungszeitraum werden jeweils unter Berücksichtigung der in allen relevanten Entscheidungszeitpunkten gehandelten einzelnen Instrumentenkombinationen ermittelt. Pro Erfüllungszeitraum werden demnach 18 gehandelte Sicherungen berücksichtigt (siehe: Tabelle 49). Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Die Berechnung von $\text{DWCCF}_{h,SG,\bar{T}}$ erfolgt gemäß dem in Formel (7.3) dargestellten Schema. Aus Vereinfachungsgründen wird auf die Darstellung von s im Index (beispielsweise für: $\bar{T}_s$) verzichtet. Die Berechnung von $\text{DWCCF}_{h,SG}$ erfolgt gemäß dem in Formel (7.4) dargestellten Schema. Querverweis auf Tabelle im Anhang A XIII. b).

Tabelle 81 – Beispiel American Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 19)

Sicherungsziele		(1) Schutz vor Preisanstieg und (2) Partizipation Preisverfall								
Risikobereitschaft	4									
Prämienbudget	3%									
Frequenz	1 x Sicherung je Monat									
Sicherungsende	6 Monate									
Max. Horizont	24 Monate									
Anzahl gehandelte Instrumente je Erfüllungszeitraum										
Alle Erfüllungs- zeiträume in ...	oS	Sw	LC	Col	CS	Cap	3CS	3PS	4W	Σ
2007	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2008	0	0	0	0	1	68	0	21	0	90
2009	73	6	1	0	23	87	0	16	0	206
2010	163	1	0	0	0	52	0	0	0	216
2011	107	0	0	0	0	106	0	3	0	216
2012	99	0	0	0	2	100	0	15	0	216
2013	110	0	3	0	46	0	0	57	0	216
2014	59	0	2	0	124	0	0	31	0	216
2015	0	0	0	0	213	0	0	3	0	216
2016	0	0	16	0	133	1	0	66	0	216
2017	11	0	5	0	53	2	0	145	0	216
2018	11	0	1	0	125	0	0	79	0	216
2019	0	0	0	0	178	0	0	38	0	216
Summe	633	7	28	0	898	417	0	474	0	2457
davon FNB	633	-	6	-	180	-	-	-	-	819
davon Fall-Back	-	7	-	-	-	-	-	-	-	7
Σ Rechenzeit										2266 Min.

Die Tabelle visualisiert exemplarisch das für *American Airlines* unter den dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Die Instrumente sind nach monatlichen Erfüllungszeiträumen sortiert und werden aggregiert auf Jahresebene ausgewiesen. Die Anzahl der Sicherungen, die wider Restriktionen aus Sicherungszielen aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden (*Ausweidlösung*, siehe: Kapitel 6.5.1), wird als „davon FNB“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.4.1.2). Die Anzahl der Sicherungen, für welche auf die *Fall-Back-Lösung* zurückgegriffen werden muss, wird als „davon Fall-Back“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.5.1). Abbildung 74 visualisiert die Daten der Tabelle zusätzlich grafisch. Der dargestellte Fall entspricht Fall 19 in Tabelle 84. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.1.

Tabelle 82 – Beispiel Delta Air Lines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 37)

Sicherungsziele	(1) Schutz vor Preisanstieg und (2) Verringern Volatilität									
Risikobereitschaft	2									
Prämienbudget	0%									
Frequenz	1 x Sicherung je Monat									
Sicherungsende	6 Monate									
Max. Horizont	35 Monate									
Anzahl gehandelte Instrumente je Erfüllungszeitraum										
Alle Erfüllungs- zeiträume in ...	oS	Sw	LC	Col	CS	Cap	3CS	3PS	4W	Σ
2008	0	55	0	0	0	0	0	0	0	55
2009	82	111	0	5	0	0	0	0	0	198
2010	254	68	0	5	0	0	0	0	0	327
2011	209	137	0	2	0	0	0	0	0	348
2012	146	132	0	65	0	0	0	5	0	348
2013	144	31	0	100	0	0	0	73	0	348
2014	144	12	0	55	0	0	0	137	0	348
2015	98	18	0	107	0	0	0	125	0	348
2016	7	13	0	107	0	0	0	221	0	348
2017	0	0	0	140	0	0	0	208	0	348
2018	0	21	0	151	0	0	0	176	0	348
2019	0	27	0	61	0	0	0	260	0	348
Summe	1084	625	0	798	0	0	0	1205	0	3712
davon FNB	1084	-	0	-	0	-	-	-	-	1084
davon Fall-Back	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0
Σ Rechenzeit 2636 Min.										

Die Tabelle visualisiert exemplarisch das für *Delta Air Lines* unter den dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Die Instrumente sind nach monatlichen Erfüllungszeiträumen sortiert und werden aggregiert auf Jahresebene ausgewiesen. Die Anzahl der Sicherungen, die wider Restriktionen aus Sicherungszielen aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden (*Ausweidlösung*, siehe: Kapitel 6.5.1), wird als „davon FNB“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.4.1.2). Die Anzahl der Sicherungen, für welche auf die *Fall-Back-Lösung* zurückgegriffen werden muss, wird als „davon Fall-Back“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.5.1). Abbildung 75 visualisiert die Daten der Tabelle zusätzlich grafisch. Der dargestellte Fall entspricht Fall 37 in Tabelle 84. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.1.

Tabelle 83 – Beispiel Southwest Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 56)

Sicherungsziele	(1) Verringern Volatilität und (2) Partizipation Preisverfall									
Risikobereitschaft	1									
Prämienbudget	3%									
Frequenz	1 x Sicherung je Monat									
Sicherungsende	3 Monate									
Max. Horizont	35 Monate									
Anzahl gehandelte Instrumente je Erfüllungszeitraum										
Alle Erfüllungs- zeiträume in ...	oS	Sw	LC	Col	CS	Cap	3CS	3PS	4W	Σ
2007	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10
2008	0	1	0	0	0	125	0	0	0	126
2009	0	43	0	0	0	227	0	0	0	270
2010	55	141	0	0	0	182	0	0	0	378
2011	144	66	0	0	0	174	0	0	0	384
2012	78	48	0	0	0	258	0	0	0	384
2013	0	81	15	0	0	288	0	0	0	384
2014	14	52	161	0	0	157	0	0	0	384
2015	10	0	284	0	0	90	0	0	0	384
2016	0	0	270	0	0	114	0	0	0	384
2017	0	14	130	0	0	240	0	0	0	384
2018	0	14	149	0	0	221	0	0	0	384
2019	0	7	154	0	0	223	0	0	0	384
Summe	301	467	1163	0	0	2309	0	0	0	4240
davon FNB	301	-	0	-	0	-	-	-	-	301
davon Fall-Back	-	467	-	-	-	-	-	-	-	467
Σ Rechenzeit										2853 Min.

Die Tabelle visualisiert exemplarisch das für Southwest Airlines unter den dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Die Instrumente sind nach monatlichen Erfüllungszeiträumen sortiert und werden aggregiert auf Jahresebene ausgewiesen. Die Anzahl der Sicherungen, die wider Restriktionen aus Sicherungszielen aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden (*Ausweidlösung*, siehe: Kapitel 6.5.1), wird als „davon FNB“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.4.1.2). Die Anzahl der Sicherungen, für welche auf die *Fall-Back-Lösung* zurückgegriffen werden muss, wird als „davon Fall-Back“ ausgewiesen (siehe: Kapitel 6.5.1). Abbildung 76 visualisiert die Daten der Tabelle zusätzlich grafisch. Der dargestellte Fall entspricht Fall 56 in Tabelle 84. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.1.

Tabelle 84 – Ex-ante Übersicht Simulationsläufe OPTA: Optimale Sicherungen und erwartete Deadweight-Cost-Cash-Flows

Fall	Cluster	Parameter der Clusterberechnungen			Übergeordnete Sicherungsstruktur				Anzahl abgeschlossene Sicherungen (in Klammern: davon Anzahl Abschlüsse wegen FNB oder Fall-Back)										$\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$			Rechen- dauer (Min.)
		Air-line	Risiko	Budget	Ziele	Ende	Horizont	Frequenz	Keine Sich.	Swap	LC	Col	CS	Cap	3CS	3PS	4W	Σ	2007-2014	2015-2019	2007-2019	
1	1	AA	2	0%	PrS	6 M	24 M	M	871 (871)	543 (543)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	1043	0	2457 (1414)	0,37 ☒	-0,17 ☒	0,15 ☒	1653
2*						12 M	24 M	M	808 (808)	284 (284)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	510	0	1602 (1092)	0,18 ☒	-0,22 ☒	0,00	1085
3					Plan VV	6 M	24 M	M	871 (871)	495 (0)	0 (0)	271	0 (0)	0	0	820	0	2457 (871)	0,40 ☒	-0,13 ☒	0,18 ☒	1654
4						12 M	24 M	M	808 (808)	176 (0)	0 (0)	195	0 (0)	0	0	423	0	1602 (808)	0,18 ☒	-0,16 ☒	0,03 ☒	1084
5					-	6 M	24 M	M	871 (871)	495 (0)	0 (0)	271	0 (0)	0	0	820	0	2457 (871)	0,40 ☒	-0,13 ☒	0,18 ☒	1654
6						12 M	24 M	M	808 (808)	176 (0)	0 (0)	195	0 (0)	0	0	423	0	1602 (808)	0,18 ☒	-0,16 ☒	0,03 ☒	1084
7	2			3%	PrS	6 M	24 M	M	730 (730)	20 (20)	621 (112)	0	29 (29)	445	0	612	0	2457 (891)	0,39 ☒	-0,10 ☒	0,19 ☒	1526
8						12 M	24 M	M	683 (683)	3 (3)	315 (99)	0	26 (26)	179	0	396	0	1602 (811)	0,18 ☒	-0,13 ☒	0,05 ☒	1018
9*					Plan VV	6 M	24 M	M	733 (733)	350 (0)	8 (8)	974	130 (130)	22	0	240	0	2457 (871)	0,41 ☒	-0,06 ☒	0,21 ☒	1526
10						12 M	24 M	M	686 (686)	84 (0)	6 (6)	580	116 (116)	13	0	117	0	1602 (808)	0,19 ☒	-0,08 ☒	0,07 ☒	1016
11					-	6 M	24 M	M	730 (730)	350 (0)	445 (112)	643	29 (29)	20	0	240	0	2457 (871)	0,41 ☒	-0,06 ☒	0,21 ☒	1527
12						12 M	24 M	M	683 (683)	84 (0)	251 (99)	428	26 (26)	13	0	117	0	1602 (808)	0,19 ☒	-0,08 ☒	0,07 ☒	1016
13	3		4	0%	PrS	6 M	24 M	M	871 (871)	299 (299)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	1287	0	2457 (1170)	0,32 ☒	-0,15 ☒	0,13 ☒	1795
14						12 M	24 M	M	808 (808)	186 (186)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	608	0	1602 (994)	0,16 ☒	-0,20 ☒	0,00	1206

15					Plan VV	6 M	24 M	M	871 (871)	322 (0)	0 (0)	33	0 (0)	0	329	35	867	2457 (871)	0,41 ☑	-0,05 ☒	0,22 ☑	1796
16*						12 M	24 M	M	808 (808)	112 (0)	0 (0)	1	0 (0)	0	191	6	484	1602 (808)	0,18 ☑	-0,06 ☒	0,08 ☑	1207
17						6 M	24 M	M	1704 (871)	322 (0)	0 (0)	31	0 (0)	0	176	6	218	2457 (871)	0,41 ☑	0,03 ☑	0,25 ☑	1795
18						12 M	24 M	M	1364 (808)	112 (0)	0 (0)	1	0 (0)	0	63	0	62	1602 (808)	0,18 ☑	0,03 ☑	0,12 ☑	1207
19*	4			3%	PrS PrV	6 M	24 M	M	633 (633)	7 (7)	28 (6)	0	898 (180)	417	0	474	0	2457 (826)	0,39 ☑	-0,06 ☒	0,20 ☑	2266
20						12 M	24 M	M	596 (596)	0 (0)	4 (4)	0	546 (156)	165	0	291	0	1602 (756)	0,19 ☑	-0,08 ☒	0,07 ☑	1540
21					Plan VV	6 M	24 M	M	667 (667)	304 (0)	6 (6)	101	198 (198)	2	1013	52	114	2457 (871)	0,42 ☑	-0,01 ☒	0,24 ☑	2267
22						12 M	24 M	M	628 (628)	73 (0)	4 (4)	60	176 (176)	0	616	0	45	1602 (808)	0,20 ☑	-0,01 ☒	0,11 ☑	1540
23					-	6 M	24 M	M	1440 (667)	304 (0)	6 (6)	96	227 (146)	0	231	51	102	2457 (819)	0,42 ☑	0,04 ☑	0,26 ☑	2267
24						12 M	24 M	M	1141 (628)	73 (0)	4 (4)	60	185 (124)	0	106	0	33	1602 (756)	0,20 ☑	0,03 ☑	0,13 ☑	1541
25	5	DL	1	0%	PrS VV	6 M	35 M	M	1084 (1084)	2628 (2628)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	3712 (3712)	0,42 ☑	-0,49 ☒	0,04 ☑	2373
26						6 M	24 M	M	332 (332)	2071 (2071)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	2403 (2403)	0,53 ☑	-0,45 ☒	0,11 ☑	1623
27					PrV Plan	6 M	35 M	M	1084 (1084)	2628 (2628)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	3712 (3712)	0,42 ☑	-0,49 ☒	0,04 ☑	2373
28*						6 M	24 M	M	332 (332)	2071 (2071)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	2403 (2403)	0,53 ☑	-0,45 ☒	0,11 ☑	1623
29					-	6 M	35 M	M	1084 (1084)	2628 (2628)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	3712 (3712)	0,42 ☑	-0,49 ☒	0,04 ☑	2373
30						6 M	24 M	M	332 (332)	2071 (2071)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	2403 (2403)	0,53 ☑	-0,45 ☒	0,11 ☑	1623
31	6			3%	PrS VV	6 M	35 M	M	1061 (1061)	113 (113)	711 (11)	0	12 (12)	1815	0	0	0	3712 (1197)	0,44 ☑	-0,31 ☒	0,12 ☑	2494
32						6 M	24 M	M	322 (322)	77 (77)	599 (5)	0	5 (5)	1400	0	0	0	2403 (409)	0,55 ☑	-0,24 ☒	0,22 ☑	1713

33*					PrV Plan	6 M	35 M	M	1061 (1061)	113 (113)	711 (11)	0	12 (12)	1815	0	0	0	3712 (1197)	0,44 ☑	-0,31 ☒	0,12 ☑	2494
34						6 M	24 M	M	322 (322)	77 (77)	599 (5)	0	5 (5)	1400	0	0	0	2403 (409)	0,55 ☑	-0,24 ☒	0,22 ☑	1713
35						6 M	35 M	M	1061 (1061)	113 (113)	711 (11)	0	12 (12)	1815	0	0	0	3712 (1197)	0,44 ☑	-0,31 ☒	0,12 ☑	2494
36						6 M	24 M	M	322 (322)	77 (77)	599 (5)	0	5 (5)	1400	0	0	0	2403 (409)	0,55 ☑	-0,24 ☒	0,22 ☑	1713
37	7		2	0%	PrS VV	6 M	35 M	M	1084 (1084)	625 (0)	0 (0)	798	0 (0)	0	0	1205	0	3712 (1084)	0,46 ☑	-0,15 ☒	0,20 ☑	2636
38						6 M	24 M	M	332 (332)	586 (0)	0 (0)	512	0 (0)	0	0	973	0	2403 (332)	0,58 ☑	-0,11 ☒	0,29 ☑	1800
39*					PrV Plan	6 M	35 M	M	1084 (1084)	2628 (2628)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	3712 (3712)	0,42 ☑	-0,49 ☒	0,04 ☑	2373
40						6 M	24 M	M	332 (332)	2071 (2071)	0 (0)	0	0 (0)	0	0	0	0	2403 (2403)	0,53 ☑	-0,45 ☒	0,11 ☑	1623
41					-	6 M	35 M	M	1084 (1084)	625 (0)	0 (0)	798	0 (0)	0	0	1205	0	3712 (1084)	0,46 ☑	-0,15 ☒	0,20 ☑	2636
42						6 M	24 M	M	332 (332)	586 (0)	0 (0)	512	0 (0)	0	0	973	0	2403 (332)	0,58 ☑	-0,11 ☒	0,29 ☑	1800
43	8			3%	PrS VV	6 M	35 M	M	1061 (1061)	257 (0)	574 (11)	1250	12 (12)	59	0	499	0	3712 (1084)	0,46 ☑	-0,10 ☒	0,22 ☑	2985
44*						6 M	24 M	M	322 (322)	255 (0)	461 (5)	1021	5 (5)	42	0	297	0	2403 (332)	0,59 ☑	-0,07 ☒	0,31 ☑	2023
45					PrV Plan	6 M	35 M	M	1061 (1061)	110 (110)	803 (11)	0	12 (12)	1726	0	0	0	3712 (1194)	0,44 ☑	-0,31 ☒	0,12 ☑	2984
46						6 M	24 M	M	322 (322)	74 (74)	689 (5)	0	5 (5)	1313	0	0	0	2403 (406)	0,55 ☑	-0,23 ☒	0,22 ☑	2022
47					-	6 M	35 M	M	1061 (1061)	257 (0)	574 (11)	1250	12 (12)	59	0	499	0	3712 (1084)	0,46 ☑	-0,10 ☒	0,22 ☑	2985
48						6 M	24 M	M	322 (322)	255 (0)	461 (5)	1021	5 (5)	42	0	297	0	2403 (332)	0,59 ☑	-0,07 ☒	0,31 ☑	2023
49	9	WN	1	2%	PrV VV	3 M	18 M	M	48 (48)	183 (183)	614 (0)	0	0 (0)	1270	0	0	0	2115 (231)	1,13 ☑	-0,03 ☒	0,66 ☑	1416
50						3 M	35 M	M	301 (301)	845 (845)	822 (0)	0	0 (0)	2272	0	0	0	4240 (1146)	1,14 ☑	-0,09 ☒	0,64 ☑	3171

51					PrV	3	18	M	48	183	614	0	0	1270	0	0	0	2115	1,13	-0,03	0,66	1416		
52*						PrS	3	35	M	301	845	822	0	0	2272	0	0	0	4240	1,14	-0,09	0,64	3171	
53					-	3	18	M	48	183	614	0	0	1270	0	0	0	2115	1,13	-0,03	0,66	1416		
54						3	35	M	301	845	822	0	0	2272	0	0	0	4240	1,14	-0,09	0,64	3171		
55	10				3%	PrV	3	18	M	48	89	818	0	0	1160	0	0	0	2115	1,12	-0,02	0,66	1252	
56*							VV	3	35	M	301	467	1163	0	0	2309	0	0	0	4240	1,13	-0,07	0,64	2853
57						PrV	3	18	M	48	89	818	0	0	1160	0	0	0	2115	1,12	-0,02	0,66	1252	
58							PrS	3	35	M	301	467	1163	0	0	2309	0	0	0	4240	1,13	-0,07	0,64	2853
59				-		3	18	M	48	89	818	0	0	1160	0	0	0	2115	1,12	-0,02	0,66	1252		
60						3	35	M	301	467	1163	0	0	2309	0	0	0	4240	1,13	-0,07	0,64	2853		
61	11			3		2%	PrV	3	18	M	48	180	243	0	429	1215	0	0	0	2115	1,13	-0,03	0,66	1555
62								VV	3	35	M	301	841	243	0	688	2167	0	0	0	4240	1,14	-0,08	0,64
63*					PrV		3	18	M	48	130	217	0	299	702	0	719	0	2115	1,11	0,00	0,66	1554	
64							PrS	3	35	M	301	680	217	0	540	925	0	1577	0	4240	1,12	-0,02	0,66	3463
65					-		3	18	M	48	863	45	178	196	23	362	223	177	2115	1,16	0,02	0,70	1555	
66							3	35	M	301	1192	45	554	402	43	1012	432	259	4240	1,17	0,02	0,70	3463	
67	12				3	3%	PrV	3	18	M	48	86	364	0	569	1048	0	0	0	2115	1,12	0,00	0,66	1426
68								VV	3	35	M	301	463	366	0	999	2111	0	0	0	4240	1,13	-0,05	0,65

69					PrV	3 M	18 M	M	48 (48)	70 (70)	330 (0)	0	469 (0)	701	0	497	0	2115 (118)	1,10 ☑	0,01 ☑	0,66 ☑	1427
70					PrS	3 M	35 M	M	301 (301)	421 (421)	331 (0)	0	883 (0)	1105	0	1199	0	4220 (722)	1,12 ☑	-0,01 ☒	0,66 ☑	3228
71					-	3 M	18 M	M	48 (48)	833 (0)	87 (0)	200	294 (0)	14	335	214	90	2115 (48)	1,16 ☑	0,02 ☑	0,70 ☑	1426
72*						3 M	35 M	M	301 (301)	1083 (0)	87 (0)	678	619 (0)	22	924	414	112	4240 (301)	1,17 ☑	0,03 ☑	0,71 ☑	3228
73	13	UA	3	0%	PrS	3 M	18 M	M	1 (1)	263 (0)	0 (0)	92	0 (0)	0	249	126	874	1605 (1)	0,50 ☑	-0,02 ☒	0,22 ☑	1601
74						6 M	18 M	M	1 (1)	173 (0)	0 (0)	66	0 (0)	0	174	88	764	1266 (1)	0,46 ☑	-0,03 ☒	0,19 ☑	1316
75*					Plan	3 M	18 M	M	1 (1)	263 (0)	0 (0)	92	0 (0)	0	249	126	874	1605 (1)	0,50 ☑	-0,02 ☒	0,22 ☑	1601
76						6 M	18 M	M	1 (1)	173 (0)	0 (0)	66	0 (0)	0	174	88	764	1266 (1)	0,46 ☑	-0,03 ☒	0,19 ☑	1316
77					-	3 M	18 M	M	1 (1)	263 (0)	0 (0)	92	0 (0)	0	249	126	874	1605 (1)	0,50 ☑	-0,02 ☒	0,22 ☑	1601
78						6 M	18 M	M	1 (1)	173 (0)	0 (0)	66	0 (0)	0	174	88	764	1266 (1)	0,46 ☑	-0,03 ☒	0,19 ☑	1316
79	14		3	2%	PrS	3 M	18 M	M	1 (1)	189 (0)	23 (0)	169	324 (0)	19	527	120	233	1605 (1)	0,50 ☑	-0,01 ☒	0,23 ☑	1503
80						6 M	18 M	M	1 (1)	108 (0)	2 (0)	127	245 (0)	17	498	79	189	1266 (1)	0,46 ☑	-0,01 ☒	0,21 ☑	1245
81					Plan	3 M	18 M	M	1 (1)	190 (0)	0 (0)	187	0 (0)	20	852	122	233	1605 (1)	0,50 ☑	-0,01 ☒	0,23 ☑	1502
82						6 M	18 M	M	1 (1)	108 (0)	0 (0)	129	0 (0)	17	743	79	189	1266 (1)	0,46 ☑	-0,01 ☒	0,21 ☑	1245
83					-	3 M	18 M	M	1 (1)	189 (0)	23 (0)	169	324 (0)	19	527	120	233	1605 (1)	0,50 ☑	-0,01 ☒	0,23 ☑	1503
84*						6 M	18 M	M	1 (1)	108 (0)	2 (0)	127	245 (0)	17	498	79	189	1266 (1)	0,46 ☑	-0,01 ☒	0,21 ☑	1245
85	15		4	0%	PrS	3 M	18 M	M	1 (1)	191 (0)	0 (0)	119	0 (0)	0	290	120	884	1605 (1)	0,50 ☑	-0,02 ☒	0,23 ☑	1479
86						6 M	18 M	M	1 (1)	102 (0)	0 (0)	93	0 (0)	0	215	82	773	1266 (1)	0,47 ☑	-0,03 ☒	0,20 ☑	1219

87	16			2%	Plan	3 M	18 M	M	1 (1)	191 (0)	0 (0)	119	0 (0)	0	290	120	884	1605 (1)	0,50 ☑	-0,02 ☒	0,23 ☑	1479
88						6 M	18 M	M	1 (1)	102 (0)	0 (0)	93	0 (0)	0	215	82	773	1266 (1)	0,47 ☑	-0,03 ☒	0,20 ☑	1219
89*						3 M	18 M	M	686 (1)	190 (0)	0 (0)	104	0 (0)	0	153	68	404	1605 (1)	0,51 ☑	0,01 ☑	0,25 ☑	1480
90						6 M	18 M	M	588 (1)	102 (0)	0 (0)	91	0 (0)	0	116	57	312	1266 (1)	0,47 ☑	0,02 ☑	0,22 ☑	1219
91					PrS	3 M	18 M	M	1 (1)	178 (0)	23 (0)	146	324 (0)	5	574	121	233	1605 (1)	0,51 ☑	-0,01 ☒	0,24 ☑	1317
92						6 M	18 M	M	1 (1)	97 (0)	2 (0)	103	245 (0)	4	546	80	188	1266 (1)	0,47 ☑	-0,01 ☒	0,21 ☑	1094
93					Plan	3 M	18 M	M	1 (1)	179 (0)	0 (0)	164	0 (0)	6	899	123	233	1605 (1)	0,51 ☑	-0,01 ☒	0,24 ☑	1317
94*						6 M	18 M	M	1 (1)	97 (0)	0 (0)	105	0 (0)	4	791	80	188	1266 (1)	0,47 ☑	-0,01 ☒	0,21 ☑	1094
95					-	3 M	18 M	M	625 (1)	178 (0)	6 (0)	145	94 (0)	2	240	114	201	1605 (1)	0,51 ☑	0,02 ☑	0,25 ☑	1316
96						6 M	18 M	M	549 (1)	97 (0)	1 (0)	103	71 (0)	1	215	73	156	1266 (1)	0,47 ☑	0,02 ☑	0,22 ☑	1094

Die Tabelle zeigt alle 96 durch OPTA erzeugten Sicherungsportfolien. Die zu nutzenden Parameter für einzelne Simulationsläufe werden in Kapitel 7.1.1.1 vorgestellt (siehe: Tabelle 13). Die jeweiligen Ausprägungen aller Parameter, die aus internen Entscheidungen resultieren, sind in jeder Zeile eindeutig dargestellt. Zusätzlich wird jedem Simulationslauf eine eindeutige Nummer zugeordnet (Spalte 1), auf welche in nachfolgenden Analysen als ein „Fall“ referenziert wird. Gehandelte Instrumente werden aggregiert für alle pro Fall und Gesellschaft relevanten Erfüllungszeiträume zwischen 2007 und 2019 ausgewiesen. Die jeweilige Anzahl der Sicherungen, die zwangsweise aufgrund der finanziellen Situation im Entscheidungszeitpunkt gehandelt werden (*Ausweichlösung*, siehe: Kapitel 6.5.1 – betrifft: *Keine Sicherung*, *Long Call* sowie *Call Spread*) oder für welche auf die *Fall-Back-Lösung* zurückgegriffen wird (siehe: Kapitel 6.5.1 – betrifft: *Swap*), ist – falls zutreffend – in Klammern dargestellt. Diejenigen vier Simulationsläufe, für welche sich zusätzliche Tabellen und Abbildungen mit weiteren Detailinformationen in dieser Arbeit befinden (siehe: Tabelle 18 sowie Tabelle 81 bis Tabelle 83 und Abbildung 74 bis Abbildung 77), sind fett markiert. Die 16 Fälle, welche in der Analyse in Kapitel 7.2 (Bestimmung von Unternehmenswertdifferenzen) berücksichtigt werden, sind zusätzlich mit dem Zeichen * nach der jeweiligen Fallnummer gekennzeichnet. Zur eindeutigen Bezeichnung von nachrangigen Sicherungszielen werden folgende Abkürzungen genutzt: Schaffen von Planungssicherheit = *Plan*; Verringern von Volatilität = *VV*; Schutz vor Treibstoffpreisanstieg = *PrS*; Partizipation an Treibstoffpreisverfall = *PrV*. Für den Parameter Sicherungsfrequenz gilt: monatliche Sicherung = *M* (*Frequenz* = 1). Für den Parameter Sicherungszeitpunkte gilt, dass alle Sicherungszeitpunkte ex-ante determiniert wurden und Sicherungen stets am 15. Kalendertag eines Monats (beziehungsweise am darauffolgenden Börsenhandelstag) stattfinden. Für jeden Simulationslauf wird die Kennziffer $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ gemäß der in Kapitel 7.1.1.5 dargestellten Berechnungsmethodik ermittelt (siehe: Formeln (7.1) und (7.2)). Sofern $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ auf einen Erwartungswertvorteil aus gehandelten Sicherungen schließen lässt (es gilt: $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h) > 0$), wird dies über die grafische Markierung ☑ zusätzlich visualisiert. Die Spalte „*Rechendauer (Min.)*“ gibt an, wie lange *Wolfram Mathematica* zur Durchführung des jeweiligen Simulationslaufs in Minuten benötigte. Die Angabe beinhaltet die Dauer der Cluster- sowie der Fallberechnung (siehe: Kapitel 7.1.1.1). Da einzelne Clusterberechnungen mehrfach genutzt werden können, ist deren Rechendauer als Teil der Summe in „*Rechendauer (Min.)*“ in der Tabelle mehrfach berücksichtigt. Etwaige vorangegangene Berechnungen – etwa zur Bestimmung der Verteilungsfunktionen von PUOF – sind in der Rechendauer nicht enthalten. Querverweis auf Tabelle initial in Kapitel 7.1.1.1.

Tabelle 85 – Erweiterte Darstellung: Erwartungswertdifferenzen je Cluster (gesamter Zeitraum)

Air-line	Cluster	Risiko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta E_{T_0}(DWCCF_h))$	Anzahl Beobachtungen Vorteil Sicherung ⁹⁷⁵	Anzahl Beobachtungen Nachteil Sicherung
AA	1	2	0	0,10 (☑)	404 (55%)	331
	2		3	0,13 (☑)	497 (63%)	289
	3	4	0	0,13 (☑)	495 (72%)	197
	4		3	0,17 (☑)	596 (77%)	180
	AA Gesamt			0,13 (☑)	1992 (67%)	997
DL	5	1	0	0,08 (☑)	414 (49%)	438
	6		3	0,17 (☑)	468 (55%)	384
	7	2	0	0,19 (☑)	458 (54%)	394
	8		3	0,24 (☑)	476 (56%)	376
	DL Gesamt			0,17 (☑)	1816 (53%)	1592
WN	9	1	2	0,65 (☑)	618 (70%)	270
	10		3	0,65 (☑)	636 (72%)	252
	11	3	2	0,67 (☑)	696 (78%)	192
	12		3	0,67 (☑)	713 (80%)	175
	WN Gesamt			0,66 (☑)	2663 (75%)	889
UA	13	3	0	0,21 (☑)	414 (61%)	261
	14		2	0,22 (☑)	439 (65%)	236
	15	4	0	0,22 (☑)	471 (73%)	174
	16		2	0,23 (☑)	496 (82%)	158
	UA Gesamt			0,22 (☑)	1820 (69%)	829

Die Tabelle zeigt für jeweils sechs Simulationsläufe den Durchschnitt der über (7.2) errechneten $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$. Die Zuordnung einzelner Simulationsläufe zu den dargestellten aggregierten Beobachtungseinheiten (Cluster) ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84. Angaben zu $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ der einzelnen Simulationsläufe finden sich ebenfalls in Tabelle 84. Zusätzlich dargestellt sind in der jeweiligen Zeile „Gesamt“ Durchschnittswerte aller 24 Simulationsläufe einer Fluggesellschaft. Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Zusätzlich ist unter Berücksichtigung der einzelnen Fälle je Cluster jeweils die Anzahl an einzelnen Erfüllungszeiträumen $\bar{T}_s$ (jeweils ein Kalendermonat) dargestellt, in welchen durch den Abschluss der Sicherungen vorteilhafte oder nachteilige $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_s})$ generiert werden. Die Anzahl der Erfüllungszeiträume, für welche keine Differenz detektiert werden kann, wird nicht ausgewiesen und bei der Bestimmung des dargestellten Prozentsatzes ebenfalls nicht berücksichtigt. Siehe auch Fußnote 975. Die Daten umfassen jeweils den gesamten fluggesellschaftsindividuellen Backtesting-Zeitraum.⁹⁷⁶ Eine gekürzte Darstellung dieser Tabelle findet sich mit Tabelle 21 auch im Hauptteil der Arbeit. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.5.

⁹⁷⁵ Eine Beobachtung bezieht sich auf einen Erfüllungszeitraum innerhalb eines einzelnen Falles. Es werden alle für einen Erfüllungszeitraum abgeschlossenen Sicherungen berücksichtigt. Beobachtungen, bei welchen die durchschnittliche Erwartungswertdifferenz nicht von null zu unterscheiden ist, werden weder als Vor- noch als Nachteil der Sicherung gezählt, weshalb die Addition der aufgeführten Beobachtungen nicht der Summe aller Beobachtungen entspricht. Der dargestellte Prozentsatz bezieht sich lediglich auf den Anteil an allen denjenigen Beobachtungen, für welche ein Vor- oder Nachteil detektiert werden konnte.

⁹⁷⁶ Es ist zu berücksichtigen, dass die Resultate unabhängig vom gewählten Sicherungsgrad sind.

Tabelle 86 – Getrennte Datensätze: Ex-ante Erwartungswerte der Sicherung

Air-line	Risiko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta E_{T_0}(DWCCF_h))$		Anzahl Beobachtungen Vorteil Sicherung ⁹⁷⁷		Anzahl Beobachtungen Nachteil Sicherung	
			2007-2014	2015-2019	2007-2014	2015-2019	2007-2014	2015-2019
AA	2	0	0,28 (☑)	-0,16 (☒)	357 (95%)	47 (13%)	18	313
		3	0,30 (☑)	-0,09 (☒)	415 (97%)	82 (23%)	11	278
	4	0	0,28 (☑)	-0,07 (☒)	370 (99%)	125 (39%)	5	192
		3	0,30 (☑)	-0,02 (☒)	438 (98%)	158 (48%)	7	173
	AA Gesamt		0,29 (☑)	-0,08 (☒)	1580 (97%)	412 (30%)	41	956
DL	1	0	0,48 (☑)	-0,47 (☒)	414 (84%)	0 (0%)	78	360
		3	0,49 (☑)	-0,28 (☒)	456 (93%)	12 (3%)	36	348
	2	0	0,50 (☑)	-0,24 (☒)	442 (90%)	16 (4%)	50	344
		3	0,51 (☑)	-0,15 (☒)	456 (93%)	20 (6%)	36	340
	DL Gesamt		0,50 (☑)	-0,28 (☒)	1768 (90%)	48 (3%)	200	1392
WN	1	2	1,14 (☑)	-0,06 (☒)	528 (100%)	90 (25%)	0	270
		3	1,12 (☑)	-0,04 (☒)	528 (100%)	108 (30%)	0	252
	3	2	1,14 (☑)	-0,01 (☒)	528 (100%)	168 (47%)	0	192
		3	1,13 (☑)	0,00	528 (100%)	185 (51%)	0	175
	WN Gesamt		1,13 (☑)	-0,03 (☒)	2112 (100%)	551 (38%)	0	889
UA	3	0	0,48 (☑)	-0,03 (☒)	315 (100%)	99 (28%)	0	261
		2	0,48 (☑)	-0,01 (☒)	315 (100%)	124 (34%)	0	236
	4	0	0,48 (☑)	-0,01 (☒)	315 (100%)	156 (47%)	0	174
		2	0,49 (☑)	0,00	315 (100%)	181 (53%)	0	158
	UA Gesamt		0,48 (☑)	-0,01 (☒)	1260 (100%)	560 (40%)	0	829

Die Tabelle zeigt durchschnittliche $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ (siehe: (7.2)) je Cluster. Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Die Berechnung von $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ über (7.2) wird separat für zwei Teildatensätze durchgeführt: Der erste Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume ab dem jeweils ersten im Datensatz verfügbaren Erfüllungszeitraum ($s = 1$) bis zum Erfüllungszeitraum Dezember 2014 ($s = S$). Der zweite Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume zwischen Januar 2015 ($s = 1$) und Dezember 2019 ($s = S$). Für weitere Erläuterungen sowie die genaue Zuordnung der einzelnen Zeilen zu den Clustern 1 bis 16 siehe Tabelle 85 sowie die zugehörigen Anmerkungen. Eine gekürzte Darstellung dieser Tabelle findet sich mit Tabelle 24 auch im Hauptteil der Arbeit. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.1.6.

⁹⁷⁷ Siehe: Fußnote 975.

Tabelle 87 – Ex-post Übersicht Simulationsläufe OPTA: Realisierungen

Fall	Air-line	Sicherungs-grad	Auswertung Durchschnittsrealisierungen und Extremereignisse																			
			$\Delta Fuel_{h,SG}$			$\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s}$		$\Delta FCF_{h,SG}$			$\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s}$		$\Delta DWC_{h,SG}$			$\Delta DWC_{h,SG,\bar{T}_s}$		$\Delta DWCCF_{h,SG}$			$\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$	
			2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil
1	AA	70%	-1,60 ☑	3,14 ☒	0,36 ☒	41,18	35,83	1,28 ☑	-2,51 ☒	-0,29 ☒	32,94	28,66	-0,55 ☑	-0,03 ☑	-0,33 ☑	19,92	14,58	1,83 ☑	-2,48 ☒	0,04 ☑	50,36	40,71
		90%	-2,06 ☑	4,04 ☒	0,47 ☒	52,94	46,07	1,64 ☑	-3,23 ☒	-0,37 ☒	42,35	36,85	-0,56 ☑	-0,01 ☑	-0,33 ☑	23,58	17,84	2,21 ☑	-3,22 ☒	-0,04 ☒	62,71	54,23
2		70%	-1,83 ☑	3,43 ☒	0,44 ☒	51,78	21,71	1,47 ☑	-2,74 ☒	-0,35 ☒	41,43	17,37	-0,26 ☑	0,02 ☒	-0,14 ☑	19,02	11,67	1,72 ☑	-2,76 ☒	-0,21 ☒	52,78	29,04
		90%	-2,36 ☑	4,41 ☒	0,56 ☒	66,58	27,92	1,89 ☑	-3,53 ☒	-0,45 ☒	53,26	22,33	-0,35 ☑	0,05 ☒	-0,17 ☑	24,97	15,60	2,23 ☑	-3,58 ☒	-0,28 ☒	72,87	37,94
3		90%	-3,01 ☑	5,16 ☒	0,37 ☒	63,51	50,17	2,41 ☑	-4,13 ☒	-0,30 ☒	50,80	40,14	-0,82 ☑	-0,05 ☑	-0,50 ☑	27,90	22,31	3,23 ☑	-4,08 ☒	0,21 ☑	78,71	60,34
4		90%	-2,25 ☑	5,80 ☒	1,22 ☒	67,73	34,79	1,80 ☑	-4,64 ☒	-0,98 ☒	54,18	27,83	-0,23 ☑	-0,01 ☑	-0,13 ☑	30,37	19,86	2,03 ☑	-4,63 ☒	-0,85 ☒	84,55	47,69
5		70%	-2,34 ☑	4,01 ☒	0,29 ☒	49,39	39,02	1,87 ☑	-3,21 ☒	-0,23 ☒	39,52	31,22	-0,80 ☑	-0,06 ☑	-0,49 ☑	23,73	16,30	2,67 ☑	-3,15 ☒	0,26 ☑	63,24	45,04
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 3																			
6		70%	-1,75 ☑	4,51 ☒	0,95 ☒	52,68	27,06	1,40 ☑	-3,61 ☒	-0,76 ☒	42,14	21,65	-0,20 ☑	-0,03 ☑	-0,13 ☑	25,22	14,34	1,61 ☑	-3,58 ☒	-0,63 ☒	67,36	35,99
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 4																			
7		70%	-2,32 ☑	1,40 ☒	-0,78 ☑	47,14	25,39	1,86 ☑	-1,12 ☒	0,63 ☑	37,71	20,31	-1,04 ☑	-0,02 ☑	-0,62 ☑	23,10	8,96	2,90 ☑	-1,09 ☒	1,25 ☑	60,81	25,90
		90%	-2,99 ☑	1,80 ☒	-1,01 ☑	60,61	32,65	2,39 ☑	-1,44 ☒	0,81 ☑	48,49	26,12	-1,19 ☑	-0,03 ☑	-0,71 ☑	27,02	12,13	3,58 ☑	-1,41 ☒	1,51 ☑	75,51	35,07
8		70%	-1,71 ☑	1,60 ☒	-0,28 ☑	50,85	16,69	1,37 ☑	-1,28 ☒	0,23 ☑	40,68	13,35	-0,35 ☑	-0,02 ☑	-0,21 ☑	24,53	9,50	1,72 ☑	-1,25 ☒	0,43 ☑	65,21	21,39
		90%	-2,20 ☑	2,05 ☒	-0,36 ☑	65,37	21,46	1,76 ☑	-1,64 ☒	0,29 ☑	52,30	17,17	-0,44 ☑	-0,03 ☑	-0,26 ☑	29,53	12,02	2,20 ☑	-1,62 ☒	0,55 ☑	81,83	28,16

9		90%	-2,58 ☑	4,19 ☒	0,22 ☒	61,64	48,99	2,07 ☑	-3,36 ☒	-0,18 ☒	49,31	39,19	-0,85 ☑	-0,04 ☑	-0,52 ☑	27,25	22,31	2,92 ☑	-3,32 ☒	0,34 ☑	76,53	58,54
10		90%	-1,88 ☑	5,21 ☒	1,18 ☒	66,58	34,79	1,51 ☑	-4,17 ☒	-0,94 ☒	53,26	27,83	-0,29 ☑	-0,02 ☑	-0,18 ☑	28,03	19,86	1,80 ☑	-4,15 ☒	-0,77 ☒	76,78	47,69
11		70%	-2,01 ☑	1,52 ☒	-0,55 ☑	47,94	38,10	1,61 ☑	-1,22 ☒	0,44 ☑	38,35	30,48	-0,83 ☑	-0,02 ☑	-0,49 ☑	23,10	16,19	2,43 ☑	-1,20 ☒	0,93 ☑	61,43	43,66
		90%	-2,58 ☑	1,96 ☒	-0,70 ☑	61,64	48,99	2,07 ☑	-1,57 ☒	0,56 ☑	49,31	39,19	-0,85 ☑	-0,02 ☑	-0,51 ☑	27,25	22,31	2,92 ☑	-1,55 ☒	1,07 ☑	76,53	58,54
12		70%	-1,46 ☑	1,85 ☒	-0,03 ☑	51,78	27,06	1,17 ☑	-1,48 ☒	0,03 ☑	41,43	21,65	-0,26 ☑	-0,01 ☑	-0,15 ☑	23,05	14,34	1,43 ☑	-1,47 ☒	0,18 ☑	60,97	35,99
		90%	-1,88 ☑	2,37 ☒	-0,04 ☑	66,58	34,79	1,51 ☑	-1,90 ☒	0,04 ☑	53,26	27,83	-0,29 ☑	-0,01 ☑	-0,17 ☑	28,03	19,86	1,80 ☑	-1,89 ☒	0,20 ☑	76,78	47,69
13		70%	-1,29 ☑	2,96 ☒	0,47 ☒	38,04	26,13	1,03 ☑	-2,37 ☒	-0,38 ☒	30,44	20,90	-0,47 ☑	-0,01 ☑	-0,28 ☑	19,92	10,97	1,50 ☑	-2,36 ☒	-0,10 ☒	50,36	31,36
		90%	-1,66 ☑	3,81 ☒	0,61 ☒	48,91	33,60	1,32 ☑	-3,05 ☒	-0,48 ☒	39,13	26,88	-0,47 ☑	0,00	-0,27 ☑	23,58	15,18	1,79 ☑	-3,05 ☒	-0,21 ☒	62,71	41,40
14		70%	-1,02 ☑	3,21 ☒	0,81 ☒	40,43	21,71	0,81 ☑	-2,57 ☒	-0,65 ☒	32,34	17,37	-0,07 ☑	0,03 ☒	-0,03 ☑	19,01	11,67	0,88 ☑	-2,60 ☒	-0,62 ☒	51,35	29,04
		90%	-1,31 ☑	4,13 ☒	1,04 ☒	51,98	27,92	1,05 ☑	-3,31 ☒	-0,83 ☒	41,58	22,33	-0,03 ☑	0,05 ☒	0,01 ☒	24,96	15,60	1,08 ☑	-3,36 ☒	-0,84 ☒	66,54	37,94
15		90%	-3,03 ☑	5,46 ☒	0,48 ☒	61,64	46,20	2,42 ☑	-4,37 ☒	-0,38 ☒	49,31	36,96	-0,85 ☑	0,00	-0,50 ☑	24,00	19,70	3,28 ☑	-4,36 ☒	0,12 ☑	73,31	55,84
16		90%	-1,57 ☑	6,35 ☒	1,85 ☒	66,58	38,52	1,25 ☑	-5,08 ☒	-1,48 ☒	53,26	30,81	0,11 ☒	0,04 ☒	0,08 ☒	19,61	16,76	1,14 ☑	-5,12 ☒	-1,56 ☒	72,87	41,03
17		70%	-2,36 ☑	0,78 ☒	-1,06 ☑	47,94	35,94	1,89 ☑	-0,63 ☒	0,85 ☑	38,35	28,75	-0,80 ☑	-0,01 ☑	-0,47 ☑	19,86	13,90	2,68 ☑	-0,62 ☒	1,32 ☑	53,44	41,13
		90%	-3,03 ☑	1,01 ☒	-1,36 ☑	61,64	46,20	2,42 ☑	-0,80 ☒	1,09 ☑	49,31	36,96	-0,85 ☑	-0,01 ☑	-0,50 ☑	24,00	19,70	3,28 ☑	-0,79 ☒	1,59 ☑	73,31	55,84
18		70%	-1,22 ☑	0,36 ☒	-0,54 ☑	51,78	23,59	0,98 ☑	-0,29 ☒	0,43 ☑	41,43	18,88	0,06 ☒	0,00	0,04 ☒	11,35	12,41	0,91 ☑	-0,29 ☒	0,39 ☑	52,78	31,29
		90%	-1,57 ☑	0,46 ☒	-0,69 ☑	66,58	30,34	1,25 ☑	-0,37 ☒	0,55 ☑	53,26	24,27	0,11 ☒	0,00	0,06 ☒	19,61	16,76	1,14 ☑	-0,37 ☒	0,49 ☑	72,87	41,03
19		70%	-2,54 ☑	1,02 ☒	-1,07 ☑	47,14	17,75	2,03 ☑	-0,82 ☒	0,85 ☑	37,71	14,20	-1,16 ☑	-0,04 ☑	-0,70 ☑	23,10	8,70	3,19 ☑	-0,78 ☒	1,55 ☑	60,81	20,96
		90%	-3,26 ☑	1,31 ☒	-1,37 ☑	60,61	22,83	2,61 ☑	-1,05 ☒	1,10 ☑	48,49	18,26	-1,35 ☑	-0,05 ☑	-0,81 ☑	27,02	11,50	3,96 ☑	-1,01 ☒	1,90 ☑	75,51	28,17

20		70%	-1,53 ☑	1,26 ☒	-0,33 ☑	50,85	16,69	1,22 ☑	-1,01 ☒	0,26 ☑	40,68	13,35	-0,31 ☑	-0,03 ☑	-0,19 ☑	24,53	9,50	1,53 ☑	-0,97 ☒	0,45 ☑	65,21	21,45	
		90%	-1,97 ☑	1,62 ☒	-0,42 ☑	65,37	21,46	1,57 ☑	-1,29 ☒	0,34 ☑	52,30	17,17	-0,40 ☑	-0,04 ☑	-0,24 ☑	29,53	12,02	1,97 ☑	-1,25 ☒	0,58 ☑	81,83	28,16	
21		90%	-2,50 ☑	3,42 ☒	-0,05 ☑	61,64	50,24	2,00 ☑	-2,73 ☒	0,04 ☑	49,31	40,19	-0,86 ☑	-0,05 ☑	-0,53 ☑	24,49	22,31	2,87 ☑	-2,69 ☒	0,57 ☑	73,31	60,31	
22		90%	-1,51 ☑	4,33 ☒	1,01 ☒	66,58	34,79	1,21 ☑	-3,46 ☒	-0,81 ☒	53,26	27,83	-0,20 ☑	-0,03 ☑	-0,12 ☑	28,03	19,86	1,40 ☑	-3,44 ☒	-0,68 ☒	76,78	47,69	
23		70%	-1,95 ☑	0,28 ☒	-1,03 ☑	47,94	39,07	1,56 ☑	-0,22 ☒	0,82 ☑	38,35	31,26	-0,80 ☑	-0,01 ☑	-0,48 ☑	20,49	16,19	2,36 ☑	-0,21 ☒	1,30 ☑	54,71	44,95	
		90%	-2,51 ☑	0,36 ☒	-1,32 ☑	61,64	50,24	2,01 ☑	-0,29 ☒	1,06 ☑	49,31	40,19	-0,86 ☑	-0,01 ☑	-0,51 ☑	24,49	22,31	2,87 ☑	-0,27 ☒	1,57 ☑	73,31	60,31	
24		70%	-1,17 ☑	0,16 ☒	-0,60 ☑	51,78	27,06	0,94 ☑	-0,13 ☒	0,48 ☑	41,43	21,65	-0,20 ☑	-0,01 ☑	-0,12 ☑	23,05	14,34	1,14 ☑	-0,11 ☒	0,60 ☑	60,97	35,99	
		90%	-1,51 ☑	0,20 ☒	-0,77 ☑	66,58	34,79	1,21 ☑	-0,16 ☒	0,62 ☑	53,26	27,83	-0,20 ☑	-0,02 ☑	-0,12 ☑	28,03	19,86	1,40 ☑	-0,14 ☒	0,74 ☑	76,78	47,69	
25		DL	90%	-0,81 ☑	10,74 ☒	4,07 ☒	61,13	57,62	0,65 ☑	-8,59 ☒	-3,26 ☒	48,90	46,10	0,10 ☒	-0,25 ☑	-0,05 ☑	26,03	12,02	0,55 ☑	-8,34 ☒	-3,21 ☒	73,07	53,22
26			90%	-1,60 ☑	9,80 ☒	3,22 ☒	61,13	57,62	1,28 ☑	-7,84 ☒	-2,58 ☒	48,90	46,10	0,16 ☒	-0,32 ☑	-0,05 ☑	26,03	12,02	1,12 ☑	-7,52 ☒	-2,53 ☒	73,07	53,22
27			90%	Siehe Ergebnisse Fall 25																			
28			90%	Siehe Ergebnisse Fall 26																			
29	90%		Siehe Ergebnisse Fall 25																				
30	90%		Siehe Ergebnisse Fall 26																				
31	90%		-1,38 ☑	0,64 ☒	-0,53 ☑	58,57	34,95	1,10 ☑	-0,51 ☒	0,42 ☑	46,86	27,96	-0,19 ☑	-0,05 ☑	-0,13 ☑	25,62	4,89	1,30 ☑	-0,46 ☒	0,55 ☑	70,56	29,82	
32	90%		-1,72 ☑	0,74 ☒	-0,68 ☑	58,57	34,95	1,37 ☑	-0,59 ☒	0,54 ☑	46,86	27,96	-0,15 ☑	-0,07 ☑	-0,11 ☑	25,62	4,89	1,52 ☑	-0,52 ☒	0,66 ☑	70,56	29,82	
33	90%		Siehe Ergebnisse Fall 31																				
34	90%		Siehe Ergebnisse Fall 32																				
35	90%		Siehe Ergebnisse Fall 31																				
36	90%		Siehe Ergebnisse Fall 32																				

37		70%	-0,99 ☑	5,27 ☒	1,66 ☒	47,55	44,82	0,79 ☑	-4,21 ☒	-1,32 ☒	38,04	35,85	-0,22 ☑	-0,22 ☑	-0,22 ☑	23,86	6,42	1,01 ☑	-3,99 ☒	-1,10 ☒	60,45	38,47
		90%	-1,27 ☑	6,77 ☒	2,13 ☒	61,13	57,62	1,02 ☑	-5,42 ☒	-1,70 ☒	48,90	46,10	0,02 ☒	-0,25 ☑	-0,09 ☑	26,03	12,03	0,99 ☑	-5,17 ☒	-1,61 ☒	73,07	53,22
38		70%	-1,80 ☑	5,28 ☒	1,19 ☒	47,55	44,82	1,44 ☑	-4,22 ☒	-0,95 ☒	38,04	35,85	-0,22 ☑	-0,22 ☑	-0,22 ☑	23,86	6,42	1,66 ☑	-4,00 ☒	-0,73 ☒	60,45	38,47
		90%	-2,31 ☑	6,79 ☒	1,53 ☒	61,13	57,62	1,85 ☑	-5,43 ☒	-1,22 ☒	48,90	46,10	0,04 ☒	-0,26 ☑	-0,09 ☑	26,03	12,03	1,81 ☑	-5,17 ☒	-1,14 ☒	73,07	53,22
39		90%	Siehe Ergebnisse Fall 25																			
40		90%	Siehe Ergebnisse Fall 26																			
41		70%	Siehe Ergebnisse Fall 37																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 37																			
42		70%	Siehe Ergebnisse Fall 38																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 38																			
43		70%	-0,60 ☑	2,39 ☒	0,66 ☒	47,55	41,67	0,48 ☑	-1,91 ☒	-0,53 ☒	38,04	33,34	-0,28 ☑	-0,13 ☑	-0,22 ☑	23,86	6,42	0,76 ☑	-1,78 ☒	-0,31 ☒	60,45	38,47
		90%	-0,78 ☑	3,08 ☒	0,85 ☒	61,13	53,58	0,62 ☑	-2,46 ☒	-0,68 ☒	48,90	42,86	-0,06 ☑	-0,16 ☑	-0,10 ☑	26,03	12,03	0,68 ☑	-2,30 ☒	-0,58 ☒	73,07	53,22
44		70%	-1,07 ☑	1,61 ☒	0,06 ☒	47,55	41,67	0,86 ☑	-1,29 ☒	-0,05 ☒	38,04	33,34	-0,28 ☑	-0,10 ☑	-0,21 ☑	23,86	6,42	1,14 ☑	-1,19 ☒	0,16 ☑	60,45	38,47
		90%	-1,38 ☑	2,07 ☒	0,08 ☒	61,13	53,58	1,10 ☑	-1,66 ☒	-0,06 ☒	48,90	42,86	-0,06 ☑	-0,12 ☑	-0,08 ☑	26,03	12,02	1,16 ☑	-1,54 ☒	0,02 ☑	73,07	53,22
45		90%	-1,55 ☑	0,57 ☒	-0,65 ☑	58,57	34,95	1,24 ☑	-0,46 ☒	0,52 ☑	46,86	27,96	-0,26 ☑	-0,04 ☑	-0,17 ☑	25,62	4,87	1,50 ☑	-0,42 ☒	0,69 ☑	70,56	29,82
46		90%	-1,96 ☑	0,66 ☒	-0,85 ☑	58,57	34,95	1,57 ☑	-0,53 ☒	0,68 ☑	46,86	27,96	-0,24 ☑	-0,06 ☑	-0,16 ☑	25,62	4,87	1,80 ☑	-0,48 ☒	0,84 ☑	70,56	29,82
47		70%	Siehe Ergebnisse Fall 43																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 43																			
48		70%	Siehe Ergebnisse Fall 44																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 44																			
49	WN	90%	-1,00 ☑	0,68 ☒	-0,32 ☑	57,15	40,04	0,80 ☑	-0,54 ☒	0,26 ☑	45,72	32,03	0,25 ☒	-0,02 ☑	0,14 ☒	19,00	14,33	0,55 ☑	-0,52 ☒	0,12 ☑	62,52	42,31

50	90%	-0,88 ☑	2,08 ☒	0,32 ☒	57,15	37,55	0,71 ☑	-1,66 ☒	-0,25 ☒	45,72	30,04	0,14 ☒	0,07 ☒	0,11 ☒	19,00	11,62	0,57 ☑	-1,74 ☒	-0,37 ☒	62,52	38,84
51	90%	Siehe Ergebnisse Fall 49																			
52	90%	Siehe Ergebnisse Fall 50																			
53	90%	Siehe Ergebnisse Fall 49																			
54	90%	Siehe Ergebnisse Fall 50																			
55	90%	-0,88 ☑	1,12 ☒	-0,07 ☑	56,37	34,77	0,71 ☑	-0,89 ☒	0,06 ☑	45,09	27,82	0,07 ☒	0,01 ☒	0,05 ☒	18,97	12,17	0,63 ☑	-0,90 ☒	0,01 ☑	61,98	37,18
56	90%	-0,80 ☑	1,09 ☒	-0,03 ☑	56,37	32,94	0,64 ☑	-0,87 ☒	0,03 ☑	45,09	26,35	-0,01 ☑	0,01 ☒	0,00	18,97	10,15	0,65 ☑	-0,88 ☒	0,03 ☑	61,98	32,92
57	90%	Siehe Ergebnisse Fall 55																			
58	90%	Siehe Ergebnisse Fall 56																			
59	90%	Siehe Ergebnisse Fall 55																			
60	90%	Siehe Ergebnisse Fall 56																			
61	50%	-0,61 ☑	0,39 ☒	-0,20 ☑	31,78	22,25	0,49 ☑	-0,31 ☒	0,16 ☑	25,43	17,8	-0,36 ☑	-0,02 ☑	-0,23 ☑	16,13	7,01	0,85 ☑	-0,29 ☒	0,39 ☑	40,13	22,33
	70%	-0,85 ☑	0,54 ☒	-0,29 ☑	44,50	31,14	0,68 ☑	-0,43 ☒	0,23 ☑	35,60	24,92	-0,12 ☑	-0,02 ☑	-0,08 ☑	18,15	11,51	0,80 ☑	-0,41 ☒	0,31 ☑	51,75	32,61
62	50%	-0,52 ☑	0,87 ☒	0,04 ☒	31,78	20,86	0,42 ☑	-0,70 ☒	-0,03 ☒	25,43	16,69	-0,45 ☑	0,02 ☒	-0,26 ☑	16,13	5,51	0,87 ☑	-0,72 ☒	0,23 ☑	40,13	19,97
	70%	-0,73 ☑	1,22 ☒	0,06 ☒	44,50	29,21	0,59 ☑	-0,98 ☒	-0,05 ☒	35,60	23,36	-0,24 ☑	0,03 ☒	-0,13 ☑	18,15	8,98	0,82 ☑	-1,01 ☒	0,08 ☑	51,75	28,36
63	50%	-1,03 ☑	0,87 ☒	-0,26 ☑	31,78	20,79	0,82 ☑	-0,70 ☒	0,21 ☑	25,43	16,63	-0,49 ☑	-0,01 ☑	-0,30 ☑	16,13	4,98	1,32 ☑	-0,69 ☒	0,50 ☑	40,13	19,97
	70%	-1,44 ☑	1,22 ☒	-0,36 ☑	44,50	29,11	1,15 ☑	-0,98 ☒	0,29 ☑	35,60	23,29	-0,35 ☑	0,00	-0,21 ☑	18,15	8,05	1,50 ☑	-0,97 ☒	0,50 ☑	51,75	28,99
64	50%	-0,82 ☑	1,62 ☒	0,17 ☒	31,78	19,40	0,66 ☑	-1,30 ☒	-0,13 ☒	25,43	15,52	-0,54 ☑	0,07 ☒	-0,29 ☑	16,13	4,75	1,20 ☑	-1,37 ☒	0,16 ☑	40,13	17,53
	70%	-1,15 ☑	2,27 ☒	0,24 ☒	44,50	27,16	0,92 ☑	-1,82 ☒	-0,19 ☒	35,60	21,72	-0,40 ☑	0,10 ☒	-0,20 ☑	18,15	6,87	1,33 ☑	-1,92 ☒	0,01 ☑	51,75	25,55
65	50%	-0,24 ☑	1,25 ☒	0,37 ☒	32,68	34,24	0,19 ☑	-1,00 ☒	-0,29 ☒	26,14	27,39	-0,26 ☑	0,00	-0,15 ☑	16,37	8,88	0,45 ☑	-1,00 ☒	-0,14 ☒	41,13	34,28

		70%	-0,33 ☑	1,75 ☒	0,51 ☒	45,75	47,93	0,26 ☑	-1,40 ☒	-0,41 ☒	36,60	38,34	0,12 ☒	0,01 ☒	0,08 ☒	18,28	14,73	0,14 ☑	-1,41 ☒	-0,49 ☒	52,94	48,02
66		50%	0,29 ☒	2,00 ☒	0,98 ☒	32,68	31,74	-0,23 ☒	-1,60 ☒	-0,78 ☒	26,14	25,39	-0,36 ☑	0,08 ☒	-0,18 ☑	16,37	8,60	0,13 ☑	-1,68 ☒	-0,60 ☒	41,13	33,33
		70%	0,40 ☒	2,79 ☒	1,37 ☒	45,75	44,43	-0,32 ☒	-2,24 ☒	-1,10 ☒	36,60	35,55	-0,04 ☑	0,12 ☒	0,02 ☒	18,28	12,50	-0,28 ☒	-2,35 ☒	-1,12 ☒	52,94	46,75
	67	50%	-0,54 ☑	0,53 ☒	-0,10 ☑	31,35	19,21	0,43 ☑	-0,43 ☒	0,08 ☑	25,08	15,37	-0,42 ☑	0,00	-0,25 ☑	16,03	5,81	0,85 ☑	-0,42 ☒	0,33 ☑	39,70	19,42
		70%	-0,75 ☑	0,75 ☒	-0,15 ☑	43,89	26,90	0,60 ☑	-0,60 ☒	0,12 ☑	35,11	21,52	-0,24 ☑	0,00	-0,14 ☑	18,10	9,41	0,84 ☑	-0,60 ☒	0,26 ☑	51,23	28,15
68		50%	-0,48 ☑	0,40 ☒	-0,12 ☑	31,35	18,11	0,38 ☑	-0,32 ☒	0,10 ☑	25,08	14,49	-0,49 ☑	0,00	-0,29 ☑	16,03	4,77	0,87 ☑	-0,32 ☒	0,39 ☑	39,70	17,08
		70%	-0,67 ☑	0,57 ☒	-0,17 ☑	43,89	25,36	0,54 ☑	-0,45 ☒	0,14 ☑	35,11	20,29	-0,33 ☑	0,00	-0,20 ☑	18,10	7,65	0,87 ☑	-0,45 ☒	0,33 ☑	51,23	24,85
	69	50%	-0,97 ☑	0,69 ☒	-0,30 ☑	31,14	16,21	0,77 ☑	-0,55 ☒	0,24 ☑	24,91	12,97	-0,48 ☑	0,00	-0,29 ☑	15,92	5,81	1,25 ☑	-0,55 ☒	0,52 ☑	39,36	17,34
		70%	-1,36 ☑	0,96 ☒	-0,42 ☑	43,59	22,70	1,08 ☑	-0,77 ☒	0,33 ☑	34,87	18,16	-0,37 ☑	0,00	-0,22 ☑	18,02	9,41	1,46 ☑	-0,77 ☒	0,55 ☑	50,84	25,55
70		50%	-0,78 ☑	1,13 ☒	0,00	31,14	15,44	0,62 ☑	-0,90 ☒	0,00	24,91	12,35	-0,54 ☑	0,05 ☒	-0,30 ☑	15,92	4,77	1,16 ☑	-0,96 ☒	0,30 ☑	39,36	15,06
		70%	-1,09 ☑	1,58 ☒	-0,01 ☑	43,59	21,61	0,87 ☑	-1,26 ☒	0,00	34,87	17,29	-0,44 ☑	0,08 ☒	-0,23 ☑	18,02	7,65	1,31 ☑	-1,34 ☒	0,23 ☑	50,84	22,06
	71	50%	-0,14 ☑	0,85 ☒	0,26 ☒	32,68	34,24	0,12 ☑	-0,68 ☒	-0,21 ☒	26,14	27,39	-0,26 ☑	0,00	-0,15 ☑	16,37	8,88	0,37 ☑	-0,68 ☒	-0,05 ☒	41,13	34,28
		70%	-0,20 ☑	1,19 ☒	0,36 ☒	45,75	47,93	0,16 ☑	-0,95 ☒	-0,29 ☒	36,60	38,34	0,12 ☒	0,00	0,08 ☒	18,28	14,73	0,04 ☑	-0,96 ☒	-0,37 ☒	52,94	48,02
72		50%	0,27 ☒	1,51 ☒	0,77 ☒	32,68	31,74	-0,21 ☒	-1,20 ☒	-0,61 ☒	26,14	25,39	-0,37 ☑	0,07 ☒	-0,19 ☑	16,37	8,60	0,16 ☑	-1,27 ☒	-0,42 ☒	41,13	33,33
		70%	0,37 ☒	2,11 ☒	1,08 ☒	45,75	44,43	-0,30 ☒	-1,69 ☒	-0,86 ☒	36,60	35,55	-0,06 ☑	0,10 ☒	0,00	18,28	12,50	-0,24 ☒	-1,78 ☒	-0,86 ☒	52,94	46,75
	73	UA	50%	-2,35 ☑	2,50 ☒	0,20 ☒	19,93	13,75	1,88 ☑	-2,00 ☒	-0,16 ☒	15,94	11,00	-0,11 ☑	-0,14 ☑	-0,12 ☑	2,73	2,34	1,98 ☑	-1,86 ☒	-0,04 ☒	17,06
90%			-4,23 ☑	4,49 ☒	0,36 ☒	35,87	24,74	3,38 ☑	-3,59 ☒	-0,29 ☒	28,70	19,80	-0,05 ☑	-0,20 ☑	-0,13 ☑	5,18	3,80	3,43 ☑	-3,39 ☒	-0,16 ☒	28,84	18,64
74			50%	-3,04 ☑	2,95 ☒	0,20 ☒	20,88	14,68	2,43 ☑	-2,36 ☒	-0,16 ☒	16,70	11,75	-0,22 ☑	-0,16 ☑	-0,19 ☑	3,91	2,50	2,65 ☑	-2,20 ☒	0,03 ☑	18,55

		90%	-5,47 ☑	5,31 ☒	0,36 ☒	37,59	26,43	4,38 ☑	-4,25 ☒	-0,28 ☒	30,07	21,14	-0,20 ☑	-0,24 ☑	-0,22 ☑	6,76	4,28	4,58 ☑	-4,01 ☒	-0,06 ☒	31,04	19,99
75		90%	Siehe Ergebnisse Fall 73																			
76		90%	Siehe Ergebnisse Fall 74																			
77		50%	Siehe Ergebnisse Fall 73																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 73																			
78		50%	Siehe Ergebnisse Fall 74																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 74																			
79		50%	-1,89 ☑	0,72 ☒	-0,52 ☑	19,93	5,43	1,52 ☑	-0,58 ☒	0,41 ☑	15,94	4,34	-0,03 ☑	-0,05 ☑	-0,04 ☑	2,63	2,34	1,55 ☑	-0,53 ☒	0,45 ☑	17,06	4,08
		90%	-3,41 ☑	1,30 ☒	-0,93 ☑	35,87	9,77	2,73 ☑	-1,04 ☒	0,74 ☑	28,70	7,81	0,07 ☒	-0,07 ☑	0,00	5,18	3,80	2,65 ☑	-0,97 ☒	0,75 ☑	28,84	7,40
80		50%	-2,56 ☑	0,84 ☒	-0,72 ☑	20,88	5,81	2,05 ☑	-0,67 ☒	0,58 ☑	16,70	4,65	-0,14 ☑	-0,05 ☑	-0,09 ☑	3,47	2,50	2,18 ☑	-0,62 ☒	0,67 ☑	18,55	4,37
		90%	-4,60 ☑	1,52 ☒	-1,30 ☑	37,59	10,47	3,68 ☑	-1,21 ☒	1,04 ☑	30,07	8,37	-0,06 ☑	-0,08 ☑	-0,07 ☑	5,96	4,28	3,74 ☑	-1,14 ☒	1,11 ☑	31,04	7,93
81		90%	-3,39 ☑	2,90 ☒	-0,08 ☑	35,87	18,69	2,71 ☑	-2,32 ☒	0,06 ☑	28,70	14,95	0,07 ☒	-0,15 ☑	-0,04 ☑	5,18	3,80	2,63 ☑	-2,17 ☒	0,11 ☑	28,84	14,02
82		90%	-4,58 ☑	3,44 ☒	-0,24 ☑	37,59	18,81	3,66 ☑	-2,75 ☒	0,19 ☑	30,07	15,05	-0,06 ☑	-0,18 ☑	-0,12 ☑	5,96	4,28	3,72 ☑	-2,58 ☒	0,32 ☑	31,04	13,92
83		50%	Siehe Ergebnisse Fall 79																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 79																			
84		50%	Siehe Ergebnisse Fall 80																			
		90%	Siehe Ergebnisse Fall 80																			
85		50%	-2,37 ☑	2,49 ☒	0,19 ☒	19,93	13,75	1,90 ☑	-1,99 ☒	-0,15 ☒	15,94	11,00	-0,12 ☑	-0,14 ☑	-0,13 ☑	2,73	2,34	2,02 ☑	-1,86 ☒	-0,02 ☒	17,06	10,43
		90%	-4,27 ☑	4,49 ☒	0,34 ☒	35,87	24,74	3,42 ☑	-3,59 ☒	-0,27 ☒	28,70	19,80	-0,08 ☑	-0,20 ☑	-0,14 ☑	5,18	3,80	3,50 ☑	-3,39 ☒	-0,13 ☒	28,84	18,64
86		50%	-3,08 ☑	2,95 ☒	0,18 ☒	20,88	14,68	2,46 ☑	-2,36 ☒	-0,14 ☒	16,70	11,75	-0,24 ☑	-0,16 ☑	-0,20 ☑	3,91	2,50	2,71 ☑	-2,20 ☒	0,05 ☑	18,55	11,19
		90%	-5,54 ☑	5,30 ☒	0,32 ☒	37,59	26,43	4,43 ☑	-4,24 ☒	-0,26 ☒	30,07	21,14	-0,24 ☑	-0,24 ☑	-0,24 ☑	6,76	4,28	4,68 ☑	-4,01 ☒	-0,02 ☒	31,04	19,99
87		90%	Siehe Ergebnisse Fall 85																			
88		90%	Siehe Ergebnisse Fall 86																			

89	50%	-2,41 ☑	1,30 ☒	-0,46 ☑	19,93	10,55	1,93 ☑	-1,04 ☒	0,37 ☑	15,94	8,44	-0,12 ☑	-0,08 ☑	-0,10 ☑	2,73	2,34	2,05 ☑	-0,96 ☒	0,46 ☑	17,06	7,81
	90%	-4,34 ☑	2,34 ☒	-0,83 ☑	35,87	18,99	3,48 ☑	-1,87 ☒	0,66 ☑	28,70	15,20	-0,08 ☑	-0,13 ☑	-0,10 ☑	5,18	3,80	3,55 ☑	-1,74 ☒	0,77 ☑	28,84	13,98
90	50%	-3,13 ☑	1,50 ☒	-0,63 ☑	20,88	11,01	2,51 ☑	-1,20 ☒	0,50 ☑	16,70	8,81	-0,24 ☑	-0,09 ☑	-0,16 ☑	3,91	2,50	2,75 ☑	-1,11 ☒	0,66 ☑	18,55	8,14
	90%	-5,64 ☑	2,69 ☒	-1,13 ☑	37,59	19,83	4,51 ☑	-2,15 ☒	0,91 ☑	30,07	15,86	-0,24 ☑	-0,15 ☑	-0,19 ☑	6,76	4,28	4,75 ☑	-2,01 ☒	1,10 ☑	31,04	14,55
91	50%	-1,90 ☑	0,72 ☒	-0,52 ☑	19,93	5,29	1,52 ☑	-0,58 ☒	0,41 ☑	15,94	4,23	-0,04 ☑	-0,05 ☑	-0,04 ☑	2,63	2,34	1,56 ☑	-0,53 ☒	0,46 ☑	17,06	4,08
	90%	-3,41 ☑	1,30 ☒	-0,93 ☑	35,87	9,52	2,73 ☑	-1,04 ☒	0,75 ☑	28,70	7,62	0,06 ☒	-0,07 ☑	-0,01 ☑	5,18	3,80	2,67 ☑	-0,97 ☒	0,75 ☑	28,84	7,40
92	50%	-2,56 ☑	0,84 ☒	-0,72 ☑	20,88	5,72	2,05 ☑	-0,67 ☒	0,58 ☑	16,70	4,57	-0,15 ☑	-0,05 ☑	-0,10 ☑	3,63	2,50	2,20 ☑	-0,62 ☒	0,68 ☑	18,55	4,37
	90%	-4,62 ☑	1,52 ☒	-1,30 ☑	37,59	10,29	3,69 ☑	-1,21 ☒	1,04 ☑	30,07	8,23	-0,08 ☑	-0,08 ☑	-0,08 ☑	6,30	4,28	3,77 ☑	-1,14 ☒	1,12 ☑	31,04	7,93
93	90%	-3,39 ☑	2,90 ☒	-0,08 ☑	35,87	18,65	2,71 ☑	-2,32 ☒	0,06 ☑	28,70	14,92	0,06 ☒	-0,15 ☑	-0,05 ☑	5,18	3,80	2,65 ☑	-2,17 ☒	0,11 ☑	28,84	14,00
94	90%	-4,59 ☑	3,44 ☒	-0,25 ☑	37,59	18,81	3,67 ☑	-2,75 ☒	0,20 ☑	30,07	15,05	-0,08 ☑	-0,18 ☑	-0,13 ☑	6,30	4,28	3,75 ☑	-2,58 ☒	0,33 ☑	31,04	13,92
95	50%	-1,95 ☑	0,56 ☒	-0,63 ☑	19,93	4,96	1,56 ☑	-0,45 ☒	0,50 ☑	15,94	3,97	-0,05 ☑	-0,02 ☑	-0,04 ☑	2,63	2,34	1,61 ☑	-0,43 ☒	0,54 ☑	17,06	3,83
	90%	-3,52 ☑	1,01 ☒	-1,13 ☑	35,87	8,93	2,81 ☑	-0,81 ☒	0,91 ☑	28,70	7,14	0,04 ☒	-0,03 ☑	0,00 ☑	5,18	3,80	2,77 ☑	-0,78 ☒	0,90 ☑	28,84	6,96
96	50%	-2,64 ☑	0,62 ☒	-0,88 ☑	20,88	5,36	2,11 ☑	-0,49 ☒	0,70 ☑	16,70	4,29	-0,16 ☑	-0,02 ☑	-0,09 ☑	3,63	2,50	2,27 ☑	-0,47 ☒	0,79 ☑	18,55	4,10
	90%	-4,75 ☑	1,11 ☒	-1,58 ☑	37,59	9,65	3,80 ☑	-0,89 ☒	1,27 ☑	30,07	7,72	-0,10 ☑	-0,03 ☑	-0,07 ☑	6,30	4,28	3,90 ☑	-0,86 ☒	1,33 ☑	31,04	7,46

Die Tabelle visualisiert die durchschnittlichen Realisierungen von $\Delta Fuel_{h,SG}$, $\Delta FCF_{h,SG}$, $\Delta DWC_{h,SG}$ und $\Delta DWCCF_{h,SG}$ gemäß der exemplarischen Darstellung in (7.4) unter Berücksichtigung aller zuvor von OPTA erzeugten Sicherungsportfolien. Zur Bestimmung der durchschnittlichen Realisierungen wird jeweils auf skalierte Werte (US-Dollar je Barrel) zurückgegriffen, wobei sowohl gesicherte als auch ungesicherte Anteile des Gesamtreibstoffverbrauchs Berücksichtigung finden. Als Referenzwert werden ausgewählten Sicherungen jeweils Realisierungen für den Fall ohne Sicherung gegenübergestellt, wobei zur Bestimmung der realisierten Deadweight-Costs jeweils auf die Deadweight-Costs-Funktion zurückgegriffen wird, die im zugehörigen Entscheidungszeitpunkt zur Bestimmung der korrespondierenden Sicherung von Relevanz war. Unterschiede in den Ausprägungen der Realisierungen für Betrachtungen ohne Sicherung resultieren daraus, dass in jedem Simulationslauf der erste berücksichtigte Erfüllungszeitraum vom jeweiligen ersten Entscheidungszeitpunkt (abhängig von verfügbaren Daten einer Gesellschaft) sowie dem jeweils gewählten Sicherungsende abhängt (siehe: Anhang A XII. b)). Durch die Symbole ☑ sowie ☒ wird grafisch visualisiert, ob durch die Sicherung im Durchschnitt eine überlegene Realisierung im Vergleich zur Alternative ohne Sicherung erreicht werden konnte. Die Spalten „Max. Vorteil“ sowie „Max. Nachteil“ stellen jeweils als Betrag die maximalen Ausprägungen der beobachteten Realisierungen für einen einzelnen Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ (ein Kalendermonat) innerhalb des Simulationslaufes dar. Diese Berechnung der Differenz je Erfüllungszeitraum $\bar{T}_s$ ist in (7.3) dargestellt (Kennziffern: $\Delta Fuel_{h,SG,\bar{T}_s}$, $\Delta FCF_{h,SG,\bar{T}_s}$, $\Delta DWC_{h,SG,\bar{T}_s}$ und $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_s}$). Initialer Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 88 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post DWCCF der Sicherung

Air-line	Cluster	Risiko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta DWCCF_{h,SG})$	$\Delta DWCCF_{h,SG,T_s}$	
					Max. Vorteil	Max. Nachteil
AA	1	2	0	-0,21 (☒)	84,55 (+40%)	60,34
	2		3	0,57 (☑)	81,83 (+40%)	58,54
	3	4	0	-0,06 (☒)	73,31 (+31%)	55,84
	4		3	0,86 (☑)	81,83 (+36%)	60,31
	AA Gesamt			0,32 (☑)	84,55 (+40%)	60,34
DL	5	1	0	-2,87 (☒)	73,07 (+37%)	53,22
	6		3	0,61 (☑)	70,56 (+137%)	29,82
	7	2	0	-1,49 (☒)	73,07 (+37%)	53,22
	8		3	0,01 (☑)	73,07 (+37%)	53,22
	DL Gesamt			-0,89 (☒)	73,07 (+37%)	53,22
WN	9	1	2	-0,12 (☒)	62,52 (+48%)	42,31
	10		3	0,02 (☑)	61,98 (+67%)	37,18
	11	3	2	-0,01 (☒)	52,94 (+10%)	48,02
	12		3	0,10 (☑)	52,94 (+10%)	48,02
	WN Gesamt			0,01 (☑)	62,52 (+30%)	48,02
UA	13	3	0	-0,07 (☒)	31,04 (+55%)	19,99
	14		2	0,64 (☑)	31,04 (+121%)	14,02
	15	4	0	0,27 (☑)	31,04 (+55%)	19,99
	16		2	0,70 (☑)	31,04 (+122%)	14,00
	UA Gesamt			0,39 (☑)	31,04 (+55%)	19,99

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten DWCCF in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta DWCCF_{h,SG}$). Dargestellte Differenzen ergeben sich jeweils als Mittelwert der $\Delta DWCCF_{h,SG}$ aller Simulationsläufe je Cluster. Die Zuordnung der Simulationsläufe zu den dargestellten Clustern ergibt sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84. Die Realisierungen der einzelnen Simulationsläufe finden sich in Tabelle 87. Zusätzlich dargestellt sind in der jeweiligen Zeile „Gesamt“ Durchschnittswerte aller Simulationsläufe einer Fluggesellschaft. Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Unter Berücksichtigung aller einzelnen einem Cluster zugrundeliegenden Simulationsläufe sowie aller einzelnen Erfüllungszeiträume je zugeordnetem Simulationslauf sind zusätzlich Extrema von $\Delta DWCCF_{h,SG,T_s}$ dargestellt. Extrema sind jeweils als Betrag dargestellt. Die Daten umfassen jeweils den gesamten fluggesellschaftsindividuellen Backtesting-Zeitraum. Es ist zu berücksichtigen, dass auf Basis der gewählten Herangehensweise aus den dargestellten Durchschnittsergebnissen keine Schlussfolgerungen mit Bezug auf unterschiedliche nachrangige Sicherungsziele sowie unterschiedliche Sicherungshorizonte, Sicherungsenden oder den Sicherungsgrad gezogen werden können. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 89 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post DWCCF der Sicherung

Airline	Ri-siko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta DWCCF_{h,SG})$		$\Delta DWCCF_{h,SG,T_s}$			
					Max. Vorteil		Max. Nachteil	
			2007- 2014	2015- 2019	2007- 2014	2015- 2019	2007- 2014	2015- 2019
AA	2	0	2,28 (☑)	-3,62 (☒)	84,55	13,40	60,34	24,30
		3	2,37 (☑)	-1,89 (☒)	81,83	14,44	58,54	23,57
	4	0	1,77 (☑)	-2,29 (☒)	73,31	7,56	55,84	31,38
		3	2,27 (☑)	-1,09 (☒)	81,83	10,57	60,31	21,87
	AA Gesamt		2,17 (☑)	-2,22 (☒)	84,55	14,44	60,34	31,38
DL	1	0	0,84 (☑)	-7,93 (☒)	73,07	23,67	53,22	43,45
		3	1,41 (☑)	-0,49 (☒)	70,56	19,51	29,82	12,64
	2	0	1,26 (☑)	-5,25 (☒)	73,07	23,67	53,22	43,45
		3	1,08 (☑)	-1,45 (☒)	73,07	18,25	53,22	12,59
	DL Gesamt		1,15 (☑)	-3,67 (☒)	73,07	23,67	53,22	43,45
WN	1	2	0,35 (☑)	-1,13 (☒)	62,52	17,00	42,31	12,67
		3	0,64 (☑)	-0,89 (☒)	61,98	15,99	37,18	9,14
	3	2	0,76 (☑)	-1,15 (☒)	52,94	13,32	48,02	13,46
		3	0,75 (☑)	-0,84 (☒)	52,94	11,60	48,02	11,08
	WN Gesamt		0,67 (☑)	-1,00 (☒)	62,52	17,00	48,02	13,46
UA	3	0	3,33 (☑)	-3,03 (☒)	31,04	5,10	15,30	19,99
		2	2,66 (☑)	-1,13 (☒)	31,04	6,39	7,29	14,02
	4	0	3,42 (☑)	-2,47 (☒)	31,04	5,10	15,30	19,99
		2	2,72 (☑)	-1,05 (☒)	31,04	6,39	6,97	14,00
	UA Gesamt		3,03 (☑)	-1,92 (☒)	31,04	6,39	15,30	19,99

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten DWCCF in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta DWCCF_{h,SG}$). Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Für weitere Erläuterungen sowie die genaue Zuordnung der einzelnen Zeilen zu den Clustern 1 bis 16 siehe Tabelle 88 sowie die zugehörigen Anmerkungen. Der erste Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume ab dem jeweils ersten relevanten Erfüllungszeitraum ($s = 1$) bis zum Erfüllungszeitraum Dezember 2014 ($s = S$). Der zweite Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume zwischen Januar 2015 ($s = 1$) und Dezember 2019 ($s = S$). Siehe auch: Formel (7.4) sowie zugehörige Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.1.6 sowie Kapitel 7.1.2.1 und Kapitel 7.1.2.2. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 90 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post FCF der Sicherung

Air-line	Cluster	Risiko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta FCF_{h,SG})$	$\Delta FCF_{h,SG,T_s}$	
					Max. Vorteil	Max. Nachteil
AA	1	2	0	-0,50 (☒)	54,18	40,14
	2		3	0,19 (☑)	53,26	39,19
	3	4	0	-0,13 (☒)	53,26	36,96
	4		3	0,48 (☑)	53,26	40,19
	AA Gesamt			0,01 (☑)	54,18	40,19
DL	5	1	0	-2,92 (☒)	48,90	46,10
	6		3	0,48 (☑)	46,86	27,96
	7	2	0	-1,52 (☒)	48,90	46,10
	8		3	-0,10 (☒)	48,90	42,86
	DL Gesamt			-1,01 (☒)	48,90	46,10
WN	9	1	2	0,00	45,72	32,03
	10		3	0,04 (☑)	45,09	27,82
	11	3	2	-0,18 (☒)	36,60	38,34
	12		3	-0,08 (☒)	36,60	38,34
	WN Gesamt			-0,08 (☒)	45,72	38,34
UA	13	3	0	-0,24 (☒)	30,07	21,14
	14		2	0,58 (☑)	30,07	15,05
	15	4	0	0,11 (☑)	30,07	21,14
	16		2	0,64 (☑)	30,07	15,05
	UA Gesamt			0,27 (☑)	30,07	21,14

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten FCF in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta FCF_{h,SG}$). Dargestellte Differenzen ergeben sich jeweils als Mittelwert der $\Delta FCF_{h,SG}$ aller Simulationsläufe je Cluster. Die Zuordnung einzelner Simulationsläufe zu den dargestellten aggregierten Beobachtungseinheiten ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84. Die Realisierungen der einzelnen Simulationsläufe finden sich in Tabelle 87. Zusätzlich dargestellt sind in der jeweiligen Zeile „Gesamt“ Durchschnittswerte aller Simulationsläufe einer Fluggesellschaft. Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Unter Berücksichtigung aller einzelnen Erfüllungszeiträume aller jeweils einem Cluster zugrundeliegenden Simulationsläufe sind zusätzlich Extrema von $\Delta FCF_{h,SG,T_s}$ für einen einzelnen Erfüllungszeitraum dargestellt. Extrema werden als Betrag dargestellt. Die Daten umfassen jeweils den gesamten fluggesellschaftsindividuellen Backtesting-Zeitraum. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 91 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post DWC der Sicherung

Airline	Cluster	Risiko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta DW C_{h,SG})$	$\Delta DW C_{h,SG,T_s}$	
					Max. Vorteil	Max. Nachteil
AA	1	2	0	-0,29 (☑)	30,37	22,31
	2		3	-0,38 (☑)	29,53	22,31
	3	4	0	-0,19 (☑)	24,96	19,70
	4		3	-0,38 (☑)	29,53	22,31
	AA Gesamt			-0,31 (☑)	30,37	22,31
DL	5	1	0	-0,05 (☑)	26,03	12,02
	6		3	-0,12 (☑)	25,62	4,89
	7	2	0	-0,13 (☑)	26,03	12,03
	8		3	-0,15 (☑)	26,03	12,02
	DL Gesamt			-0,12 (☑)	26,03	12,03
WN	9	1	2	0,13 (☒)	19,00	14,33
	10		3	0,02 (☒)	18,97	12,17
	11	3	2	-0,16 (☑)	18,28	14,73
	12		3	-0,18 (☑)	18,28	14,73
	WN Gesamt			-0,09 (☑)	19,00	14,73
UA	13	3	0	-0,17 (☑)	6,76	4,29
	14		2	-0,06 (☑)	5,96	4,29
	15	4	0	-0,16 (☑)	6,76	4,29
	16		2	-0,06 (☑)	6,30	4,29
	UA Gesamt			-0,11 (☑)	6,76	4,29

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten DWC in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta DWC_{h,SG}$). Dargestellte Differenzen ergeben sich jeweils als Mittelwert der $\Delta DWC_{h,SG}$ aller Simulationsläufe je Cluster. Die Zuordnung der Simulationsläufe zu den dargestellten Clustern ergibt sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84. Die Realisierungen der einzelnen Simulationsläufe finden sich in Tabelle 87. Zusätzlich dargestellt sind in der jeweiligen Zeile „Gesamt“ Durchschnittswerte aller Simulationsläufe einer Fluggesellschaft. Werte kleiner null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Unter Berücksichtigung aller einzelnen Erfüllungszeiträume aller jeweils einem Cluster zugrundeliegenden Simulationsläufe sind zusätzlich Extrema von $\Delta DWC_{h,SG,T_s}$ für einen einzelnen Erfüllungszeitraum dargestellt. Extrema werden als Betrag dargestellt. Die Daten umfassen jeweils den gesamten fluggesellschaftsindividuellen Backtesting-Zeitraum. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 92 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post FCF der Sicherung

Airline	Ri-siko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta FCF_{h,SG})$		$\Delta FCF_{h,SG,T_s}$			
					Max. Vorteil		Max. Nachteil	
			2007- 2014	2015- 2019	2007- 2014	2015- 2019	2007- 2014	2015- 2019
AA	2	0	1,80 (☑)	-3,64 (☒)	54,18	8,68	40,14	25,41
		3	1,73 (☑)	-1,92 (☒)	53,26	9,47	39,19	24,60
	4	0	1,44 (☑)	-2,28 (☒)	53,26	7,52	39,96	30,81
		3	1,64 (☑)	-1,12 (☒)	53,26	7,64	40,19	23,17
	AA Gesamt		1,65 (☑)	-2,24 (☒)	54,18	9,47	40,19	30,81
DL	1	0	0,96 (☑)	-8,22 (☒)	48,90	20,62	46,10	43,76
		3	1,24 (☑)	-0,55 (☒)	46,86	16,86	27,96	12,42
	2	0	1,15 (☑)	-5,17 (☒)	48,90	20,62	46,10	43,76
		3	0,94 (☑)	-1,52 (☒)	48,90	16,67	42,86	12,29
	DL Gesamt		1,07 (☑)	-3,85 (☒)	48,90	20,26	46,10	43,76
WN	1	2	0,75 (☑)	-1,10 (☒)	45,72	15,47	32,03	11,79
		3	0,67 (☑)	-0,88 (☒)	45,09	14,56	27,82	8,67
	3	2	0,47 (☑)	-1,12 (☒)	36,60	12,11	38,34	12,75
		3	0,42 (☑)	-0,82 (☒)	36,60	10,53	38,34	10,53
	WN Gesamt		0,54 (☑)	-0,98 (☒)	45,72	15,47	38,34	12,75
UA	3	0	3,19 (☑)	-3,22 (☒)	30,07	4,60	14,64	21,14
		2	2,63 (☑)	-1,21 (☒)	30,07	6,04	8,37	15,05
	4	0	3,25 (☑)	-2,63 (☒)	30,07	4,60	14,64	21,14
		2	2,67 (☑)	-1,12 (☒)	30,07	6,04	6,76	15,05
	UA Gesamt		2,93 (☑)	-2,05 (☒)	30,07	6,04	14,64	21,14

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten FCF in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta FCF_{h,SG}$). Werte größer null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Für weitere Erläuterungen sowie die genaue Zuordnung der einzelnen Zeilen zu den Clustern 1 bis 16 siehe Tabelle 88 sowie die zugehörigen Anmerkungen. Der erste Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume ab dem jeweils ersten relevanten Erfüllungszeitraum ($s = 1$) bis zum Erfüllungszeitraum Dezember 2014 ($s = S$). Der zweite Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume zwischen Januar 2015 ($s = 1$) und Dezember 2019 ($s = S$). Siehe auch die zugehörigen Erläuterungen im Hauptteil der Arbeit in Kapitel 7.1.1.6 sowie Kapitel 7.1.2.1 und Kapitel 7.1.2.2. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 93 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post DWC der Sicherung

Airline	Ri-siko	Prämie (in %)	$\varnothing(\Delta DW C_{h,SG})$		$\Delta DW C_{h,SG,T_s}$			
			2007- 2014	2015- 2019	Max. Vorteil		Max. Nachteil	
					2007- 2014	2015- 2019	2007- 2014	2015- 2019
AA	2	0	-0,48 (☑)	-0,02 (☑)	30,37	4,71	22,31	4,56
		3	-0,64 (☑)	-0,02 (☑)	29,53	4,97	22,31	2,87
	4	0	-0,32 (☑)	0,01 (☒)	24,96	2,49	19,70	3,98
		3	-0,63 (☑)	-0,03 (☑)	29,53	3,64	22,31	1,93
	AA Gesamt		-0,52 (☑)	-0,01 (☑)	30,37	4,97	22,31	4,56
DL	1	0	0,13 (☒)	-0,29 (☑)	26,03	4,87	12,02	3,24
		3	-0,17 (☑)	-0,06 (☑)	25,62	4,35	4,89	1,05
	2	0	-0,05 (☑)	-0,25 (☑)	26,03	4,87	12,03	3,24
		3	-0,18 (☑)	-0,11 (☑)	26,03	4,10	12,03	1,03
	DL Gesamt		-0,08 (☑)	-0,18 (☑)	26,03	4,87	12,03	3,24
WN	1	2	0,19 (☒)	0,03 (☒)	19,00	1,53	14,33	0,94
		3	0,03 (☒)	0,01 (☒)	18,97	1,44	12,17	0,71
	3	2	-0,29 (☑)	0,03 (☒)	18,28	1,21	14,73	0,71
		3	-0,32 (☑)	0,02 (☒)	18,28	1,07	14,73	0,56
	WN Gesamt		-0,17 (☑)	0,02 (☒)	19,00	1,53	14,73	0,94
UA	3	0	-0,14 (☑)	-0,19 (☑)	6,67	1,65	4,29	0,46
		2	-0,03 (☑)	-0,08 (☑)	5,96	1,60	4,29	0,37
	4	0	-0,17 (☑)	-0,16 (☑)	6,76	1,65	4,29	0,46
		2	-0,05 (☑)	-0,07 (☑)	6,30	1,60	4,29	0,37
	UA Gesamt		-0,10 (☑)	-0,13 (☑)	6,76	1,65	4,29	0,46

Die Tabelle zeigt die Differenz zwischen den durchschnittlichen realisierten DWC in USD je Barrel für den Abschluss der durch OPTA gewählten Sicherung sowie für den Fall ohne Sicherung ($\Delta DW C_{h,SG}$). Werte kleiner null bedeuten einen Vorteil der Sicherung (grafische Markierung: ☑). Für weitere Erläuterungen sowie die genaue Zuordnung der einzelnen Zeilen zu den Clustern 1 bis 16 siehe Tabelle 88 sowie die zugehörigen Anmerkungen. Der erste Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume ab dem jeweils ersten relevanten Erfüllungszeitraum ($s = 1$) bis zum Erfüllungszeitraum Dezember 2014 ($s = S$). Der zweite Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume zwischen Januar 2015 ($s = 1$) und Dezember 2019 ($s = S$). Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.2.1.

Tabelle 94 – Schema: DWCCF-Vorteile und Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur

Airline	Kenngröße (Ausprägungen im Modell)	ex-ante Ansicht $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$			ex-post Ansicht $\Delta DWCCF_{h,SG}$		
		2007-2019	2007-2014	2015-2019	2007-2019	2007-2014	2015-2019
AA	Risiko (2 vs. 4)	positiv	nicht eindeutig	positiv	positiv	nicht eindeutig	positiv
	Budget (0% vs. 3%)	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
	Sicherungs-ende (6 vs. 12 Monate)	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ
DL	Risiko (1 vs. 2)	positiv	(leicht) positiv	positiv	nicht eindeutig	nicht eindeutig	nicht eindeutig
	Budget (0% vs. 3%)	positiv	(leicht) positiv	positiv	positiv	nicht eindeutig	positiv
	Sicherungshorizont (24 vs. 35 Monate)	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	nicht eindeutig
WN	Risiko (1 vs. 3)	positiv	nicht eindeutig	positiv	positiv	positiv	nicht eindeutig
	Budget (2% vs. 3%)	nicht eindeutig	nicht eindeutig	(leicht) positiv	positiv	nicht eindeutig	positiv
	Sicherungshorizont (18 vs. 35 Monate)	negativ	positiv	negativ	nicht eindeutig	nicht eindeutig	(leicht) negativ
UA	Risiko (3 vs. 4)	positiv	(leicht) positiv	positiv	positiv	nicht eindeutig	positiv
	Budget (0% vs. 2%)	positiv	(leicht) positiv	positiv	positiv	negativ	positiv
	Sicherungs-ende (3 vs. 6 Monate)	negativ	negativ	nicht eindeutig	positiv	positiv	negativ

Die Tabelle zeigt schematisch und rein qualitativ den überwiegend beobachteten Zusammenhang bei einer ceteris paribus Veränderung der dargestellten Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur in Bezug auf die resultierende Veränderung der Ausprägung der Variable $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ (ex-ante Analyse) beziehungsweise $\Delta DWCCF_{h,SG}$ (ex-post Analyse). Dargestellt sind je Fluggesellschaft nur diejenigen Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur, für welche unterschiedliche Ausprägungen im Rahmen verschiedener Simulationsläufe berücksichtigt werden (siehe: Tabelle 13 in Kapitel 7.1.1.1). Die dargestellten Zusammenhänge werden für die ex-ante Aussagen schematisch aus den in Tabelle 84, Tabelle 85 und Tabelle 86 sowie für die ex-post- Aussagen schematisch aus den in Tabelle 87, Tabelle 88 sowie Tabelle 89 dargestellten Ergebnissen je Cluster beziehungsweise Simulationslauf abgelesen. Zur Einordnung der Zusammenhänge wurde lediglich eine Einschätzung auf Basis einer Durchschnitt der genannten Tabellen abgegeben, wobei für das Festlegen einer Ausprägung diese Ausprägung in der überwiegenden Mehrzahl der betrachteten Fälle vorzufinden sein muss. Die dargestellten Bezeichnungen „positiv“, „nicht eindeutig“ und „negativ“ stellen demnach die vermutete schematische Ausprägung des Vorzeichens eines nicht

errechneten Korrelationskoeffizienten dar. Dargestellt sind die ex-ante- und ex-post-Ergebnisse jeweils unter Berücksichtigung der Cluster- / Simulationslauergebnisse für den gesamten Untersuchungszeitraum sowie separat für die Zeiträume 1 und 2. Der erste Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume ab dem jeweils ersten relevanten Erfüllungszeitraum bis zum Erfüllungszeitraum Dezember 2014. Der zweite Datensatz umfasst alle Erfüllungszeiträume zwischen Januar 2015 und Dezember 2019. Lesebeispiel: Die Zuordnung „positiv“ („negativ“) legt beispielsweise für *American Airlines (Delta Air Lines)* nahe, dass bei Betrachtung des Datensatzes für den Zeitraum 2007 bis 2019 (2007 bis 2014) eine singuläre Erhöhung der Risikobereitschaft von 2 auf 4 (Erhöhung des *maximalen Sicherungshorizontes* von 24 auf 35 Monate) im Durchschnitt der simulierten und ausgewerteten Beobachtungen zu einer Verbesserung der ex-ante Kenngröße $\Delta E_{T_0}(DWCCF_h)$ (Verschlechterung der ex-post Kenngröße $\Delta DWCCF_{h,SG}$) führt. Die in der Tabelle dargestellten Erkenntnisse werden in großen Teilen bereits im Fließtext der Kapitel 7.1.1.5 sowie 7.1.1.6 (ex-ante) und der Kapitel 7.1.2.2 sowie 7.1.2.3 (ex-post) dargelegt. Da es sich nur um schematische Zuordnungen handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass in einzelnen Simulationsläufen Ergebnisse erzielt werden, die von den hier gezeigten Zusammenhängen abweichen. Querverweis auf Tabelle unter anderem in Kapitel 7.1.1.5, 7.1.1.6 und Kapitel 7.1.2.2.

Tabelle 95 – Korrelationsmatrix zum Regressionsmodell gemäß (7.5) (Zeitraum: 2007 bis 2019)

<i>Beobachtungen</i>	<i>AA</i>	<i>DL</i>	<i>WN</i>	<i>UA</i>	<i>Risiko</i>	<i>Budget</i>	<i>S.Ende</i>	<i>S.Horizont</i>	<i>SG</i>	<i>PrS</i>	<i>PrV</i>	<i>VV</i>	<i>Plan</i>
<i>AA</i>	-	-0,23	-0,28	-0,30	0,22	0,04	0,30	-0,01	0,15	-0,08	-0,02	0,00	0,08
<i>DL</i>	-0,23	-	-0,26	-0,28	-0,41	0,04	0,05	0,29	0,17	0,04	-0,16	0,23	0,00
<i>WN</i>	-0,28	-0,26	-	-0,34	-0,18	0,38	-0,53	0,20	-0,28	-0,06	0,40	0,15	-0,25
<i>UA</i>	-0,30	-0,28	-0,34	-	0,49	-0,27	-0,27	-0,58	-0,14	0,02	-0,42	-0,32	0,06
<i>Risiko</i>	0,22	-0,41	-0,18	0,49	-	-0,14	0,06	-0,42	-0,31	0,03	-0,17	-0,21	0,00
<i>Budget</i>	0,04	0,04	0,38	-0,27	-0,14	-	-0,13	0,16	-0,07	-0,02	0,21	0,11	-0,09
<i>S.Ende</i>	0,30	0,05	-0,53	-0,27	0,06	-0,13	-	0,03	0,24	0,03	-0,04	-0,01	0,13
<i>S.Horizont</i>	-0,01	0,29	0,20	-0,58	-0,42	0,16	0,03	-	0,10	-0,02	0,22	0,23	-0,02
<i>SG</i>	0,15	0,17	-0,28	-0,14	-0,31	-0,07	0,24	0,10	-	-0,09	-0,04	0,08	0,35
<i>PrS</i>	-0,08	0,04	-0,06	0,02	0,03	-0,02	0,03	-0,02	-0,09	-	0,29	0,00	-0,34
<i>PrV</i>	-0,02	-0,16	0,40	-0,42	-0,17	0,21	-0,04	0,22	-0,04	0,29	-	0,06	0,01
<i>VV</i>	0,00	0,23	0,15	-0,32	-0,21	0,11	-0,01	0,23	0,08	0,00	0,06	-	0,13
<i>Plan</i>	0,08	0,00	-0,25	0,06	0,00	-0,09	0,13	-0,02	0,35	-0,34	0,01	0,13	-

Die Tabelle zeigt die Korrelationsmatrix der erklärenden Variablen für die in (7.5) aufgestellte Regression. Dargestellt sind Pearson-Korrelationskoeffizienten. Berücksichtigt sind Daten der erklärenden Variablen bei Rückgriff auf den gesamten Datensatz von 2007 bis 2019. Die zugehörigen Ergebnisse des Regressionsmodells finden sich in Tabelle 30. Die Definition aller dargestellten Variablen findet sich in Kapitel 7.1.3. Querverweis auf Tabelle im Anhang A XIII. d).

Tabelle 96 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Gesamter Untersuchungszeitraum (2007 bis 2019)

Regressionsmodell nach ...	Formel (7.5)	Formel (A XIII.7)	Formel (A XIII.8)	Formel (A XIII.9)	Formel (A XIII.10)	Formel (A XIII.11)
Zeitraum	Gesamter Zeitraum: 2007 - 2019					
Beobachtungen	148					
β_0 (y-Achse)	-3,49***	-2,16***	-1,47***	-3,47***	-1,37***	-3,84***
β_1 (AA * ΔE_{T_0})	13,90***	10,81***	11,76***	13,33***	8,26***	14,43***
β_2 (DL * ΔE_{T_0})	7,14***	4,38***	4,40***	6,87***	2,63***	7,46***
β_3 (WN * ΔE_{T_0})	3,08***	2,36***	1,66***	2,91***	0,60**	3,27***
β_4 (UA * ΔE_{T_0})	14,21***	9,70***	9,10***	13,51***	6,48***	15,04***
β_5 (Risiko)	-0,04	0,01	-	-	0,11**	-0,05
β_6 (Budget)	28,96***	33,04***	-	29,52***	35,71***	28,38***
β_7 (S.Ende)	0,18***	0,12***	-	0,17***	-	0,19***
β_8 (S.Horizont)	-0,01	-0,02*	-	-0,01	-0,02***	-
β_9 (SG)	0,09	-0,28	-	0,16	0,20	0,09
β_{10} (PrS)	-0,06	-	-0,08	-0,07	-0,10	-0,06
β_{11} (PrV)	0,73***	-	0,66***	0,72***	0,54***	0,75***
β_{12} (VV)	-0,09	-	-0,10	-0,09	-0,07	-0,10
β_{13} (Plan)	-0,49***	-	-0,56***	-0,50***	-0,61***	-0,48***
R^2	77%	67%	51%	77%	72%	76%
Adj. R^2	74%	65%	48%	74%	69%	74%

Die Tabelle stellt den Ergebnissen der führenden Regressionsgleichung gemäß (7.5) vergleichend die Ergebnisse unter Rückgriff auf die alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A XIII.7), (A XIII.8), (A XIII.9), (A XIII.10) und (A XIII.11) gegenüber. Basis der Regression ist der Datensatz unter Berücksichtigung des gesamten Betrachtungszeitraumes (2007 bis 2019). Für die Ergebnisse zum Modell gemäß (7.5) siehe auch Tabelle 30 im Hauptteil der Arbeit. Die Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf heteroskedastie-robuste White-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.3 sowie im Anhang A XIII. d).

Tabelle 97 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Untersuchungszeitraum 1 (2007 bis 2014)

<i>Regressionsmodell nach ...</i>	<i>Formel (7.5)</i>	<i>Formel (A XIII.7)</i>	<i>Formel (A XIII.8)</i>	<i>Formel (A XIII.9)</i>	<i>Formel (A XIII.10)</i>	<i>Formel (A XIII.11)</i>
<i>Zeitraum</i>	Untersuchungszeitraum 1: 2007 - 2014					
<i>Beobachtungen</i>	148					
β_0 (y-Achse)	-7,50***	-5,99***	0,27	-7,34***	-1,29***	-7,12***
β_1 (AA * ΔE_{T_0})	15,20***	13,07***	5,94***	15,48***	5,81***	14,78***
β_2 (DL * ΔE_{T_0})	8,78***	7,12***	1,43***	8,81***	1,72***	8,51***
β_3 (WN * ΔE_{T_0})	4,57***	3,77***	0,18	4,64***	0,43**	4,41***
β_4 (UA * ΔE_{T_0})	14,63***	12,33***	5,44***	14,94***	5,37***	14,17***
β_5 (Risiko)	0,07	0,08	-	-	0,12**	0,07
β_6 (Budget)	-6,91**	-5,97*	-	-7,01**	-3,10	-6,75**
β_7 (S.Ende)	0,35***	0,28***	-	0,36***	-	0,34***
β_8 (S.Horizont)	0,01	0,00	-	0,01	-0,02*	-
β_9 (SG)	2,08***	2,09***	-	1,94***	2,07***	2,07***
β_{10} (PrS)	0,11	-	0,10	0,11	0,09	0,11
β_{11} (PrV)	0,42***	-	0,21*	0,42***	0,25**	0,42***
β_{12} (VV)	0,02	-	0,04	0,02	0,04	0,023
β_{13} (Plan)	0,07	-	0,33*	0,08	0,07	0,07
R^2	82%	80%	71%	82%	77%	82%
Adj. R^2	80%	78%	69%	80%	75%	80%

Die Tabelle stellt den Ergebnissen der führenden Regressionsgleichung gemäß (7.5) vergleichend die Ergebnisse unter Rückgriff auf die alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A XIII.7), (A XIII.8), (A XIII.9), (A XIII.10) und (A XIII.11) gegenüber. Basis der Regression ist der Datensatz unter Berücksichtigung des ersten Betrachtungszeitraumes (2007 bis 2014). Für Ergebnisse zur Regression gemäß (7.5) siehe auch Tabelle 30 im Hauptteil der Arbeit. Die Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf heteroskedastie-robuste White-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.3 sowie im Anhang A XIII. d).

Tabelle 98 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Untersuchungszeitraum 2 (2015 bis 2019)

Regressionsmodell nach ...	Formel (7.5)	Formel (A XIII.7)	Formel (A XIII.8)	Formel (A XIII.9)	Formel (A XIII.10)	Formel (A XIII.11)
Zeitraum	Untersuchungszeitraum 2: 2015 - 2019					
Beobachtungen	148					
β_0 (y-Achse)	-0,78	-0,27	-1,23***	-0,54	-0,83	-1,76***
β_1 (AA * ΔE_{T_0})	6,82**	5,02*	14,87***	7,46***	5,58***	7,53***
β_2 (DL * ΔE_{T_0})	6,28***	6,48***	10,6***	6,67***	6,02***	7,44***
β_3 (WN * ΔE_{T_0})	-8,49**	-9,88***	6,27*	-7,43**	-8,40**	-2,54
β_4 (UA * ΔE_{T_0})	19,99***	23,09***	48,55***	21,05***	19,53***	16,61**
β_5 (Risiko)	0,06	0,06	-	-	0,09	0,07
β_6 (Budget)	73,81***	75,83***	-	72,09***	75,11***	69,84***
β_7 (S.Ende)	0,03	0,01	-	0,04	-	0,02
β_8 (S.Horizont)	-0,04***	-0,04***	-	-0,04***	-0,04***	-
β_9 (SG)	-1,61***	-2,31***	-	-1,68***	-1,51***	1,45***
β_{10} (PrS)	-0,04	-	-0,02	-0,02	-0,05	-0,05
β_{11} (PrV)	0,36	-	1,10***	0,39	0,32	0,42
β_{12} (VV)	-0,54**	-	-0,39	-0,55***	-0,53**	-0,56***
β_{13} (Plan)	-0,73**	-	-0,80**	-0,70**	-0,74**	-0,70**
R^2	77%	74%	60%	77%	77%	76%
Adj. R^2	75%	72%	58%	75%	75%	74%

Die Tabelle stellt den Ergebnissen der führenden Regressionsgleichung gemäß (7.5) vergleichend die Ergebnisse unter Rückgriff auf die alternativen Regressionsgleichungen gemäß (A XIII.7), (A XIII.8), (A XIII.9), (A XIII.10) und (A XIII.11) gegenüber. Basis der Regression ist der Datensatz unter Berücksichtigung des zweiten Betrachtungszeitraumes (2015 bis 2019). Für Ergebnisse zur Regression gemäß (7.5) siehe auch Tabelle 30 im Hauptteil der Arbeit. Die Regressionskoeffizienten entstammen einer OLS-Regression. Die angegebenen t-Werte und deren Signifikanzniveau beziehen sich auf heteroskedastie-robuste White-Standardfehler. Ergebnisse, die signifikant sind, werden zu einem Niveau von 1%, 5% und 10% durch ***, ** und * gekennzeichnet. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.1.3 sowie im Anhang A XIII. d).

Tabelle 99 – Relativer Einfluss der Sicherungen auf den Unternehmenswert

Fall	Air-line	Sicherungs-grad	$\Delta Vrel_{h,SG}^{FCF}$			$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{FCF}$		$\Delta Vrel_{h,SG}^{DWC}$			$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}^{DWC}$		$\Delta Vrel_{h,SG}$			$\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$		Re-chen-dauer (Min.)
			2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	
2	AA	90%	1,63% ☑	-0,56% ☒	0,83% ☑	24,04%	-3,41%	0,63% ☑	-0,09% ☒	0,37% ☑	7,90%	-1,71%	2,26% ☑	-0,65% ☒	1,20% ☑	31,94%	-5,12%	408
9		90%	1,33% ☑	-0,33% ☒	0,71% ☑	19,23%	-6,88%	0,58% ☑	-0,01% ☒	0,36% ☑	6,75%	-3,30%	1,91% ☑	-0,35% ☒	1,07% ☑	25,98%	-10,18%	690
16		90%	1,35% ☑	-0,61% ☒	0,64% ☑	19,60%	-3,34%	0,53% ☑	-0,03% ☒	0,33% ☑	6,36%	-1,64%	1,89% ☑	-0,64% ☒	0,97% ☑	25,95%	-4,98%	548
19		90%	0,97% ☑	-0,04% ☒	0,60% ☑	19,14%	-9,21%	0,62% ☑	0,01% ☑	0,40% ☑	6,91%	-1,83%	1,59% ☑	-0,03% ☒	0,99% ☑	26,05%	-11,05%	710
28	DL	90%	0,67% ☑	-0,57% ☒	0,20% ☑	8,98%	-4,50%	0,11% ☑	-0,06% ☒	0,05% ☑	1,32%	-0,29%	0,78% ☑	-0,62% ☒	0,25% ☑	10,30%	-4,79%	535
33		90%	-0,17% ☒	-1,63% ☒	-0,71% ☒	8,66%	-6,79%	0,09% ☑	-0,05% ☒	0,04% ☑	1,35%	-0,28%	-0,08% ☒	-1,68% ☒	-0,67% ☒	10,02%	-6,86%	1.352
39		90%	0,33% ☑	-1,51% ☒	-0,35% ☒	8,95%	-6,88%	0,08% ☑	-0,16% ☒	-0,01% ☒	1,31%	-0,69%	0,41% ☑	-1,66% ☒	-0,36% ☒	10,26%	-7,48%	1.234
44		70%	0,49% ☑	-0,13% ☒	0,26% ☑	6,91%	-2,81%	0,14% ☑	0,00% ☑	0,09% ☑	1,38%	-0,15%	0,63% ☑	-0,13% ☒	0,34% ☑	8,29%	-2,96%	702
52	WN	90%	0,55% ☑	-1,18% ☒	-0,08% ☒	24,60%	-20,49%	0,47% ☑	-0,02% ☒	0,29% ☑	7,11%	-2,99%	1,02% ☑	-1,21% ☒	0,21% ☑	31,71%	-22,40%	1.158
56		90%	-0,05% ☒	-0,71% ☒	-0,29% ☒	23,96%	-22,86%	0,47% ☑	-0,02% ☒	0,29% ☑	7,08%	-2,89%	0,43% ☑	-0,73% ☒	0,01% ☑	31,05%	-24,42%	1.184
63		50%	-0,04% ☒	-0,06% ☒	-0,05% ☒	7,77%	-8,29%	0,21% ☑	0,00% ☑	0,13% ☑	3,16%	-0,78%	0,17% ☑	-0,06% ☒	0,08% ☑	10,93%	-8,64%	332
72		50%	0,51% ☑	-0,11% ☒	0,28% ☑	13,99%	-9,38%	0,45% ☑	0,00% ☑	0,29% ☑	5,13%	-1,46%	0,96% ☑	-0,11% ☒	0,57% ☑	19,12%	-9,61%	1.426
75	UA	90%	0,40% ☑	-0,31% ☒	0,04% ☑	7,08%	-2,30%	0,09% ☑	-0,01% ☒	0,04% ☑	1,07%	-1,01%	0,49% ☑	-0,32% ☒	0,08% ☑	8,15%	-3,31%	321
84		90%	0,48% ☑	-0,12% ☒	0,19% ☑	8,38%	-2,33%	0,12% ☑	0,00% ☑	0,06% ☑	1,33%	-0,93%	0,60% ☑	-0,12% ☒	0,25% ☑	9,71%	-3,27%	278
89		50%	0,31% ☑	-0,08% ☒	0,12% ☑	3,84%	-0,78%	0,12% ☑	0,00% ☑	0,06% ☑	0,72%	-0,20%	0,43% ☑	-0,08% ☒	0,17% ☑	4,56%	-0,88%	248
94		90%	0,56% ☑	-0,25% ☒	0,17% ☑	8,32%	-1,73%	0,16% ☑	0,00% ☑	0,08% ☑	1,30%	-0,59%	0,72% ☑	-0,25% ☒	0,25% ☑	9,61%	-2,30%	270

Die Tabelle veranschaulicht relative Unternehmenswertdifferenzen. Die dargestellten Kennziffern erfassen den relativen Einfluss von abgeschlossenen Treibstoffpreissicherungsgeschäften auf den Unternehmenswert der ausgewiesenen Fluggesellschaften. Die dargestellte Fallnummer determiniert die Ausgestaltung von gültigen Nebenbedingungen und Restriktionen sowie das hieraus resultierende Sicherungsportfolio. Die Zuordnung der Fallnummern

ist Tabelle 84 zu entnehmen. Die Methodik zur Auswahl der 16 dargestellten Fälle (aus insgesamt 96 möglichen Fällen) wird in Kapitel 7.2.2 beschrieben. Für Hintergründe zur Berechnung der dargestellten Kennziffern siehe: Kapitel 7.2.1 sowie auch Anhang A XIV und die dortigen Darstellungen der Formeln. Die Kennziffern werden gemäß den Vorgaben in Kapitel 7.2.2 zu allen Quartalsendstichtagen innerhalb des im Rahmen der Simulationsstudie erfassten Zeitraumes (max. 2007 – 2019) berechnet. Durchschnittswerte pro Periode unter Berücksichtigung aller Quartalsstichtage (1) innerhalb des gesamten Zeitraums, (2) innerhalb von Zeitraum 1 sowie (3) innerhalb von Zeitraum 2. Ausgewiesene Extrema (Max. Vorteil sowie Min. Vorteil) stellen jeweils die maxi- beziehungsweise minimale Ausprägung der Kennziffer an einem einzelnen Stichtag dar. Sofern ermittelte Durchschnittswerte auf einen Vorteil aus abgeschlossenen Sicherungen schließen lassen, wird dies über die grafische Markierung ☒ zusätzlich visualisiert (andernfalls: ☐). Die Spalte „*Rechendauer (Min.)*“ gibt an, wie lange *Wolfram Mathematica* zur Ermittlung der Unternehmenswertdifferenzen für alle zu berücksichtigenden Stichtage des Simulationslaufs in Minuten benötigte. Diese Rechendauer beinhaltet nicht die Zeit, welche zur Erzeugung der hinterlegten Portfolien im Rahmen der Cluster- sowie der Fallberechnung (siehe: Tabelle 84 sowie Kapitel 7.1.1.1) benötigt wurde. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Rahmen der ausgewiesenen Rechendauer Ergebnisse für relative (diese Tabelle) und absolute (siehe: Tabelle 100) Unternehmenswertdifferenzen gemeinsam ermittelt werden. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.2.3.

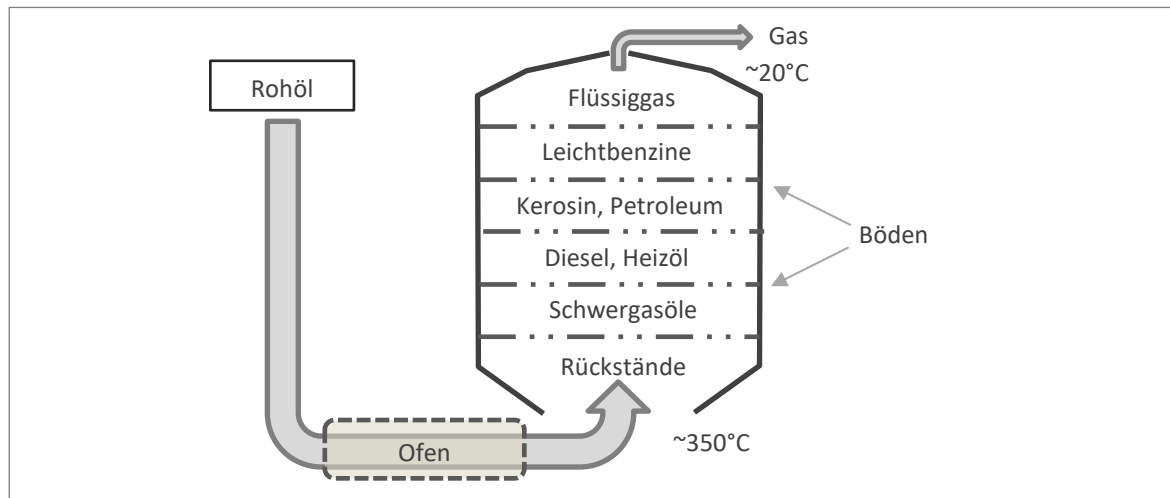
Tabelle 100 – Absoluter Einfluss der Sicherungen auf den Unternehmenswert

Fall	Air-line	Sicherungs-grad	$\Delta Vabs_{h,SG}^{FCF}$			$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{FCF}$		$\Delta Vabs_{h,SG}^{DWC}$			$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}^{DWC}$		$\Delta Vabs_{h,SG}$			$\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$		Rechen-dauer (Min.)
			2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	2007-2014	2015-2019	2007-2019	Max. Vorteil	Max. Nachteil	
2	AA	90%	114 ☒	-163 ☒	13 ☒	1.839	-902	47 ☒	-27 ☒	20 ☒	604	-126	161 ☒	-189 ☒	33 ☒	2.443	-1.000	408
9		90%	84 ☒	-97 ☒	17 ☒	1.471	-581	41 ☒	-5 ☒	24 ☒	517	-244	125 ☒	-102 ☒	41 ☒	1.987	-751	690
16		90%	90 ☒	-171 ☒	-5 ☒	1.499	-928	39 ☒	-11 ☒	21 ☒	486	-121	129 ☒	-182 ☒	16 ☒	1.985	-982	548
19		90%	61 ☒	-20 ☒	31 ☒	1.464	-680	45 ☒	0	28 ☒	528	-135	106 ☒	-20 ☒	59 ☒	1.992	-815	710
28	DL	90%	32 ☒	-155 ☒	-38 ☒	1.032	-1.323	8 ☒	-16 ☒	-1 ☒	151	-85	40 ☒	-170 ☒	-39 ☒	1.183	-1.408	535
33		90%	-60 ☒	-438 ☒	-201 ☒	996	-1.790	8 ☒	-14 ☒	0	155	-67	-52 ☒	-452 ☒	-201 ☒	1.151	-1.817	1.352
39		90%	-5 ☒	-408 ☒	-155 ☒	1.029	-2.003	4 ☒	-42 ☒	-13 ☒	151	-182	-1 ☒	-449 ☒	-168 ☒	1.179	-2.178	1.234
44		70%	40 ☒	-36 ☒	12 ☒	794	-331	14 ☒	0	9 ☒	159	-19	55 ☒	-36 ☒	20 ☒	953	-348	702
52	WN	90%	-13 ☒	-358 ☒	-138 ☒	2.026	-1.720	30 ☒	-7 ☒	17 ☒	586	-281	18 ☒	-366 ☒	-122 ☒	2.612	-1.845	1.158
56		90%	-55 ☒	-224 ☒	-117 ☒	1.974	-1.883	31 ☒	-6 ☒	18 ☒	583	-272	-24 ☒	-230 ☒	-99 ☒	2.557	-2.012	1.184
63		50%	-11 ☒	-18 ☒	-14 ☒	640	-683	16 ☒	0	10 ☒	260	-73	5 ☒	-18 ☒	-4 ☒	900	-712	332
72		50%	20 ☒	-35 ☒	0	1.152	-772	34 ☒	0	22 ☒	423	-137	54 ☒	-35 ☒	22 ☒	1.575	-791	1.426
75	UA	90%	11 ☒	-41 ☒	-15 ☒	421	-359	5 ☒	-1 ☒	2 ☒	64	-75	15 ☒	-42 ☒	-13 ☒	485	-379	321
84		90%	20 ☒	-14 ☒	3 ☒	498	-174	6 ☒	1 ☒	3 ☒	79	-69	26 ☒	-14 ☒	7 ☒	578	-243	278
89		50%	14 ☒	-10 ☒	2 ☒	228	-127	7 ☒	0	4 ☒	43	-15	21 ☒	-10 ☒	6 ☒	271	-129	248
94		90%	19 ☒	-32 ☒	-5 ☒	495	-248	8 ☒	0	4 ☒	77	-44	28 ☒	-31 ☒	-1 ☒	572	-258	270

Die Tabelle veranschaulicht absolute Unternehmenswertdifferenzen. Die dargestellten Kennziffern erfassen den absoluten Einfluss von abgeschlossenen Treibstoffpreissicherungsgeschäften auf den Unternehmenswert der ausgewiesenen Fluggesellschaften. Alle Zahlen in Millionen US-Dollar. Für weitere Erläuterungen siehe Anmerkungen zu Tabelle 99. Querverweis auf Tabelle in Kapitel 7.2.3.

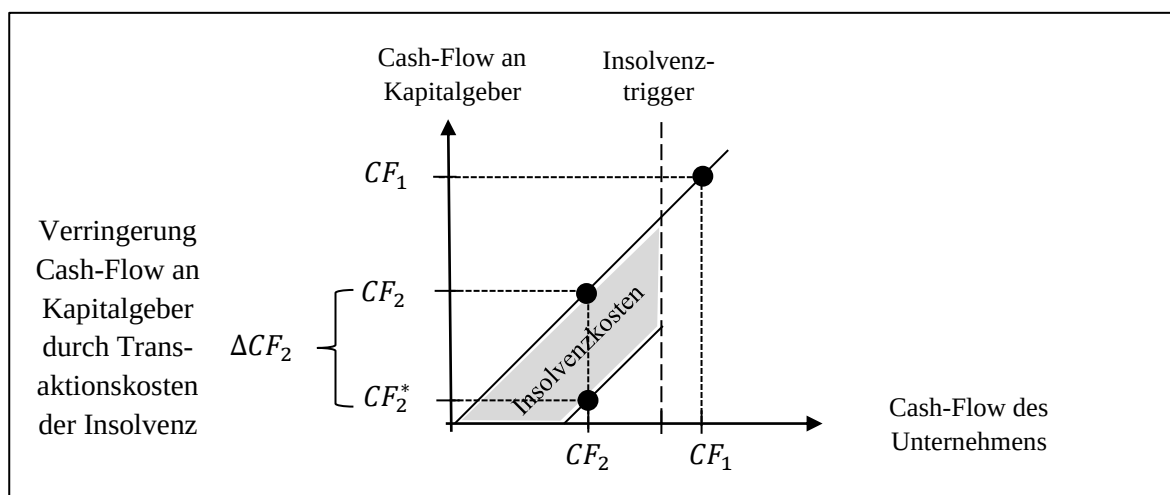
Anhang B II. Abbildungen

Abbildung 39 – Destillation von Rohöl in der Fraktionierkolonne



Die Abbildung zeigt schematisch den Prozess der Destillation in der Fraktionierkolonne⁹⁷⁸ in einer Raffinerie. In der Fraktionierkolonne wird das Rohöl auf circa 350 °C erhitzt. Der Großteil des eingeleiteten Rohöls verdampft und steigt nach oben. Beim Aufsteigen und Abkühlen können sich die einzelnen Bestandteile des Dampfgemischs entsprechend des jeweiligen Kondensationspunktes getrennt absetzen. Es verbleiben verschiedene getrennte Mineralöle, die nachbehandelt vom Endverbraucher genutzt werden können.⁹⁷⁹ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 2.3.1.1.

Abbildung 40 – Die direkten Transaktionskosten einer Insolvenz als DWC

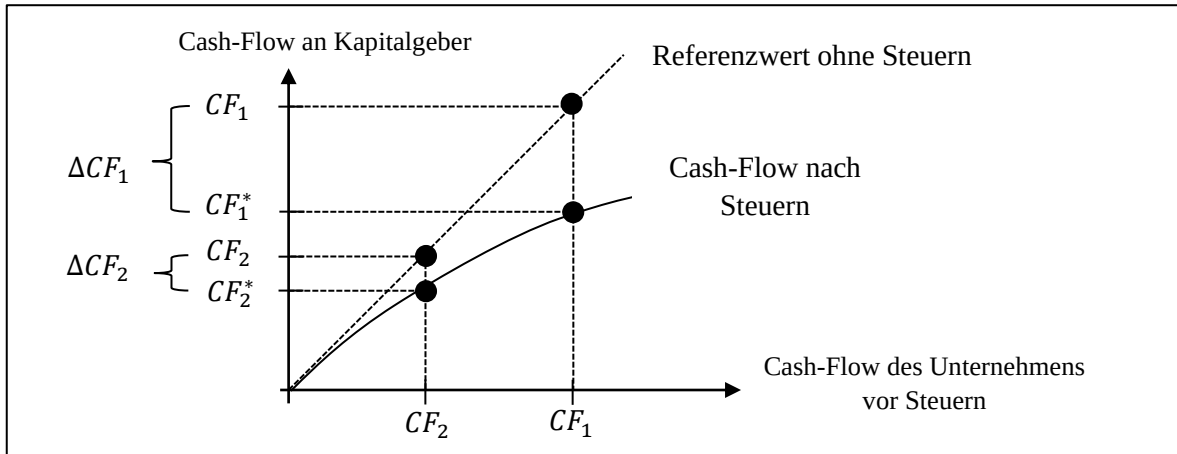


Die Abbildung zeigt den vereinfachten (unter anderem Abwesenheit von Steuern) Zusammenhang zwischen dem vom Unternehmen erwirtschafteten Cash-Flow und dem den Kapitalgebern zur Verfügung stehenden Cash-Flow unter Berücksichtigung der Transaktionskosten einer Insolvenz. Es ist davon auszugehen, dass die Insolvenz eines Unternehmens im Regelfall bei negativen Cash-Flows eintritt. Folglich wird angenommen: $Insotrigger < 0$. In der Abbildung schneidet die y-Achse die x-Achse demnach nicht bei $CF = 0$, sondern bei einem Wert $CF < 0$. Während Cash-Flows oberhalb des Insolvenztriggers vollständig an die Kapitalgeber weitergereicht werden können, fallen beim Unterschreiten des Insolvenztriggers Transaktionskosten der Insolvenz an, sodass den Kapitalgebern vom Cash-Flow CF_2 nur noch der um ΔCF_2 verminderte Cash-Flow CF_2^* zur Verfügung steht.⁹⁸⁰ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 3.1.1.2.

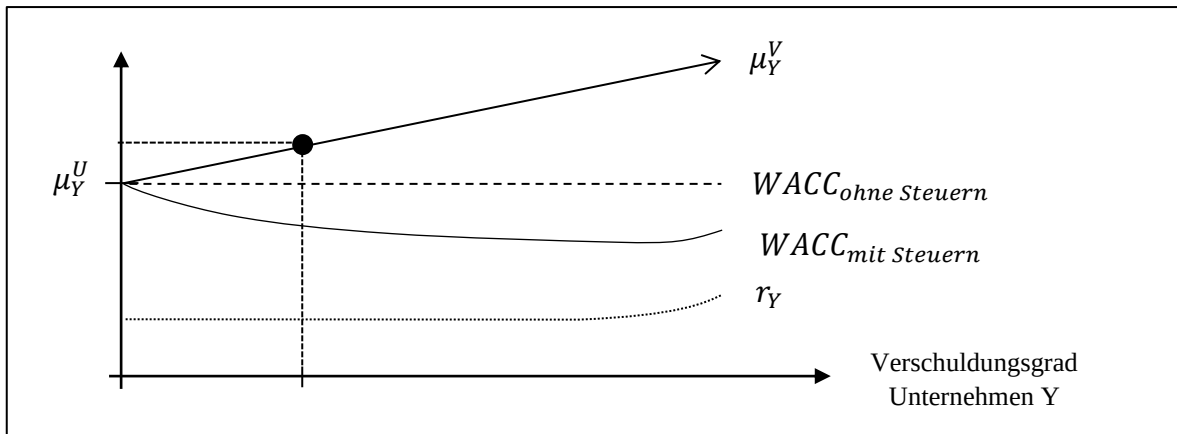
⁹⁷⁸ Türme, in denen die Destillation stattfindet. Vgl. Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): S. 164.

⁹⁷⁹ Angelehnt an: Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): S. 163 ff.

⁹⁸⁰ Grafik angelehnt an: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 402; Smith/Stulz (1985): S. 395 ff.; Stulz (2003): S. 56.

Abbildung 41 – Steigende Grenzsteuersätze und DWC

Die Abbildung zeigt den vereinfachten (unter anderem Abwesenheit von Insolvenzkosten) Zusammenhang zwischen dem von einem Unternehmen erwirtschafteten Cash-Flow vor Steuern und dem den Kapitalgebern zur Verfügung stehenden Cash-Flow nach Steuern unter Berücksichtigung steigender Grenzsteuersätze. Durch die Existenz von Steuern steht den Kapitalgebern in den beiden Beispielen jeweils nur der um ΔCF verminderte Cash-Flow CF_1^* und CF_2^* zur Verfügung. Steuervorteile von Fremdkapital sind im Beispiel nicht berücksichtigt.⁹⁸¹ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 3.1.1.2.

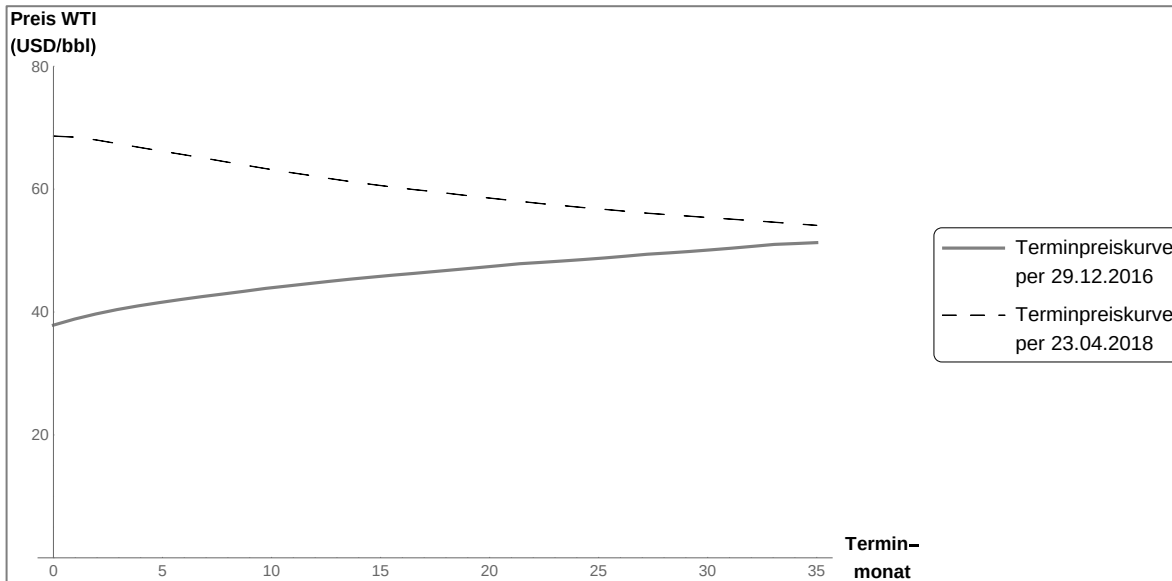
Abbildung 42 – Modigliani-Miller-Theorem und WACC mit Steuern

Erweiterung des Modells aus Abbildung 32 unter Berücksichtigung von Unternehmenssteuern. Die Existenz des Tax Shields führt zu einer Verringerung des WACC bei steigendem Verschuldungsgrad. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die unbegrenzte Erhöhung des Verschuldungsgrades auch zu einer Erhöhung des zu zahlenden individuellen Fremdkapitalzins r_Y führt, wobei extreme Verschuldungsgrade zu überproportionalen Erhöhungen des Fremdkapitalzins führen. Dies ist in der Abbildung, abweichend zur vorherigen Darstellung in Abbildung 32, ebenfalls dargestellt. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass auch der WACC nicht monoton fällt, sondern ein globales Minimum existiert. Es wird angenommen, dass der Einsatz von Hedging dazu beitragen kann, dass dieses globale Minimum erst bei einem höheren Verschuldungsgrad erreicht wird und somit einen im Vergleich zur Situation ohne Hedging niedrigeren WACC darstellt.⁹⁸² Querverweis auf Abbildung in Kapitel 3.1.1.2.

⁹⁸¹ Vgl. Smith/Stulz (1985): S. 392 ff.; vgl. Stulz (2003): S. 59 ff. Grafik angelehnt an: Stulz (2003): S. 60.

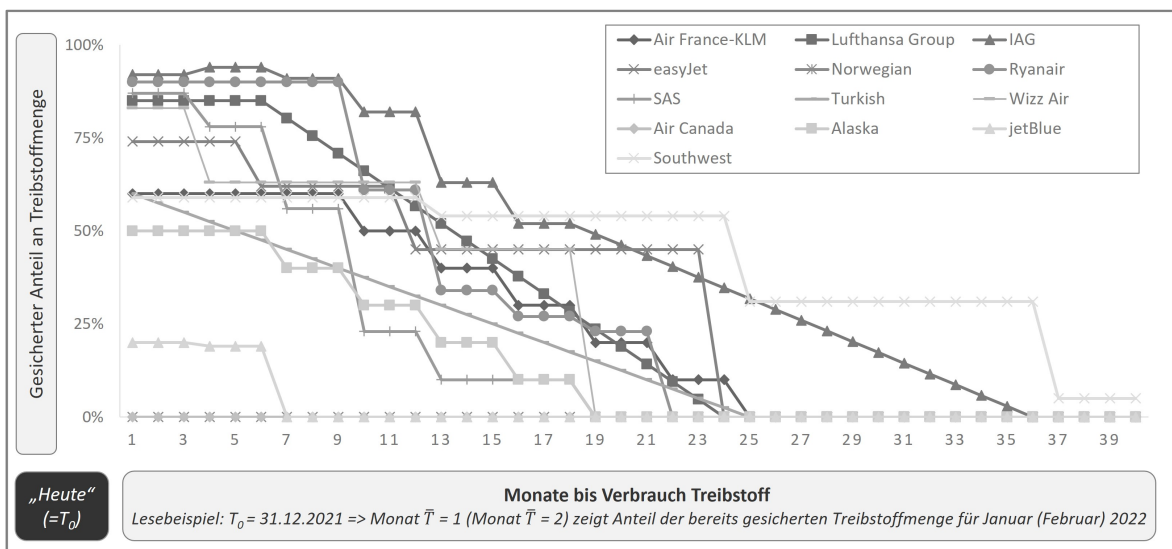
⁹⁸² Vgl. Brealey/Myers/Allen (2009): S. 384 ff.; vgl. Modigliani/Miller (1958): S. 265 ff.; vgl. Stulz (1996): S. 17. Grafik angelehnt an: Brealey/Myers/Allen (2009): S. 385, 400, 438; Copeland/Weston/Shastri (2005): S. 587 f.

Abbildung 43 – Beispielhafte Terminpreiskurven der Rohölsorte WTI



Die Abbildung zeigt die sogenannte Terminpreiskurve (Terminpreise je Terminmonat) für die Rohwarensorte WTI per Börsenschlusskurs vom 29.12.2016 sowie vom 23.04.2018 in US-Dollar pro Barrel. Der Terminpreis des Terminmonats 0 entspricht jeweils dem Spotpreis zum Börsenschluss am genannten Datum. Daten stammen aus *Bloomberg Professional Services*. Der genutzte Ticker für WTI ist „CL“. Zur Beschreibung der Daten siehe auch: Kapitel 6.1.3.1. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 3.3.1.2.

Abbildung 44 – Übergeordnete Sicherungsstruktur: Umsetzung in der Praxis



Die Abbildung zeigt die übergeordnete Sicherungsstruktur der analysierten Fluggesellschaften in schematischer Form. Dargestellt ist die übergeordnete Sicherungsstruktur von dreizehn untersuchten Fluggesellschaften. *Hawaiian Airlines* wurde aufgrund von fehlenden Detailangaben zur übergeordneten Sicherungsstruktur in der Grafik nicht berücksichtigt. Informationen sind angelehnt an die Übersicht in Tabelle 59 (siehe: Anhang B I.). Alle zugehörigen Quellen sind den Anmerkungen zur genannten Tabelle zu entnehmen. Dargestellt sind die jeweiligen Ausprägungen gemäß den Informationen zum letzten in den ausgewerteten Quellen erfassten Stichtag. Des Weiteren ist die dargestellte Treppenform möglicherweise teils darauf zurückzuführen, dass von einzelnen Gesellschaften nur Informationen zu durchschnittlichen Sicherungsgraden pro Quartal veröffentlicht werden (Beispiel: *Alaska Airlines*). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 4.2.1.

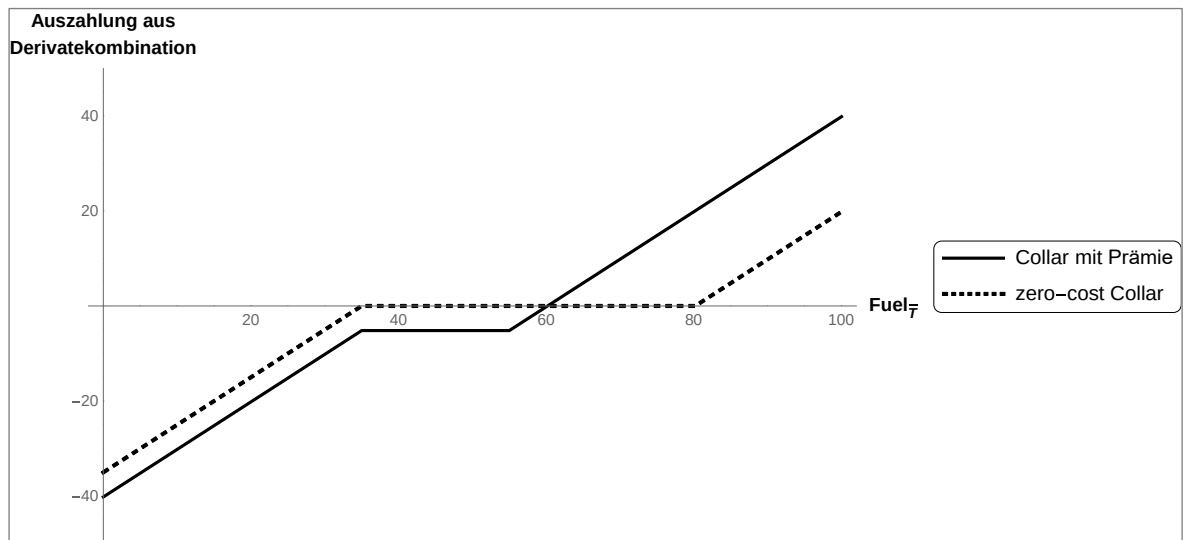
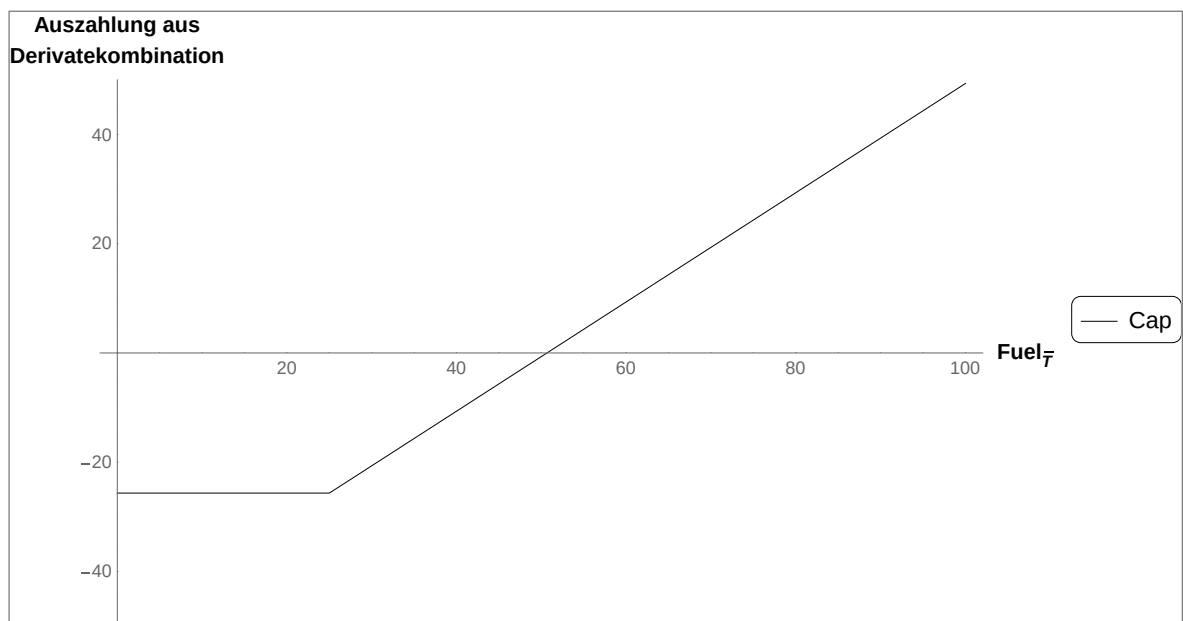
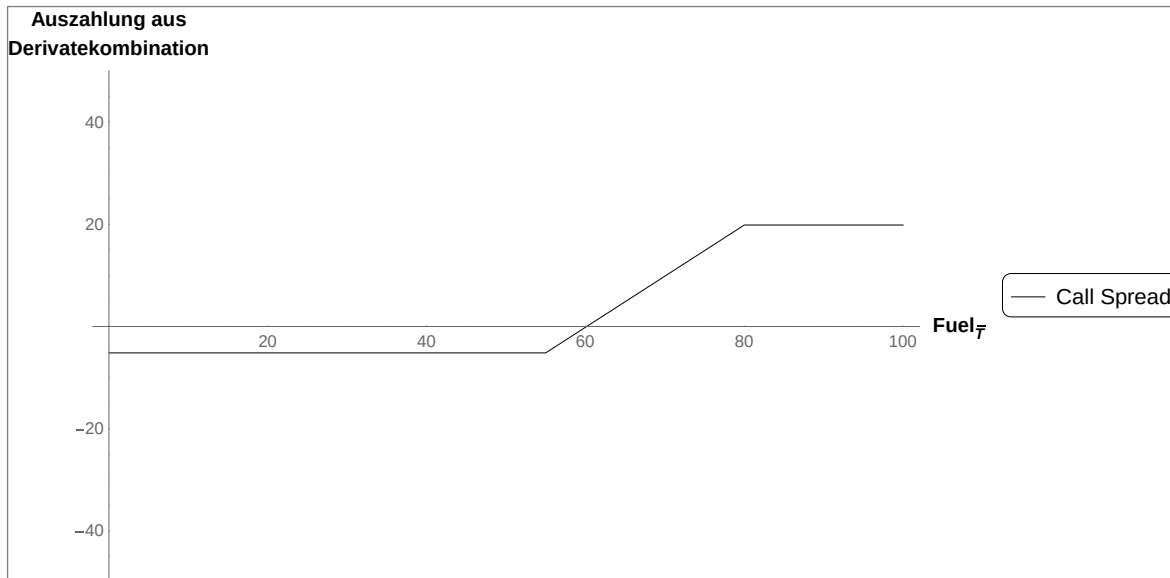
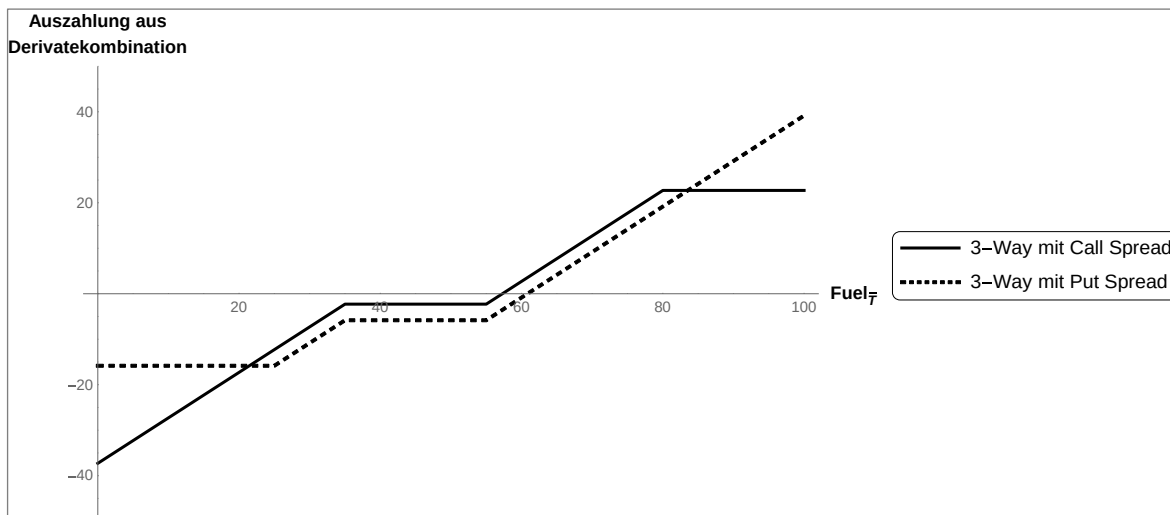
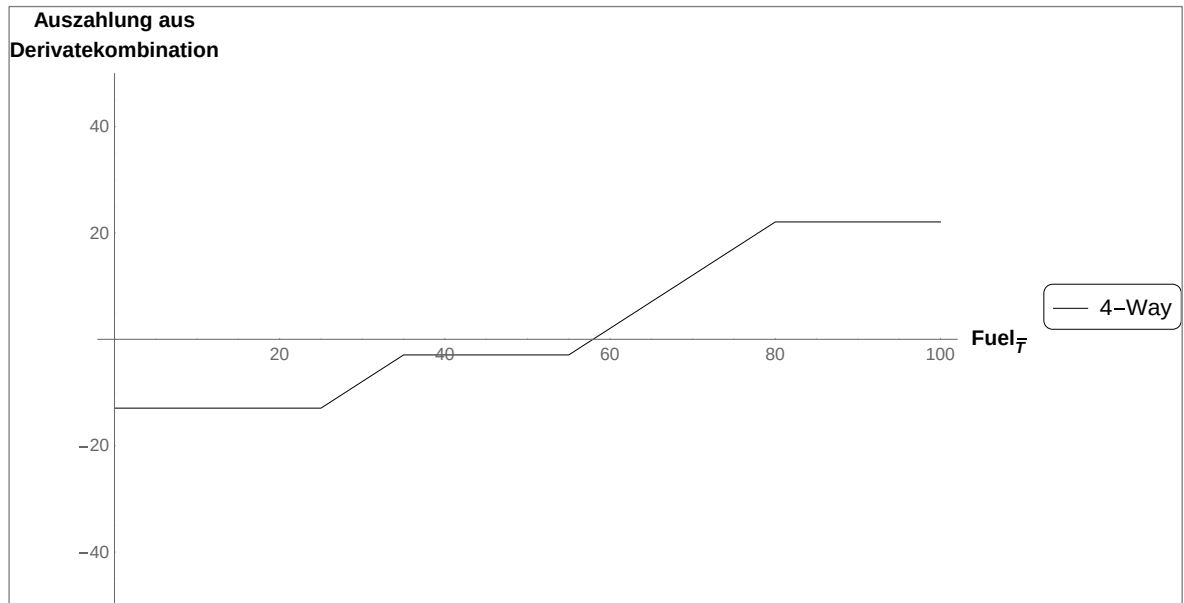
Abbildung 45 – Auszahlungsprofil: Collar (mit und ohne Prämie)**Abbildung 46 – Auszahlungsprofil: Cap**

Abbildung 47 – Auszahlungsprofil: Call Spread

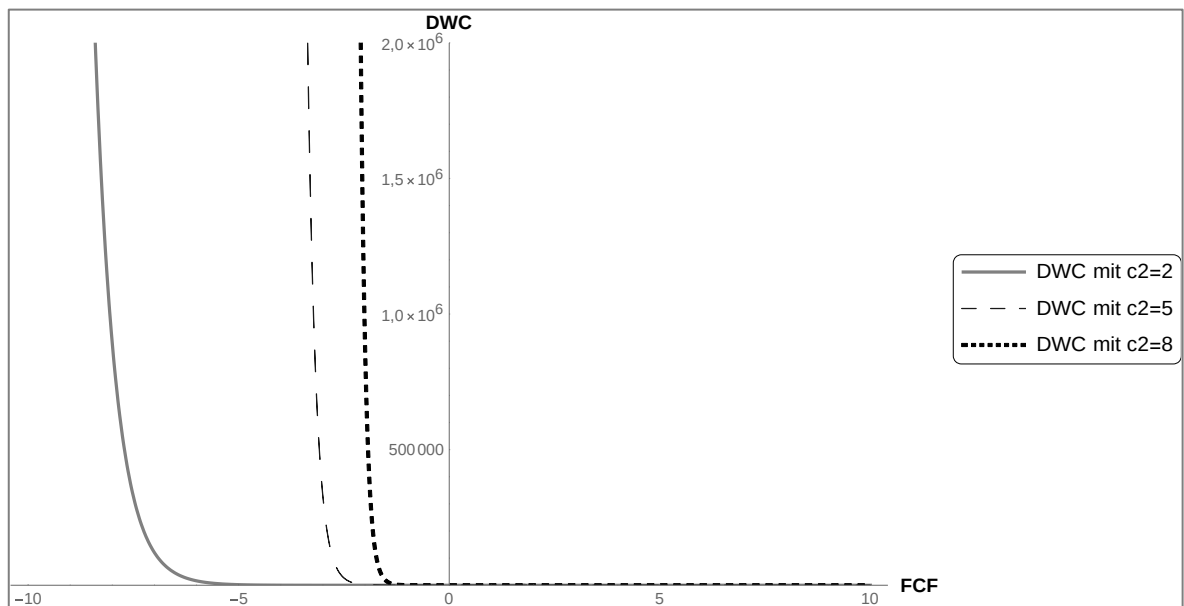
Die Abbildung zeigt schematisch für ein Barrel das Auszahlungsprofil eines Call Spreads im Zeitpunkt T (Ende des Erfüllungszeitraumes $\bar{T}$). Die Auszahlung erfolgt in Abhängigkeit vom Treibstoffdurchschnittspreis des Erfüllungszeitraumes ($Fuel_{\bar{T}}$). Unterstellt sind: $Fuel_{T_0, \bar{T}} = 50$, $T = 1$, $\sigma = 0,5$, $K_{T_0}^{Call, Long} = 55$, $K_{T_0}^{Call, Short} = 80$. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 4.2.3.2.

Abbildung 48 – Auszahlungsprofil: 3-Ways (mit Call Spread und Put Spread)

Die Abbildung zeigt schematisch für ein Barrel das Auszahlungsprofil eines 3-Ways mit Put Spread sowie eines 3-Ways mit Call Spread im Zeitpunkt T (Ende des Erfüllungszeitraumes $\bar{T}$). Die Auszahlung erfolgt in Abhängigkeit vom Treibstoffdurchschnittspreis des Erfüllungszeitraumes ($Fuel_{\bar{T}}$). Unterstellt sind: $Fuel_{T_0, \bar{T}} = 50$, $T = 1$, $\sigma = 0,5$, $K_{T_0}^{Call, Long} = 55$, $K_{T_0}^{Put, Short} = 35$. Außerdem wurde gewählt: $K_{T_0}^{Call, Short} = 80$ sowie $K_{T_0}^{Put, Long} = 25$. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 4.2.3.2.

Abbildung 49 – Auszahlungsprofil: 4-Way

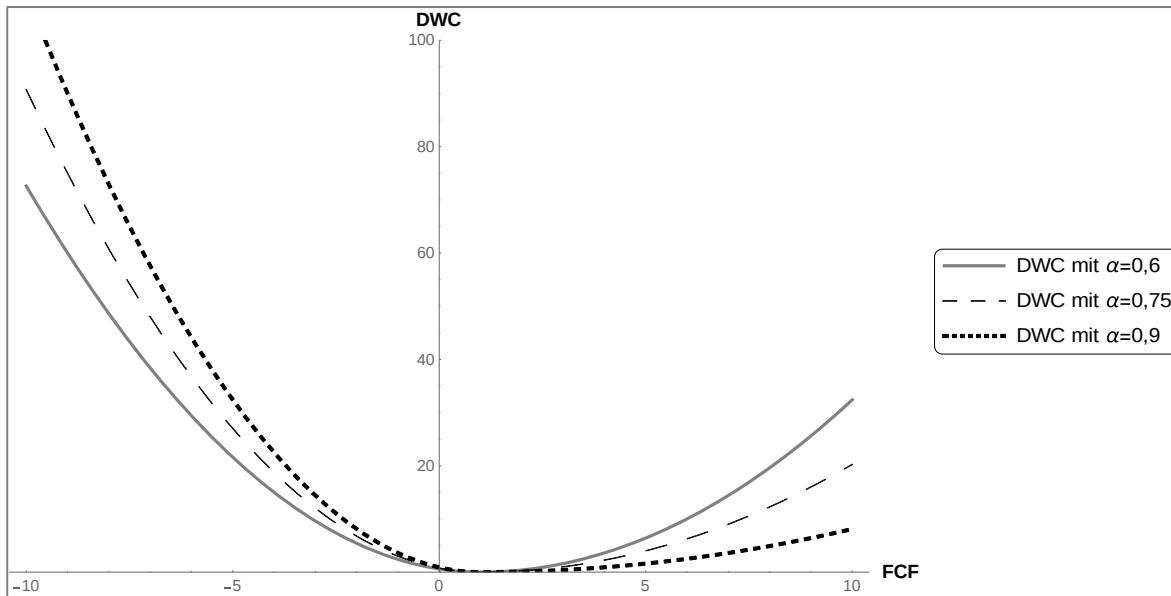
Die Abbildung zeigt schematisch für ein Barrel das Auszahlungsprofil eines 4-Ways im Zeitpunkt T (Ende des Erfüllungszeitraumes $\bar{T}$) mit Nettoprämienzahlung. Die Auszahlung erfolgt in Abhängigkeit vom Treibstoffdurchschnittspreis des Erfüllungszeitraumes ($Fuel_{\bar{T}}$). Unterstellt sind: $Fuel_{T_0,T} = 50$, $T = 1$, $\sigma = 0,5$, $K_{T_0}^{Call,Short} = 80$, $K_{T_0}^{Call,Long} = 55$, $K_{T_0}^{Put,Short} = 35$, $K_{T_0}^{Put,Long} = 25$. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 4.2.3.2.

Abbildung 50 – Einseitige exponentielle Standarddarstellung (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002) sowie Korn (2010))

Die Abbildung stellt DWC in Abhängigkeit von FCF in der Standarddarstellung nach Brown und Toft (2002) sowie Korn (2010) gemäß (A VII.1) dar. Die Parameter $c_1=0,1$ und $c_2 = \{2,5,8\}$ wurden gemäß den Vorschlägen von Brown und Toft (2002) gewählt.⁹⁸³ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII.

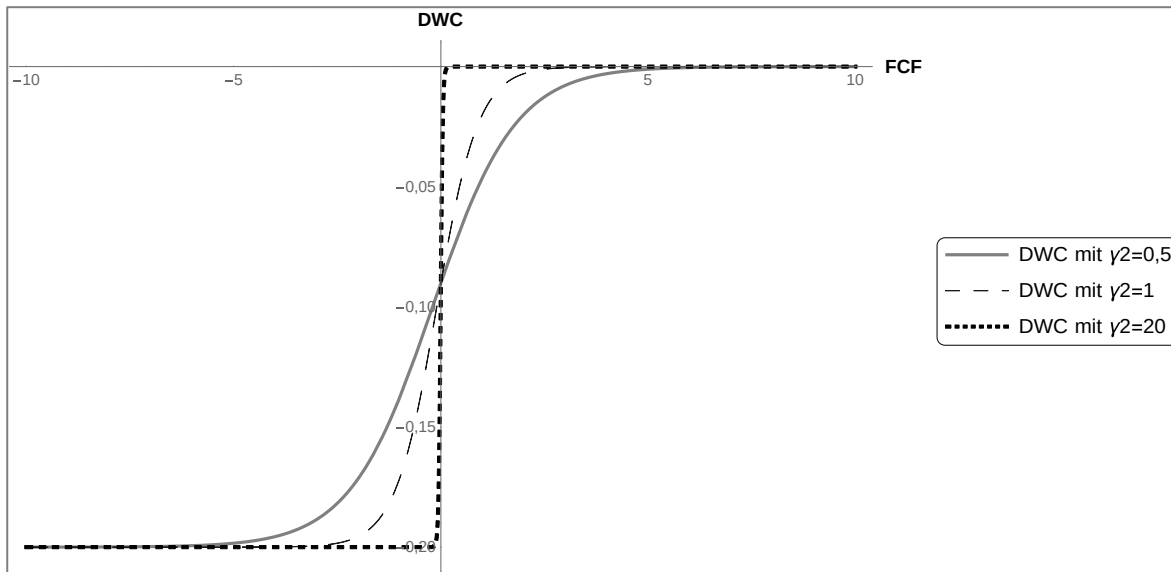
⁹⁸³ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1291.

Abbildung 51 – Parabelförmige Praxisfunktion (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))



Die Abbildung stellt DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (A VII.2) dar. Die Parameter $\alpha = \{(0,6), (0,75), (0,9)\}$, $\varrho = 1$ und $E(FCF) = 1$ wurden teils gemäß den von Brown und Toft (2002) vorgeschlagenen Intervallen gewählt.⁹⁸⁴ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII.

Abbildung 52 – Einseitige hyperbolische Darstellung (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))

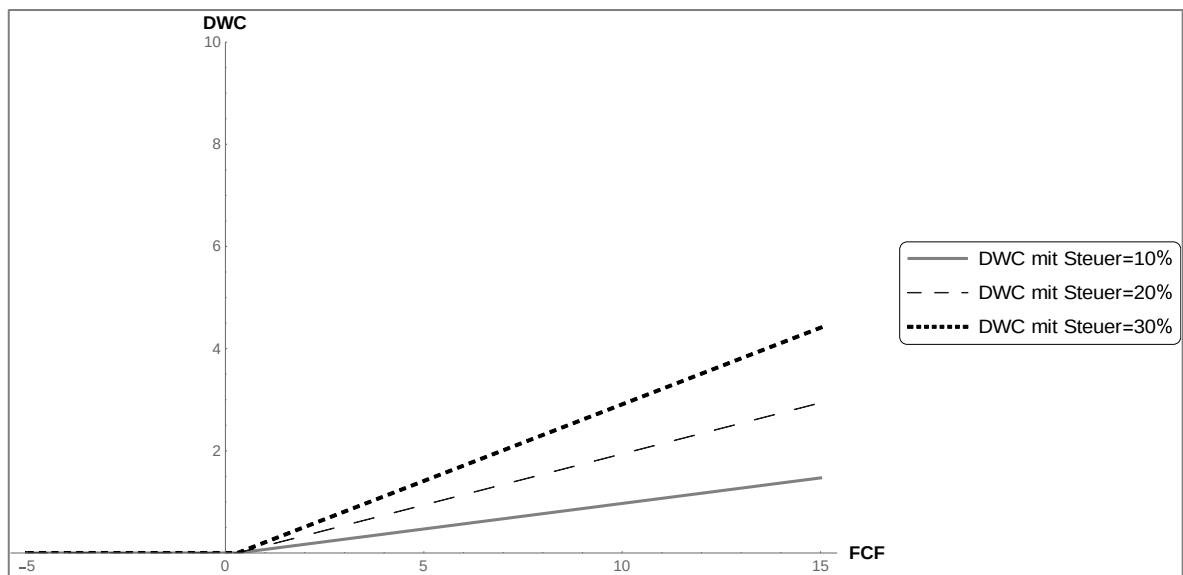


Die Abbildung stellt DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (A VII.3) dar. Die Parameter $\gamma_1 = 0,1$, $\gamma_2 = \{0,1, 1, 20\}$, $\gamma_3 = 0,1$ und $E(FCF) = 1$ wurden teils gemäß den Vorschlägen von Brown und Toft (2002) gewählt.⁹⁸⁵ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII.

⁹⁸⁴ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1314 ff.

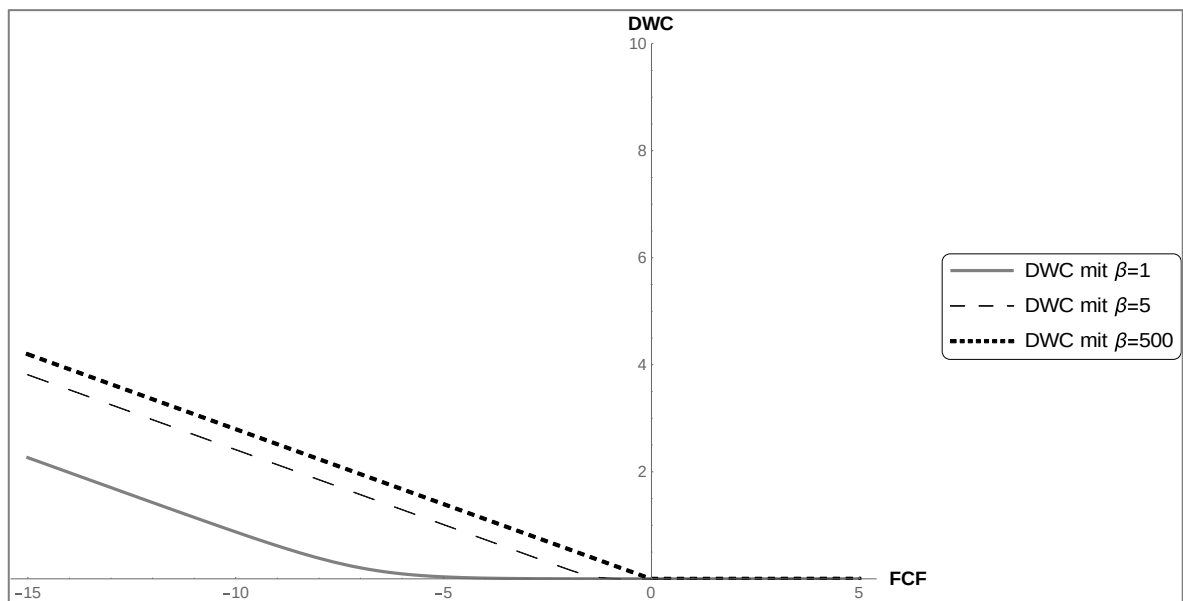
⁹⁸⁵ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1306.

Abbildung 53 – Lineare Ertragsteuern für positive FCF (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))



Die Abbildung stellt DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (A VII.4) dar. Die Parameter *Steuerschwelle* = 0,3 und *Steuer* = {10%, 20%, 30%} wurden teils gemäß den Vorschlägen von Brown und Toft (2002) gewählt.⁹⁸⁶ Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII.

Abbildung 54 – Abwesenheit von positiven Verluststeuern (DWC-Funktion in Frestad (2010))

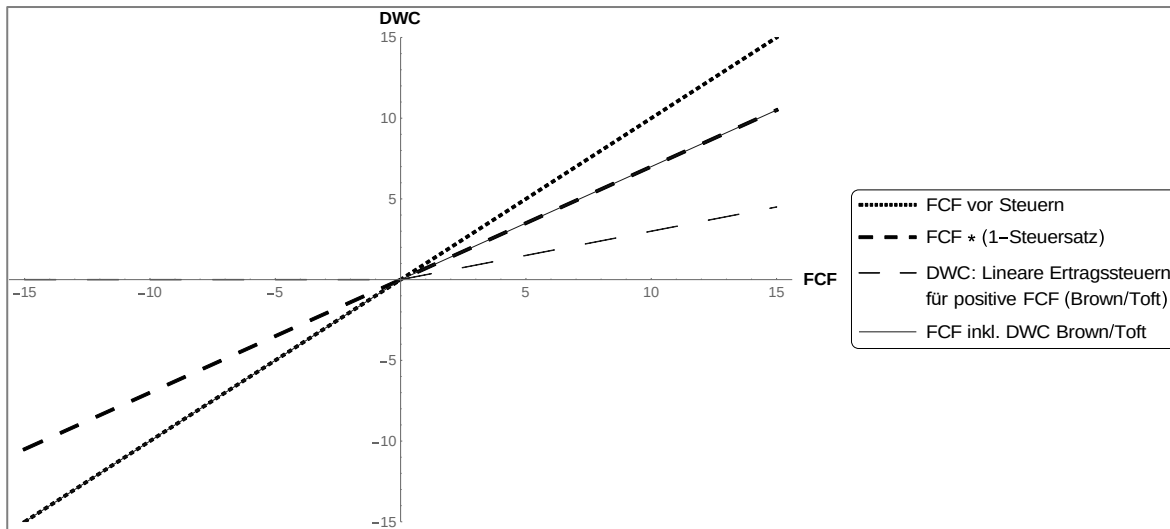


Die Abbildung stellt DWC in Abhängigkeit von FCF gemäß (A VII.5) dar. Die Parameter *Steuer* = 28%, $\theta = 0,001$ und $\gamma = \{1,5,500\}$ wurden teils gemäß den Vorschlägen von Frestad (2010) gewählt. Es ist zu beachten, dass in Frestad (2010) – im Gegensatz zu Brown und Toft (2002) sowie Korn (2010) – die Steuer-DWC erst vom Gewinn nach Steuern (hier: FCF nach Steuern) subtrahiert werden. Die Multiplikation mit dem Steuersatz erfolgt dabei zunächst auf positive und negative FCF gleichermaßen.⁹⁸⁷ Siehe hierzu auch: Abbildung 55 und Abbildung 56. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII. d).

⁹⁸⁶ Vgl. Brown/Toft (2002): S. 1307.

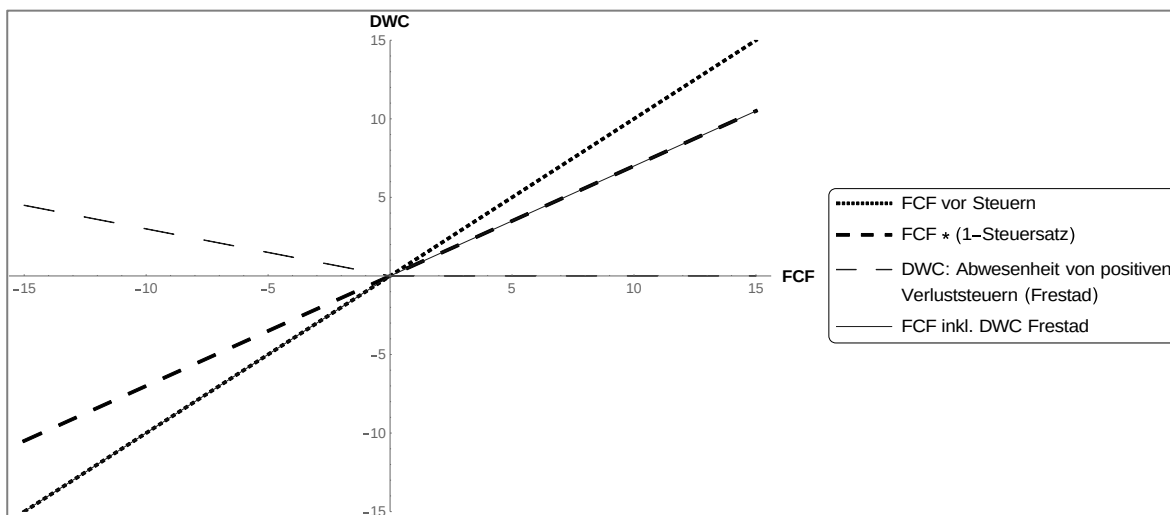
⁹⁸⁷ Vgl. Frestad (2010): S. 238 f.

Abbildung 55 – FCF vor und nach Steuern sowie FCF nach Steuer-DWC gemäß Brown und Toft (2002)

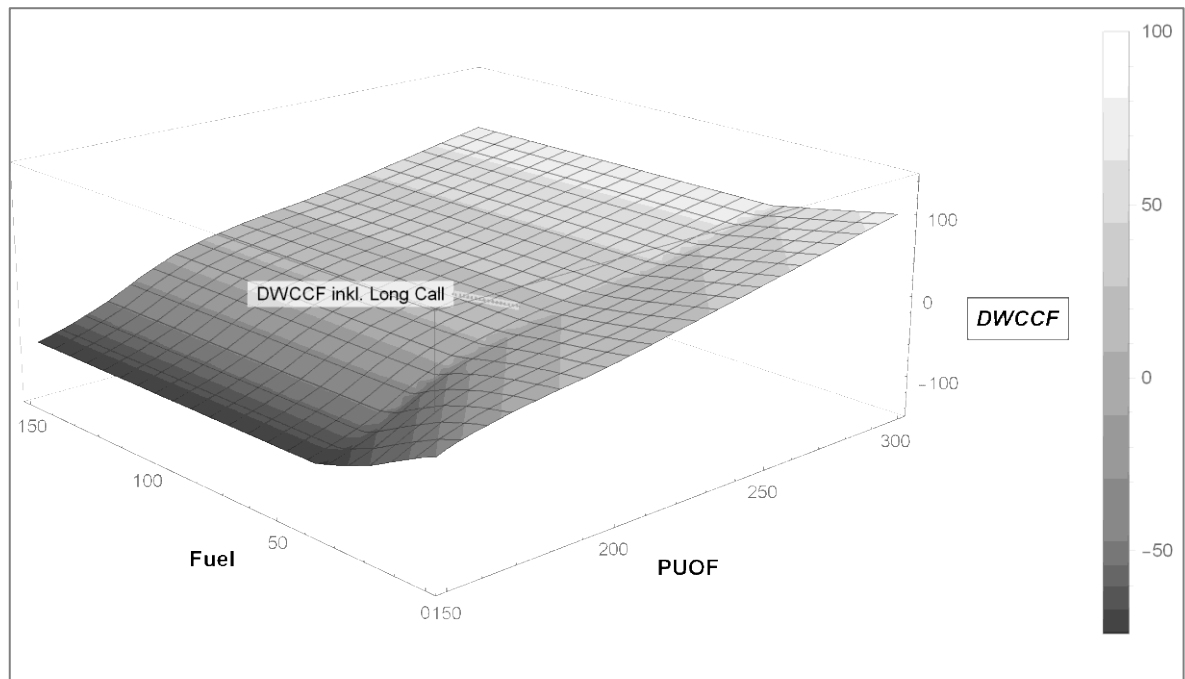


Die Abbildung zeigt den (1) FCF vor Steuern, (2) den FCF nach Steuern sowie (3) den FCF nach Abzug der Steuer-DWC gemäß (A VII.4). Als Parameter wurden *Steuerschwelle* = 0 und *Steuer* = 30% gewählt. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII. d).

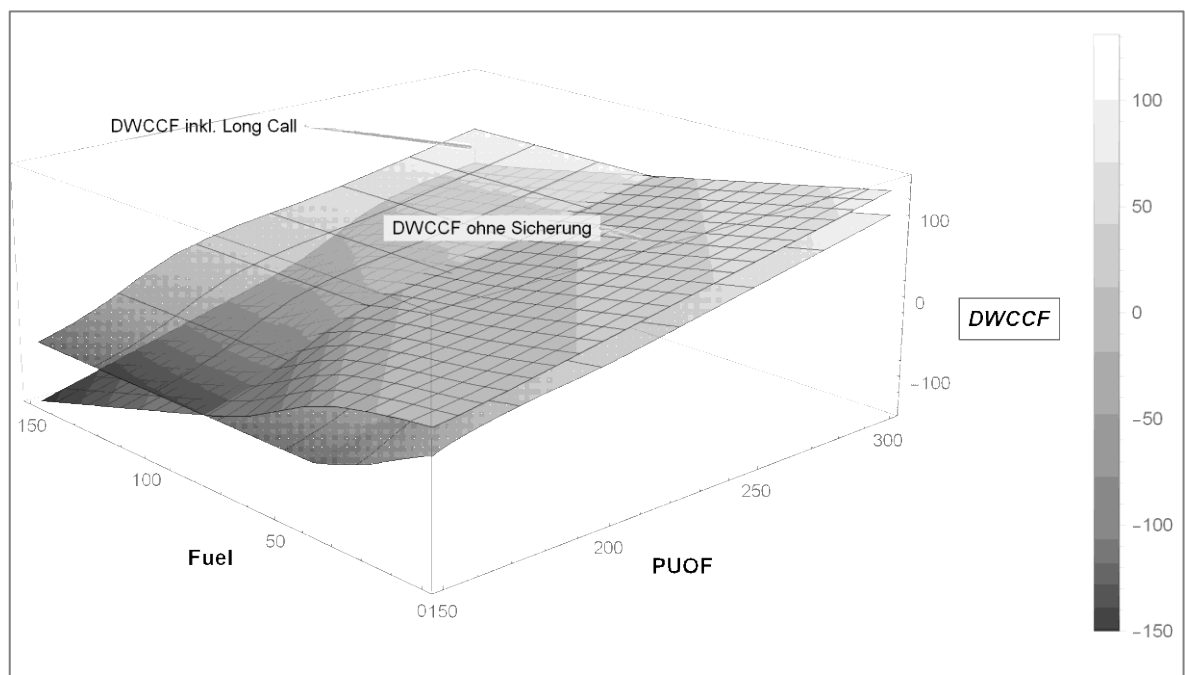
Abbildung 56 – FCF vor und nach Steuern sowie FCF nach Steuer-DWC gemäß Frestad (2010)



Die Abbildung zeigt den (1) FCF vor Steuern, (2) den FCF nach Steuern sowie (3) den FCF nach Abzug der Steuer-DWC gemäß (A VII.5). Als Parameter wurden *Steuer* = 30%, $\theta = 0,001$ und $\gamma = 500$ gewählt. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.1 beziehungsweise im Anhang A VII. d).

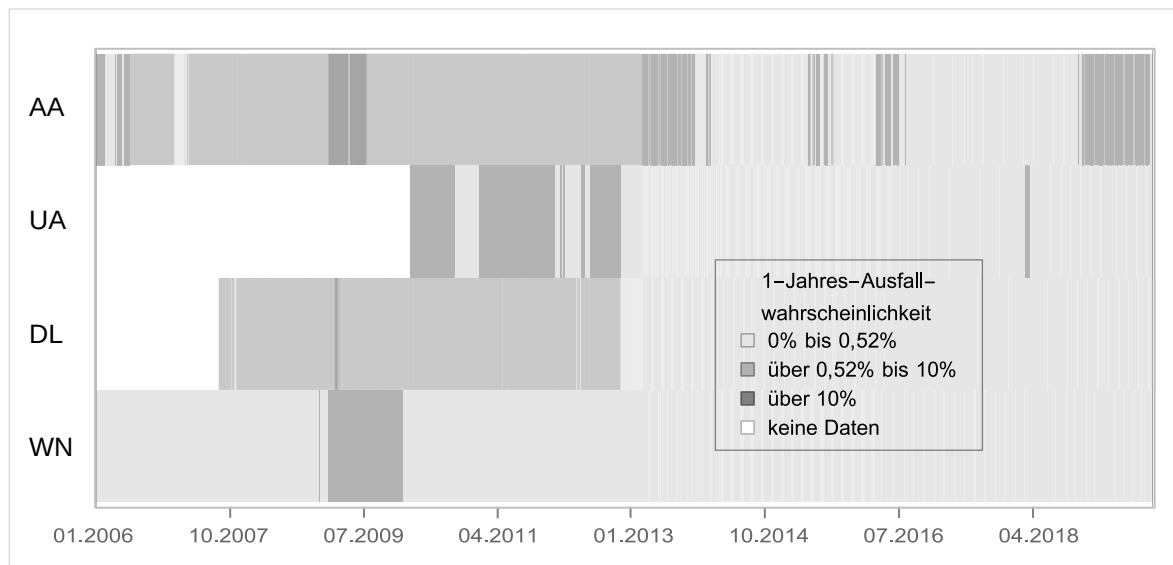
Abbildung 57 – DWCCF nach Abschluss des Long Calls

Die Abbildung stellt den DWCCF in Abhängigkeit von *Fuel*, *PUOF* und dem Strike des Long Calls gemäß (5.7) dar. Für den Strike des Long Calls wurde $K_0^{Call, Long} = 40$ gewählt. Für die unabhängigen Variablen wurden extreme Beispielwerte innerhalb der Definitionsbereiche eingesetzt. Optionspreise wurden über das Turnbull-Wakeman-Modell ermittelt. Die identische Darstellung des DWCCF ohne den Abschluss einer Sicherung findet sich als Abbildung 18 in Kapitel 5.2.2.4. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.2.4.

Abbildung 58 – DWCCF ohne Sicherung sowie nach Abschluss des Long Calls

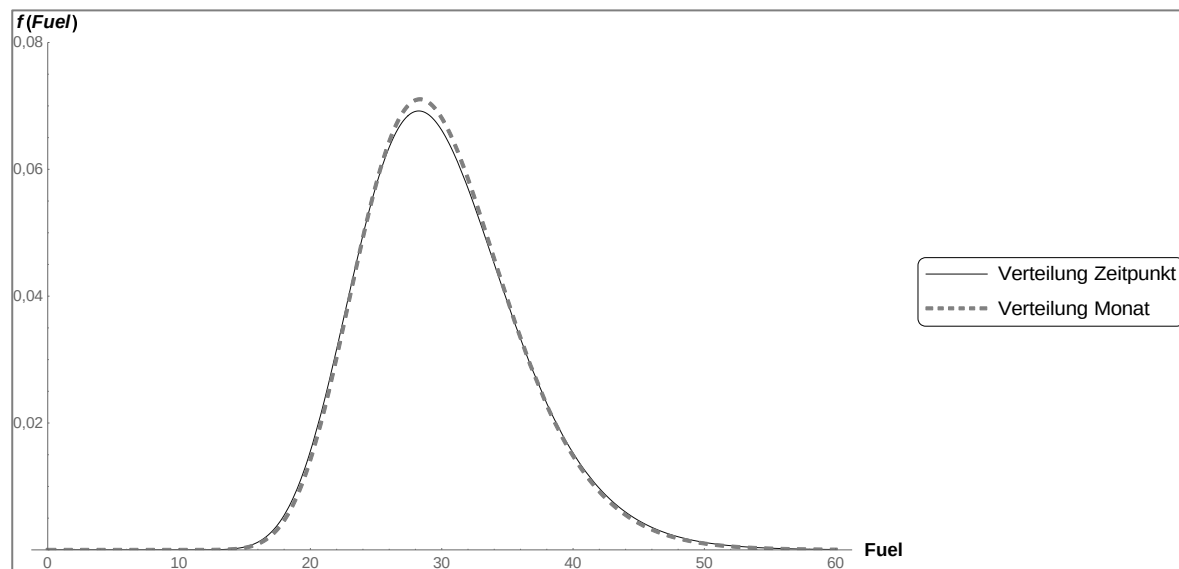
Die Abbildung vergleicht grafisch den DWCCF ohne Sicherung sowie nach Abschluss des Long Calls miteinander. Die beiden einzelnen Abbildungen und zugehörige Parameter wurden in Abbildung 18 (ohne Sicherung) in Kapitel 5.2.2.4 sowie in Abbildung 58 (inklusive Long Call) vorgestellt. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 5.2.2.4.

Abbildung 59 – Zeitreihe der Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeiten je Fluggesellschaft

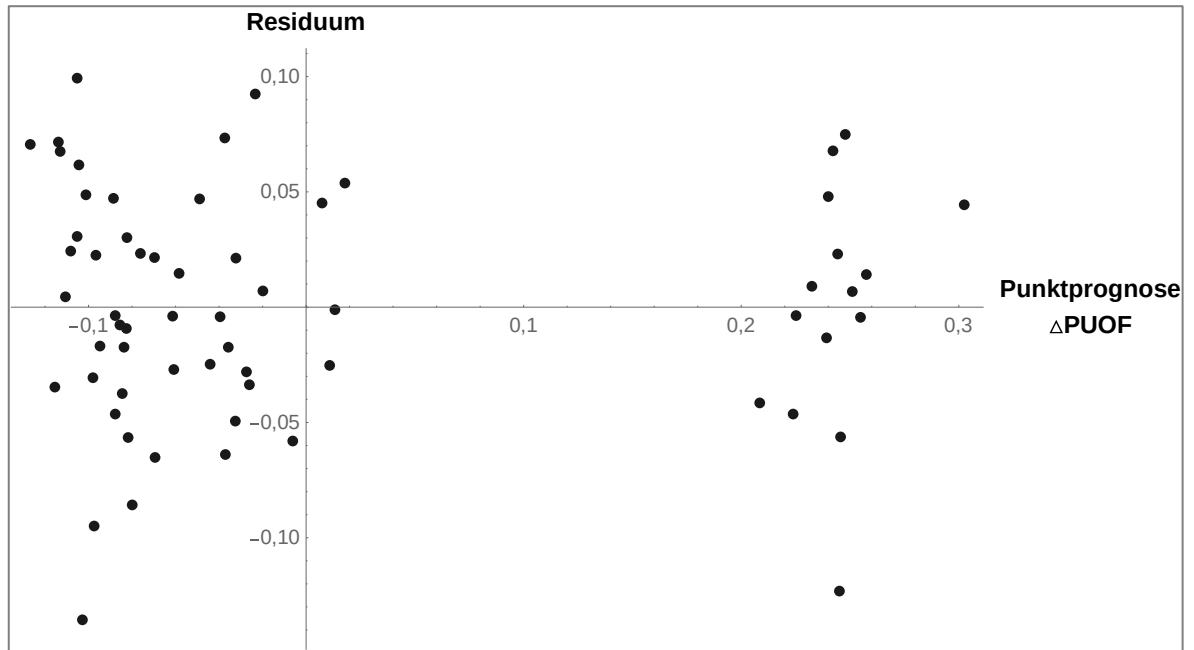


Die Abbildung zeigt pro Werktag die Zuordnung der vier untersuchten Fluggesellschaften zu den vier in Tabelle 11 definierten Intervallen von Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeiten gemäß den von *Bloomberg Professional Services* zur Verfügung gestellten Daten. Bezüglich der Datenbeschreibung sowie der Datenverfügbarkeit wird auf Kapitel 6.1.2.3 verwiesen. Querverweise auf Abbildung unter anderem in Kapitel 6.1.2.3 und Kapitel 6.4.1.2.

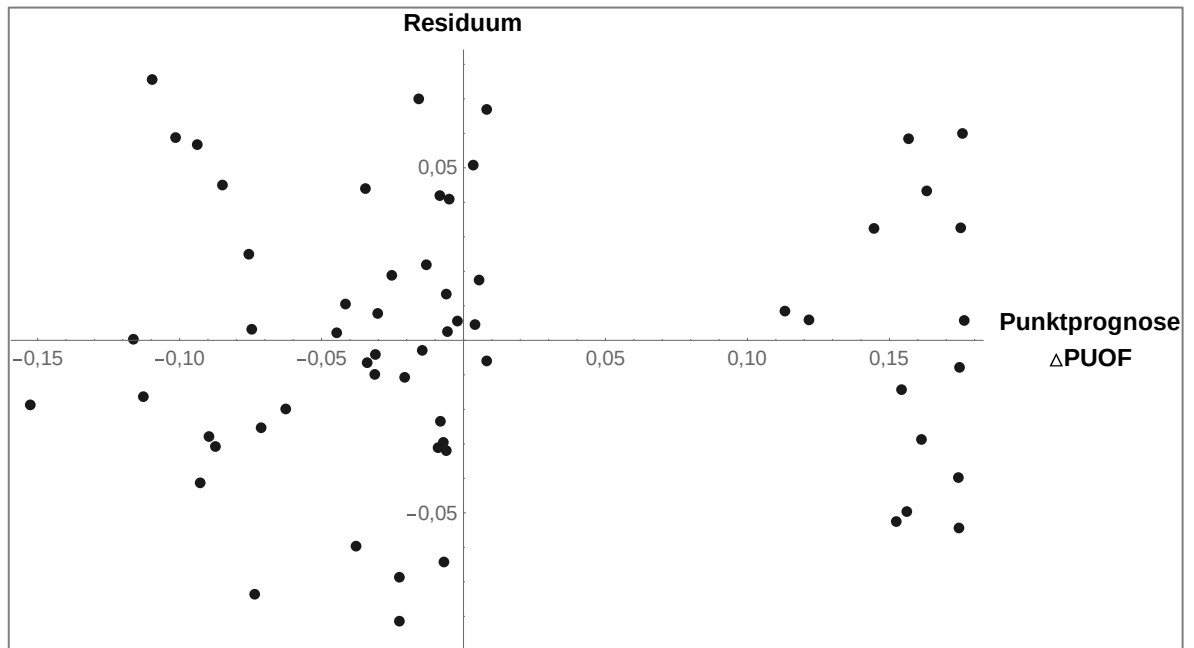
Abbildung 60 – Wahrscheinlichkeitsverteilung der Treibstoffpreiszufallsvariable: Realisierung in Zeitpunkt versus Realisierung in Zeitraum



Die Abbildung vergleicht exemplarisch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen gemäß (A X.8) (Zeitpunkt) und (A X.12) (Zeitraum). Als Input wurden genutzt: $Fuel_{T_0, T} = Fuel_{T_0, T} = 30$, $T = 1$, $T - t_1 = 1/12$ und $\sigma_{Fuel} = \sigma = 0,2$. Querverweise auf Abbildung im Anhang A X. b).

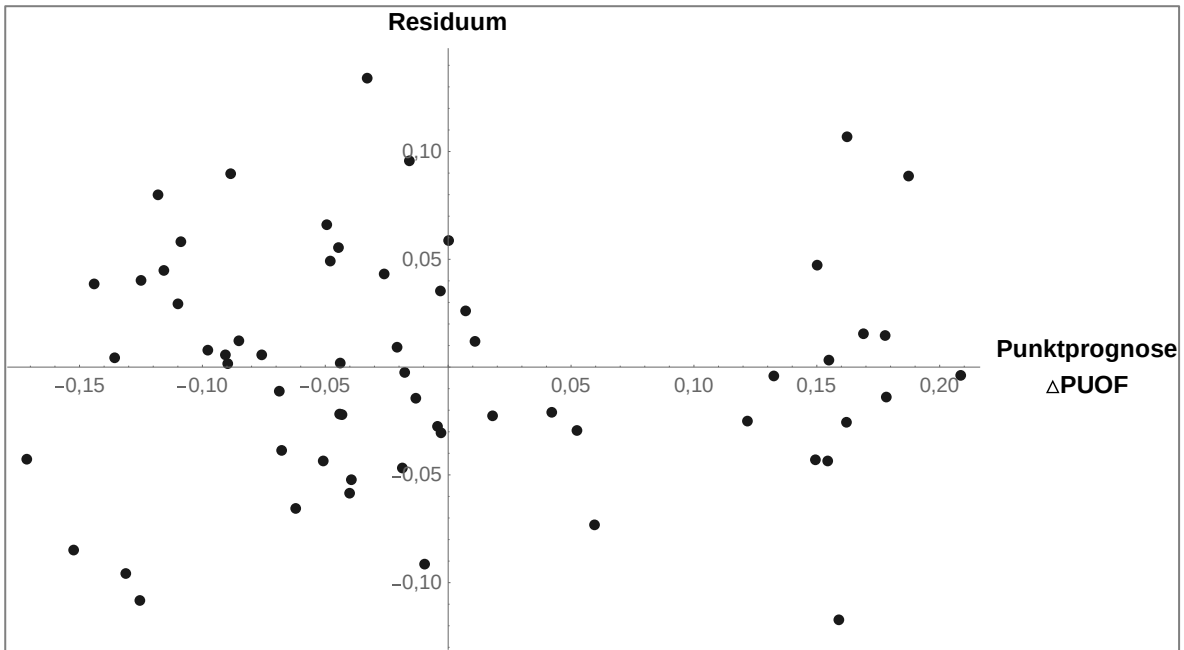
Abbildung 61 – Punktprognose und Residuen: Delta Air Lines (1990 bis 2006)

Die Abbildung stellt Schätzer für $\Delta\widehat{PUOF}_{DL,q,\bar{Q}}$ gemäß der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar und stellt diesen für jede Periode $\bar{Q}$ das zugehörige Residuum gegenüber. Dargestellt sind die Beobachtungen für *Delta Air Lines* im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Die Darstellung für *American Airlines* findet sich in Abbildung 34 im Anhang A X. d). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

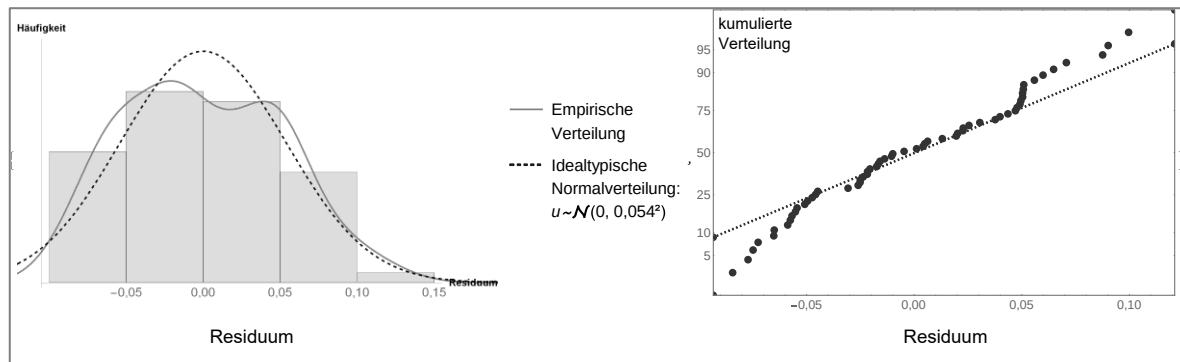
Abbildung 62 – Punktprognose und Residuen: Southwest Airlines (1990 bis 2006)

Die Abbildung stellt Schätzer für $\Delta\widehat{PUOF}_{WN,q,\bar{Q}}$ gemäß der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar und stellt diesen für jede Periode $\bar{Q}$ das zugehörige Residuum gegenüber. Dargestellt sind die Beobachtungen für *Southwest Airlines* im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Die Darstellung für *American Airlines* findet sich in Abbildung 34 im Anhang A X. d). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

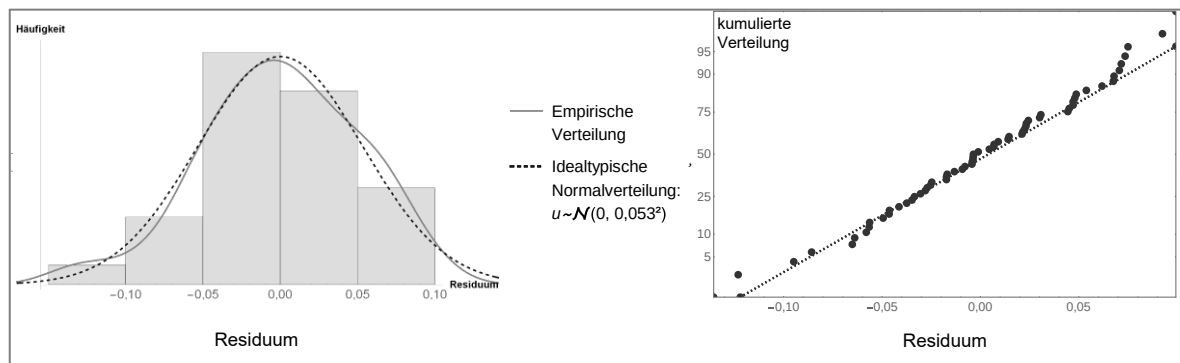
Abbildung 63 – Punktprognose und Residuen: United Airlines (1990 bis 2006)



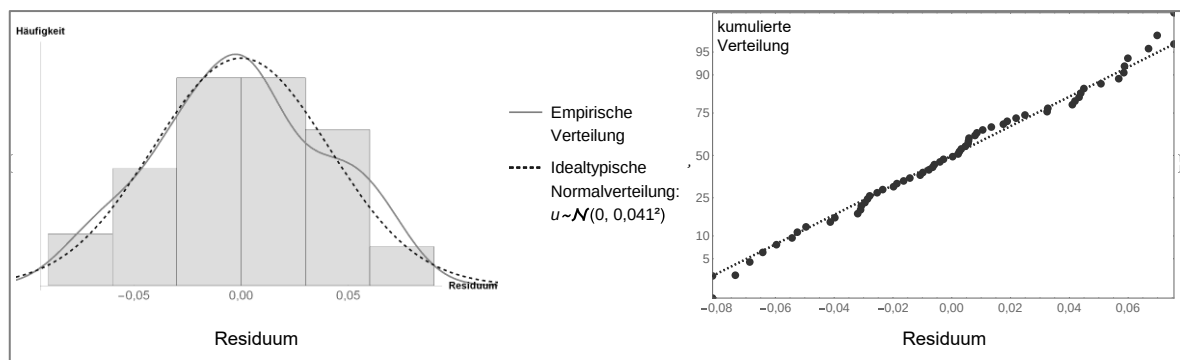
Die Abbildung stellt Schätzer für $\widehat{\Delta PUOF}_{UA,q,\bar{Q}}$ gemäß der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar und stellt diesen für jede Periode $\bar{Q}$ das zugehörige Residuum gegenüber. Dargestellt sind die Beobachtungen für *United Airlines* im Beobachtungszeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Die Darstellung für *American Airlines* findet sich in Abbildung 34 im Anhang A X. d). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

Abbildung 64 – Verteilung der Residuen: American Airlines (1990 bis 2006)

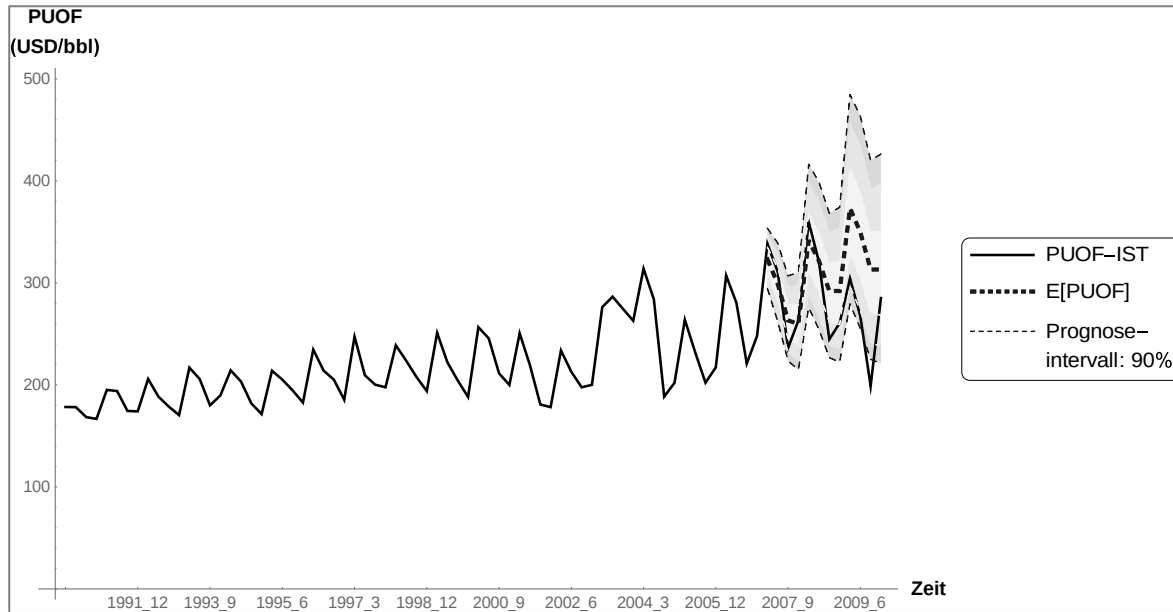
Die Abbildung stellt die Verteilung der Residuen der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar. Darstellung für *American Airlines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Hintergründe und Erläuterungen zur Darstellung finden sich im Anhang A X. d). Es wird angenommen, dass als Schätzer der echten Störgrößen die Residuen der geschätzten Regression genutzt werden können. Ermittlung der genutzten Verteilungsparameter siehe: Fußnote 837. Die empirische Verteilung wird durch *Wolfram Mathematica* erzeugt. Im Wahrscheinlichkeitsnetz werden auf der y-Achse die Funktionswerte der kumulierten Verteilungsfunktion und auf der x-Achse die echten Ausprägungen der Residuen erfasst. Darstellung für *American Airlines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Die Darstellung für *United Airlines* findet sich in Abbildung 20. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

Abbildung 65 – Verteilung der Residuen: Delta Air Lines (1990 bis 2006)

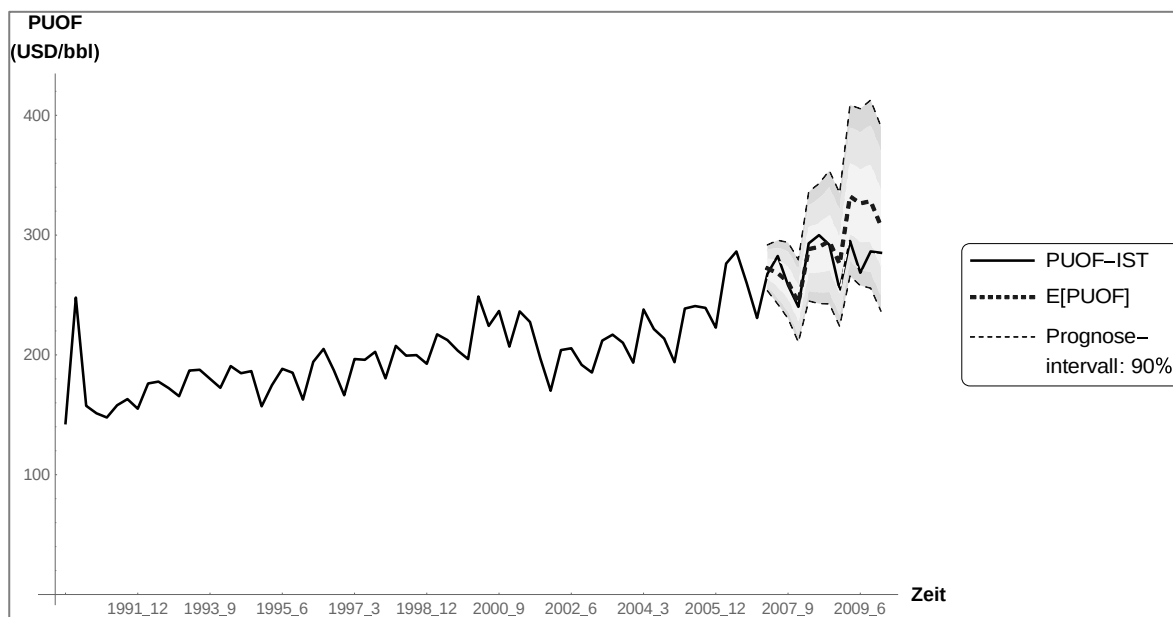
Die Abbildung stellt die Verteilung der Residuen der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar. Darstellung für *Delta Air Lines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Hintergründe und Erläuterungen zur Darstellung finden sich im Anhang A X. d). Es wird angenommen, dass als Schätzer der echten Störgrößen die Residuen der geschätzten Regression genutzt werden können. Ermittlung der genutzten Verteilungsparameter siehe: Fußnote 837. Die empirische Verteilung wird durch *Wolfram Mathematica* erzeugt. Im Wahrscheinlichkeitsnetz werden auf der y-Achse die Funktionswerte der kumulierten Verteilungsfunktion und auf der x-Achse die echten Ausprägungen der Residuen erfasst. Darstellung für *Delta Air Lines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

Abbildung 66 – Verteilung der Residuen: Southwest Airlines (1990 bis 2006)

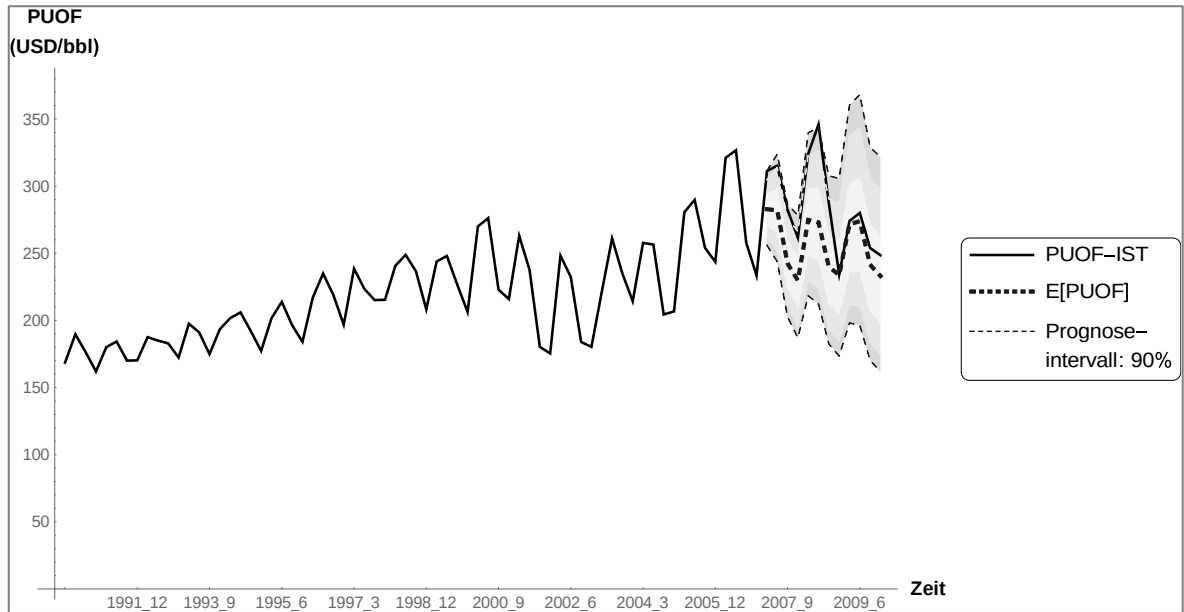
Die Abbildung stellt die Verteilung der Residuen der über (6.2) ermittelten Regressionsgleichung dar. Darstellung für *Southwest Airlines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Hintergründe und Erläuterungen zur Darstellung finden sich im Anhang A X. d). Es wird angenommen, dass als Schätzer der echten Störgrößen die Residuen der geschätzten Regression genutzt werden können. Ermittlung der genutzten Verteilungsparameter siehe: Fußnote 837. Die empirische Verteilung wird durch *Wolfram Mathematica* erzeugt. Im Wahrscheinlichkeitsnetz werden auf der y-Achse die Funktionswerte der kumulierten Verteilungsfunktion und auf der x-Achse die echten Ausprägungen der Residuen erfasst. Darstellung für *Southwest Airlines* im Zeitraum Q2 1990 bis Q4 2006. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.2 sowie im Anhang A X. d).

Abbildung 67 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für Delta Air Lines

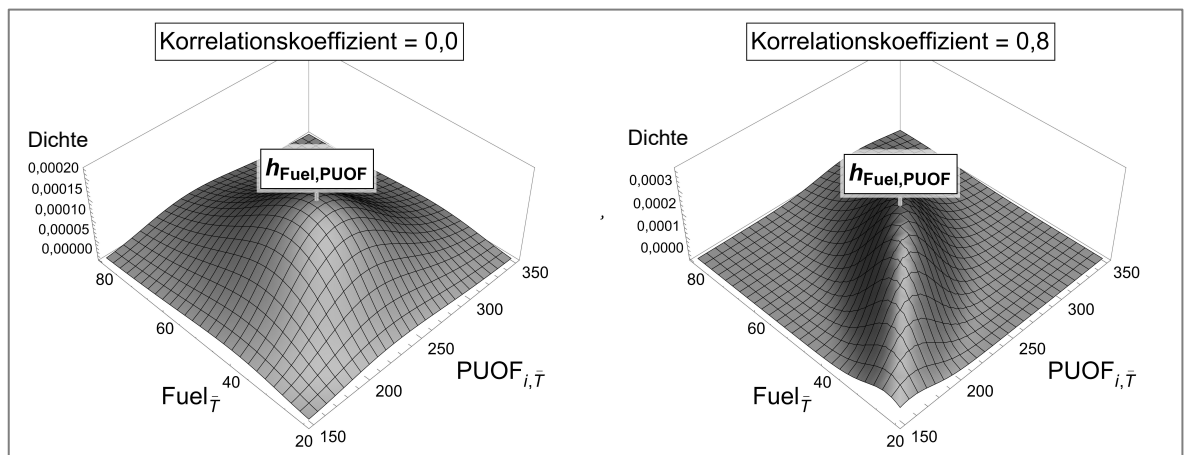
Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf von $PUOF_{DL,\bar{Q}}$ (siehe: Formel (5.4)) in US-Dollar pro Barrel für *Delta Air Lines* zwischen Q2 1990 und Q4 2009. Zusätzlich sind für $\bar{Q}_0 = Q4\ 2006$ für alle $N \in [1, 12]$ jeweils der Erwartungswert und das 90%-Prognoseintervall entsprechend der Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ in Formel (6.14) dargestellt. Der *in-sample* Zeitraum der Prognose umfasst die Quartale Q2 1990 bis Q4 2006. Der *out-of-sample* Zeitraum umfasst die Quartale Q1 2007 bis Q4 2009. Zur Erstellung der Prognosen wurde für den *in-sample* Zeitraum bis Q4 2006 das Regressionsmodell gemäß (6.2) aufgestellt. Die relevanten Koeffizientenschätzer sind somit in Tabelle 45 dargestellt. Im Hauptteil der Arbeit findet sich in Abbildung 21 diese Darstellung für *American Airlines*. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.4.

Abbildung 68 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für Southwest Airlines

Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf von $PUOF_{WN,\bar{Q}}$ (siehe: Formel (5.4)) in US-Dollar pro Barrel für *Southwest Airlines* zwischen Q2 1990 und Q4 2009. Zusätzlich sind für $\bar{Q}_0 = Q4\ 2006$ für alle $N \in [1, 12]$ jeweils der Erwartungswert und das 90%-Prognoseintervall entsprechend der Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ in Formel (6.14) dargestellt. Der *in-sample* Zeitraum der Prognose umfasst die Quartale Q2 1990 bis Q4 2006. Der *out-of-sample* Zeitraum umfasst die Quartale Q1 2007 bis Q4 2009. Zur Erstellung der Prognosen wurde für den *in-sample* Zeitraum bis Q4 2006 das Regressionsmodell gemäß (6.2) aufgestellt. Die relevanten Koeffizientenschätzer sind somit in Tabelle 45 dargestellt. Im Hauptteil der Arbeit findet sich in Abbildung 21 diese Darstellung für *American Airlines*. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.4.

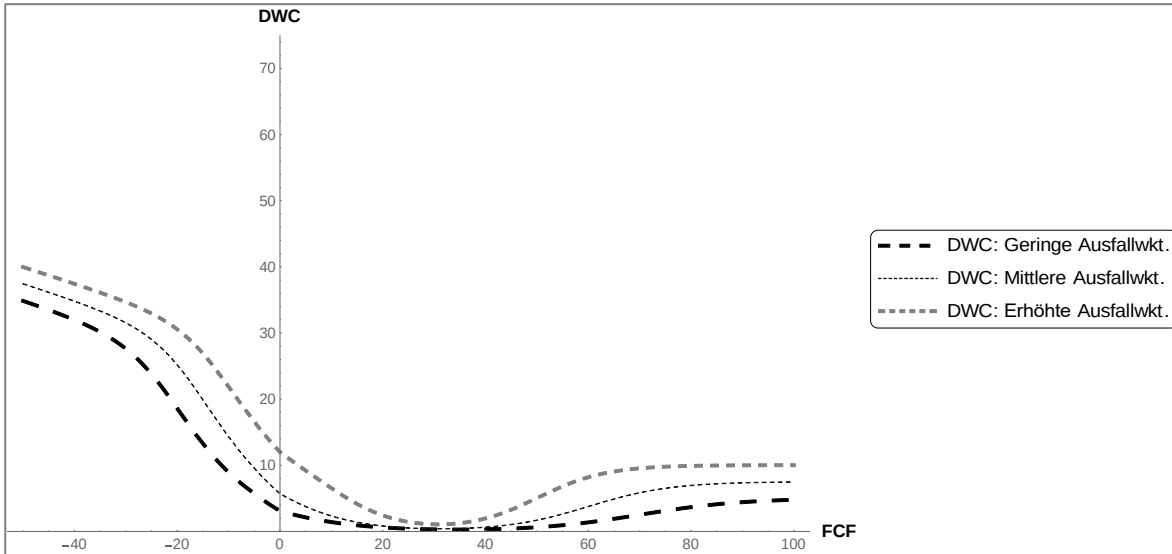
Abbildung 69 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für United Airlines

Die Abbildung zeigt den historischen Verlauf von $PUOF_{UA,\bar{Q}}$ (siehe: Formel (5.4)) in US-Dollar pro Barrel für *United Airlines* zwischen Q2 1990 und Q4 2009. Zusätzlich sind für $\bar{Q}_0 = Q4\ 2006$ für alle $N \in [1, 12]$ jeweils der Erwartungswert und das 90%-Prognoseintervall entsprechend der Verteilung von $PUOF_{i,\bar{Q}_0+N}$ in Formel (6.14) dargestellt. Der *in-sample* Zeitraum der Prognose umfasst die Quartale Q2 1990 bis Q4 2006. Der *out-of-sample* Zeitraum umfasst die Quartale Q1 2007 bis Q4 2009. Zur Erstellung der Prognosen wurde für den *in-sample* Zeitraum bis Q4 2006 das Regressionsmodell gemäß (6.2) aufgestellt. Die relevanten Koeffizientenschätzer sind somit in Tabelle 45 dargestellt. Im Hauptteil der Arbeit findet sich in Abbildung 21 diese Darstellung für *American Airlines*. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.2.4.

Abbildung 70 – Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion Fuel und PUOF: Einfluss des Korrelationskoeffizienten

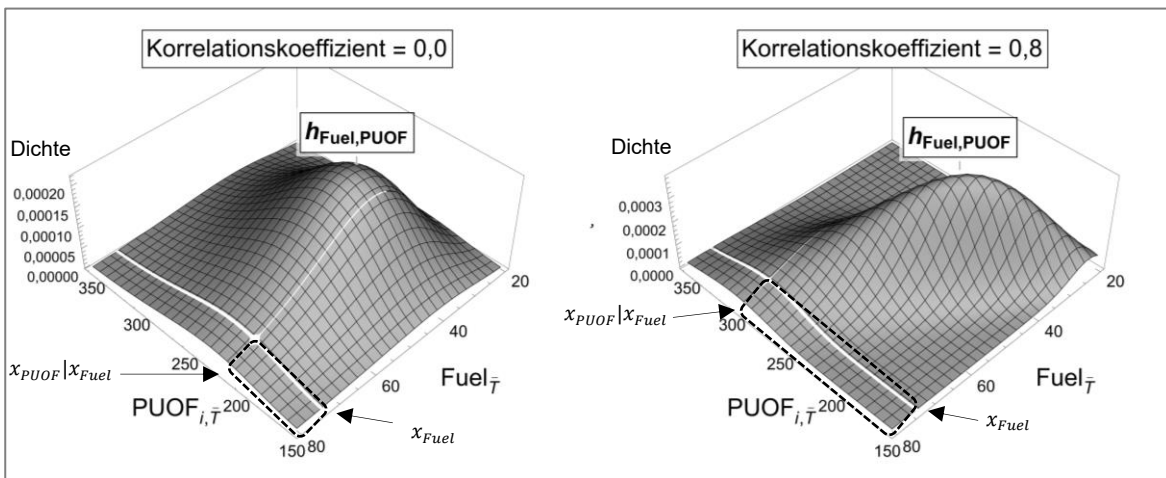
Die Abbildung zeigt die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $h_{Fuel,PUOF,i,\bar{T}}(Fuel_{\bar{T}}, PUOF_{i,\bar{T}}, \rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))})$ gemäß der allgemeinen Darstellung in (6.16) für $\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} = 0$ sowie $\rho_{\sigma(\log(Fuel_{\bar{T}})), \sigma(\log(PUOF_{i,\bar{T}}))} = 0.8$. Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen wurden als Erwartungswerte der beiden logarithmisch normalverteilten Randverteilungen gewählt: $E_{T_0}(Fuel_{\bar{T}}) = 50$ und $E_{T_0}(PUOF_{i,\bar{T}}) = 243,1$. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.2.3.2.

Abbildung 71 – DWC-Funktion und finanzielle Situation



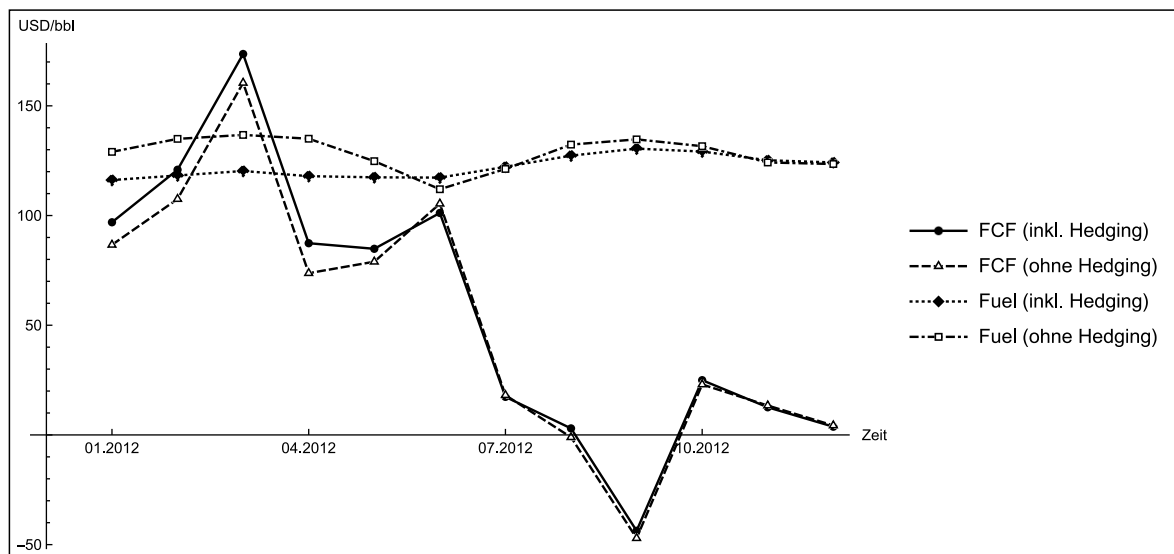
Die Abbildung stellt für $E_{T_0}(FCF_{i,T}) = 30$ die DWC-Funktion gemäß (5.11) in den drei für OPTA möglichen Ausprägungen dar. Unterschiedliche Ausprägungen resultieren aus der finanziellen Situation des sichernden Unternehmens im Entscheidungszeitpunkt. Die aus der finanziellen Situation resultierenden Parameter der DWC-Funktion sind in Tabelle 74 (siehe: Anhang B I) dargestellt. Für den Verschuldungsgrad wurde in allen Fällen $VSG_{i,T} = 50\%$ gewählt. Die Parameter γ und $Steuer$ werden nicht durch die finanzielle Situation beeinflusst. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.3.1.2.

Abbildung 72 – VaR-Restriktion: Bestimmen der Grenzwerte und der Einfluss des Korrelationskoeffizienten



Angelehnt an Abbildung 70 wird $h_{Fuel,PUOF,i,T}(Fuel_T, PUOF_{i,T}, \rho_{\sigma(\log(Fuel_T)), \sigma(\log(PUOF_{i,T}))})$ entsprechend der allgemeinen Darstellung in (6.16) gezeichnet. Alle Verteilungsparameter sind identisch zu den in Abbildung 70 gewählten Ausprägungen. Zusätzlich sind x_{Fuel} und $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ gemäß den Vorgaben in Kapitel 6.3.2.2 eingezeichnet. Diese wurden über (6.23) sowie (6.24) bestimmt. Gemäß Standardeinstellungen gilt: $\alpha_{VaR,FCF} = 97,5\%$ (folglich gleichfalls: $\alpha_{VaR,Fuel} = 90\%$). Ersichtlich ist, dass die Ausprägung von $x_{PUOF}|x_{Fuel}$ bei der Wahl eines fixen $\alpha_{VaR,Fuel}$ von der Ausprägung von $\rho_{\sigma(\log(Fuel_T)), \sigma(\log(PUOF_{i,T}))}$ abhängt. Für eine optimale Visualisierung wurden für die Korrelationskoeffizienten extreme Ausprägungen von 0 sowie 0,8 gewählt. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 6.3.2.2.

Abbildung 73 – Durchschnittliche realisierte Treibstoffpreise und Free-Cash-Flows im Beispielsimulationslauf



Die Abbildung veranschaulicht die durchschnittlichen realisierten Free-Cash-Flows sowie die durchschnittlichen realisierten Treibstoffpreise inklusive sowie exklusive Berücksichtigung von Sicherungen im Beispielsimulationslauf gemäß Anhang A XIII (siehe: Tabelle 80). Die Grafik ist nach Erfüllungszeiträumen strukturiert. Der für Januar 2012 dargestellte Wert entspricht beispielsweise dem arithmetischen Mittelwert der Free-Cash-Flow-Realisierungen im Januar 2012 unter Berücksichtigung der einzelnen optimalen Sicherungen aus allen 18 relevanten Entscheidungszeitpunkten zwischen 15.01.2010 und 15.06.2011. Querverweis auf Abbildung im Anhang A XIII. b).

Abbildung 74 – Beispiel American Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 19)

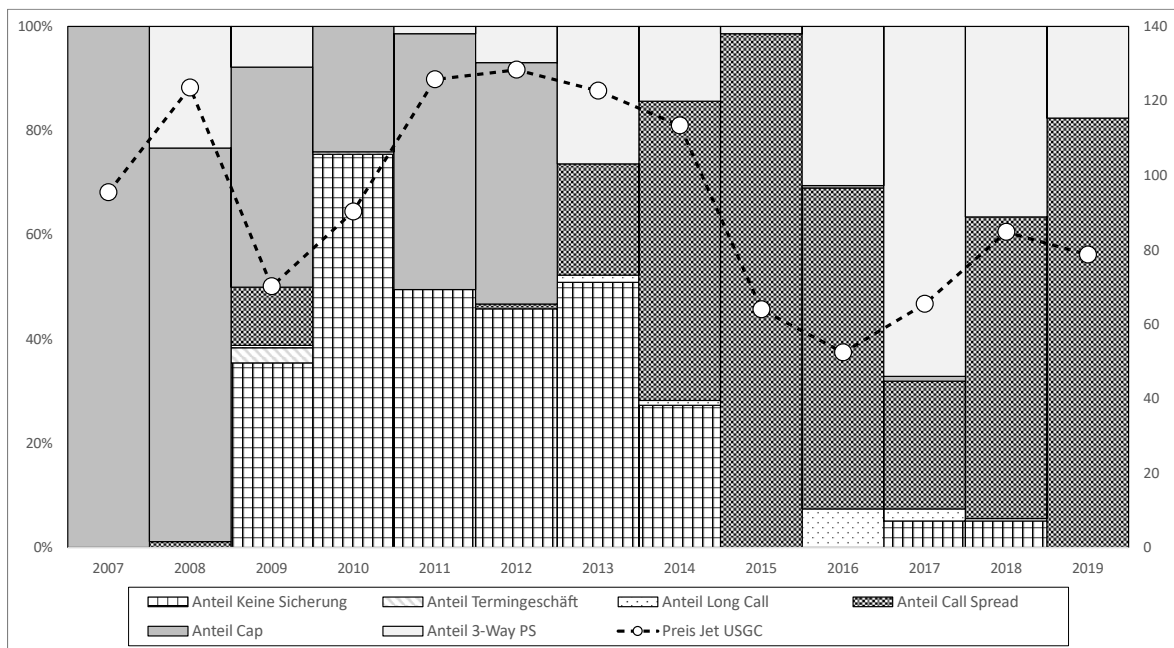


Abbildung zu Tabelle 81. Die Abbildung visualisiert exemplarisch das für *American Airlines* unter den in Tabelle 81 im Anhang B I dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Gehandelte Instrumente sind nach dem jeweiligen monatlichen Erfüllungszeitraum sortiert und werden aggregiert auf Jahresebene ausgewiesen. Es wird jeweils der in Bezug auf alle für einen Erfüllungszeitraum gehandelten Sicherungen gehandelte Anteil je Instrumentenkombination im Erfüllungszeitraum dargestellt. Die Information über den jeweiligen Anteil je Erfüllungszeitraum wird auf der linken y-Achse abgelesen. Für eine eindeutige Darstellung zur Zusammensetzung des Portfolios in einem Kalenderjahr wird auch auf Tabelle 81 verwiesen. Zusätzlich sind in der Abbildung pro Kalenderjahr durchschnittliche realisierte Treibstoffpreise (*Jet US Gulf Coast*) in US-Dollar je Barrel dargestellt (Daten für das Jahr 2007 abweichend erst ab 17.04.2007 verfügbar, siehe: Kapitel 6.1.3.1). Die Treibstoffpreise werden auf der rechten y-Achse abgelesen. Es ist zu berücksichtigen, dass Entscheidungen zum Handel der dargestellten Derivate jeweils bereits in einem Entscheidungszeitpunkt getroffen wurden, der chronologisch vor dem Erfüllungszeitraum liegt, welchem Derivate in dieser Grafik zugeordnet werden. Im Gegensatz dazu entsprechen dargestellte Treibstoffpreise der Realisierung im Erfüllungszeitraum. Der dargestellte Fall entspricht Fall 19 in Tabelle 84. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.1.1.

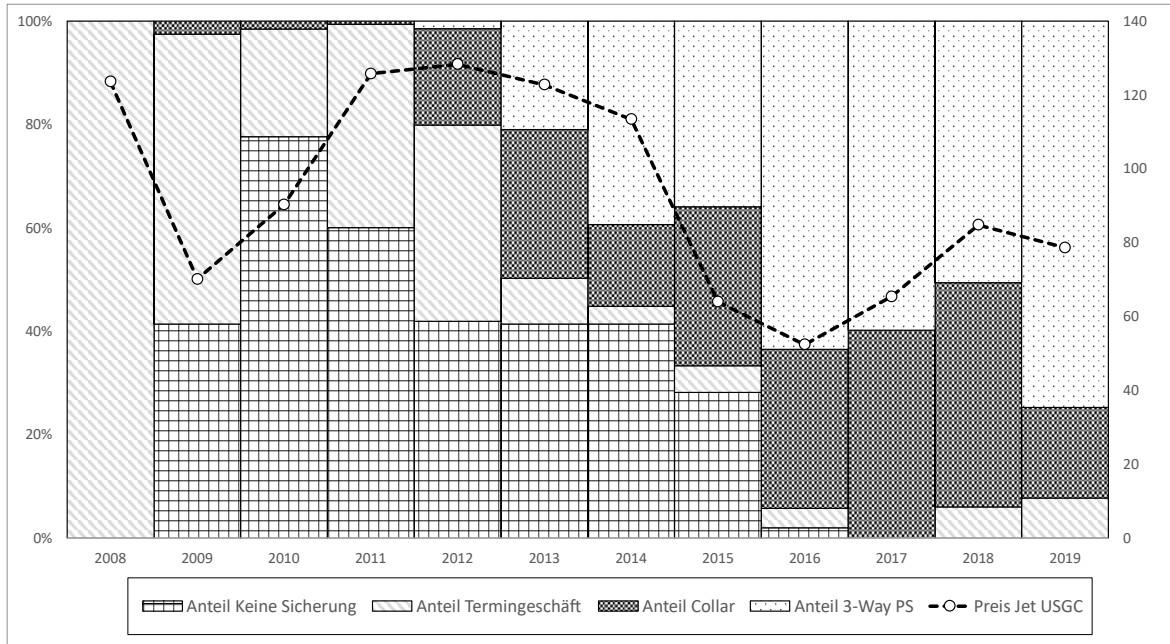
Abbildung 75 – Beispiel Delta Air Lines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 37)

Abbildung zu Tabelle 82. Die Abbildung visualisiert exemplarisch das für *Delta Air Lines* unter den in Tabelle 82 im Anhang B I dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Für eine eindeutige Darstellung zur Zusammensetzung des Portfolios in einem Kalenderjahr wird auch auf Tabelle 82 verwiesen. Für weitere Erläuterungen zur Abbildung wird auf die Erläuterungen zu Abbildung 74 verwiesen. Der dargestellte Fall entspricht Fall 37 in Tabelle 84. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.1.1.

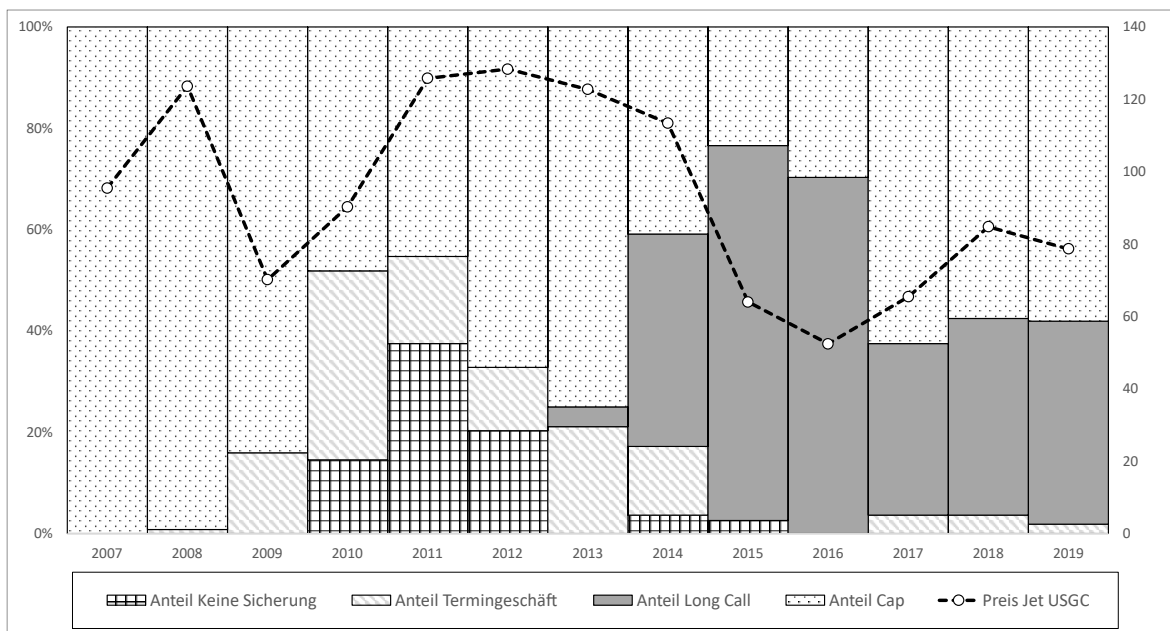
Abbildung 76 – Beispiel Southwest Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 56)

Abbildung zu Tabelle 83. Die Abbildung visualisiert exemplarisch das für *Southwest Airlines* unter den in Tabelle 83 im Anhang B I dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Für eine eindeutige Darstellung zur Zusammensetzung des Portfolios in einem Kalenderjahr wird auch auf Tabelle 83 verwiesen. Für weitere Erläuterungen zur Abbildung wird auf die Erläuterungen zu Abbildung 74 verwiesen. Der dargestellte Fall entspricht Fall 56 in Tabelle 84. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.1.1.

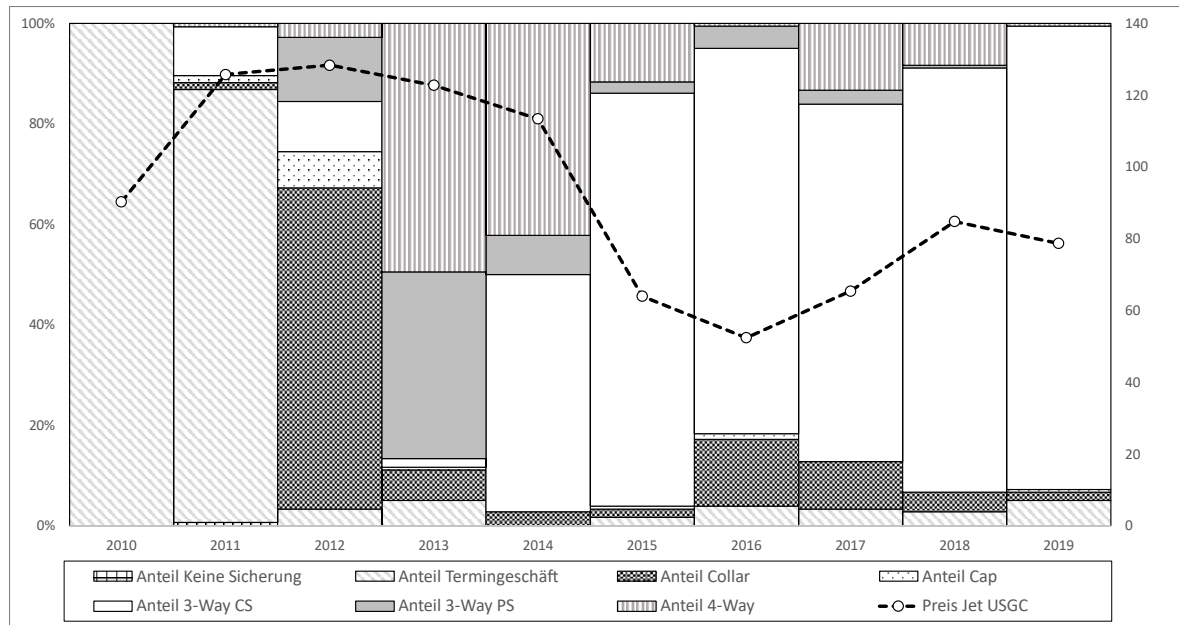
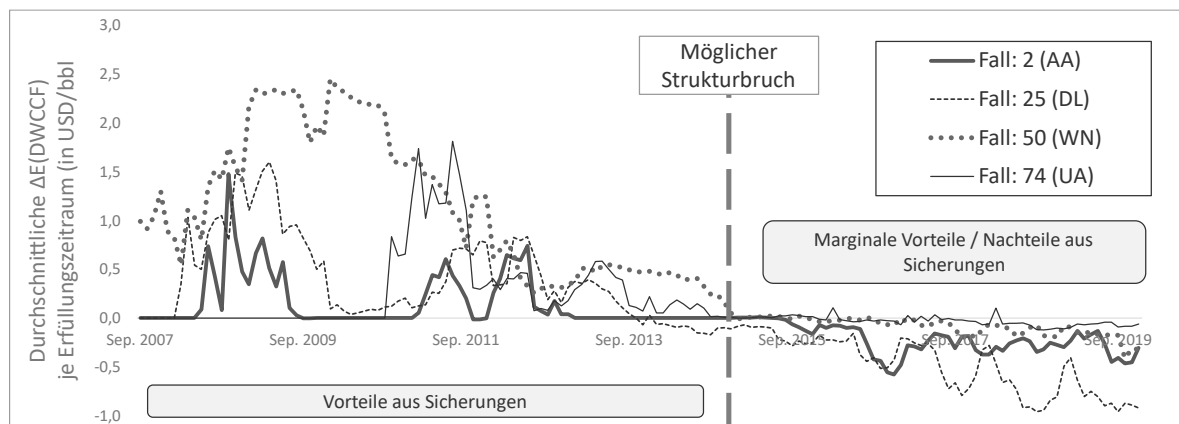
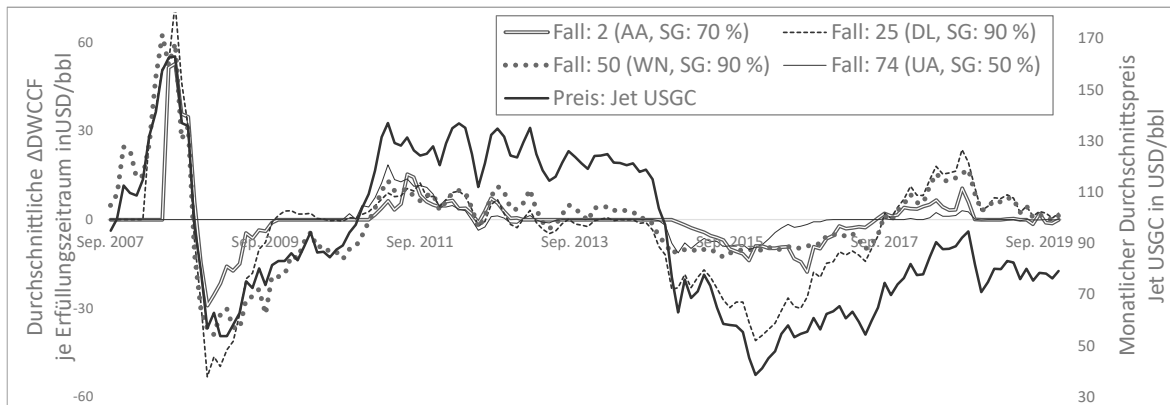
Abbildung 77 – Beispiel United Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 81)

Abbildung zu Tabelle 18. Die Abbildung visualisiert exemplarisch das für *United Airlines* unter den in Tabelle 18 dargestellten Rahmenbedingungen durch OPTA erzeugte Sicherungsportfolio. Für eine eindeutige Darstellung zur Zusammensetzung des Portfolios in einem Kalenderjahr wird auch auf Tabelle 18 verwiesen. Für weitere Erläuterungen zur Abbildung wird auf die Erläuterungen zu Abbildung 74 verwiesen. Der dargestellte Fall entspricht Fall 81 in Tabelle 84. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.1.1.

Abbildung 78 – Durchschnittliche erwartete DWCCF-Differenzen (Beispiele 2)

Die Abbildung veranschaulicht über $\Delta E_{T_0}(DWCCF_{h,\bar{T}_S})$ durchschnittliche Erwartungswertdifferenzen zwischen Sicherung und Nicht-Sicherung (siehe: (7.1)) für den nachteiligsten Fall je Gesellschaft (siehe: Tabelle 22). Werte größer null induzieren einen Vorteil aus Sicherungen. Die Zuordnung der Inputparameter zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I.⁹⁸⁸ Die identische Darstellung für die vier vorteilhaftesten Fälle findet sich mit Abbildung 26 in Kapitel 7.1.1.6. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.1.1.6.

⁹⁸⁸ Es ist zu berücksichtigen, dass die Darstellung nicht vom gewählten Sicherungsgrad beeinflusst wird.

Abbildung 79 – Durchschnittliche realisierte DWCCF-Differenzen (Beispiele 2)

Die Abbildung veranschaulicht auf der linken y-Achse $\Delta DWCCF_{h,SG,\bar{T}_S}$ für die vier zuvor für Abbildung 78 ausgewählten nachteiligsten Beispielsimulationenläufe (zur Zuordnung siehe auch: Tabelle 84). Werte größer null induzieren einen Vorteil aus Sicherungen. Auf der rechten y-Achse sind pro Kalendermonat durchschnittliche realisierte Treibstoffpreise für Jet US Gulf Coast in US-Dollar je Barrel dargestellt. Die identische Darstellung für den vorteilhaftesten Fall je Gesellschaft findet sich mit Abbildung 28 in Kapitel 7.1.2.1. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.1.2.1.

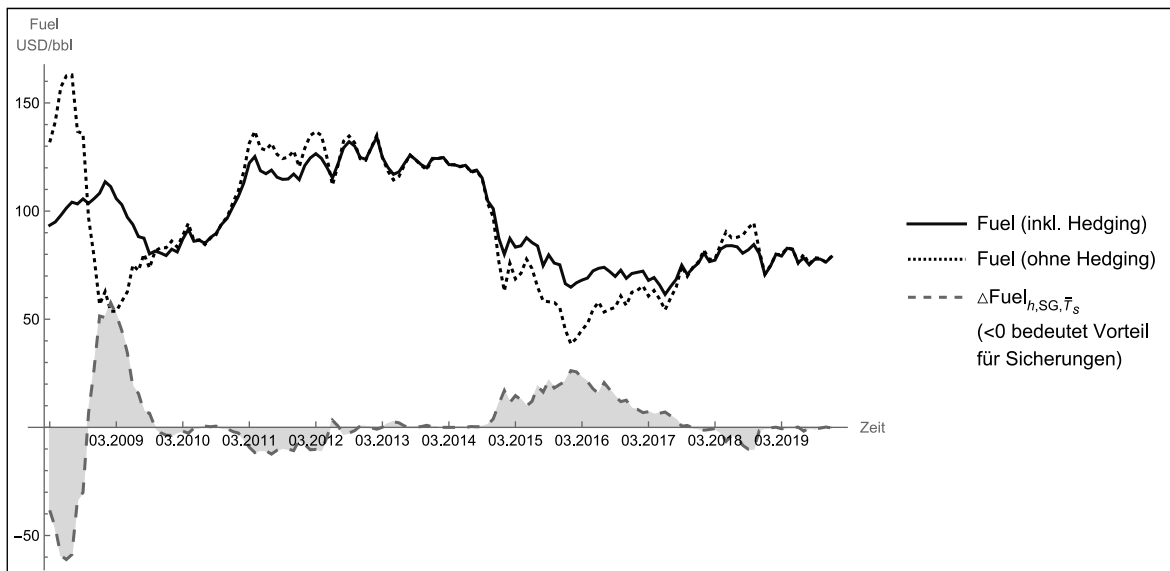
Abbildung 80 – Beispiel Delta Air Lines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37)

Abbildung zu Fall 37 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für Delta Air Lines den auf Barrel skalierten realisierten Treibstoffpreis nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 82 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert ist der Markttreibstoffpreis für die Referenzkerosinnotierung (Jet USGC) als „Fuel (ohne Hedging)“ dargestellt. Zusätzlich ist jeweils die Differenz zwischen den beiden Werten dargestellt, welche der Größe $\Delta Fuel_{37,90\%,\bar{T}_S}$ entspricht. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 81 – Beispiel Southwest Airlines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56)

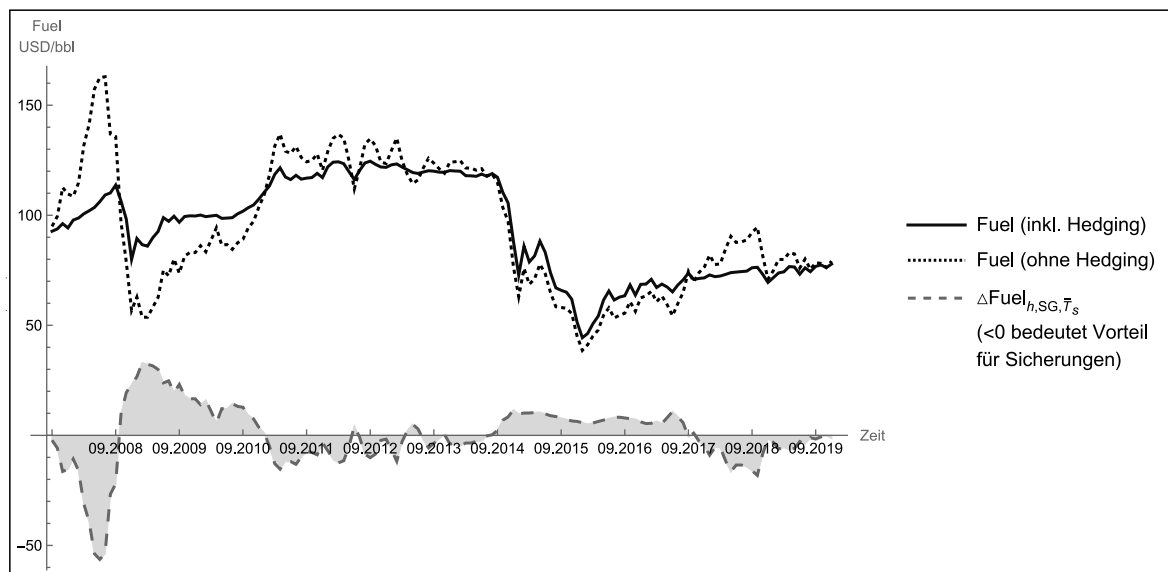


Abbildung zu Fall 56 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *Southwest Airlines* den auf Barrel skalierten realisierten Treibstoffpreis nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 83 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert ist der Markttreibstoffpreis für die Referenzkerosinnotierung (*Jet USGC*) als „*Fuel (ohne Hedging)*“ dargestellt. Zusätzlich ist jeweils die Differenz zwischen den beiden Werten dargestellt, welche der Größe $\Delta Fuel_{7,4,90\%,\bar{T}_S}$ entspricht. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 82 – Beispiel United Airlines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81)

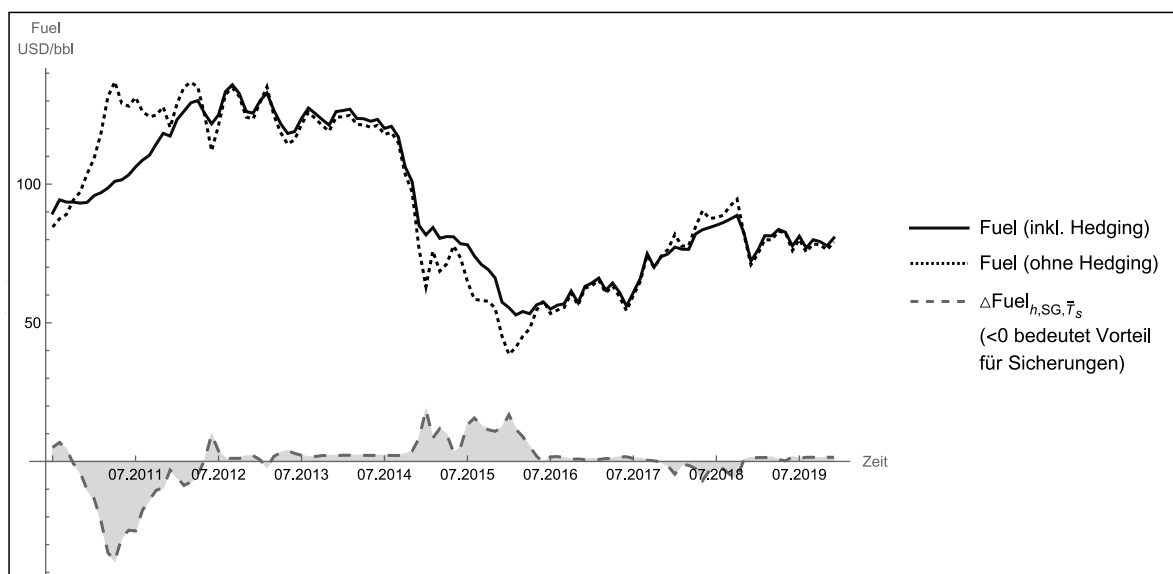


Abbildung zu Fall 81 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *United Airlines* den auf Barrel skalierten realisierten Treibstoffpreis nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 18 dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert ist der Markttreibstoffpreis für die Referenzkerosinnotierung (*Jet USGC*) als „*Fuel (ohne Hedging)*“ dargestellt. Zusätzlich ist jeweils die Differenz zwischen den beiden Werten dargestellt, welche der Größe $\Delta Fuel_{81,90\%,\bar{T}_S}$ entspricht. Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 83 – Beispiel American Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 19)

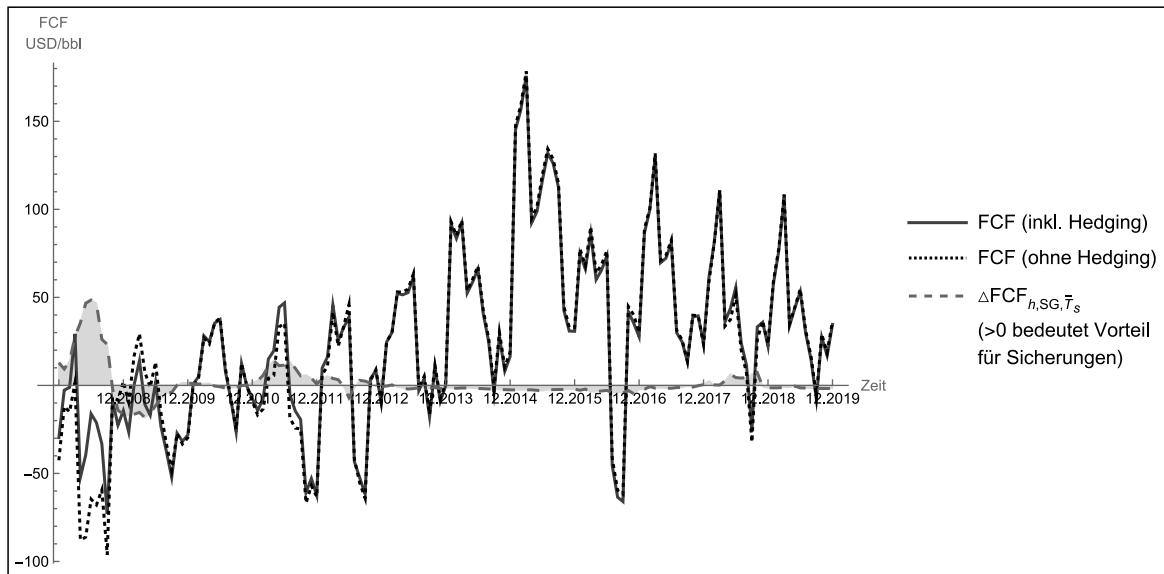


Abbildung zu Fall 19 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *American Airlines* den auf Barrel skalierten realisierten Free-Cash-Flow nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 81 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen Free-Cash-Flows inklusive Sicherung und Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Marktpreise dargestellt ($\Delta FCF_{19,90\%,T_s}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 84 – Beispiel Delta Air Lines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37)

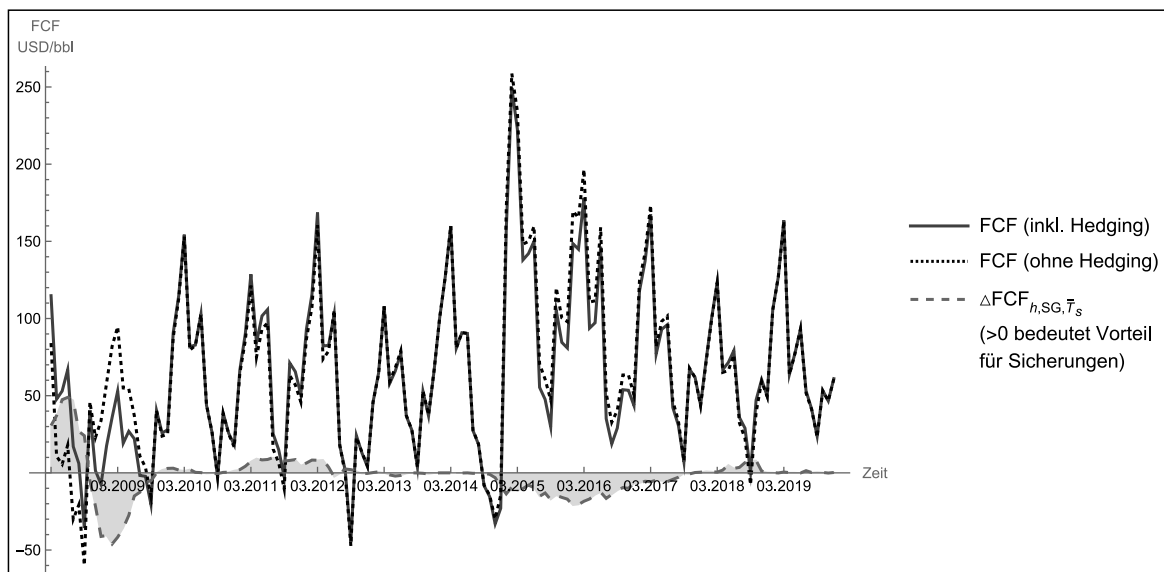


Abbildung zu Fall 37 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *Delta Air Lines* den auf Barrel skalierten realisierten Free-Cash-Flow nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 82 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen Free-Cash-Flows inklusive Sicherung und Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Marktpreise dargestellt ($\Delta FCF_{37,90\%,T_s}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 85 – Beispiel Southwest Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56)

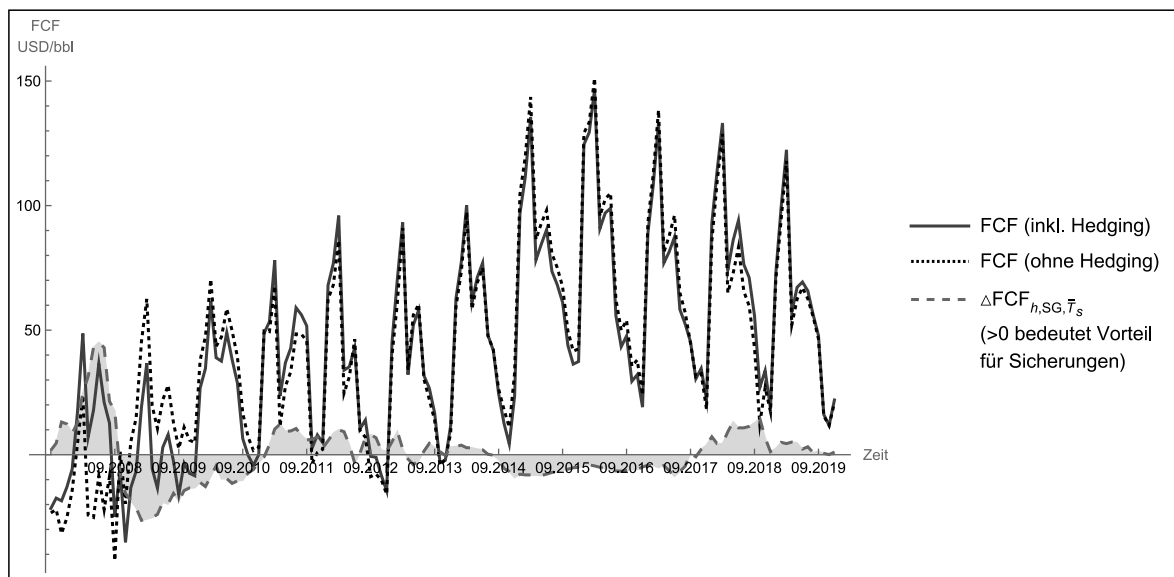


Abbildung zu Fall 56 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *Southwest Airlines* den auf Barrel skalierten realisierten Free-Cash-Flow nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 83 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen Free-Cash-Flows inklusive Sicherung und Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Marktpreise dargestellt ($\Delta FCF_{56,90\%,\bar{T}_s}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 86 – Beispiel United Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81)

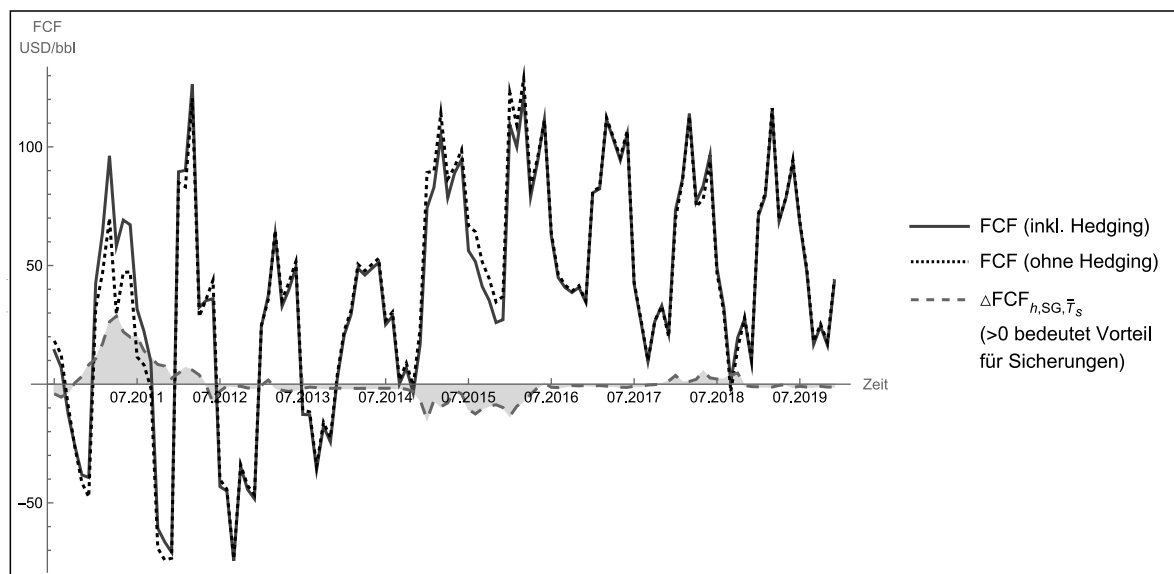


Abbildung zu Fall 81 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *United Airlines* den auf Barrel skalierten realisierten Free-Cash-Flow nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 18 dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen Free-Cash-Flows inklusive Sicherung und Free-Cash-Flows unter Rückgriff auf Marktpreise dargestellt ($\Delta FCF_{81,90\%,\bar{T}_s}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 87 – Beispiel American Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 19)

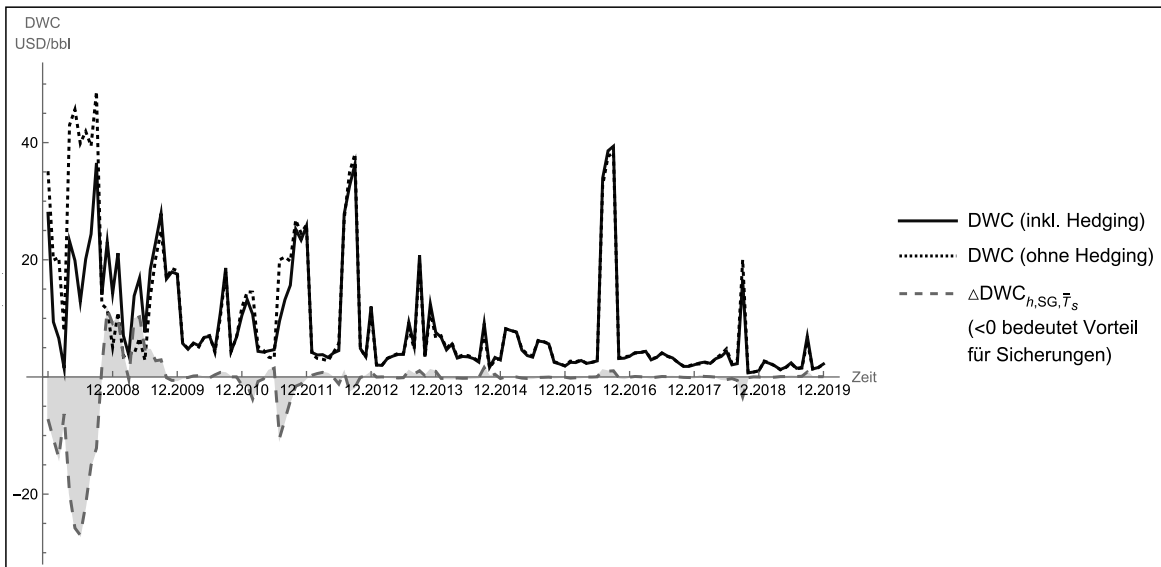


Abbildung zu Fall 19 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *American Airlines* die auf Barrel skalierten realisierten Deadweight-Costs nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 81 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Deadweight-Costs unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen den Deadweight-Costs inklusive Sicherung und den Deadweight-Costs bei Marktpreisen dargestellt ($\Delta DWC_{19,90\%,\bar{T}_S}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 88 – Beispiel Delta Air Lines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37)

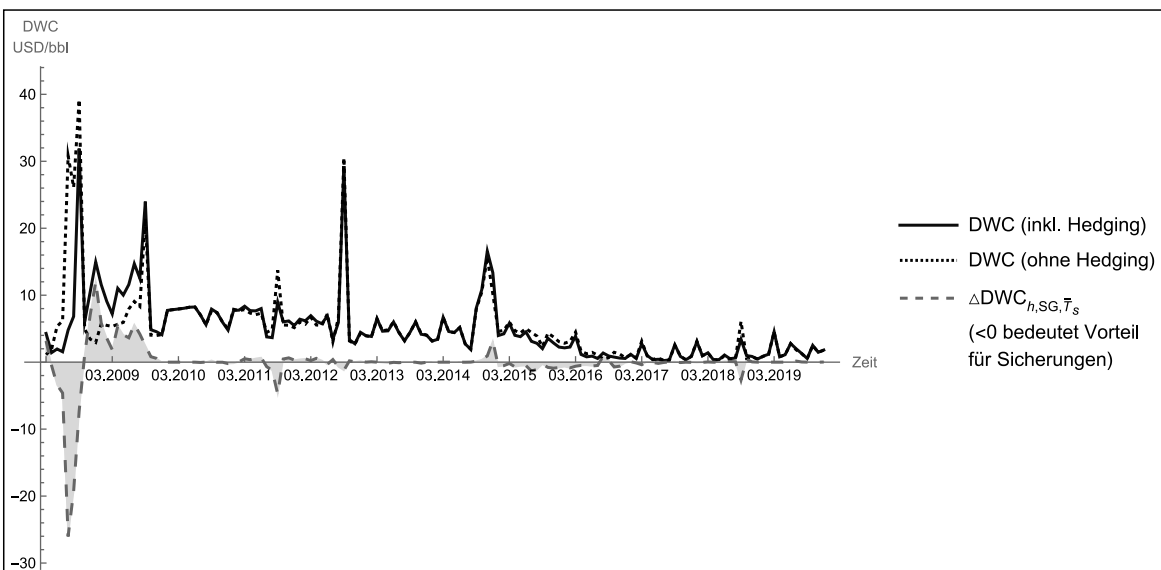


Abbildung zu Fall 37 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *Delta Air Lines* die auf Barrel skalierten realisierten Deadweight-Costs nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 82 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Deadweight-Costs unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen den Deadweight-Costs inklusive Sicherung und den Deadweight-Costs bei Marktpreisen dargestellt ($\Delta DWC_{37,90\%,\bar{T}_S}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 89 – Beispiel Southwest Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56)

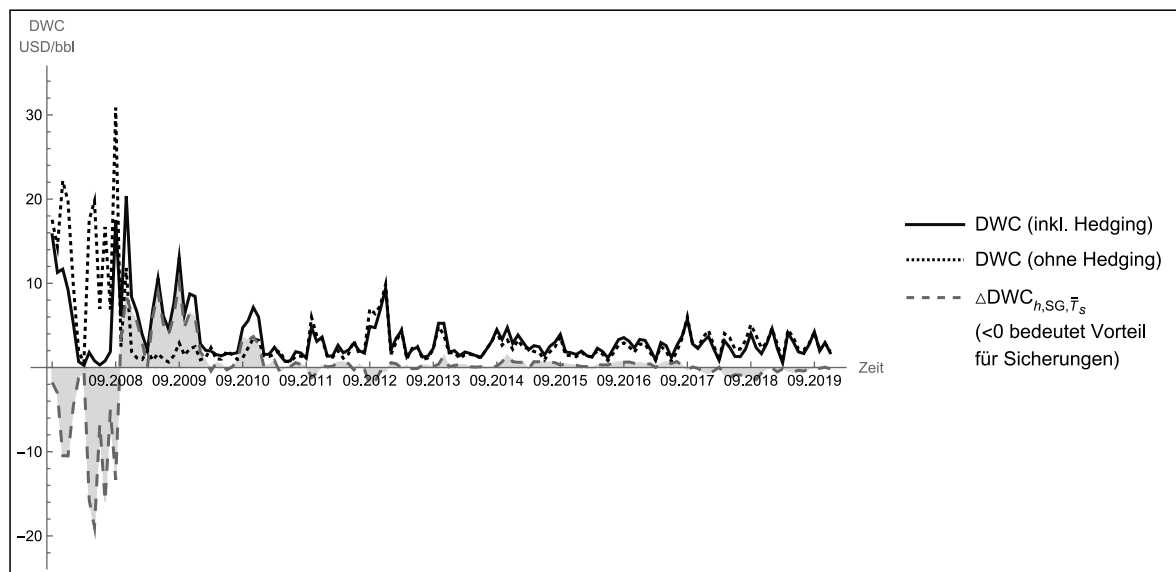


Abbildung zu Fall 56 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *Southwest Airlines* die auf Barrel skalierten realisierten Deadweight-Costs nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 83 im Anhang B I dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Deadweight-Costs unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen den Deadweight-Costs inklusive Sicherung und den Deadweight-Costs bei Marktpreisen dargestellt ($\Delta DWC_{56,90\%,\bar{T}_S}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 90 – Beispiel United Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81)

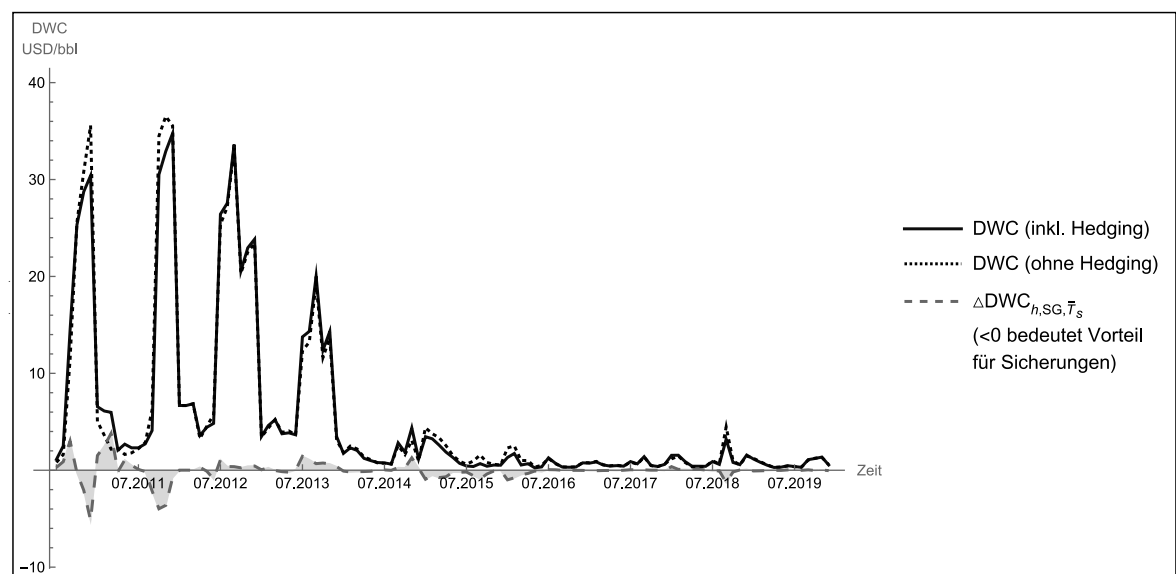
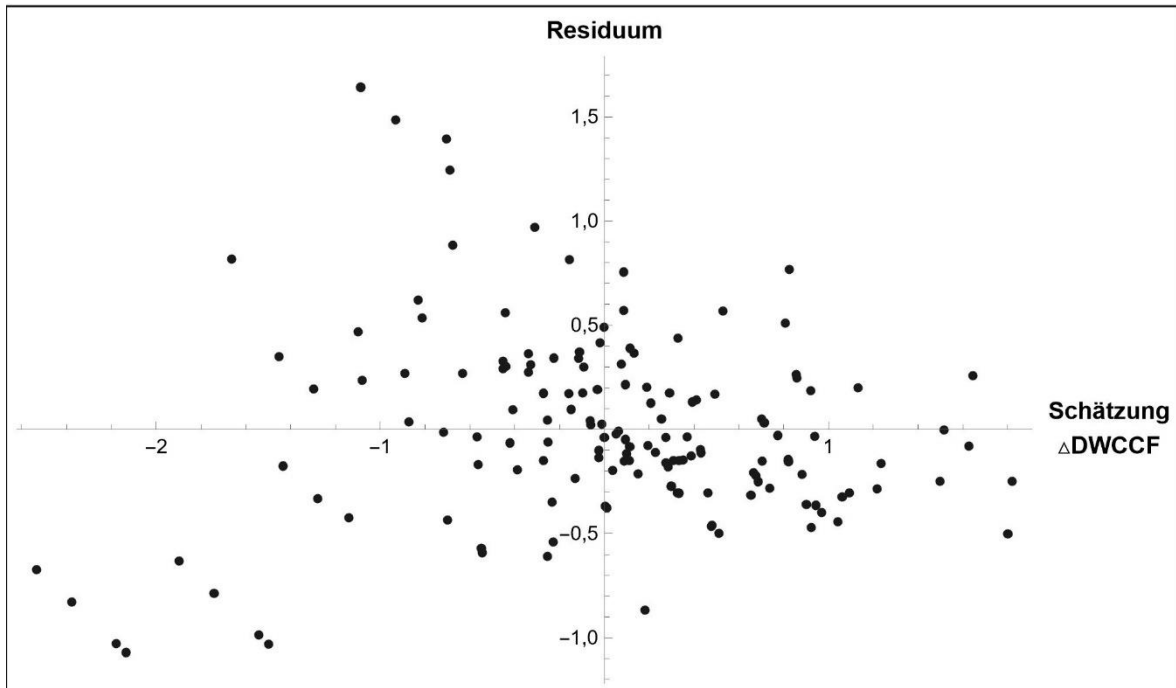
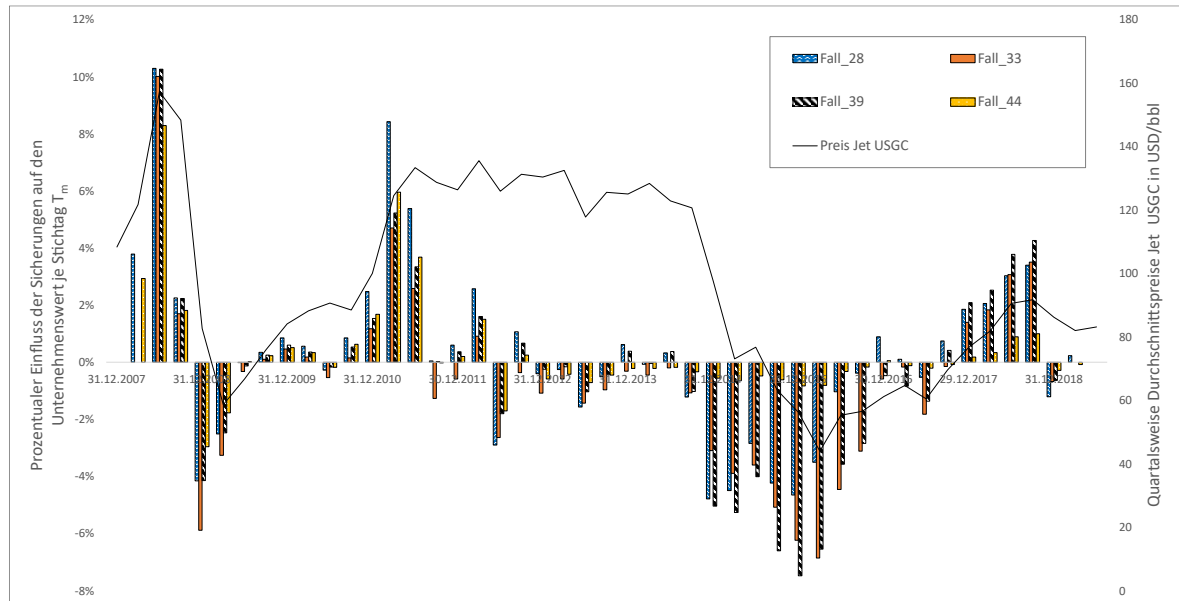


Abbildung zu Fall 81 gemäß Zuordnung in Tabelle 84. Die Abbildung visualisiert exemplarisch für den genannten Fall für *United Airlines* die auf Barrel skalierten realisierten Deadweight-Costs nach Berücksichtigung des Sicherungsergebnisses. Unterstellt ist ein Zielsicherungsgrad von 90%. Das dem Sicherungsergebnis zugrundeliegende Portfolio entspricht dem in Tabelle 18 dargestellten Sicherungsportfolio. Als Referenzwert sind Deadweight-Costs unter Rückgriff auf Markttreibstoffpreise für die Referenzkerosinnotierung (*Jet US Gulf Coast*) dargestellt. Außerdem ist die Differenz zwischen den Deadweight-Costs inklusive Sicherung und den Deadweight-Costs bei Marktpreisen dargestellt ($\Delta DWC_{81,90\%,\bar{T}_S}$). Querverweis auf Abbildung in Kapitel 7.1.2.1.

Abbildung 91 – Punktprognosen und Residuen: $\Delta DWCCF$ 

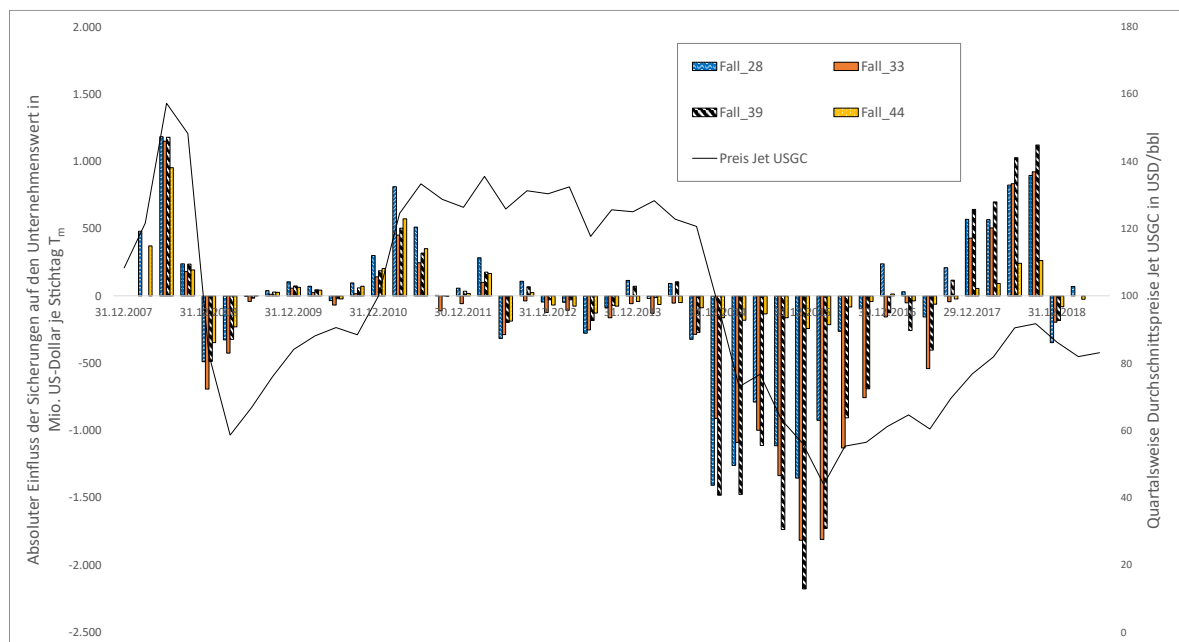
Die Abbildung stellt Schätzer für $\Delta \widehat{DWCCF}_{h,SG}$ gemäß der über (7.5) ermittelten Regressionsgleichung dar und stellt diesen für jede Beobachtung das zugehörige Residuum gegenüber. Dargestellt sind die Beobachtungen für den gesamten Untersuchungszeitraum zwischen 2007 und 2019. Querverweis auf Abbildung im Anhang A XIII. d).

Abbildung 92 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (DL)

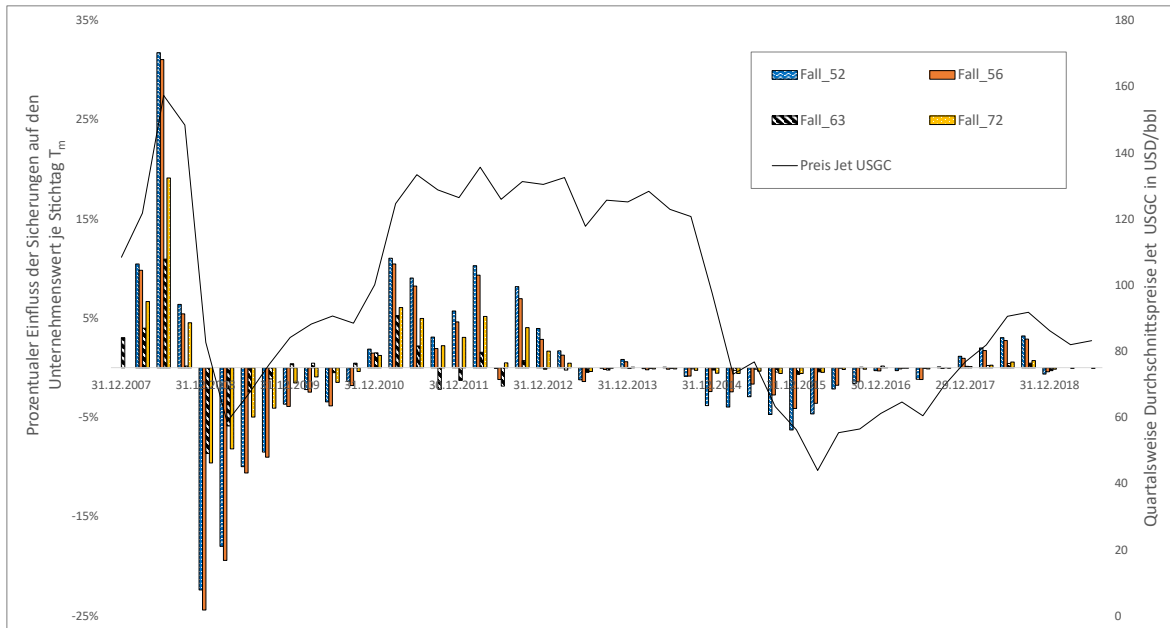


Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *Delta Air Lines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m . Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 99 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

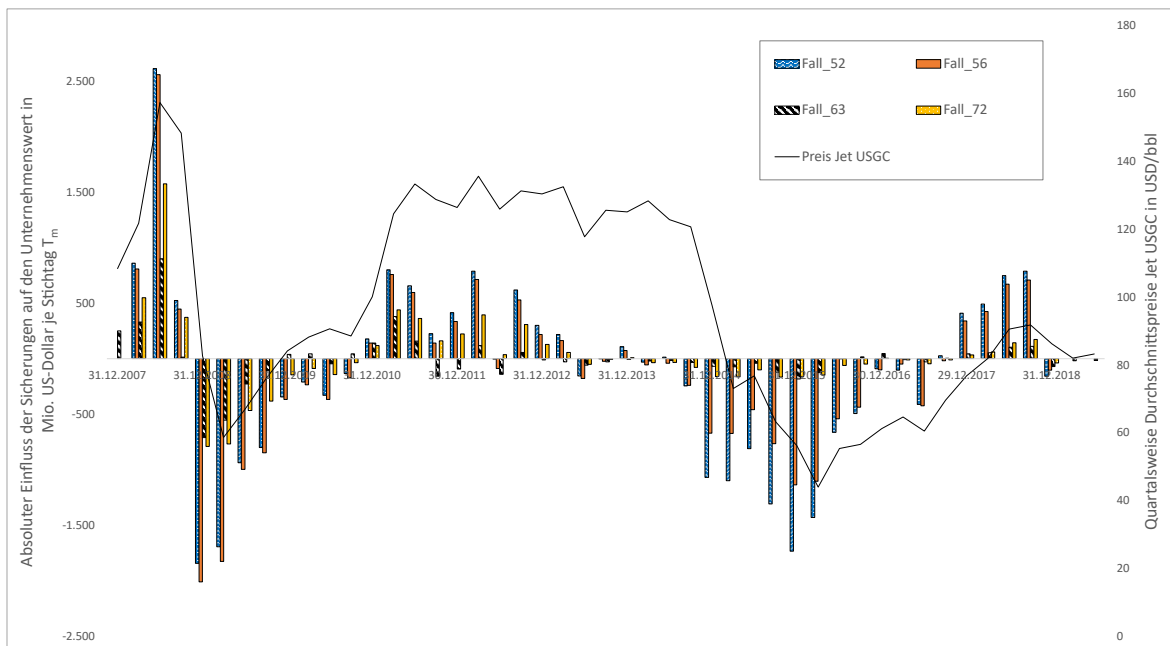
Abbildung 93 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (DL)



Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *Delta Air Lines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m in Millionen US-Dollar. Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 100 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

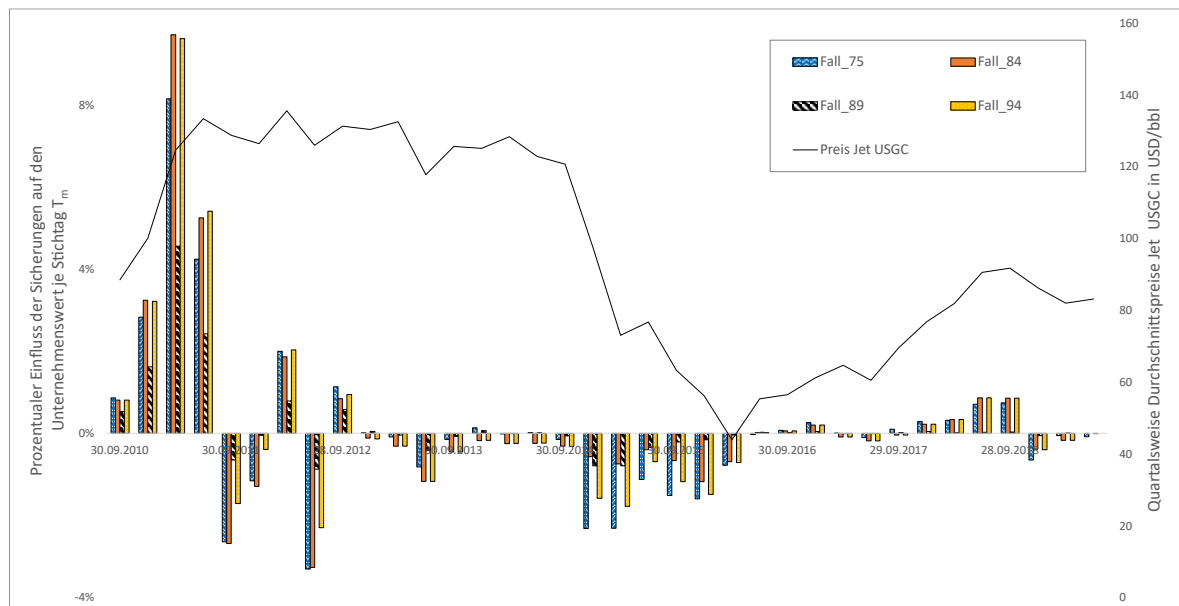
Abbildung 94 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (WN)

Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *Southwest Airlines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m . Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 99 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

Abbildung 95 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (WN)

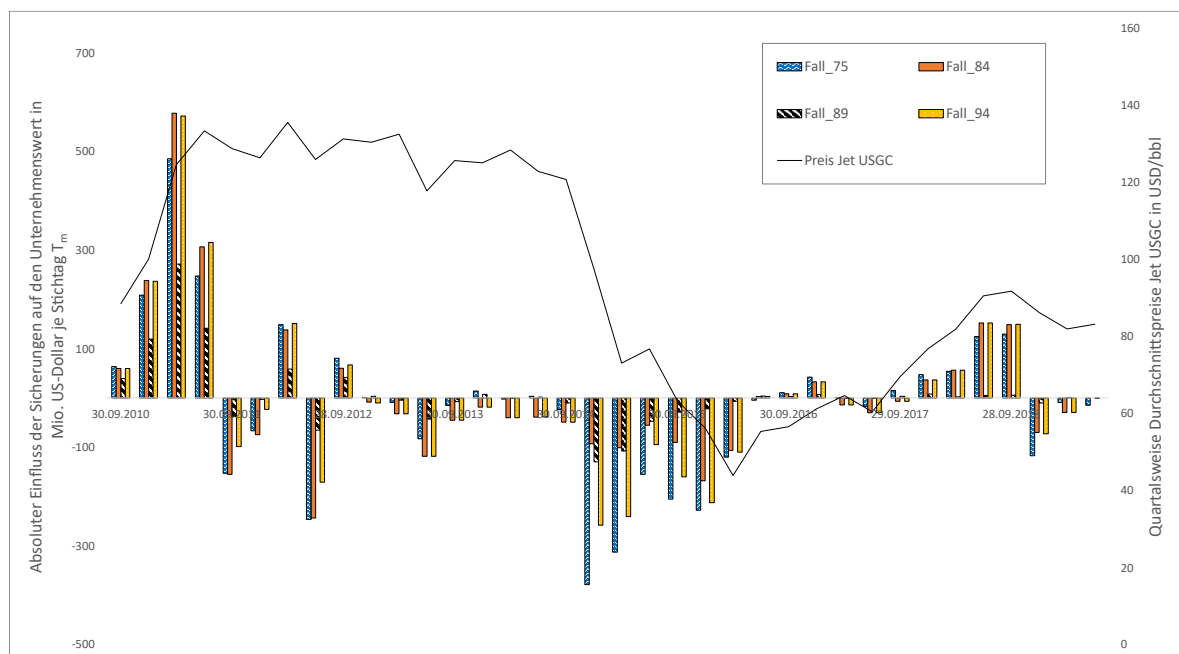
Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *Southwest Airlines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m in Millionen US-Dollar. Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 100 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

Abbildung 96 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (UA)



Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *United Airlines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vrel_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m . Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 99 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

Abbildung 97 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (UA)



Die Abbildung veranschaulicht für die vier in Kapitel 7.2.2 für *United Airlines* ausgewählten Beispielfälle die Ausprägungen von $\Delta Vabs_{h,SG,T_m}$ (linke y-Achse) je Stichtag T_m in Millionen US-Dollar. Stichtage sind alle letzten Börsenhandelstage eines Quartals innerhalb des Beobachtungszeitraums, für welche ausreichend viele Sicherungen im Bestand sind. Für weitere Hintergründe siehe Kapitel 7.2.2. Die Zuordnungen von Inputparametern zu den vier aufgeführten Fällen ergeben sich aus der Zuordnung gemäß Tabelle 84 im Anhang B I. Die gewählten Sicherungsgrade (SG) können Tabelle 100 entnommen werden. Auf der rechten y-Achse sind zusätzlich historische Durchschnittspreise für *Jet US Gulf Coast* je Quartal dargestellt. Querverweis auf Darstellung in Kapitel 7.2.3.

Variablen, Vektoren, Matrizen und Funktionen im Anhang

Weitere Variablen im Anhang

Weitere Variablen in den Anhängen zu Kapitel 2 und 3

Variable	Einheit	Beschreibung
$InnererWert_{t,T}^w$	[US-Dollar pro Barrel]	Innerer Wert einer Sicherung w für Zeitpunkt T in Zeitpunkt t im Anhang A III. b)
$Zeitwert_{t,T}^w$	[US-Dollar pro Barrel]	Zeitwert einer Sicherung w für Zeitpunkt T in Zeitpunkt t im Anhang A III. b)
β_X	[-]	Risikomaß von Aktie X im Capital Asset Pricing Model im Anhang A II
$\rho_{M,X}$	[-]	Pearson-Korrelation zwischen der Rendite von Aktie X und der Rendite des Marktes im Capital Asset Pricing Model im Anhang A II
σ_M	[-]	Standardabweichung der Rendite μ_M im Anhang A II
σ_X	[-]	Standardabweichung der Rendite μ_X im Anhang A II

Weitere Variablen in den Anhängen zu Kapitel 5

Variable	Einheit	Beschreibung
b	[-]	Eine beliebige Konstante in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b) und im Anhang A VII. c)
c_1	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „einseitige exponentielle Standarddarstellung“ im Anhang A VII. a)
c_2	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „einseitige exponentielle Standarddarstellung“ im Anhang A VII. a)
$Steuerschwelle$	[US-Dollar pro Barrel]	Parameter zur Festlegung einer Steuerschwelle in der DWC-Funktion „lineare Ertragsteuern für positive FCF“ im Anhang A VII. a)
x	[-]	Allgemeine Darstellung eines beliebigen Wertes, den die allgemeine Zufallsvariable X in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b) annehmen kann
X	[-]	Allgemeine Darstellung einer beliebigen Zufallsvariable in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b)
α	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „parabelförmige Praxisfunktion“ im Anhang A VII. a)
γ_1	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „einseitige hyperbolische DWC“ im Anhang A VII. a)

γ_2	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „einseitige hyperbolische DWC“ im Anhang A VII. a)
γ_3	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „einseitige hyperbolische DWC“ im Anhang A VII. a)
ϱ	[-]	Parameter in der DWC-Funktion „parabelförmige Praxisfunktion“ im Anhang A VII. a)

Weitere Variablen in den Anhängen zu Kapitel 6

Variable	Einheit	Beschreibung
$AnzahlBeobacht_i$	[Anzahl Beobachtungen]	Anzahlung der im jeweiligen <i>in-sample</i> Zeitraum für Fluggesellschaft i berücksichtigten Perioden im Anhang A X. e)
$AnzahlSich_{\bar{T}}$	[Anzahl Sicherungen]	Anzahl der Sicherungen für einen Erfüllungszeitraum $\bar{T}$ im Anhang A XII. b)
$Arbeitslos_{\bar{Q}}$	[%]	Arbeitslosigkeit in den Vereinigten Staaten in Quartal $\bar{Q}$ in Prozent im Anhang A IX. e)
$CallSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Differenz zwischen Strike Short Call und Strike Long Call in einer Instrumentenkombination w (<i>Call-Spread</i>) im Anhang B I (Tabelle 76)
$CapSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Differenz zwischen Terminpreis und Strike Long Put in einer Instrumentenkombination w (<i>Cap-Spread</i>) im Anhang B I (Tabelle 76)
$CollarSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Differenz zwischen Strike Long Call und Strike Short Put in einer Instrumentenkombination w (<i>Collar-Spread</i>) im Anhang B I (Tabelle 76)
$FuelPhysisch_{\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Durchschnittlicher Spotpreis der physisch getankten Rohware in Periode $\bar{T}$ im Anhang A X. i)
$FuelSicherung_{\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Durchschnittlicher Spotpreis der den Treibstoffpreissicherungen zugrundeliegenden Rohware in Periode $\bar{T}$ im Anhang A X. i)
$MengeRelativ_{T_0,\bar{T}}$	[%]	Siehe: <i>MengeRelativ_i</i> . Hier konkretisiert um Angaben zu Sicherungszeitpunkt T_0 und -zeitraum $\bar{T}_s$ im Anhang A XII. b)
$P_{T_0,\bar{T}}^{Call,Short,Markt}$	[US-Dollar pro Barrel]	Der faire Optionspreis eines Derivates (Beispiel: Short Call) für Periode $\bar{T}$ gemäß Optionspreistheorie im Zeitpunkt T_0 . Darstellung im Anhang A XI. a)
$P_{i,T_0,\bar{T}}^{Call,Short,Risiko}$	[US-Dollar pro Barrel]	Risikoadjustierter Optionspreis eines Derivates (Beispiel: Short Call) für Periode $\bar{T}$ unter Berücksichtigung des individuellen Risikos von Unternehmen i im Zeitpunkt T_0 . Darstellung im Anhang A XI. a)

$PutSpread_{w,T_0,\bar{T}}$	[US-Dollar pro Barrel]	Differenz zwischen Strike Short Put und Strike Long Put in einer Instrumentenkombination w (<i>Put-Spread</i>) im Anhang B I (Tabelle 76)
$u_{i,\bar{Q}_0,\bar{Q}_0+N}$	[-]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell für PUOF: Summe aller $u_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und $\bar{Q}_0 + N$ (alternativ: $u_{i,\bar{T}_0,\bar{T}_0+N}$). Darstellung im Anhang A X. e)
$Verwertung_{i,T_0,\bar{T}}$	[%]	In Zeitpunkt T_0 erwarteter Forderungsanteil, den der Verkäufer eines Derivates im Insolvenzfall von Gesellschaft i in Zeitraum $\bar{T}$ im Rahmen eines Insolvenzverfahrens noch ausgezahlt bekäme. Darstellung im Anhang A XI. a)
$x_{i,\bar{T}}$	[-]	Variable zur allgemeinen Beschreibung der Ausprägung einer beliebigen erklärenden Variable aus allen $X_{i,\bar{T}_0,\dots,\bar{T}}$ (Beispiel: $ASK_{i,\bar{T}}$) für Gesellschaft i und Zeitraum $\bar{T}$ (alternativ: $\bar{Q}$) im Anhang A X. f)
y_1	[-]	Allgemeine Darstellung des Wertes einer normalverteilten Zufallsvariable im Anhang A X. i)
y_2	[-]	Allgemeine Darstellung des Wertes einer normalverteilten Zufallsvariable im Anhang A X. i)
$\beta_{7,i}$	[-]	Regressionskoeffizient zur Erfassung des Einflusses von $\Delta Arbeitslos_{\bar{Q}}$ im erweiterten Regressionsmodell für Fluggesellschaft i im Anhang A X. c)
$\beta_{8,i}$	[-]	Regressionskoeffizient zur Erfassung des Einflusses von $\Delta RSK_{i,\bar{Q}}$ im erweiterten Regressionsmodell für Fluggesellschaft i im Anhang A X. c)
$\Delta Arbeitslos_{\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $Arbeitslos_{\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$) im alternativen Regressionsmodell im Anhang A X. c)
$\Delta RSK_{i,\bar{Q}}$	[%]	Veränderung von $RSK_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q} - 1$ und Periode $\bar{Q}$ (alternativ: $\bar{T}$) im alternativen Regressionsmodell im Anhang A X. c)
$\Delta x_{i,\bar{T}_0,\bar{Q}_0+1}$	[%]	Allgemein: Relative Veränderung einer ausgewählten erklärenden Variable $x_{i,\bar{T}}$ für Gesellschaft i zwischen Zeitraum $\bar{T}_0$ und Zeitraum $\bar{Q}_0 + 1$ im Anhang A X. f)
μ_{LogNV}	[-]	Allgemein der Erwartungswert einer logarithmischen Normalverteilung im Anhang A X. a)
μ_{NV}	[-]	Allgemein der Erwartungswert einer Normalverteilung im Anhang A X. a)
μ_{y3}	[-]	Allgemeine Darstellung des Erwartungswertes einer normalverteilten Zufallsvariable im Anhang A X. i) (siehe auch Darstellung zu: μ_{y1} und μ_{y2})

$\mu_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}$	[%]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell für PUOF: 1-Schritt-Prognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und $\bar{Q}_0 + 1$ (entspricht: $\Delta \widehat{PUOF}_{i,\bar{Q}_0+1}$). Darstellung im Anhang A X. e)
$\rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y3}}$	[-]	Allgemeine Darstellung Pearson-Korrelationskoeffizient bivariat normalverteiltes Zufallsvariablenpaar im Anhang A X. i) (siehe auch: $\rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y2}}$)
$\rho_{\sigma_{y2},\sigma_{y3}}$	[-]	Allgemeine Darstellung Pearson-Korrelationskoeffizient bivariat normalverteiltes Zufallsvariablenpaar im Anhang A X. i) (siehe auch: $\rho_{\sigma_{y1},\sigma_{y2}}$)
σ_{LogNV}	[-]	Allgemein der Erwartungswert einer logarithmischen Normalverteilung im Anhang A X. a)
σ_{NV}	[-]	Allgemein die Standardabweichung einer Normalverteilung im Anhang A X. a)
$\sigma_{TW,\bar{T}}$	[-]	Entspricht σ_{TW} nach Skalierung auf die Länge des Intervalls T (hier: T als Endzeitpunkt der Periode $\bar{T}$). Darstellung im Anhang A X. h)
σ_{y3}^2	[-]	Allgemeine Darstellung der Varianz einer normalverteilten Zufallsvariable im Anhang A X. i) (siehe auch Darstellung zu: σ_{y1}^2 und σ_{y2}^2)
$\sigma_{\Delta PUOF,i,\bar{Q}_0+1}^2$	[-]	Im <i>out-of-sample</i> Prognosemodell für PUOF: Gesamtvarianz der 1-Schritt-Prognose für die Veränderung von $PUOF_{i,\bar{Q}}$ zwischen Periode $\bar{Q}_0$ und $\bar{Q}_0 + 1$. Darstellung im Anhang A X. e)

Weitere Variablen in den Anhängen zum Regressionsmodell in Kapitel 7

Variable	Einheit	Beschreibung
f_i^2	[-]	<i>Cohens</i> f^2 zur Quantifizierung der Effektstärke einer erklärenden Variable, deren Einfluss im ursprünglichen Basis-Regressionsmodell als β_i erfasst wurde. Darstellung im Anhang A XIII. d)
R_{Basis}^2	[%]	Bestimmtheitsmaß des jeweiligen Basis-Regressionsmodells im Anhang A XIII. d)
$R_{\beta_i}^2$	[%]	Bestimmtheitsmaß des Regressionsmodells nach Ausschluss einer erklärenden Variable, deren Einfluss im ursprünglichen Basis-Regressionsmodell als β_i erfasst wurde. Darstellung im Anhang A XIII. d)
$\hat{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_{13}$	[-]	Errechnete Schätzer der echten Regressionskoeffizienten im Regressionsmodell in Kapitel 7.1.3. Darstellung im Anhang A XIII. d)

Weitere Variablen in den Anhängen zu Kapitel 7

Variable	Einheit	Beschreibung
$DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für DWC. Darstellung im Anhang A XIII. c)
$DWC_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $DWCCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für DWC. Darstellung im Anhang A XIII. c)
$FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF. Darstellung im Anhang A XIII. c)
$FCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $DWCCF_{h,T_{0,n},\bar{T}_s}^{KeineSich.}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF. Darstellung im Anhang A XIII. c)
$Fuel_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für den Treibstoffpreis. Darstellung im Anhang A XIII. c)
$MengeRelativ_{h,SG,\bar{T}_s}$	[%]	Siehe: $MengeRelativ_i$. Hier konkretisiert um Angaben zu Fall h , Sicherungsgrad SG und Sicherungszeitraum $\bar{T}_s$
$SG_{h,SG}$	[%]	Siehe: SG_i . Hier konkretisiert um Angaben zu Fall h
$\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$	[US-Dollar]	In Zeitpunkt T_m absolutes Delta zwischen den erwarteten DWC unter Berücksichtigung von keiner Sicherung und von Sicherung w , die in Zeitpunkt $T_{0,n}$ für Zeitraum $\bar{T}_s$ in Fall h mit Sicherungsgrad SG gehandelt wurde. Darstellung im Anhang A XIV. b)
$\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Barrel} \right)$	[US-Dollar pro Barrel]	In Zeitpunkt T_m auf ein Barrel skaliertes Delta zwischen den erwarteten DWC unter Berücksichtigung von keiner Sicherung und von Sicherung w , die in Zeitpunkt $T_{0,n}$ für Zeitraum $\bar{T}_s$ in Fall h mit Sicherungsgrad SG gehandelt wurde. Darstellung im Anhang A XIV. a)
$\Delta E_{T_m} \left(DWCCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$	[US-Dollar]	Inhaltsgleich zu $\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für DWCCF. Darstellung im Anhang A XIV. a) und im Anhang A XIV. b)
$\Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$	[US-Dollar]	Inhaltsgleich zu $\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_{0,n},\bar{T}_s}^{Absolut} \right)$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF. Darstellung im Anhang A XIV. b)

$\Delta E_{T_m} \left(FCF_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right)$	[US-Dollar pro Barrel]	Inhaltsgleich zu $\Delta E_{T_m} \left(DWC_{w,h,SG,T_0,n,\bar{T}_s}^{Barrel} \right)$ (siehe zugehörige Beschreibung), aber für FCF. Darstellung im Anhang A XIV. a)

Weitere Variablen in Anhang B I und Anhang B II

Variable	Einheit	Beschreibung
$CF_{\bar{T}}$	[US-Dollar]	Allgemeine Darstellung des Cash-Flows eines Unternehmens in Zeitraum $\bar{T}$ in den Abbildungen im Anhang B II
$CF_{\bar{T}}^*$	[US-Dollar]	Allgemeine Darstellung des um DWC verringerten Cash-Flows eines Unternehmens in Zeitraum $\bar{T}$ in den Abbildungen im Anhang B II
$\Delta CF_{\bar{T}}^*$	[US-Dollar]	Allgemeine Darstellung des Deltas zwischen $CF_{\bar{T}}$ und $CF_{\bar{T}}^*$ eines Unternehmens in Zeitraum $\bar{T}$ in den Abbildungen im Anhang B II

Weitere Vektoren und Matrizen im Anhang

Vektor / Matrix	Beschreibung
$K_{\bar{T}}$	Matrix der Strikes aller Derivatekombinationen w_n , die für eine Periode $\bar{T}$ abgeschlossen wurden. Darstellung im Anhang A VI. d)
W	Zur Herleitung der allgemeinen dreidimensionalen Verteilungsfunktion im Anhang A X. i): Allgemein ein Vektor dreier normalverteilter Zufallsvariablen
x	Ein beliebiger Vektor der Werte, welche die Zufallsvariablen in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b) annehmen können
X	Ein beliebiger Vektor von Zufallsvariablen in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b)
$\mu_{W,\bar{T}}$	Zur Herleitung der allgemeinen dreidimensionalen Verteilungsfunktion im Anhang A X. i): Kovarianzmatrix der drei über W erfassten normalverteilten Zufallsvariablen bezüglich der Ausprägungen der Zufallsvariablen in Zeitraum $\bar{T}$
$\Sigma_{W,\bar{T}}$	Zur Herleitung der allgemeinen dreidimensionalen Verteilungsfunktion im Anhang A X. i): Kovarianzmatrix der drei über W erfassten normalverteilten Zufallsvariablen bezüglich der Ausprägungen der Zufallsvariablen in Zeitraum $\bar{T}$

Weitere Verteilungs- und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen im Anhang

Funktion	Beschreibung
f	Eine beliebige Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b)
F	Eine beliebige Verteilungsfunktion in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b)
h	Eine beliebige Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion in der Beispieldarstellung im Anhang A VI. b)
h_Y	Allgemeine Darstellung der bivariaten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zweier normalverteilter Zufallsvariablen im Anhang A X. g)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Preisverlauf Kerosin, Rohöl und Jet Crack.....	2
Abbildung 2 – Treibstoffaufwand Lufthansa Group (2007 bis 2019).....	2
Abbildung 3 – Jahresergebnis Lufthansa Group (2007 bis 2019)	3
Abbildung 4 – Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 5 – Planungsprozess einer Fluggesellschaft	9
Abbildung 6 – Wichtige Zeitpunkte und Zeiträume im Rahmen der Arbeit	14
Abbildung 7 – Auszahlungsprofil: Standard-Derivate im Erfüllungszeitpunkt	16
Abbildung 8 – Die Preiskomponenten von Kerosin	20
Abbildung 9 – Der Prozess der Treibstoffpreissicherung (Schema)	46
Abbildung 10 – Schematische Darstellung der übergeordneten Sicherungsstruktur	60
Abbildung 11 – Risikoprofile: Swap, Long Call und Collar	68
Abbildung 12 – Risikoprofile: Cap, Call Spread, 3-Ways und 4-Way.....	69
Abbildung 13 – OPTA: Schema zur Überleitung von EBIT auf den FCF	74
Abbildung 14 – FCF in Abhängigkeit von Fuel und PUOF (Beispiel)	80
Abbildung 15 – DWC-Funktion Herleitung: Insolvenzkosten und finanzielle Schieflage ..	84
Abbildung 16 – DWC-Funktion Herleitung: DWC der Finanzierungsstruktur	86
Abbildung 17 – DWC-Funktion in OPTA.....	87
Abbildung 18 – DWCCF ohne Sicherung	88
Abbildung 19 – Verlauf PUOF je Quartal (1990 bis 2019).....	106
Abbildung 20 – Verteilung der Residuen: United Airlines (1990 bis 2006)	111
Abbildung 21 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für American Airlines.....	115
Abbildung 22 – Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion: United Airlines (Beispiel 01/2011)	117
Abbildung 23 – Bivariate Dichtefunktion: United Airlines (Beispiel 01/2011).....	119
Abbildung 24 – OPTA: Schema zur Erzeugung einer Sicherungsstrategie	121
Abbildung 25 – Der Prozess der Treibstoffpreissicherung (Flussdiagramm)	138
Abbildung 26 – Durchschnittliche erwartete DWCCF-Differenzen (Beispiele 1).....	150
Abbildung 27 – American Airlines (Fall 19): Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum	157
Abbildung 28 – Durchschnittliche realisierte DWCCF-Differenzen (Beispiele 1).....	159
Abbildung 29 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (AA).....	176
Abbildung 30 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (AA).....	179
Abbildung 31 – Kapitalmarktklinie, CAPM und (un-)systematisches Risiko.....	197
Abbildung 32 – CAPM und Modigliani-Miller-Theorem (vollkommener Kapitalmarkt)	199

Abbildung 33 – Beispiel: Volatilitätsoberfläche Brent ICE am 22.03.2019	246
Abbildung 34 – Punktprognosen und Residuen: American Airlines (1990 bis 2006)	257
Abbildung 35 – Verteilung PUOF: Hintergrund Quartale und Monate.....	270
Abbildung 36 – Zusammenhang der Korrelationskoeffizienten (bivariate Normalverteilung und bivariate logarithmische Normalverteilung)	274
Abbildung 37 – Der Verlauf der 4-Firm Concentration Ratio (1990 bis 2019)	283
Abbildung 38 – Durchschnittliche realisierte DWC im Beispielsimulationslauf	292
Abbildung 39 – Destillation von Rohöl in der Fraktionierkolonne	372
Abbildung 40 – Die direkten Transaktionskosten einer Insolvenz als DWC	372
Abbildung 41 – Steigende Grenzsteuersätze und DWC	373
Abbildung 42 – Modigliani-Miller-Theorem und WACC mit Steuern	373
Abbildung 43 – Beispielhafte Terminpreiskurven der Rohölsorte WTI.....	374
Abbildung 44 – Übergeordnete Sicherungsstruktur: Umsetzung in der Praxis	374
Abbildung 45 – Auszahlungsprofil: Collar (mit und ohne Prämie).....	375
Abbildung 46 – Auszahlungsprofil: Cap	375
Abbildung 47 – Auszahlungsprofil: Call Spread	376
Abbildung 48 – Auszahlungsprofil: 3-Ways (mit Call Spread und Put Spread)	376
Abbildung 49 – Auszahlungsprofil: 4-Way	377
Abbildung 50 – Einseitige exponentielle Standarddarstellung (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002) sowie Korn (2010)).....	377
Abbildung 51 – Parabelförmige Praxisfunktion (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002))	378
Abbildung 52 – Einseitige hyperbolische Darstellung (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002)).....	378
Abbildung 53 – Lineare Ertragsteuern für positive FCF (DWC-Funktion in Brown und Toft (2002)).....	379
Abbildung 54 – Abwesenheit von positiven Verluststeuern (DWC-Funktion in Frestad (2010)).....	379
Abbildung 55 – FCF vor und nach Steuern sowie FCF nach Steuer-DWC gemäß Brown und Toft (2002)	380
Abbildung 56 – FCF vor und nach Steuern sowie FCF nach Steuer-DWC gemäß Frestad (2010).....	380
Abbildung 57 – DWCCF nach Abschluss des Long Calls	381
Abbildung 58 – DWCCF ohne Sicherung sowie nach Abschluss des Long Calls	381

Abbildung 59 – Zeitreihe der Ein-Jahres-Ausfallwahrscheinlichkeiten je Fluggesellschaft	382
Abbildung 60 – Wahrscheinlichkeitsverteilung der Treibstoffpreiszufallsvariable: Realisierung in Zeitpunkt versus Realisierung in Zeitraum	382
Abbildung 61 – Punktprognose und Residuen: Delta Air Lines (1990 bis 2006)	383
Abbildung 62 – Punktprognose und Residuen: Southwest Airlines (1990 bis 2006)	383
Abbildung 63 – Punktprognose und Residuen: United Airlines (1990 bis 2006)	384
Abbildung 64 – Verteilung der Residuen: American Airlines (1990 bis 2006)	385
Abbildung 65 – Verteilung der Residuen: Delta Air Lines (1990 bis 2006)	385
Abbildung 66 – Verteilung der Residuen: Southwest Airlines (1990 bis 2006)	385
Abbildung 67 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für Delta Air Lines	386
Abbildung 68 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für Southwest Airlines.....	386
Abbildung 69 – Beispiel: Mehrschritt-Prognose PUOF für United Airlines.....	387
Abbildung 70 – Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion Fuel und PUOF: Einfluss des Korrelationskoeffizienten	387
Abbildung 71 – DWC-Funktion und finanzielle Situation	388
Abbildung 72 – VaR-Restriktion: Bestimmen der Grenzwerte und der Einfluss des Korrelationskoeffizienten	388
Abbildung 73 – Durchschnittliche realisierte Treibstoffpreise und Free-Cash-Flows im Beispielsimulationslauf.....	389
Abbildung 74 – Beispiel American Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 19)	389
Abbildung 75 – Beispiel Delta Air Lines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 37)..	390
Abbildung 76 – Beispiel Southwest Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 56)	390
Abbildung 77 – Beispiel United Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 81)..	391
Abbildung 78 – Durchschnittliche erwartete DWCCF-Differenzen (Beispiele 2).....	391
Abbildung 79 – Durchschnittliche realisierte DWCCF-Differenzen (Beispiele 2).....	392
Abbildung 80 – Beispiel Delta Air Lines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37).....	392
Abbildung 81 – Beispiel Southwest Airlines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56).....	393
Abbildung 82 – Beispiel United Airlines: Treibstoffpreise je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81).....	393

Abbildung 83 – Beispiel American Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 19).....	394
Abbildung 84 – Beispiel Delta Air Lines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37).....	394
Abbildung 85 – Beispiel Southwest Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56).....	395
Abbildung 86 – Beispiel United Airlines: Free-Cash-Flows je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81).....	395
Abbildung 87 – Beispiel American Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 19).....	396
Abbildung 88 – Beispiel Delta Air Lines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 37).....	396
Abbildung 89 – Beispiel Southwest Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 56).....	397
Abbildung 90 – Beispiel United Airlines: Deadweight-Costs je Erfüllungszeitraum mit und ohne Sicherung (Fall 81).....	397
Abbildung 91 – Punktprognosen und Residuen: $\Delta DWCCF$	398
Abbildung 92 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (DL).....	399
Abbildung 93 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (DL)	399
Abbildung 94 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (WN)	400
Abbildung 95 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (WN)	400
Abbildung 96 – Relative Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (UA)	401
Abbildung 97 – Absolute Unternehmenswertdifferenzen je Stichtag (UA).....	401

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Skala der relevanten Risikobereitschaften (Ordinalskala).....	52
Tabelle 2 – Übersicht der Sicherungsstrategien ausgewählter Fluggesellschaften	60
Tabelle 3 – Nutzbare Derivatekombinationen in OPTA	67
Tabelle 4 – Fluggesellschaften im Datensatz	95
Tabelle 5 – Unerklärter Teil der Varianz der PUOF-Veränderungen	108
Tabelle 6 – Regressionsergebnisse PUOF: United Airlines (Beispiel 01/2011)	116
Tabelle 7 – Bestimmung Verteilungsparameter: United Airlines (Beispiel 01/2011).....	117
Tabelle 8 – Nebenbedingung: Korrelation und Wettbewerb	124
Tabelle 9 – Nebenbedingung: Risikobereitschaft und <i>Value at Risk</i>	127
Tabelle 10 – Verknappung Ergebnisraum: Randbedingungen Strikes und Prämie.....	128
Tabelle 11 – Ausfallwahrscheinlichkeiten und Handelsrestriktionen	130
Tabelle 12 – Restriktionen aus Risikobereitschaft	131
Tabelle 13 – Interne Entscheidungen für Cluster- und Fallberechnungen	136
Tabelle 14 – Beispiel: Aktive Entscheidungen ohne Einschränkungen	138
Tabelle 15 – Beispiel: Weitere Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur	139
Tabelle 16 – Beispiel: Input und Vorabberechnungen für eine Simulation	140
Tabelle 17 – Beispiel: Optima nutzbarer Instrumentenkombinationen	141
Tabelle 18 – Beispiel United Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 81).....	142
Tabelle 19 – Erzeugte Sicherungen: Übersicht je Fluggesellschaft	143
Tabelle 20 – Erwartungswertdifferenzen ausgewählter Fälle (gesamter Zeitraum).....	147
Tabelle 21 – Erwartungswertdifferenzen je Cluster (gesamter Zeitraum)	148
Tabelle 22 – Extrema der Erwartungswertkennziffern (gesamter Zeitraum)	149
Tabelle 23 – Erwartungswertdifferenzen ausgewählter Fälle (getrennte Datensätze)	151
Tabelle 24 – Erwartungswertdifferenzen je Cluster (getrennte Datensätze)	151
Tabelle 25 – Extrema der Erwartungswertkennziffern (getrennte Datensätze).....	153
Tabelle 26 – Realisierte DWCCF-Differenzen je Cluster (alle Zeiträume)	157
Tabelle 27 – Realisierte FCF- und DWC-Differenzen je Cluster (alle Zeiträume).....	158
Tabelle 28 – Realisierte Differenzen ausgewählter Fälle (alle Zeiträume)	161
Tabelle 29 – Extrema der realisierten DWCCF-Differenzen (alle Zeiträume).....	162
Tabelle 30 – Regressionsergebnisse: Prognosequalität OPTA (alle Ergebnisse).....	167
Tabelle 31 – Einfluss der Sicherung auf den Unternehmenswert (ausgewählte Fälle)	175
Tabelle 32 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung I	175
Tabelle 33 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Extrema an einem Stichtag.....	177

Tabelle 34 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung I	177
Tabelle 35 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Extrema an einem Stichtag	178
Tabelle 36 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung II	180
Tabelle 37 – Unternehmenswertdifferenzen in bestehenden Studien	181
Tabelle 38 – Beispiel: Asset Substitution Problem (ohne Hedging)	200
Tabelle 39 – Beispiel: Asset Substitution Problem (Projekt II mit Hedging).....	200
Tabelle 40 – Einschränkungen auf Treibstoffpreissicherungen aus IFRS 9	206
Tabelle 41 – Beispiele: Treibstoffverbrauch und Sicherungen im Jahr 2019	209
Tabelle 42 – Zusammensetzung sonstiger Aufwand – Beispiel: Lufthansa Group	224
Tabelle 43 – Kauf und Leasing von Flugzeugen: Cash-Flow und GuV	226
Tabelle 44 – Beispiele: Anteil sonstige operative Erlöse an gesamten operativen Erlösen	229
Tabelle 45 – Regressionsergebnisse für relative PUOF-Veränderung	253
Tabelle 46 – Test der Störgrößen des Regressionsmodells auf Autokorrelation und Heteroskedastizität	258
Tabelle 47 – Normalverteilung der Residuen (Anderson-Darling-Test)	260
Tabelle 48 – Beispiel: Gewählte Sicherung vs. Keine Sicherung pro Barrel (ex-post).....	288
Tabelle 49 – Beispiel: Instrumentenkombinationen je Erfüllungszeitraum.....	290
Tabelle 50 – Effektstärke: Intervalle von Cohens f^2	299
Tabelle 51 – Effektstärke: Cohens f^2 für Ergebnisse des Regressionsmodells in (7.5)	299
Tabelle 52 – Relative Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung III	307
Tabelle 53 – Absolute Unternehmenswertdifferenz: Ergebniszusammenfassung II	309
Tabelle 54 – Umrechnung: Volumeneinheiten	311
Tabelle 55 – Umrechnung: Volumina und spezifische Gewichte.....	311
Tabelle 56 – Übersicht: Derivatetypen, Derivatearten und Derivatkombinationen.....	312
Tabelle 57 – Übersicht: Gründe für Hedging in der Literatur (Auswahl)	312
Tabelle 58 – Fluggesellschaften und Sicherungsziele in der Praxis	313
Tabelle 59 – Übersicht zur Ausgestaltung von Sicherungsstrategien.....	316
Tabelle 60 – Aufbau aller relevanten Derivatekombinationen	318
Tabelle 61 – Verfügbare Derivatekombinationen: Restriktionen aus Risikobereitschaft und Sicherungszielen	319
Tabelle 62 – Herleitung GuV-Struktur für Zielfunktion.....	320
Tabelle 63 – Schema: Einzahlungen für Tickets im Lauf einer Periode	320
Tabelle 64 – Größte Fluggesellschaften auf Strecken innerhalb der USA je Kalenderjahr (Kriterium: Anzahl Passagiere).....	321

Tabelle 65 – Übersicht der genutzten gesellschaftsindividuellen BOTS-Daten.....	322
Tabelle 66 – Operative und finanzielle Kennziffern der betrachteten Fluggesellschaften	323
Tabelle 67 – Kapitalstruktur und Kapitalkosten der betrachteten Fluggesellschaften	325
Tabelle 68 – Übersicht: Zuordnung Bloomberg-Ticker für Rohwarenterminpreise	326
Tabelle 69 – Regressionsergebnisse für relative PUOF-Veränderung (ungekürzte Datensätze).....	326
Tabelle 70 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: American Airlines.....	327
Tabelle 71 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Delta Air Lines.....	328
Tabelle 72 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Southwest Airlines	329
Tabelle 73 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: United Airlines.....	330
Tabelle 74 – Nebenbedingung: DWC-Parameter und finanzielle Situation.....	331
Tabelle 75 – Maße der Wettbewerbsintensität auf inneramerikanischen Strecken – Jahresübersicht.....	332
Tabelle 76 – Nebenbedingung: Vorgaben aus Governance.....	333
Tabelle 77 – Beispiel: Optima im Entscheidungszeitpunkt 18.01.2011.....	334
Tabelle 78 – Beispiel: Instrumentenkombinationen je Entscheidungszeitpunkt	335
Tabelle 79 – Beispiel: Erwartungswerte pro Erfüllungszeitraum (ex-ante)	336
Tabelle 80 – Beispiel: Realisierungen pro Erfüllungszeitraum (ex-post).....	337
Tabelle 81 – Beispiel American Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 19)..	338
Tabelle 82 – Beispiel Delta Air Lines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 37).....	339
Tabelle 83 – Beispiel Southwest Airlines: Sicherungen je Erfüllungszeitraum (Fall 56) .	340
Tabelle 84 – Ex-ante Übersicht Simulationsläufe OPTA: Optimale Sicherungen und erwartete Deadweight-Cost-Cash-Flows	341
Tabelle 85 – Erweiterte Darstellung: Erwartungswertdifferenzen je Cluster (gesamter Zeitraum)	347
Tabelle 86 – Getrennte Datensätze: Ex-ante Erwartungswerte der Sicherung	348
Tabelle 87 – Ex-post Übersicht Simulationsläufe OPTA: Realisierungen.....	349
Tabelle 88 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post DWCCF der Sicherung.....	357
Tabelle 89 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post DWCCF der Sicherung.....	358
Tabelle 90 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post FCF der Sicherung.....	359
Tabelle 91 – Clusteranalyse gesamter Datensatz: Ex-post DWC der Sicherung	360

Tabelle 92 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post FCF der Sicherung	361
Tabelle 93 – Clusteranalyse Teildatensätze: Ex-post DWC der Sicherung.....	362
Tabelle 94 – Schema: DWCCF-Vorteile und Parameter der übergeordneten Sicherungsstruktur	363
Tabelle 95 – Korrelationsmatrix zum Regressionsmodell gemäß (7.5) (Zeitraum: 2007 bis 2019)	365
Tabelle 96 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Gesamter Untersuchungszeitraum (2007 bis 2019)	366
Tabelle 97 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Untersuchungszeitraum 1 (2007 bis 2014)	367
Tabelle 98 – Vergleich genutzte und abweichend spezifizierte Regressionsgleichungen: Untersuchungszeitraum 2 (2015 bis 2019)	368
Tabelle 99 – Relativer Einfluss der Sicherungen auf den Unternehmenswert	369
Tabelle 100 – Absoluter Einfluss der Sicherungen auf den Unternehmenswert	371

Literaturverzeichnis

- Adam, Tim R.; Fernando, Chitru, S. (2006): Hedging, speculation, and shareholder value, in: *Journal of Financial Economics*, Vol. 81, S. 283 – 309.
- Adam, Tim R.; Fernando, Chitru, S.; Salas, Jesus M. (2017): Why do firms engage in selective hedging? Evidence from the gold mining industry, in: *Journal of Banking and Finance*, Vol. 77, S. 269 – 282.
- Adams, Zeno; Gerner, Mathias (2012): Cross hedging jet-fuel price exposure, in: *Energy Economics*, Vol. 34, S. 1301 – 1309.
- Adler, Nicole; Golany, Boaz (2001): Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe, in: *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, S. 260 – 273.
- Ahn, Dong-Hyun; Boudoukh, Jacob; Richardson, Matthew; Whitelaw, Robert F. (1999): Optimal Risk Management Using Options, in: *Journal of Finance*, Vol. 54, No. 1, S. 359 – 375.
- Air Canada (2019): 2019 Consolidated Financial Statements and Notes, https://www.aircanada.com/content/dam/aircanada/portal/documents/PDF/en/quarterly-result/2019/2019_FSN_q4.pdf (Stand 10.07.2022).
- Air France-KLM Group (2019): Consolidated Financial Statements – January 1, 2019 – December 31, 2019, https://www.airfranceklm.com/sites/default/files/afklm_financial_statements_decembre_2019.pdf (Stand 10.07.2022).
- Alaska Airlines (2019): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2019, <https://investor.alaskaair.com/static-files/39fdcc6e-6e27-4d3c-a0b3-b54e889d7b97> (Stand 10.07.2022).
- Allayannis, George; Lel, Ugur; Miller, Darius P. (2012): The use of foreign currency derivatives, corporate governance, and firm value around the world, in: *Journal of International Economics*, Vol. 87, S. 65 – 79.
- Allayannis, George; Ofek, Eli (2001): Exchange rate exposure, hedging, and the use of foreign currency derivatives, in: *Journal of International Money and Finance*, Vol. 20, S. 273 – 296.
- Allayannis, George; Weston, James P. (2001): The Use of Foreign Currency Derivatives and Firm Market Value, in: *The Review of Financial Studies*, Vol. 14, No. 1, S. 243 – 276.

- American Airlines (2013): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2013, https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/a/NASDAQ_AAL_2013.pdf (Stand 10.07.2022).
- American Airlines (2019): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2019, <https://americanairlines.gcs-web.com/static-files/d46a00e3-db05-4a91-af7a-fbe0fc2a7f08> (Stand 10.07.2022).
- American Petroleum Institute (2014): Understanding Crude Oil and Product Markets, Digital Media, 2014-094, <https://www.api.org/~media/files/oil-and-natural-gas/crude-oil-product-markets/crude-oil-primer/understanding-crude-oil-and-product-markets-primer-low.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Apsel, David; Cogen, Jack; Rabin, Michael (1989): Hedging Long Term Commodity Swaps with Futures, in: *The Global Finance Journal*, Vol. 1, No. 1, S. 77 – 93.
- ASTM D1655 (2021): Standard Specification for Aviation Turbine Fuels, Designation D1655 – 21a, American Society for Testing and Materials, Stand des Dokuments: 30.07.2021, Beuth Verlag.
- ASU 2017-12 (2017): Derivatives and Hedging (Topic 815): Targeted Improvements to Accounting for Hedging Activities, An Amendment of the FASB Accounting Standards Codification, in: FASB Accounting Standards Update, No. 2017-12, <https://fasb.org/Page/ShowPdf?path=ASU+2017-12.pdf&title=ACCOUNTING+STANDARDS+UPDATE+NO.+2017-12%E2%80%94DERIVATIVES+AND+HEDGING+%28TOPIC+815%29%3A+TARGETED+IMPROVEMENTS+TO+ACCOUNTING+FOR+HEDGING+ACTIVITIES&accepted-Disclaimer=true&Submit=> (Stand 18.02.2023).
- Atems, Bebonchu; Bachmeier, Lance; Williams, Corey (2019): Do Jet Fuel Price Movements Help Forecast Airline Fares and the Demand for Air Travel?, in: *Applied Economics Letters*, Vol. 26, No. 11, S. 877 – 882.
- Bajo, Emanuele; Barbi, Massimiliano; Romagnoli, Silvia (2014): Optimal corporate hedging using options with basis and production risk, in: *North American Journal of Economics and Finance*, Vol. 30, S. 56 – 71.
- Bajo, Emanuele; Barbi, Massimiliano; Romagnoli, Silvia (2015): A generalized approach to optimal hedging with option contracts, in: *The European Journal of Finance*, Vol. 21, No. 9, S. 714 – 733.
- Balakrishnan, N.; Lai, Chin-Diew (2009): *Continuous Bivariate Distributions*, 2. Aufl., New York, Springer.

- Balci, Osman (1998): Verification, Validation, and Testing, in: Jerry Banks (Hrsg.), Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, 1998, S. 335– 393.
- Banks, Jerry (Hrsg.) (1998): Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, New York, Wiley.
- Bartram, Söhnke M.; Brown, Gregory W.; Fehle, Frank R. (2009): International Evidence on Financial Derivatives Usage, in: Financial Management, Vol. 38, Issue 1, S. 185 – 206.
- Berghöfer, Britta; Lucey, Brian (2014): Fuel hedging, operational hedging and risk exposure – Evidence from the global airline industry, in: International Review of Financial Analysis, Vol. 34, S. 124 – 139.
- Berkman, Henk; Bradbury, Michael E. (1996): Empirical Evidence on the Corporate Use of Derivatives, in: Financial Management, Vol. 25, No. 2, S. 5 – 13.
- Bernstein, Peter L. (1998): Against the Gods: The Remarkable Story of Risk, New York, Wiley.
- Bessembinder, Hendrik (1991): Forward Contracts and Firm Value: Investment Incentive and Contracting Effects, in: Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 26, No. 4, S. 519 – 532.
- Bingham, Nicholas H.; Kiesel, Rüdiger (2004): Risk-Neutral Valuation: Pricing and Hedging of Financial Derivatives, 2. Aufl., London, Berlin, Heidelberg, Springer.
- Black, Fischer (1976): The Pricing of Commodity Contracts, in: Journal of Financial Economics, Vol. 3, Issue 1-2, S. 167 – 179.
- Black, Fischer (1989): How we came up with the option formula, in: Journal of Portfolio Management, Vol. 15, No. 2, S. 4 – 8.
- Black, Fischer; Scholes, Myron (1973): The Pricing of Options and Corporate Liabilities, in: Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 3, S. 637 – 654.
- Bloomberg (2019): Equity Implied Volatility Surface, Quantitative Analytics, Bloomberg L.P., abgerufen in: Bloomberg Professional Services, Stand des Dokuments: 17.12.2019.
- Bloomberg (2020): Frequently Asked Questions about DRSK, Version 1.3, abgerufen in: Bloomberg Professional Services, Stand des Dokuments: 08.01.2020.

- Bodnar, Gordon M.; Hayt, Gregory S.; Marston, Richard C. (1998): 1998 Wharton Survey of Financial Risk Management by US Non-Financial Firms, in: *Financial Management*, Vol. 27, No. 4, S. 70 – 91.
- Bollen, Kenneth A.; Jackman, Robert W. (1990): Regression Diagnostics: An Expository Treatment of Outliers and Influential Cases, in: John Fox, J. Scott Long (Hrsg.), *Modern Methods of Data Analysis*, 1990, S. 257 – 291.
- Boness, James A. (1964): Elements of a Theory of Stock-Option Value, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 72, No. 2, S. 163 – 175.
- Borenstein, Severin; Rose, Nancy L. (2014): How Airline Markets Work...or Do They?: Regulatory Reform in the Airline Industry, in: Nancy L. Rose (Hrsg.), *Economic Regulation and its Reform: What Have We Learned?*, 2014, S. 63 – 135.
- Boyle, Phelim; Potapchik, Alexander (2008): Prices and sensitivities of Asian options: A survey, in: *Insurance: Mathematics and Economics*, Vol. 42, S. 189 – 211.
- Brealey, Richard A.; Myers, Stewart C.; Allen, Franklin (2009): *Principles of Corporate Finance*, International Edition, New York, The McGraw-Hill Companies.
- Broll, Udo; Wong, Kit Pong (2002): Optimal full-hedging under state-dependent preferences, in: *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 42, S. 937 – 943.
- Brown, Gregory W.; Crabb, Peter R.; Haushalter, David (2006): Are Firms Successful at Selective Hedging?, in: *The Journal of Business*, Vol. 79, No. 6, S. 2925 – 2949.
- Brown, Gregory W.; Toft, Klaus Bjerre (2002): How Firms Should Hedge, in: *The Review of Financial Studies*, Vol. 15, No. 4, S. 1283 – 1324.
- Campbell, Tim S.; Kracaw, William A. (1990): Corporate Risk Management and the Incentive Effects of Debt, in: *The Journal of Finance*, Vol. 45, No. 5, S. 1673 – 1686.
- Campello, Murillo; Lin, Chen; Ma, Yue; Zou, Hong (2011): The Real and Financial Implications of Corporate Hedging, in: *The Journal of Finance*, Vol. 66, No. 5, S. 1615 – 1647.
- Cannon, James N.; Watanabe, Olena V. (2020): Do Firms Pass Commodity Cost Savings to Consumers? Evidence and Impacts of Asymmetric Pricing Behavior in the U.S. Airline Industry, Working Paper, Stand des Dokuments: 21.12.2020, https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3753641_code1937890.pdf?abstractid=2824026&mirid=16 (Stand 10.07.2022).

- Carter, David A.; Rogers, Daniel A.; Simkins, Betty J. (2006a): Does Hedging Affect Firm Value? Evidence from the US Airline Industry, in: *Financial Management*, Vol. 35, S. 53 – 86.
- Carter, David A.; Rogers, Daniel A.; Simkins, Betty J. (2006b): Hedging and Value in the U.S. Airline Industry, in: *Journal of Applied Corporate Finance*, Vol. 18, No. 4, S. 21 – 33.
- Chen, Andrew H. Y. (1970): A Model of Warrant Pricing in a Dynamic Market, in: *The Journal of Finance*, Vol. 25, No. 5, S. 1041 – 1059.
- Chen, Jun; King, Tao-Hsien Dolly (2014): Corporate hedging and the cost of debt, in: *Journal of Corporate Finance*, Vol. 29, S. 221 – 245.
- Ciliberto, Federico; Cook, Emily E.; Williams, Jonathan W. (2019): Network Structure and Consolidation in the U.S. Airline Industry, 1990-2015, in: *Review of Industrial Organization*, Vol. 54, S. 3 – 36.
- Clark, Iain J. (2014): *Commodity Option Pricing: A Practitioners Guide*, New York, Wiley.
- Clark, Paul (2007): *Buying the Big Jets: Fleet Planning for Airlines*, 2. Aufl., Aldershot, Ashgate.
- Code of Federal Regulations (2021): Title 14: Aeronautics and Space – Parts 200 to 1199, Revised as of January 1, 2021, Washington DC, U.S. Government Printing Office, Stand des Dokuments: 01.01.2021, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2021-title14-vol4/pdf/CFR-2021-title14-vol4.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Cohen, Jacob (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2. Aufl., New York, Lawrence Erlbaum Associates.
- Cook, Dennis R. (1977): Detection of Influential Observation in Linear Regression, in: *Technometrics*, Vol. 19, No. 1, S. 15 – 18.
- Copeland, Thomas E.; Weston, John F.; Shastri, Kuldeep (2005): *Financial Theory and Corporate Policy*, 4. Aufl., New York, Addison Wesley.
- Cottin, Claudia; Döhler, Sebastian (2013): *Risikoanalyse: Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen*, 2. Aufl., Wiesbaden, Springer.
- Culp, Christopher L.; Miller, Merton H. (1995): Metallgesellschaft and the Economics of Synthetic Storage, in: *Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft (ZBB)*, Vol. 7, Heft 1, S. 2 – 14.

- Dafir, S. Mohamed; Gajjala, Vishnu N. (2016): Fuel Hedging and Risk Management, Padstow, Wiley.
- Davis, Mark; Etheridge, Alison (2006): Louis Bachelier's Theory of Speculation: The Origins of Modern Finance, Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Delta Air Lines (2017): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2017, <https://d18rn0p25nwr6d.cloudfront.net/CIK-0000027904/1b58e244-f144-431a-afb7-1aaceed67f10.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Delta Air Lines (2019): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2019, <https://d18rn0p25nwr6d.cloudfront.net/CIK-0000027904/1fe7420e-4781-437f-92c3-08991a2d6695.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Deutsche BP Aktiengesellschaft (1989): Das Buch vom Erdöl, 5. Aufl., Hamburg, Reuter und Klöckner Hamburg.
- Dörsam, Peter (2013): Grundlagen der Entscheidungstheorie anschaulich dargestellt, 6. Aufl., Heidenau, PD-Verlag.
- Dusak, Katherine (1973): Futures Trading and Investor Returns: An Investigation of Commodity Market Risk Premiums, in: Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 6, S. 1387 – 1406.
- easyJet (2019): Resilient Focused Data Driven – Annual Report and Accounts 2019, <https://corporate.easyjet.com/~media/Files/E/Easyjet/pdf/investors/results-centre/2019/eas040-annual-report-2019-web.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Eisenhardt, Kathleen M. (1989): Agency Theory: An Assessment and Review, in: Academy of Management Review, Vol. 14, No. 1, S. 57 – 74.
- Ellis, Paul D. (2010): The Essential Guide to Effect Sizes: Statistical Power, Meta-Analysis, and the Interpretation of Research Results, Cambridge, Cambridge University Press.
- Embrechts, Paul; Frey, Rüdiger; McNeil, Alexander (2005): Quantitative risk management: Concepts, techniques and tools, Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Ernst & Young (2020): Derivatives and hedging (before the adoption of ASU 2017-12, Targeted Improvements to Accounting for Hedging Activities), in: Financial Reporting Developments – A comprehensive Guide, Revised September 2020, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_us/topics/assurance/accountinglink/ey-frdbb0977-09-24-2020.pdf?download (Stand 26.01.2021).

- Europäische Kommission (2019): Taxes in the field of aviation and their impact: Final report, European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Directorate Aviation, Delft, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0b1c6cdd-88d3-11e9-9369-01aa75ed71a1> (Stand 10.07.2022).
- Fabozzi, Frank J. (2010): Bond Markets, Analysis and Strategies, 7. Aufl., Boston, Pearson Prentice Hall.
- Fama, Eugene F. (1965): The Behavior of Stock-Market Prices, in: The Journal of Business, Vol. 38, No. 1, S. 34 – 105.
- Faulkender, Michael (2005): Hedging or Market Timing? Selecting the Interest Rate Exposure of Corporate Debt, in: The Journal of Finance, Vol. 60, No. 2, S. 931 – 962.
- Feder, Gershorn; Just, Richard E.; Schmitz, Andrew (1980): Futures Markets and the Theory of the Firm Under Price Uncertainty, in: The Quarterly Journal of Economics, Vol. 94, Issue 2, S. 317 – 328.
- Fox, John; Long, J. Scott (Hrsg.) (1990): Modern Methods of Data Analysis, Newbury Park, Sage Publications.
- Frestad, Dennis (2010): Convex costs and the hedging paradox, in: Journal of Corporate Finance, Vol. 16, Issue 2, S. 236 – 242.
- Frestad, Dennis (2018): Managing earnings risk under SFAS 133/IAS 39: the case of cash flow hedges, in: Review of Quantitative Finance and Accounting, Vol. 51, S. 159 – 197.
- Froot, Kenneth A.; Scharfstein, David S.; Stein, Jeremy C. (1993): Risk Management: Coordinating Corporate Investment and Financing Policies, in: The Journal of Finance, Vol. 48, No. 5, S. 1629 – 1658.
- Fusai, G.; Tagliani, A. (2002): An Accurate Valuation of Asian Options Using Moments, in: International Journal of Theoretical and Applied Finance, Vol. 5, No. 2, S. 147 – 169.
- Gay, Gerald D.; Nam, Jouahn (1998): The Underinvestment Problem and Corporate Derivatives Use, in: Financial Management, Vol. 27, No. 4, S. 53 – 69.
- Géczy, Christopher; Minton, Bernadette A.; Schrand, Catherine (1997): Why Firms Use Currency Derivatives, in: The Journal of Finance, Vol. 52, No. 4, S. 1323 – 1354.
- Géczy, Christopher C.; Minton, Bernadette A.; Schrand, Catherine M. (2007): Taking a View: Corporate Speculation, Governance, and Compensation, in: The Journal of Finance, Vol. 62, No. 5, S. 2405 – 2444.

- Georgii, Hans-Otto (2015): *Stochastik: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik*, 5. Aufl., Berlin/Boston, De Gruyter.
- Geyer-Klingeberg, Jerome; Hang, Markus; Rathgeber, Andreas W.; Stöckl, Stefan; Walter, Matthias (2018): What do we really know about corporate hedging? A meta-analytical study, in: *Business Research*, Vol. 11, S. 1 – 31.
- Glaum, Martin (2002): The Determinants of Selective Exchange Risk Management – Evidence from German Non-Financial Corporations, in: *Journal of Applied Corporate Finance*, Vol. 14, No. 4, S. 108 – 121.
- Glaum, Martin; Klöcker, André (2011): Hedge accounting and its influence on financial hedging: when the tail wags the dog, in: *Accounting and Business Research*, Vol. 41, No. 5, S. 459 – 489.
- Graham, David R.; Kaplan, Daniel P.; Sibley, David S. (1983): Efficiency and competition in the airline industry, in: *The Bell Journal of Economics*, Vol. 14, No. 1, S. 118 – 138.
- Graham, John R.; Rogers, Daniel A. (2002): Do Firms Hedge in Response to Tax Incentives?, in: *The Journal of Finance*, Vol. 57, No. 2, S. 815 – 839.
- Guay, Wayne; Kothari, S. P. (2003): How much do firms hedge with derivatives?, in: *Journal of Financial Economics*, Vol. 70, S. 423 – 461.
- Hackl, Peter (2013): *Einführung in die Ökonometrie*, 2. Aufl., München, Pearson Deutschland GmbH.
- Haug, Espen Gaarder (2007): *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*, 2. Aufl., New York, McGraw Hill.
- Haushalter, David G. (2000): Financing Policy, Basis Risk, and Corporate Hedging: Evidence from Oil and Gas Producers, in: *The Journal of Finance*, Vol. 55, No. 1, S. 107 – 152.
- Hawaiian Airlines (2019): Annual Report 2019, <https://s3.amazonaws.com/cms.ipress-room.com/249/files/20203/HA+Annual+Report+2019.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Henze, Norbert (2010): *Stochastik für Einsteiger: Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls*, 8. Aufl., Wiesbaden, Vieweg + Teubner.
- Hillier, Frederick S.; Liebermann, Gerald J. (1997): *Operations Research: Einführung*, 5. Aufl., München, Oldenbourg Verlag.
- Holthausen, Duncan M. (1979): Hedging and the Competitive Firm under Price Uncertainty, in: *The American Economic Review*, Vol. 69, No. 5, S. 989 – 995.

- Hull, John C. (2006): Options, Futures, and Other Derivatives, 6. Aufl., Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- IAG (2019): Leading Sustainable Aviation – Annual Report and Accounts 2019, <https://www.iairgroup.com/~media/Files/I/IAG/documents/IAG%20Annual%20report%20and%20accounts%202019.pdf> (Stand 10.07.2022).
- IAG (2020a): Managing the Crisis, Transforming our Business, Shaping our Future – Annual Report and Accounts 2020, <https://www.iairgroup.com/~media/Files/I/IAG/annual-reports/iag-annual-reports/en/iag-annual-report-and-accounts-2020.pdf> (Stand 10.07.2022).
- IAG (2020b): IAG results presentation – Full Year 2019, Unternehmenspräsentation vom 28.02.2020, https://www.iairgroup.com/~media/Files/I/IAG/presentation-and-webcasts/en/iag/iag-2019/4Q19%20Results%20presentation_FINAL.pdf (Stand 10.07.2022).
- IATA (2020): Standard Into-Plane Fueling Service Levels and Safety: IFTP Standard Fueling Procedures, https://www.iata.org/contentassets/828efe1a6a2a487aaca8fe7642f0c72/iftp-standard-fueling-procedures_service-levels-and-safety-v1.00.pdf (Stand 19.09.2020).
- IATA (2021): Industry Statistics, Fact Sheet, October 2021, <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/industry-statistics/> (Stand 18.06.2022).
- International Financial Reporting Standards (IFRS) 2019 (2019): Deutsch-Englische Textausgabe der von der EU gebilligten Standards, 13. Aufl., Weinheim, Wiley.
- Jensen, Michael C.; Meckling, William H. (1976): Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure, in: Journal of Financial Economics, Vol. 3, S. 305 – 360.
- jetBlue Airways (2019): Annual Report 2019, <http://mediaroom.jetblue.com/~media/Files/J/Jetblue-IR-V2/Annual-Reports/jblu015-ar-2019-10k-web.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Jin, Yanbo; Jorion, Philippe (2006): Firm Value and Hedging: Evidence from U.S. Oil and Gas Producers, in: The Journal of Finance, Vol. 61, No. 2, S. 893 – 919.
- Ju, Nengjiu (2002): Pricing Asian and basket options via Taylor expansion, in: Journal of Computational Finance, Vol. 5, No. 3, S. 79 – 103.
- Kaldor, Nicholas (1938): Speculation and Economic Stability, in: The Review of Economic Studies, Vol. 7, No. 1, S. 1 – 27.

- Kendall, Robin (1998): Risk Management: Unternehmensrisiken erkennen und bewältigen, Wiesbaden, Gabler.
- King, Alan J.; Wallace, Stein W. (2012): Modeling with stochastic programming, New York, Springer.
- Koopmans, Carl; Lieshout, Rogier (2016): Airline cost changes: To what extent are they passed through to the passenger?, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 53, S. 1 – 11.
- Korn, Olaf (2010): How Firms Should Hedge: An Extension, in: The Journal of Futures Markets, Vol. 30, No. 9, S. 834 – 845.
- Lapan, Harvey; Moschini, Giancarlo; Hanson, Steven D. (1991): Production, Hedging, and Speculative Decisions with Options and Futures Markets, in: American Journal of Agricultural Economics, Vol. 73, Issue 1, S. 66 – 74.
- Latz, Jochen (2008): Entschwefelung von Mitteldestillaten für die Anwendung in mobilen Brennstoffzellen-Systemen, in: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Band/Vol. 14 (zugleich Dissertation RWTH Aachen 2008).
- Leland, Hayne E. (1998): Agency Costs, Risk Management, and Capital Structure, in: The Journal of Finance, Vol. 53, No. 4, S. 1213 – 1243.
- Lim, Siew Hoon; Hong, Yongtao (2014): Fuel hedging and airline operating costs, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 36, S. 33 – 40.
- Lim, Siew Hoon; Turner, Peter A. (2016): Airline Fuel Hedging: Do Hedge Horizon and Contract Maturity Matter?, in: Journal of the Transportation Research Forum, Vol. 55, No. 1, S. 29 – 50.
- Lins, Karl V.; Servaes, Henri; Tamayo, Ane (2011): Does Fair Value Reporting Affect Risk Management? International Survey Evidence, in: Financial Management, Vol. 40, Issue 3, S. 525 – 551.
- Lorenz, Daniela; Kruschwitz, Lutz; Löffler, Andreas (2016): Are costs of capital necessarily constant over time and across states of nature? Some remarks on the debate on ‘WACC is not quite right’, in: The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 60, S. 81 – 85.
- Lufthansa Group (2007): Upgrade to Industry Leadership: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2007 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2008): Unsere Stärken im Detail: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2008 (deutsche Fassung), Köln.

- Lufthansa Group (2009): Zum Einsteigen bereit: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2009 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2010): Weitblick: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2010 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2011): Für eine sichere Reise: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2011 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2012): Gemeinsam Zukunft gestalten: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2012 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2013): Konzentriert auf Kurs: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2013 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2014): Lufthansa – Erste Wahl: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2014 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2015): Konsequenz Zukunft sichern: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2015 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2016): Kein Titel, Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2016 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2017): Kein Titel, Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2017 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2018): Striving for excellence: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2018 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2019): Nachhaltig Wert schaffen: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2019 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2020): Transforming the way we connect people, cultures and economies: Deutsche Lufthansa AG Geschäftsbericht 2020 (deutsche Fassung), Köln.
- Lufthansa Group (2021): Nachhaltigkeit 2021 - Factsheet (deutsche Fassung), <https://www.lufthansagroup.com/media/downloads/de/verantwortung/LH-Factsheet-Nachhaltigkeit-2021.pdf> (Stand 06.11.2022).
- MacKay, Peter; Moeller, Sara B. (2007): The Value of Corporate Risk Management, in: The Journal of Finance, Vol. 62, No. 3, S. 1379 – 1419.
- Markowitz, Harry (1952): Portfolio Selection, in: The Journal of Finance, Vol. 7, No. 1, S. 77 – 91.

- Maugeri, Leonardo (2006): *The age of oil: The mythology, history, and future of the world's most controversial resource*, Westport, Conn., Praeger.
- Mayers, David; Smith, Clifford W. Jr. (1982): On the Corporate Demand for Insurance, in: *The Journal of Business*, Vol. 55, No. 2, S. 281 – 296.
- Menge, Hermann (1963): *Langenscheidts Taschenwörterbuch der lateinischen und deutschen Sprache – zweiter Teil: Deutsch-Lateinisch*, Neubearbeitung 1963, Berlin und München, Langenscheidt.
- Merkert, Rico; Swidan, Hassan (2019): Flying with(out) a safety net: Financial hedging in the airline industry, in: *Transportation Research Part E*, Vol. 127, S. 206 – 219.
- Meyer, Jack; Robison, Lindon J. (1988): Hedging Under Output Price Randomness, in: *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 70, Issue 2, S. 268 – 272.
- Mian, Shehzad L. (1996): Evidence on Corporate Hedging Policy, in: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 31, No. 3, S. 419 – 439.
- Modigliani, Franco; Miller, Merton H. (1958): The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment, in: *The American Economic Review*, Vol. 48, No. 3, S. 261 – 297.
- Morrell, Peter; Swan, William (2006): Airline Jet Fuel Hedging: Theory and Practice, in: *Transport Reviews*, Vol. 26, No. 6, S. 713 – 730.
- Moschini, Giancarlo; Lapan, Harvey (1992): Hedging Price Risk with Options and Futures for the Competitive Firm with Production Flexibility, in: *International Economic Review*, Vol. 33, No. 3, S. 607 – 618.
- Moschini, Giancarlo; Lapan, Harvey (1995): The Hedging Role of Options and Futures under Joint Price, Basis, and Production Risk, in: *International Economic Review*, Vol. 36, No. 4, S. 1025 – 1049.
- Musselman, Kenneth J. (1998): Guidelines for Success, in: Jerry Banks (Hrsg.), *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, 1998, S. 721 – 743.
- Myers, Stewart C. (1974): Interactions of Corporate Financing and Investment Decisions – Implications for Capital Budgeting, in: *The Journal of Finance*, Vol. 29, No. 1, S. 1 – 25.
- Myers, Stewart C. (1977): Determinants of Corporate Borrowing, in: *Journal of Financial Economics*, Vol. 5, S. 147 – 175.

- Naldi, Maurizio; Flamini, Marta (2014): Correlation and concordance between the CR₄ index and the Herfindahl-Hirschman Index, in: SSRN Journal, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2502764> (10.07.2022).
- Nance, Deana R.; Smith, Clifford W. Jr.; Smithson, Charles W. (1993): On the Determinants of Corporate Hedging, in: The Journal of Finance, Vol. 48, No. 1, S. 267 – 284.
- Norwegian Air Shuttle (2018): Annual Report 2018, <https://www.norwegian.com/globalassets/ip/documents/about-us/company/investor-relations/reports-and-presentations/annual-reports/annual-report-norwegian-2018.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Norwegian Air Shuttle (2020): Investor Presentation January 2020, Unternehmenspräsentation Januar 2020, <https://www.norwegian.com/globalassets/ip/documents/about-us/company/investor-relations/reports-and-presentations/investor-presentations/norwegian---investor-presentation-january-2020.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Oum, Yumi; Oren, Shmuel (2009): VaR constrained hedging of fixed price load-following obligations in competitive electricity markets, in: Risk and Decision Analysis, Vol. 1, No. 1, S. 43 – 56.
- Oum, Yumi; Oren, Shmuel S. (2010): Optimal Static Hedging of Volumetric Risk in a Competitive Wholesale Electricity Market, in: Decision Analysis, Vol. 7, No. 1, S. 107 – 122.
- Oum, Yumi; Oren, Shmuel; Deng, Shijie (2006): Hedging Quantity Risks with Standard Power Options in a Competitive Wholesale Electricity Market, in: Naval Research Logistics, Vol. 53, S. 697 – 712.
- PWC (2018): Hedge Accounting: Contrasting US GAAP and IFRS, in: In depth – A look at current financial reporting Issues, No. US2018-12, https://www.pwc.com/hu/en/szolgalatasok/konyvvizsgalat/treasury_advisory/publications/hedge_accounting_contrasting_us_gaap_and_ifrs.pdf (Stand 26.01.2021).
- PWC (2020): IFRS and US GAAP: similarities and differences, Partially updated November 2020, <https://www.pwc.com/us/en/cfodirect/assets/pdf/accounting-guides/pwc-ifrs-us-gaap-similarities-and-differences.pdf> (Stand 26.01.2021).
- Rampini, Adriano A.; Sufi, Amir; Viswanathan, S. (2014): Dynamic risk management, in: Journal of Financial Economics, Vol. 111, Issue 2, S. 271 – 296.
- Rao, Vadhindran K. (1999): Fuel price risk management using futures, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 5, Issue 1, S. 39 – 44.
- Rencher, Alvin C.; Schaalje, G. Bruce (2008): Linear Models in Statistics, 2. Aufl., Hoboken, New Jersey, Wiley.

- Rinne, Horst (2003): Taschenbuch der Statistik, 3. Aufl., Frankfurt am Main, Verlag Harri Deutsch.
- Rose, Nancy L. (Hrsg.) (2014): Economic Regulation and its Reform: What Have We Learned?, Chicago, The University of Chicago Press.
- Ross, Stephen A. (1976): The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing, in: Journal of Economic Theory, Vol. 13, S. 341 – 360.
- Roskopf, Michael (2013): Modell zur Planung und Bewertung von Airline-Flotten nach ökonomischen und ökologischen Kriterien, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Forschungsbericht 2013-31 (zugleich Dissertation Technische Universität Hamburg 2013).
- Roskopf, Michael; Lehner, Stephan; Gollnick, Volker (2014): Economic-environmental trade-offs in long-term airline fleet planning, in: Journal of Air Transport Management, Vol 34, S. 109 – 115.
- Roy, Debasish; Rao, Visweswara G. (2017): Stochastic Dynamics, Filtering and Optimization, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ryanair (2019a): Kein Titel, Ryanair Geschäftsbericht 2019 (Geschäftsjahr: 01.04.2018 – 31.03.2019), <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2019/07/Ryanair-2019-Annual-Report.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Ryanair (2019b): Half-Year Results Nov 2019, Unternehmenspräsentation November 2019, <https://investor.ryanair.com/wp-content/uploads/2019/11/Ryanair-H1-FY2020-Powerpoint.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Samuelson, Paul (1965): Rational Theory of Warrant Pricing, in: Industrial Management Review, Vol. 6, No. 2, S. 13 – 39.
- Samuelson, Paul; Merton, Robert C. (1969): A Complete Model of Warrant Pricing that Maximizes Utility, in: Industrial Management Review, Vol. 10, No. 2, S. 17 – 46.
- Sandmo, Agnar (1971): On the Theory of the Competitive Firm Under Price Uncertainty, in: The American Economic Review, Vol. 61, No. 1, S. 65 – 73.
- Santos, R. G.; Loh, W.; Bannwart, A. C.; Trevisan, O.V. (2014): An Overview of Heavy Oil Properties and its Recovery and Transportation Methods, in: Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 31, No. 3, S. 571 – 590.

- SAS Scandinavian Airlines (2019): SAS Annual and Sustainability Report Fiscal Year 2019: Travelers for the Future, https://www.sasgroup.net/files/documents/Corporate_governance/annual-reports/sas-sas-annual-and-sustainability-report-fiscal-year-2019-200130.pdf (Stand 10.07.2022).
- SAS Scandinavian Airlines (2020): SAS Q1 2019/2020, Unternehmenspräsentation vom 26.02.2020, <https://www.sasgroup.net/files/documents/financial-reports/Q120-Presentation-Final.pdf> (Stand 10.07.2022).
- Schrand, Catherine; Unal, Haluk (1998): Hedging and Coordinated Risk Management: Evidence from Thrift Conversions, in: *The Journal of Finance*, Vol. 53, No. 3, S. 979 – 1013.
- Scotti, Davide; Volta, Nicola (2018): Price asymmetries in European airfares, in *Economics of Transportation*, Vol. 14, S. 42 – 52.
- SEC Regulation S-X Rule 5-03 (2018): Securities and Exchange Commission 17 CFR Ch. II (4–1–01 Edition) Part 210 - §210.5-03, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2001-title17-vol2/pdf/CFR-2001-title17-vol2-sec210-5-03.pdf> (Stand 13.03.2021).
- Securities Act of 1933 (2018): Securities Act of 1933 as Amended Through P.L. 115-174, Enacted May 24, 2018, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-1884/pdf/COMPS-1884.pdf> (Stand 23.01.2021).
- Sharpe, William F. (1964): Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk, in: *The Journal of Finance*, Vol. 19, No. 3, S. 425 – 442.
- Shreve, Steven E. (2004): *Stochastic Calculus for Finance I: The Binomial Asset Pricing Model*, New York, Springer.
- Shreve, Steven E. (2008): *Stochastic Calculus for Finance II: Continuous-Time Models*, 8. Aufl., New York, Springer.
- Simkins, Betty; Ramirez, Steven A. (2008): Enterprise-Wide Risk Management and Corporate Governance, in: *Loyola University Chicago Law Journal*, Vol. 39, S. 571 – 594.
- Simmons, Garland (2015): Does Hedging Reduce Risk? Analysis of Large Domestic Airlines, in: *Journal of Business Strategies*, Vol. 32, No. 1, S. 1 – 20.
- Smith, Clifford W.; Stulz, René M. (1985): The Determinants of Firms' Hedging Policies, in: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 20, No. 4, S. 391 – 405.
- Southwest Airlines (2019): Southwest Airlines Co.: 2019 Annual Report to Shareholders, https://www.southwestairlinesinvestorrelations.com/~media/Files/S/Southwest-IR/LUV_2019_Annual%20Report.pdf (Stand 10.07.2022).

- Stulz, René M. (1996): Rethinking Risk Management, in: *Journal of Applied Corporate Finance*, Vol. 9, No. 3, S. 8 – 24.
- Stulz, René M. (2003): *Risk Management & Derivatives*, Mason, Ohio, South-Western CENGAGE Learning.
- Sullivan, Edward J.; Weithers, Timothy M. (1991): Louis Bachelier: The Father of Modern Option Pricing Theory, in: *The Journal of Economic Education*, Vol. 22, No. 2, S. 165 – 171.
- Swidan, Hassan; Merkert, Rico (2019): The relative effect of operational hedging on airline operating costs, in: *Transport Policy*, Vol. 80, S. 70 – 77.
- Swidan, Hassan; Merkert, Rico; Kwon, Oh Kang (2019): Designing optimal jet fuel hedging strategies for airlines: Why hedging will not always reduce risk exposure, in: *Transportation Research Part A*, Vol. 130, S. 20 – 36.
- The Bank for International Settlements (2023): *International Derivatives Statistics*, Daten zu OTC-Derivaten: <https://www.bis.org/statistics/derstats.htm?m=6%7C32%7C71>, Daten zu börsengehandelten Derivaten: <https://www.bis.org/statistics/extderiv.htm?m=6%7C32%7C616> (Stand 18.02.2023).
- Thomopoulos, Nick T.; Johnson, Arvid C. (2004): Some Measures on the Standard Bivariate Lognormal Distribution, in: *Decision Sciences Institute Proceedings*, Boston, November 2004.
- Tietze, Jürgen (2011): *Einführung in die angewandte Wirtschaftsmathematik: Das praxisnahe Lehrbuch – bewährt durch seine brillante Darstellung*, 16. Aufl., Wiesbaden, Vieweg + Teubner.
- Tobin, James (1958): Liquidity Preference as Behavior Towards Risk, in: *The Review of Economic Studies*, Vol. 25, Issue 2, S. 65 – 86.
- Treanor, Stephen D.; Rogers, Daniel A.; Carter, David A.; Simkins, Betty J. (2014): Exposure, hedging, and value: New Evidence from the U.S. airline industry, in: *International Review of Financial Analysis*, Vol. 34, S. 200 – 211.
- Tufano, Peter (1996): Who Manages Risk? An Empirical Examination of Risk Management Practices in the Gold Mining Industry, in: *The Journal of Finance*, Vol. 51, No. 4, S. 1097 – 1137.
- Turkish Airlines (2018): *New Future: New Styles in Success and All Innovations*, Annual Report 2018, https://investor.turkishairlines.com/documents/ThyInvestorRelations/THY__FRAE__2018_ENG_v2.pdf (Stand 10.07.2022).

- Turkish Airlines (2019): 4Q'19 Results Summary, Unternehmenspräsentation, https://investor.turkishairlines.com/documents/ThyInvestorRelations/IR_PRESENTATION_2019.pdf (Stand 10.07.2022).
- Turnbull, Stuart M.; Wakeman, Lee MacDonald (1991): A Quick Algorithm for Pricing European Average Options, in: *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 26, No. 3, S. 377 – 389.
- Turner, Peter A.; Lim, Siew Hoon (2015): Hedging jet fuel price risk: The case of U.S. passenger airlines, in: *Journal of Air Transport Management*, Vol. 44-45, S. 54 – 64.
- United Airlines (2014): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2014, <https://ir.united.com/static-files/3a828b44-bf5d-44b8-8fd8-b09a2eccd58d> (Stand 10.07.2022).
- United Airlines (2015): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2015, <https://ir.united.com/static-files/19471ff2-d3fe-49ef-94b6-3e2746fc0f53> (Stand 10.07.2022).
- United Airlines (2016): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2016, <https://ir.united.com/static-files/f8f2f775-021e-44a0-aa6d-02ec9626d257> (Stand 10.07.2022).
- United Airlines (2019): Form 10-K for the Fiscal Year Ended December 31, 2019, <https://ir.united.com/static-files/d4964ef6-f8f1-44ef-a230-cfd63faf9655> (Stand 10.07.2022).
- Varian, Hal R. (2007): *Grundzüge der Mikroökonomik*, 7. Aufl., München, Oldenbourg Verlag.
- Verordnung (EG) Nr. 1606/2002 (2002): Verordnung (EG) Nr. 1606/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19 Juli 2002 betreffend die Anwendung internationaler Rechnungslegungsstandards, in: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*.
- Von Neumann, John; Morgenstern, Oskar (1947): *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, Princeton University Press.
- Wadud, Zia (2015): Imperfect reversibility of air transport demand: Effects of air fare, fuel prices and price transmission, in: *Transportation Research Part A*, Vol. 72, S. 16 – 26.
- Wizz Air (2019): Annual Report and Accounts 2019, [https://wizzair.com/static/docs/default-source/downloadable-documents/corporate-website-transfer-documents/annual-reports/ar-f19-final-\(web-indexed\)_6afd66af.pdf](https://wizzair.com/static/docs/default-source/downloadable-documents/corporate-website-transfer-documents/annual-reports/ar-f19-final-(web-indexed)_6afd66af.pdf) (Stand 10.07.2022).

- Wizz Air (2020): Q3 F20: Results for the three months to DEC '19, Unternehmenspräsentation, https://wizzair.com/static/docs/default-source/downloadable-documents/corporate-website-transfer-documents/results-and-presentations/q3-f20-presentation_029a05dd.pdf (Stand 10.07.2022).
- Wöhe, Günter; Döring, Ulrich; Brösel, Gerrit (2016): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 26. Aufl., München, Vahlen.
- Wolter, Alexander H.; Ehlers, Thorsten; Lütjens, Klaus; Gollnick, Volker (2021): Commodity price pass-through in the US airline industry and the hidden perks of consolidation, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 95, S. 1 – 16.
- Wong, Kit Pong (2003a): Currency hedging with options and futures, in: European Economic Review, Vol. 47, S. 833 – 839.
- Wong, Kit Pong (2003b): Export Flexibility and Currency Hedging, in: International Economic Review, Vol. 44, No. 4, S. 1295 – 1312.
- Wong, Kit Pong (2012): Production and Hedging under State-Dependent Preferences, in: The Journal of Futures Markets, Vol. 32, No. 10, S. 945 – 963.
- Wooldridge, Jeffrey M. (2009): Introductory econometrics: A Modern Approach, 4. Aufl., International Student Edition, Mason, Ohio, South-Western CENGAGE Learning.
- Zhao, Jia; Tetzloff, Isaac J.; Tyagi, Ankit; Dikshit, Prakash; Mane, Muharrem; Agusdinata, Datu; Crossley, William A.; DeLaurentis, Daniel (2010): Assessing New Aircraft and Technology Impacts on Fleet-Wide Environmental Metrics including Future Scenarios, 48th Aerospace Sciences Meeting, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Orlando.

