

Projektbericht

**Effiziente Kabinenarchitekturen
EFFKAB-DLR**

**Schlussbericht zum Förderprojekt
LUFO V2-790-119 / FKZ: 20K1503D**

Dirk Stelling (ME – PSY HH)

Holger Duda / Dominik Niedermeier (FT – FDS BS)

Daniel Krause / Tobias Wille (FA – STM BS)

Klaus Lütjens (LTI – LTB HA)



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Dokumenteigenschaften

Titel	Projekt EFFKAB – DLR Effiziente Kabinenarchitekturen
Betreff	Schlussbericht EFFKAB-DLR für LUFO V2-790-119 / FKZ: 20K1503D
Institute	ME – PSY HH / FT – FDS BS / FA – STM BS / LTI – LTB HA
Erstellt von	Dirk Stelling (ME – PSY HH) Holger Duda / Dominik Niedermeier (FT – FDS BS) Daniel Krause / Tobias Wille (FA – STM BS) Klaus Lütjens (LTI – LTB HA)
Beteiligte	Fr. Schumann-Kemp
Datum	09.06.2020
Version	1.0
Dateipfad	G:\CPT\Projekte\EFFKAB-DLR\BMWi-20K1503D.doc

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung	4
1.1. Aufgabenstellung.....	4
1.2. Durchführungsvoraussetzungen	4
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4. Anknüpfung am wissenschaftlichen und technischen Stand	5
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
2. Eingehende Darstellung	8
2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses	8
2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	12
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	12
2.4. Voraussichtlicher Nutzen	14
2.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	16
2.6. Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	17

1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Das DLR Vorhaben „Effiziente Kabinenarchitekturen“ (EFFKAB-DLR) ist Teil des von der Airbus Operations GmbH geführte Verbundvorhabens (EFFKAB) und fokussiert auf die Erstellung, Optimierung und Validierung von innovativen Technologien im Bereich der Flugzeugkabine. Es bildet den übergeordneten technologisch-wissenschaftlichen Rahmen ausgewählter strategischer Forschungsthemen aus dem Bereich der Kabine und Frachtsysteme, um die nach wie vor steigende Nachfrage nach Lufttransportleistung unter ökonomischen und ökologischen Ansprüchen bedienen zu können.

Gemeinsam mit den ausgewählten Verbundpartnern und Unterauftragnehmern wurden folgende innovative Teilprojekte (TP) mit DLR Beteiligung erarbeitet:

TP1: Optimierte Kabinenarchitekturen (aufgenommen nach Aufstockung Mai 2016)

TP2: Integrierte Kabinenkomponenten / Erweiterte Außensicht mit aktiver Medienoberfläche

TP3: Fertigungsoptimierte Kabinenwerkstoffe / Hybride Kabinen Verbund-Materialien

1.2. Durchführungsvoraussetzungen

Alle beteiligten Institute des DLR verfügten über die fachlichen und personellen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens. Für das TP2 war die Fertigstellung eines eigenen Kabinenmoduls durch das DLR eine Voraussetzung, um die Auswirkung künstlicher Außensicht auf den Passagier zu erproben.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt beruht auf den im Jahre 2015 eingereichten „Förderantrag im Rahmen der Luftfahrtforschung und –technologie, EFFKAB – DLR“ und den „Förderantrag im Rahmen der Luftfahrtforschung und –technologie, EFFKAB – DLR, Aufstockung Mai 2016“. In diesen Anträgen sind Projektziele, Projektplanung, Hauptarbeitspakete, Zeitverlauf und eine Ressourcenplanung für die einzelnen Teilprojekte beschrieben.

Auf arbeitsebene gab es regelmäßige Treffen mit den Kooperationspartnern, um die einzelnen Arbeitspakete abzugleichen. Zusätzlich gab es jährliche Projektmeetings an denen dem Zuwendungsgeber der Stand des Projekts berichtet wurde. In halbjährlichen Zwischenberichten wurde über den Stand und Ablauf des Projekts berichtet.

Wie aus den Zwischenberichten zu entnehmen ist, gab es einzelne Verzögerungen im Projekt. So verzögerte sich die Fertigstellung der Simulatorkabine im TP2, welche wiederum eine Voraussetzung für die Durchführung von Probandenversuchen war. Sämtliche Verzögerungen konnten jedoch aufgeholt werden, so dass die Arbeiten zum vorgesehenen Projektende abgeschlossen werden konnten. Die Arbeiten für das TP1 wurden bereits im Wesentlichen im Jahre 2016 durchgeführt. Eine Aufstockung und eine Verlängerung der Projektlaufzeit bis Ende 2019 ermöglichten es, dass im TP3 zusätzliche Arbeiten durchgeführt werden konnten.

1.4. Anknüpfung am wissenschaftlichen und technischen Stand

Zum TP1: Flugzeugkabinen sind derzeit relativ starr in ihrer Raum- und Sitzaufteilung. Die wenigen Möglichkeiten zur Flug-bezogenen Anpassung bestehen im Freilassen von Mittelsitzen und der Verschiebung eines Vorhangs zur Abtrennung der Business von der Economy Class. Damit können Fluggesellschaften auf Kurz- und Mittelstreckenflügen das Sitz-Verhältnis zwischen Business und Economy-Class sowie - durch das Freilassen der Mittelsitze in der Business-Class -die Gesamtzahl der verkauften Sitze pro Flug variieren.

Die relativ starre Sitzplatzkapazität führt bei gleichzeitig volatiler Passagier-Nachfrage dazu, dass Flugzeuge, wie auch die meisten anderen Verkehrsmittel, fast nie vollbesetzt sind. Dies kann dazu führen, dass unterausgelastete Flüge unprofitabel und unökologisch durchgeführt werden und die Passagiere gleichzeitig nicht vom ungenutzten Platz zur Erhöhung Ihres Komforts profitieren können.

Die Fluggesellschaften versuchen der relativ starren Sitzplatzkapazität durch ausgefeilte softwarebasierte Revenue-Management-Systeme zu begegnen. Die Fluggesellschaften steuern damit im gesamten mehrmonatigen Buchungszeitraum über teilweise minütliche Änderungen der Ticketpreise die Passagier-Nachfrage. Nicht zuletzt durch den Einsatz von Revenue-Management Systemen ist der Sitzladefaktor im weltweiten Luftverkehr in den letzten Jahrzehnten gestiegen und erreichte im Januar 2016 laut des internationalen Airline-Verbandes IATA den Rekordwert von 78,8% und ist in den Folgejahren noch weiter auf über 80% gestiegen. Selbst diese historisch hohen Werte bedeuten aber immer noch, dass jeder fünfte Sitz weltweit leer geflogen wird.

Literatur:

IATA, Press Release No. 11, Strong Passenger Demand Continues into 2016, 08.03.2016, <http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2016-03-08-01.aspx>, abgerufen am 26.04.2016.

Cindy Hugon-Duprat, John F. O'Connell, The rationale for implementing a premium economy class in the long haul markets – Evidence from the transatlantic market, *Journal of Air Transport Management*, Volume 47, August 2015, Pages 11-19

Andreas Wittmer, Edward Rowley, Customer value of purchasable supplementary services: The case of a European full network carrier's economy class, *Journal of Air Transport Management*, Volume 34, January 2014, Pages 17-23

Kannapha Amaruchkul, Patipan Sae-Lim, Airline overbooking models with misspecification, *Journal of Air Transport Management*, Volume 17, Issue 2, March 2011, Pages 143-147

Pierre-Olivier Lepage, Performance of Multiple Cabin Optimization Methods in Airline Revenue Management, Master Thesis, 2013, Massachusetts Institute of Technology

Zum TP2: Zum Bereich des Komforterlebens bei künstlichen Außensichtsystemen befindet sich die Forschung noch weiterhin in den Anfängen. Es gibt zwar einzelne Befragungen zu fensterlosen Flugzeugkabinen und Hinweise auf die Auswirkungen auf das Wohlbefinden bei Latenzzeiten visuell dargebotener Umweltinformationen, die systematische Erforschung unter echten Flugbewegungen ist jedoch weiterhin wissenschaftliche Neuland. Um den wissenschaftlichen und technischen Kenntnisstand zu erfassen wurden zahlreiche unterschiedliche Literaturrecherche Programme verwendet (CITAVI, PSYINDEX, DOAJ, Google Scholar usw.). In einer ersten Publikation (Stelling et al., 2020a) sind 32 Literaturquellen, in einer zweiten Publikation (Stelling et al., 2020b) sind 47 Literaturquellen angegeben.

Zum TP3: Stand der Technik in der Berechnung von langfaserverstärkten Verbundwerkstoffen ist eine homogenisierte Betrachtungsweise, bei der sowohl Faserorientierung wie auch Faservolumengehalte „verschmiert“ betrachtet werden. Ausgangspunkt sind experimentelle Versuche an Flachproben zur Charakterisierung der globalen Steifigkeiten und Festigkeiten. Die Schwächen dieses Ansatzes zeigen sich bei der Simulation komplexer Bauteile, bei denen die lokale Fasermorphologie stark von der nominell angenommen abweicht. Der Schwerpunkt der Projektarbeiten lag in der Untersuchung und Bewertung dieses Einflusses.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt EFFKAB wurde als Verbundvorhaben durchgeführt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt kooperierte mit folgenden Partnern im Vorhaben:

1. Airbus Operations GmbH, Kreetzslag 10, 21129 Hamburg (Federführer)
2. 3D ICOM GmbH & Co. KG, Georg-Heyken-Straße 6, 21147 Hamburg
3. Airbus Defence and Space GmbH, Airbus Group Innovations, Germany, Willy-Messerschmitt-Straße 1, 85521 Ottobrunn
4. Diehl Aerospace GmbH, Alte Nußdorfer Str. 23, 88662 Überlingen
5. Faserinstitut Bremen e. V., Am Biologischen Garten 2, 28359 Bremen
6. Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., für ihr Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- u. Plasmatechnik FEP, Winterbergstraße 28, 01277 Dresden
7. Diehl Aircabin GmbH, Am Flugplatz, 88471 Laupheim (assoziierten Partner)

Die Zusammenarbeit wurde in einer gesonderten Kooperationsvereinbarung zur Zusammenarbeit 2015 geregelt. Im Rahmen des TP1 wurden darüber hinaus Produkt- und Revenue-Management Experten der Airline Berlin und der Deutschen Lufthansa befragt, um die Akzeptanz und praktische Anforderungen für flexible Kabinenelemente aus Airline-Sicht zu ermitteln.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Als Förderpolitisches Ziel wurden die Bewertung der Akzeptanz und des Komforts für Passagiere bei Flugzeugkabinen mit künstlichen Außensichtsystemen (TP2), die Bewertung von hybriden Kabinen Verbundmaterialien (TP3) und die Ermittlung des betrieblichen Nutzens einer konfigurierbaren Kabine für eine Fluggesellschaft (TP1) definiert. Dieses förderpolitische Ziel konnte durch die Ergebnisse in den drei Teilprojekten erreicht werden.

Zum TP1: Im TP 1 wurden die Potentiale flexibler Kabinenelemente für ein Technologiekonzept zum Zusammenklappen von Sitzreihen und zur Erhöhung des Seat-Pitches bei den verbleibenden Sitzreihen in Gesprächen mit dem Projektpartner Airbus identifiziert.



Abbildung 1: Flexible Sitzreihen-Konfiguration (Recaro, 2017)

Es wurden zwei Excel-basierte Revenue-Management-Modelle aufgebaut, die zur Ermittlung der Anzahl freibleibender Sitze bei schwankender Passagier-Nachfrage und in Anwesenheit bestehender Airline-Prozesse dienen. Die durch entsprechendes Zusammenklappen von Sitzreihen entstehenden Sitzreihen mit erhöhtem Seat-Pitch können durch die Airline für die Erzielung von Zusatz Erlösen vermarktet werden. Entsprechende betriebliche Szenarien wurden in einem Interview mit einem Produktmanager von AirBerlin evaluiert. Ein weiteres Airline-Interview mit dem Revenue-Management von Lufthansa wurde geführt, um Erlöspotentiale und operative Randbedingungen des Einsatzes flexibler Sitzreihen zu ermitteln.

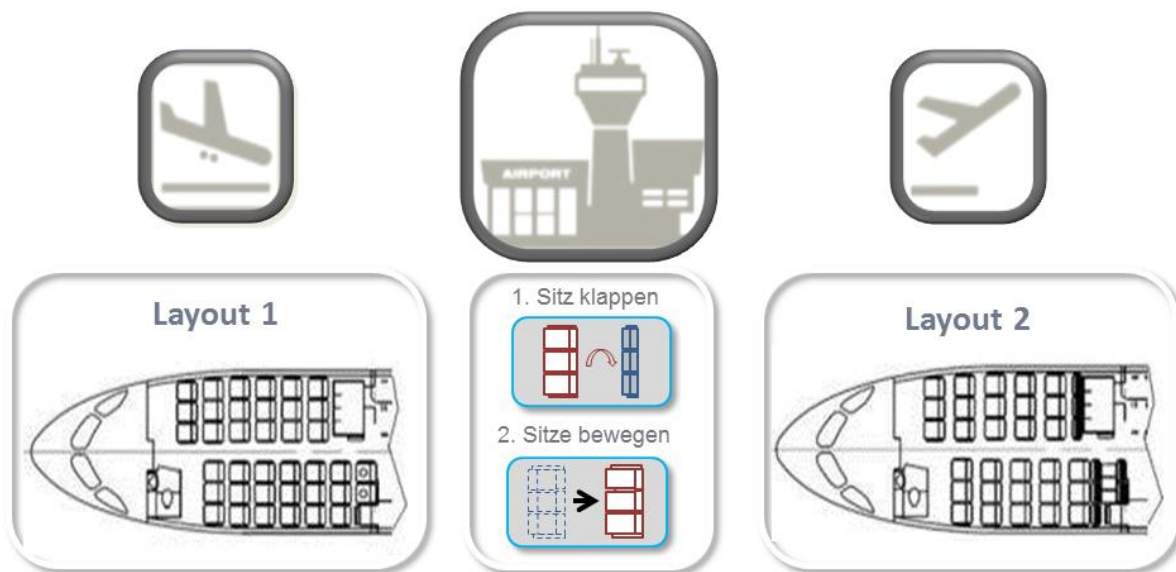


Abbildung 2: Prozessdarstellung für die Nutzung flexibler Sitzreihen (Airbus, 2017)

Zum TP2: Als technologisches Ziel für das TP2 wurde die Entwicklung von Methoden zur Bewertung der Akzeptanz von fensterlosen Kabinen mit künstlichen Sichtsystemen durch den Passagier definiert. Entsprechend der Aufstockung im Jahre 2016 sollten hierzu gesondert spezifische Passagiergruppen betrachtet werden. Hierzu sollte eigens eine Simulationsplattform entwickelt werden, welche sich für Akzeptanzuntersuchungen mit Probanden eignet. Die Verwendung der Zuwendung wurde erfolgte gemäß den vorher definierten Arbeitspaketen (AP).

AP1: Das AP1 beinhaltet die eigentliche Szenarienentwicklung. Hierzu wurde das Flugprofil für Probandenstudie und Psycho-physiologische Szenarien definiert und entwickelt. Zuwendungen aus den Jahren 2016 wurden hierfür verwendet. Für die Definition des Versuchsszenarios wurden unterschiedliche Szenarien unter der Teilnahme von Mitarbeitern der Luft- und Raumfahrtpsychologie und der Flugsimulation getestet. Die Zeitvorgabe für die maximale Szenariendauer wurde dabei aus der zeitliche Planung für einen Versuchsdurchlauf abgeleitet. So ergab sich eine maximale Szenariodauer von 20 min. Wichtig für die psychologischen Untersuchungen war die Aufteilung des Szenarios in unterschiedliche Flugabschnitte, um die Einflüsse der jeweiligen Flugphasen auf das Wohlbefinden der Passagiere besser abgrenzen zu können. Das Szenario wurde in die folgenden Abschnitte eingeteilt: Start, Steigflug, Kurvenflug, Turbulenz, Sinkflug und Anflug, Landung bis zum Stillstand. Alle für das Bewegungs- und Sichtsystem benötigten Flugparameter wurden aufgezeichnet, so dass in den späteren Versuchsdurchläufen immer das gleiche Szenario wiedergegeben werden konnte. Der aufgezeichnete Flugweg des Versuchsszenarios ist in Abbildung 3 dargestellt.

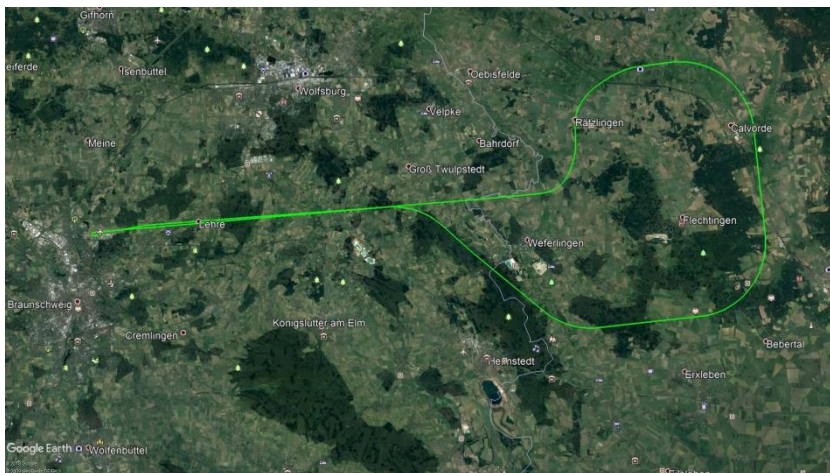


Abbildung 3: Flugweg des Versuchsszenarios für AP4

AP2: Das AP2 beinhaltete die Entwicklung Psycho-Physiologischer Messmethoden. Die Zuwendungen im Jahre 2016 und 2017 wurden dazu verwendet Fragebögen zu entwickeln, eine Datenerfassung bei Passagieren mittels Tablets zu programmieren, eine Gruppenmessung der Herzrate mittels Sensoren und Bluetooth – Übertragung zu entwickeln und einen Ethikantrag zur Durchführung der Flugversuche genehmigen zu lassen.

AP3: Das AP3 beinhaltete die Entwicklung der eigentlichen Experimentalplattform. Hierbei handelt es sich um eine Passagierkabine, welche im Air Vehicle Simulator (AVES) des DLR zum Einsatz kam. Die Zuwendungen in den Jahren 2016 bis 2019 wurden dazu verwendet die Anforderung der Simulatorkabine zu definieren, das Flugprofil zu definieren und die Kabine für die Experimentaldurchführung vorzubereiten. Im Rahmen des AP3 wurden die Verfahren zur Durchführung der Versuche in der Kabine definiert. Dies beinhaltete die technische Vorgehensweise zur Integration aufgezeichneter Flugdaten in den Simulator. Zusätzlich wurden Modelle für die Ansteuerung der Bewegungsplattform und der künstlichen Außensicht entwickelt, die den Realitätsgrad von Turbulenzeinflüssen deutlich erhöht haben. Die zuverlässige Nachbildung unterschiedlicher Latenzzeiten erfordert zunächst eine genaue Messung der ohne künstliche Verzögerung Simulatorlatenzen. Zu diesem Zweck wurde ein Verfahren zur Bestimmung der vorhandenen Latenzen zwischen der Bewegung des Simulators und der Außensicht entwickelt. Mit Hilfe der so bestimmten Latenzen konnten somit die für den Versuch definierten drei Latenzzeiten künstlich eingestellt werden. Die eingestellten Latenzen wurden mit oben genannten Verfahren zur Bestimmung der Latenzen vor der Versuchsdurchführung validiert. Weiterhin wurden die Merkmale in der Außensicht erweitert, so dass am Boden andere Flugzeuge oder Fahrzeuge zu sehen waren. Abbildung 5 zeigt die Passagierkabine bei der Durchführung eines Probelaufs.



Abbildung 5: Simulationskabine des DLR

AP4: Das AP4 beinhaltete die eigentliche Durchführung der Experimente. Durch eine Verzögerung bei der Herstellung des Kabinenmoduls konnte der ursprüngliche Termin der Datenerhebung im Juni 2018 nicht mehr gehalten werden. Die Datenerhebung verzögerte sich auf den November 2018. Die Zuwendungsmittel im Jahre 2018 und 2019 wurden verwendet, um Vorversuche durchzuführen, Probanden zu rekrutieren, die Studie mit 124 Probanden durchzuführen, die Daten auszuwerten und 2 Publikationen zu schreiben.

Zum TP3: Im TP3 ist das DLR in den zwei Arbeitspaketen AP1 und AP3 involviert. Das AP1 hatte den Namen „Konstruktion und Auslegung Referenzbauteil“. In diesem Arbeitspaket wurde die Anwendbarkeit der in AP3 entwickelten Simulations- und Auslegungsmethoden auf komplexe, langfaserverstärkte Bauteile geprüft und die Gewichtseinsparpotenziale im Designprozess evaluiert.

AP3: Das AP3 hatte den Namen „Entwicklung von Simulations- und Auslegungsmethoden“. Dieses Arbeitspaket war der Fokus der Projektarbeiten. Die zentrale Forschungsfragestellung war eine Methode zu entwickeln und zu bewerten, die in der Lage ist, die lokale Fasermorphologie in der Simulation komplexer Bauteile angemessen zu berücksichtigen. Die Erkenntnisse dieser Arbeiten sollten dann in eine vereinfachte Berechnungsmethode einfließen, die auch im Vorentwurf derartiger Strukturen zum Einsatz kommen kann.

2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 1. Kostenaufstellung des Projektlaufzeitraumes von 2016 bis 2019 aufgeschlüsselt nach Verwendung und beteiligten Instituten

Kostenart	3014246	3014247	3014248	3016596	Gesamt	
Zeitraum (01.01.2016 - 31.12.2019)	0813 - Material	1.376,16	4.953,70	0,00	0,00	6.329,86
	0837 - Personalkosten	223.435,13	271.373,95	210.369,58	75.861,94	781.040,60
	0838 - Reisekosten	637,17	1.574,83	1.448,82	3.060,54	6.721,36
	0847 - vorhabenspezifische Abschreibungen	3.956,73	0,00	0,00	0,00	3.956,73
	0850 - sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	15.779,61	8.484,88	0,00	0,00	24.264,49
	0856 - Kosten innerbetrieblicher Leistungen	0,00	6.610,80	55.121,20	0,00	61.732,00
	Summe	245.184,80	292.998,16	266.939,60	78.922,48	884.045,04

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zum TP1: Für dieses TP wurden begrenzte Mittel im Rahmen einer Aufstockung eingesetzt, um den betrieblichen Nutzen flexibler Kabinenelemente am Beispiel flexibler Sitzreihen zu untersuchen. Für die Untersuchung dieses konkreten Technologiekonzeptes waren die bewilligten Mittel für die Charakterisierung des Konzeptes, dessen Revenue-bezogene Modellierung im Airline-betrieblichen Kontext und zur Durchführung von Experten-Interviews angemessen und notwendig, da solche spezifischen Untersuchungen nicht durch die Grundfinanzierung des DLR abgedeckt sind.

Zum TP2: Auswirkungen von Latenzzeiten auf den Komfort von Passagieren lassen sich nur direkt empirisch prüfen. Wechselwirkungen von Persönlichkeitseigenschaften (z.B. Ängstlichkeit), Empfindsamkeit für Reisekrankheit und Merkmale der Flugsituation können nur durch ein stetiges Monitoring der Passagiere erforscht werden. Die Fertigstellung einer fullflight Kabinensimulationsanlage und die Herstellung einer entsprechend einsetzbaren Methodik zur Passagierbefragung während eines Fluges rechtfertigen die Angemessenheit der geleisteten Arbeit. Eine valide Untersuchung zur Auswirkungen der Latenzzeit erfordert zum einen eine möglichst reale Simulation der Flugzeugbewegung und der zugehörigen Außensicht während eines Passagierfluges und zum anderen die genaue Einstellung der vordefinierten Latenzwerte. Dies rechtfertigt sowohl die Arbeiten, die zur Vorbereitung des Szenarios (AP1) als auch die Arbeiten, die zur Vorbereitung der Experimentalplattform (AP3), durchgeführt wurden.

Entsprechend des Ziels des Projekts konnten Messungen von Latenzzeiten durchgeführt werden. Richtwerte konnten dem Industriepartner zur Verfügung gestellt werden und anschließend publiziert werden. Durch die Aufstockung wurde ermöglicht spezifische Passagiergruppen mit Reisekrankheit und Flugangst während des Fluges zu überwachen und Verlaufsprofile zu erstellen. Dieses ist von Nutzen für die Einführung von neuen Technologien und die Prävention und Behandlung von Komfortproblemen (motion sickness) während des Reisefluges.

Zum TP3: Langfaserverstärkte Kunststoffe vereinen die positiven Eigenschaften von kurzfaserverstärkten Kunststoffen (spritzgießbar, d.h. hoher Automatisierungsgrad in der Fertigung und kurze Prozesszeiten, geringe Material- und Prozesskosten → geeignet für hochvolumige Serienfertigung) mit den positiven Eigenschaften von endlosfaserverstärkten Kunststoffen (verhältnismäßig gute mechanische Eigenschaften, da die Faserlängen, anders als bei kurzfaserverstärkten Kunststoffen, über der kritischen Faserlänge liegt, sodass eine gute Lastübertragung zwischen den Fasern gewährleistet ist).

Eine erweiterte Berechnungsmethodik für langfaserverstärkte Bauteile verspricht Gewichtseinsparpotenziale. Besonders im Kabinenbereich weisen Matrixmaterialien wegen des hohen Anteils an Flammenschutzmitteln (hier: Aluminiumhydroxid) verhältnismäßig niedrige massespezifische Eigenschaften auf. Die Dichte des Werkstoffs ist also im Verhältnis zu seinen mechanischen Eigenschaften recht hoch. Eine Berechnungsmethode, die das

Werkstoffverhalten besser beschreibt, erlaubt geringere Reservefaktoren und damit ein nennenswertes Gewichtseinsparpotenzial im fliegenden Bauteil. Eine Airbus-interne Studie hat darüber hinaus gezeigt, dass langfaserverstärkte Kunststoffe nicht nur für Kabinenmaterialien, sondern auch für zahlreiche Anwendungen in der lasttragenden Primärstruktur Verwendung finden könnten. Schnelle und genaue Berechnungsmethoden sind auch hierfür eine wichtige Grundlage.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen

Folgende Ergebnisverwertung war geplant:

1. *Die Ergebnisse bieten die Grundlage um die Akzeptanz von fensterlosen Kabinen mit künstlichen Sichtsystemen durch den Passagier zu bestimmen. Dieses soll in einer Publikation am Ende des Projekts dokumentiert werden.*

Die Ergebnisse wurden entsprechend der geplanten Ergebnisverwertung in einer hochrangigen Zeitschrift (Building and Environment, Impact Factor 4.82) veröffentlicht:

2. *Die entwickelten Methoden könnten für weitere Forschungsvorhaben im Bereich künstlicher Außensicht nach Projektende ab 2019 verwendet werden.*

Die entwickelten psychologischen Fragebögen und die dafür programmierten Tablets sind bereits in einer aus dem Projekt entstandenen Passagierbefragung eingesetzt worden. Eine weitere Verwendung der Methoden ist in dem DLR Projekt INDICAD geplant. Dort kommt auch die entwickelte Passagierkabine im AVES wiederum zum Einsatz.

3. *Erkenntnisse über die Auswirkungen auf spezifische Passagiergruppen könnten Hinweise auf mögliche Risiken für diese liefern. Dieses Wissen kann nach Projektende ab 2019 in Richtlinien einfließen.*

Im Projekt wurde eine Latenzzeit von 500 Millisekunden als ohne große Auswirkung auf den Komfort der Passagiere bestimmt. Die Ergebnisse hierzu wurden veröffentlicht. In der Erweiterung der Studie wurden zusätzlich Parameter der Flugangst und des Geschlechts in Beziehung zum Unwohlsein untersucht. Die Ergebnisse hierzu wurden in einer hochrangigen Zeitschrift (Human Factors) eingereicht und befinden sich im Review – Prozess (Stand 03.06.2020).

4. *Das erworbene Wissen zur neuen Simulationsplattform soll nach Ende des Projekts publiziert und in die Lehre der TU Braunschweig eingebracht werden. Mit den erweiterten Fähigkeiten kann die Anlage nach Projektende für weitere Forschungsvorhaben eingesetzt werden, bei denen der Passagierkomfort bewertet werden soll.*

Im DLR Projekt INDICAD werden die neue Simulationsplattform inkl. der in TP2 entwickelten Verfahren zur Versuchsdurchführung verwendet, um die Verwendung von Virtual Reality Technologien in einer bewegten Kabine zu bewerten.

Im Rahmen einer Promotion soll der Passagierkomfort in zukünftigen Nurflügelkonfiguration untersucht werden. Anlass für diese Promotion ist unter anderem die Vorstellung des Nurflügelprojekts MAVERIC durch Airbus. Der deutlich größere laterale Sitzabstand zum Schwerpunkt wird in zukünftigen Nurflügelkonfigurationen in einen deutlichen Einfluss auf den Passagierkomfort haben. Dazu kommt, dass zu erwarten ist, dass aufgrund der Rumpfform eine künstliche Außensicht noch größere Vorteile aufweist als bei heutigen Flugzeugkonfigurationen. Die Studien für die Promotion sollen mit der neuen Simulationsplattform und der in TP2 entwickelten Verfahren durchgeführt werden.

5. Die Bewertungsergebnisse zu den hybriden Kabinen Verbundmaterialien werden den Verbundpartner zur Verfügung gestellt und in Berichtsform publiziert.

Zum Projektabschluss wurde ein „Handover“-Meeting mit Vertreter*innen von Airbus abgehalten, in dem die entwickelten Methoden übergeben und ausführlich diskutiert wurden. Anwendungsrichtlinien der vorgeschlagenen Methodik wurden ebenso diskutiert wie die Integrationsmöglichkeiten in Airbus-interne Prozesse. Publikationen siehe unten.

Als ein zusätzliches Ziel nach der Aufstockung wurde definiert:

6. Die Ermittlung des betrieblichen Nutzens einer rekonfigurierbaren Kabine

Die Ergebnisse zum betrieblichen Nutzen flexibler Kabinen erweitern das Verständnis des DLR über den Nutzen unterschiedlicher Maßnahmen zur kurzfristigen Anpassung des Lufttransports an Schwankungen der Passagiernachfrage. Diese Erkenntnisse werden daher nach Projektende vom DLR in weiteren Forschungsarbeiten zum Lufttransportbetrieb im speziellen und zum Lufttransportsystem im weiteren genutzt.

Auf Grundlage dieses Projektes wurden weitere Studentische Arbeiten im Kabinenbereich betreut, u.a. zur Optimierung von Galleys für verschiedene Missionen. Darüber hinaus konnte ein weiteres Kabinenprojekt im Bundesluftfahrtforschungsprogramm VI-1 akquiriert werden.

Im Grundsatz sind die Ergebnisse auch auf andere Verkehrsträger übertragbar. Die Erkenntnisse aus dem Projekt wurden auch im Rahmen des verkehrs- und institutsübergreifend arbeitenden DLR-Kernteams Verkehrsökonomie eingesetzt und in Auszügen auf einem entsprechenden Methodenworkshop vorgestellt.

Die Veröffentlichung erfolgte auf der Air Transport Research Society World Conference 2017.

2.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Zum TP1: Die Nutzung flexibler Sitzreihen und deren Rekonfiguration zwischen zwei Flügen hat sich aufgrund der damit verbundenen praktischen Herausforderungen zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichtes in der Praxis noch nicht breiter durchgesetzt. Demgegenüber gab es aber zwischenzeitlich viele Entwicklungen zur besseren Raumausnutzung der Kabine durch geschickte Integration von Galleys, Lavatories und Sitzanordnung (z. B. Produkt Space-Flex). Insbesondere durch das erweiterte Einsatzspektrum der A320neo-Familie werden für diesen Flugzeugtyp je nach überwiegendem Einsatz des Flugzeuges differenzierte Kabinen-Konfigurationen angeboten. Darüber hinaus gibt es Überlegungen, den Unterflurbereich von Wide-Body-Flugzeugen z. B. als Arbeits- oder Schlafbereiche für Passagiere zu nutzen.

Verweise

Space-Flex, Airbus (2020).

<https://services.airbus.com/en/in-flight-experience/cabin-upgrades/optimisation/space-flex.html>

Zum TP 2: Die Fluglinie Emirates in seiner neuen Boeing 777-300er Serie eine abgeschlossene First Class Mittelkabine. Dort wurde 2018 mittels dreier Bildschirme eine künstliche Außensicht mittels Außenbordkameras dargeboten. Auf Fachmessen wurde im Jahre 2019 künstliche Außensicht als eine innovative Neuerung prämiert. Uns ist nicht bekannt, ob hierzu weitere Forschung , die die Auswirkung auf den Passagier betrachtet durchgeführt wurde.

Verweise

Crystal Cabin Award Association, Here are the Top 24 Aircraft Innovations for 2019, 2019. <http://www.crystal-cabin-award.com/cca-news-releases/article/here-are-the-top-24-aircraft-innovations-for-2019-1.html>.

Der Business Traveller (2018). Ausprobiert: Emirates Boeing 777-300ER First Class Frankfurt – Dubai.

<https://www.businesstraveller.de/mobil/ausprobiert-emirates-boeing-777-300er-first-class-frankfurt-dubai/2/>

2.6. Veröffentlichungen der Ergebnisse

Zum TP1:

Lütjens, Klaus und Happe, Alexander (2017) Revenue Potential of Flexible Cabin Elements for Airlines under Consideration of Revenue Management and Operations. ATRS World Conference 2017, 05.-08. Jun. 2017, Antwerpen.

Zum TP2:

Stelling, D., Hermes, M., Huelmann, G., Mittelstädt, J., Niedermeier, D., Schudlik, K., Duda, H., 2020a. Hi-tech windows in the aircraft cabin: The impact of display latencies on passengers' comfort. *Building and Environment* 174, 106794.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106794>.

Stelling, D., Hermes, M., Huelmann, G., Mittelstädt, J., Niedermeier, D., Schudlik, K., Duda, H., 2020b. Individual differences in the temporal progression of motion sickness and anxiety: The role of passengers' trait anxiety and motion sickness history. *Human Factors* (under review).

Stelling, D. (2017), Analysen zur Akzeptanz von Kabinen mit künstlicher Außensicht. (Rep. No. IB-ME–HH-2016-02 mit beschränktem Zugriff). Deutsches Zentrum f. Luft-und Raumfahrt, Hamburg.

Schudlik, K., Huelmann, G., Marggraf-Micheel, Stelling, D. (2017). Akzeptanz künstlicher Außensicht in Flugzeugkabinen – Variation der Informationsdichte. (Rep. No. IB-ME–HH-2017-267 mit beschränktem Zugriff). Deutsches Zentrum f. Luft-und Raumfahrt, Hamburg.

Zum TP3:

Fette, M. et al.: New Methods for Computing and Developing Hybrid Sheet Molding Compound Structures for Aviation Industry. In: *Procedia CIRP* 66, pp. 45-50. 2017.

Krause, D. et al.: Numerical Material Property Characterization of Long-Fiber-SMC Materials. In: *AST-Conference*, Hamburg, 2019.

Fette, M. et al.: Development Of Multi-Material Overhead Stowage Systems For Commercial Aircrafts By Using New Design and Production Methods. In: *SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility* 2(2), pp. 755-761, 2020.