



**Technische Universität Ilmenau**

FB Informatik und Automatisierung

Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik

FG Dynamik und Simulation ökologischer Systeme

Prof. Dr. Horst Puta

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung

Abteilung Bahnsysteme

Prof. Dr. Karsten Lemmer

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Miroslav Obrenovic

## Diplomarbeit

# Methodik zur Gestaltung eines migrationsfähigen Systemdesigns am Beispiel der Zugbeeinflussung

Bearbeitet von:

cand. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Katja Beck (Matrikelnummer: 32466)

Ilmenau, den 16. August 2005

Betreuer:

Prof. Dr. Horst Puta (TU Ilmenau)

Prof. Dr. Karsten Lemmer (DLR Braunschweig)

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Miroslav Obrenovic (DLR Braunschweig)

# Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	IV
TABELLENVERZEICHNIS .....	V
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVATION UND PROBLEMSTELLUNG .....	1
1.2 AUFBAU UND STRUKTUR DER ARBEIT .....	2
<b>2 DAS GRUNDKONZEPT .....</b>	<b>5</b>
2.1 PHASENMODELL DES MIGRATIONSPROZESSES.....	5
2.1.1 <i>Systemmodellierung</i> .....	6
2.1.2 <i>Systemselektion und deren Erfolgsfaktoren</i> .....	7
2.1.2.1 Strukturierung der Systemanforderungen .....	7
2.1.2.2 QFD zur Bestimmung kundenabhängiger Anforderungen .....	9
2.1.2.3 Vorab-Selektion durch KO-Kriterien .....	12
2.1.2.4 Systemselektion mittels 3-Stufen-Verfahren zur EWA .....	13
2.1.3 <i>Entwicklung von Migrationsstrategien</i> .....	18
2.1.4 <i>Bewertung der Migrationsstrategien</i> .....	20
2.1.4.1 Erstellung von Umweltszenarien .....	22
2.1.4.2 Aufstellen der Ergebnismatrix.....	23
2.1.4.3 Selektion einer Migrationsstrategie .....	24
2.2 MIGRATIONSFÄHIGKEIT ALS ANSPRUCH AN DIE ENTWICKLUNG.....	27
2.2.1 <i>Lebenszyklusbetrachtung</i> .....	27
2.2.1.1 Das Konzept des integrierten Produktlebenszyklus .....	28
2.2.1.2 Der Marktzyklus .....	29
2.2.1.3 Analyse der Lebenszykluskosten .....	31
2.2.2 <i>Integration der Anforderungen in den Entwicklungsprozess</i> .....	33
2.2.2.1 Dokumentation der Anforderungen .....	33
2.2.2.2 Systematik des Requirements Engineering .....	35
<b>3 GESTALTUNG EINER MIGRATIONSFÄHIGEN ZUGBEEINFLUSSUNG.....</b>	<b>39</b>
3.1 DAS SYSTEM BAHN.....	39
3.1.1 <i>Spezifische Eigenschaften der Bahnsysteme</i> .....	39
3.1.2 <i>Automatische Zugbeeinflussung</i> .....	41
3.1.2.1 Punktförmige Zugbeeinflussung.....	42
3.1.2.2 Linienförmige Zugbeeinflussung.....	43
3.1.2.3 ETCS .....	43

3.2 PHASENMODELL ZUR BESTIMMUNG EINES MIGRATIONSFÄHIGEN ZUGBEEINFLUSSUNGSSYSTEMS .....	45
3.2.1 Systemmodellierung.....	45
3.2.2 Systemselektion anhand von Erfolgskriterien .....	45
3.2.2.1 Analyse der Erfolgskriterien.....	46
3.2.2.1.1 Kundenabhängige Anforderungen.....	46
3.2.2.1.2 Kundenunabhängige Anforderungen.....	52
3.2.2.1.2.1 Unternehmensinterne Anforderungen .....	52
3.2.2.1.2.2 externe Anforderungen.....	55
3.2.2.2 Systemselektion.....	56
3.2.2.2.1 Vorab-Selektion durch KO-Kriterien .....	56
3.2.2.2.2 Systemselektion mittels 3-Stufen-Verfahren zur EWA .....	57
3.2.3 Entwicklung von Migrationsstrategien unter Beachtung von Randbedingungen.....	62
3.2.4 Bewertung der Migrationsstrategien für das selektierte Zugbeeinflussungssystem .....	67
3.2.4.1 Umweltszenarien bei der Migration eines Zugbeeinflussungssystems.....	68
3.2.4.2 Ergebnismatrizen für Migrationskosten und -dauer.....	71
3.2.4.3 Auswahl der optimalen Migrationstrategie .....	74
3.3 ENTWICKLUNG EINER MIGRATIONSFÄHIGEN ZUGBEEINFLUSSUNG .....	77
3.3.1 Lebenszyklusbetrachtung .....	78
3.3.2 Vom Anforderungskatalog zum Pflichtenheft.....	81
<b>4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>83</b>
LITERATURVERZEICHNIS.....	87
ANHANG .....	92
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	98

## Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
EBO	Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWA	Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Rail
IEC	International Electrotechnical Commission
Indusi	Induktive Zugsicherung
LCC	Life Cycle Costs ( <i>Lebenszykluskosten</i> )
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
Mü8004	Technische Grundsätze für die Zulassung von Sicherungsanlagen
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
QFD	Quality Function Deployment
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety (EN 50126)
RE	Requirements Engineering
SNCF	Société Nationale de Chemins de Fer ( <i>französische Staatsbahn</i> )
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasenmodell .....	5
Abbildung 2: Aufbau des Morphologischen Merkmalsschemas .....	7
Abbildung 3: Strukturierung von Systemanforderungen .....	8
Abbildung 4: Informationsquellen zur Ermittlung der Systemanforderungen.....	9
Abbildung 5: Vorgehensweise im 1. House of Quality .....	10
Abbildung 6: Duale Bewertungstabelle .....	13
Abbildung 7: 3-Stufen-Verfahren zur EWA .....	14
Abbildung 8: Ablauf der Nutzwertanalyse: EWA Stufe 3 .....	15
Abbildung 9: Systemumweltbetrachtung zur Erfassung von Randbedingungen .....	19
Abbildung 10: Ableitung von Migrationsstrategien.....	20
Abbildung 11: Ablauf der Strategie-Selektionsentscheidung.....	21
Abbildung 12: Schema des integrierten Produktlebenszykluskonzepts – idealtypischer Verlauf .....	28
Abbildung 13: Marktzyklus mit seinen Anforderungen und Kostenquellen.....	29
Abbildung 14: Interessengruppen des Entwicklungsprojekts .....	34
Abbildung 15: erweitertes V-Modell zum Requirements Engineering.....	36
Abbildung 16: Abstandshaltermethoden .....	41
Abbildung 17: Strukturierung von Kundenanforderungen.....	48
Abbildung 18: 1. House of Quality für das Zugbeeinflussungssystem.....	51
Abbildung 19: Nutzwertportfolio zur 3-stufigen EWA .....	62
Abbildung 20: Basismigrationsstrategien.....	65
Abbildung 21: Vorgehensweise zur Selektion der optimalen Migrationsstrategie ...	76

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umweltszenarienerstellung .....	22
Tabelle 2: Ergebnismatrix .....	24
Tabelle 3: Systemgestaltung der ETCS-Level .....	44
Tabelle 4: Gegenüberstellung von technischem Ausstattungsniveau und internationalem Verkehrsaufkommen für ausgewählte EU-Länder .....	46
Tabelle 5: Zuordnung technischer Merkmale zu den Kundenanforderungen .....	48
Tabelle 6: Produktionswirtschaftliche Ziele zur Ableitung unternehmensinterner Anforderungen .....	55
Tabelle 7: Direkt monetäre Effekte der Systemalternativen einer Zugbeeinflussung .....	58

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Problemstellung

In dieser durch rasante technische Entwicklungssprünge geprägten Zeit, sehen sich Unternehmen steigender Marktdynamik gegenübergestellt. Aspekte wie gesetzgeberische Maßnahmen und Eingriffe in die Wirtschaft, kürzer werdende Produktlebenszyklen bei steigenden Entwicklungszeiten und -kosten und ein instabiles Nachfrageverhalten in teilweise gesättigten Märkten lassen Entwicklungsprojekte<sup>1</sup> immer komplexer werden. Um unter Beachtung der Veränderungen in der Unternehmensumwelt Innovationsprojekte erfolgreich abzuschließen<sup>2</sup>, ist die Anwendung strukturierter Planungsansätze im Bereich der Innovationsentwicklung unabdingbar. Mit ihnen lässt sich der Aspekt der Einzigartigkeit der Projektbedingungen (u. a. Zielvorgaben, personelle und finanzielle Grenzen)<sup>3</sup> bewältigen. Denn jedes Projekt; so auch jedes Innovationsprojekt ist einzigartig. Erfahrungen aus bereits durchgeführten Projekten können somit nur im begrenzten Maße Berücksichtigung finden. Für jedes Innovationsprojekt müssen Chancen und Risiken, Stärken und Schwächen erneut untersucht und abgewogen werden. Wird dies nicht mit entsprechender Sorgfalt getan, kann eine noch so innovativ erscheinende Idee scheitern. Die Marktreife wird nicht oder nur mit einem großen monetären und zeitlichen Aufwand erreicht, die Innovation gestaltet sich als Kostenfalle.

Ein in diesem Zusammenhang kaum berücksichtigter Aspekt ist die *Migrationsfähigkeit* von technologischen Neuentwicklungen in ein bestehendes technisches Umfeld. Diese gilt es wie Neuheitsgrad, Unternehmens- und Marktpotential<sup>4</sup> vor einer Investitionsentscheidung zu analysieren. Vor allem bei Übergängen von einer bestehenden auf eine neue Systemversion bei denen umfangreiche Integrationsrestriktionen bestehen, spielt die Migration und der damit verbundene Migrationsaufwand eine entscheidende Rolle für den Erfolg des Projekts. Dabei wird hier unter dem Begriff Migration die Einführung sowie die *dauerhafte* Integration technologischer Systeme in ein bestehendes betrieblich-technisches Umfeld verstanden. Dies setzt nicht nur die technische Möglichkeit für einen Wechsel von der aktuellen zu einer Zielsystemkonfiguration voraus. Für eine

---

<sup>1</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 22

<sup>2</sup> Vgl. Schilling, M. (2005), S. 215: Man schätzt, dass etwa 95 Prozent aller Entwicklungsprojekte scheitern.

<sup>3</sup> Vgl. DIN 69901

<sup>4</sup> Vgl. Zahn, E. (1991), S. 75 f.

erfolgreiche Systemmigration ist eine Akzeptanz bei allen beteiligten Interessengruppen notwendig.

In komplexen Systemen gestalten sich die Migrationsprozesse als entsprechend umfangreich hinsichtlich Kosten- und Zeitaufwand. Einen umfassenden Katalog von mehrdimensionalen Randbedingungen und Erfolgskriterien gilt es zu berücksichtigen und zu bewerten.

Das *Bahnsystem* ist eines dieser komplexen Systeme. Anstoß für die Betrachtung dieses Systems geben die aktuellen Probleme bei der Migration des European Train Control System (ETCS). Die von der EU geforderte europaweite Umstellung der nationalen Zugsicherungssysteme auf das einheitliche ETCS soll die Interoperabilität zwischen den verschiedenen europäischen Bahnsystemen sichern und somit die Wettbewerbsfähigkeit des Schienenverkehrs nachhaltig steigern. Doch besonders in Deutschland läuft der Migrationsprozess nur sehr langsam an.

Ziel dieser Arbeit ist es, ausgehend von einem Gesamtkonzept für die Migration technologischer Systeme, einen Leitfaden für die migrationsgeleitete Entwicklung eines Zugbeeinflussungssystems zu entwickeln. Dabei gilt es einen umfassenden Kriterienkatalog zu bestimmen, bei dem auch die gesammelten Erfahrungen aus dem Migrationsprozess von ETCS berücksichtigt werden.

Dieses strukturierte Verfahren soll in hohem Maße der Informationsgewinnung und -verarbeitung dienen. Gerade in den frühen Phasen der Entwicklung ist dieser Prozess besonders wichtig. Vorhandene Unsicherheiten können somit auf strukturierte, nachvollziehbare Weise abgebaut werden<sup>5</sup>. Wie wichtig richtige Entscheidungen basierend auf richtigen Informationen sind, zeigt die Empirie. In der Anfangsphase getroffene Entscheidungen besitzen eine Hebelwirkung auf den weiteren Verlauf des Innovationsprozesses und damit auch auf den Innovationserfolg<sup>6</sup>.

## **1.2 Aufbau und Struktur der Arbeit**

Ausgehend von einem im Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) Braunschweig entwickelten Phasenmodells zur Gestaltung migrationsfähiger Bahnprodukte, sind Methoden zu entwickeln und zusammenzustellen, die in das Vorgehensschema integriert werden. Ziel ist es, *aus Herstellersicht* umfangreiche Informationen über die Anforderungen

---

<sup>5</sup> Vgl. Verworn, B. (2005), S. 20

<sup>6</sup> Vgl. ebenda, S. 3



und letztlich über eine optimale Systemauswahl und -integrationsstrategie für eine Erfolg versprechende Systemmigration zusammenzustellen. Das entwickelte Grundkonzept hat allgemeinen Charakter und beschreibt eine für einen Hersteller technischer Produkte hilfreiche Methodik zur Bestimmung wichtiger Erfolgskriterien bei einer Systementwicklung. Anschließend wird dieses Konzept zur Gestaltung eines optimal migrationsfähigen Zugbeeinflussungssystems angewendet. Mit der aufgezeigten Methodik werden die Erfolgsfaktoren für ein optimal migrationsfähiges Zugbeeinflussungssystem strukturiert ermittelt. Lösungsvorschläge für deren Umsetzung werden im Rahmen dieser Arbeit nicht geliefert.

Im ersten Schritt werden mögliche *Systemkonfigurationen* entwickelt. Die Methode des *morphologischen Merkmalsschemas* hat sich hierbei als günstig erwiesen.

In einem zweiten, wichtigen Schritt gilt es die optimale Systemvariante zu bestimmen. Die optimale Systemvariante zeichnet sich durch das höchste Erfolgspotential am Markt aus. Dafür müssen durch sie die Anforderungen an das System bestmöglich erfüllt werden. Um dies zu überprüfen, sind im Rahmen der *Systemselektionsphase* zunächst die *Systemanforderungen* zusammenzutragen. Hierbei spielen vor allem die Wünsche potentieller Systemabnehmer eine Rolle, aber ebenso müssen gesetzliche Restriktionen wie auch die Interessen des Herstellers entsprechend Berücksichtigung finden. Um die Kundenanforderungen möglichst vollständig zu erfassen, wird auf die Methode des *Quality Function Deployment (QFD)* zurückgegriffen. Für die Erstellung eines möglichst umfangreichen Erfolgskriterienkatalogs ist die Analyse der bestehenden *Systemumgebung* und der beteiligten *Interessengruppen* zwingend notwendig. Anhand der gesammelten Kenntnisse über die technischen, wirtschaftlichen, systemstrukturellen und funktionalen Randbedingungen/ Restriktionen erfolgt die eigentliche Systemselektion mittels der *3-stufigen erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA)*. Eine zu einseitige Auswahlentscheidung wird damit verhindert.

Dies allein sichert jedoch noch nicht den Migrationserfolg. Damit der Abnehmer des Systems von den guten Systemeigenschaften profitieren kann, muss das System erfolgreich in die Systemumgebung migriert werden. Dazu werden mögliche *Migrationsstrategien* entwickelt, die den Weg von dem Jetztzustand hin zum gewünschten neuen System aufzeigen. Jene Migrationsstrategie, die unter Beachtung der Unsicherheiten der Umweltentwicklung die geringsten finanziellen und zeitlichen Ressourcen benötigt, ist die optimale. Für diese *Selektionsentscheidung* wird auf bestehende *Entscheidungsregeln* zurückgegriffen.

Am Ende dieses Phasenmodells liegt ein Anforderungskatalog vor. Bei dessen vollständiger Berücksichtigung gelingt es, das optimal migrationsfähige System zu entwickeln, d. h. das neue System entspricht den Marktanforderungen und kann entsprechend der optimalen Migrationsstrategie in den Markt migriert werden.

Damit das technische System, speziell das Zugbeeinflussungssystem, auch dauerhaft am Markt erfolgreich ist, werden die gesammelten Anforderungen durch jene aus einer umfassenden *Lebenszyklusanalyse* ergänzt.

Zum Abschluss dieser Methodik wird die Systematik des *Requirements Engineering* einschließlich der Kriterien für eine gute *Dokumentation* der gesammelten Anforderungen aufgezeigt. Sie sollen die Nachhaltigkeit der Untersuchungsergebnisse im Entwicklungsprozess sichern.

## 2 Das Grundkonzept

### 2.1 Phasenmodell des Migrationsprozesses

Das Phasenmodell bietet ein systematisches Vorgehen zur Bestimmung der Erfolgskriterien für die Entwicklung migrationsfähiger technischer Systeme. Bei diesen Erfolgskriterien handelt es sich um die den Erfolg eines Migrationsprojekts entscheidend beeinflussende Faktoren. Das Phasenmodell beinhaltet vier Phasen. Während der ersten beiden Phasen (Systemmodellierung und Systemselektion) wird das Zielsystem modelliert und anhand wichtiger Erfolgskriterien ausgewählt. Dabei ist die Analyse des Kunden und seiner Anforderungen wichtiger Bestandteil. Die beiden anschließenden Phasen Entwicklung und Bewertung der Migrationsstrategie beschreiben die Migration im engeren Sinne. Hier werden mögliche Migrationsstrategien unter Beachtung relevanter Randbedingungen für das ausgewählte technische System entwickelt und bewertet. Kosten und Zeit stellen dabei die wesentlichen Bewertungskriterien dar. Als Ergebnis des Phasenmodells liegt ein integrationsfähiges technisches System einschließlich einer optimalen Migrationsstrategie vor.<sup>7</sup>

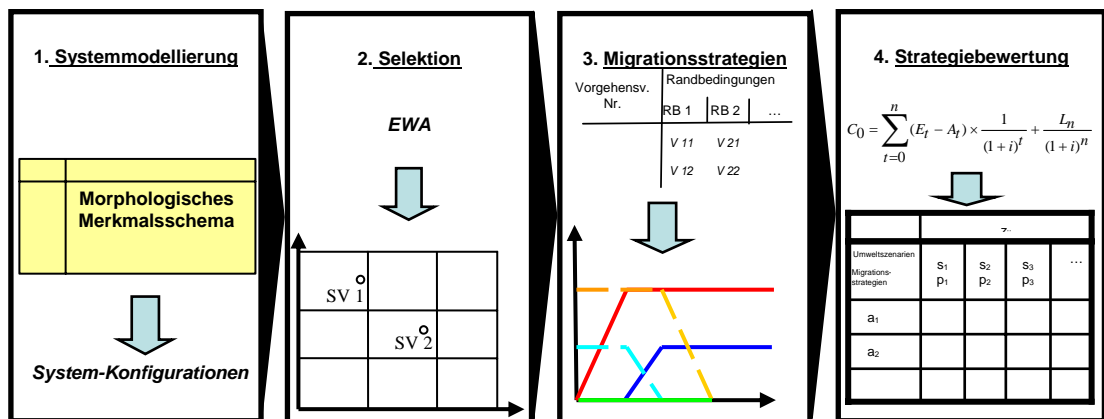


Abbildung 1: Phasenmodell (in Anlehnung an Obrenovic/Meyer zu Hörste/Jäger (2005), S. 2)

<sup>7</sup> Vgl. Obrenovic/Meyer zu Hörste/Jäger (2005), S. 2

### 2.1.1 Systemmodellierung

In dieser ersten Phase sind mögliche zukunftssträchtige Modelle des Systems zu entwickeln. Eine große Auswahl von Kreativitätstechniken<sup>8</sup> ermöglicht ein systematisches Vorgehen bei der Ideenfindung.

Eine im Rahmen der Entwicklung migrationsfähiger technischer Systeme geeignete Methode ist das morphologische Merkmalschema (siehe Abbildung 2). Hiermit lassen sich anhand mehrerer Matrizen mit  $M = (a_{i,j})$  strukturiert und in Textform Systemvarianten entwickeln. Jede Matrix enthält in der ersten Spalte den so genannten *aspect vector* (Merkmalsvektor)  $\vec{A} = (a_{i,1})$ . Dieser enthält alle jeweilig relevanten Systemaspekte. Ihnen werden in den zugehörigen Zeilen mögliche Ausprägungsvarianten zugeordnet. Es entstehen so genannte *realization vectors* (Ausprägungsvektoren)  $\vec{R}_i$ .

Es gilt:

$$(1) \quad \vec{R}_1 = (a_{1,2}, \dots, a_{1,m_1+1}) \quad m_1 \text{ Realisierungen zum ersten Systemaspekt}$$

$$(2) \quad \vec{R}_2 = (a_{2,2}, \dots, a_{2,m_2+1}) \quad m_2 \text{ Realisierungen zum zweiten Systemaspekt}$$

etc.

Die Matrizen sind in der Form miteinander verbunden, dass ein realization vector einer höheren bzw. abstrakteren Ebene auf der nächst niedrigeren Ebene als aspect vector fungiert. Somit wird ausgehend von abstrakten, allgemeinen Systemaspekten schrittweise eine Verfeinerung der Modellinformationen erreicht. Ein einzelner Aspekt wird dann durch einen Pfad P durch die einzelnen Matrizen von der abstraktesten hin zur detailliertesten Matrizenebene beschrieben. Eine Systemvariante wird durch die Gesamtheit der Pfade, die alle Systemaspekte beschreiben, gegeben. Weitere Systemalternativen werden durch die gleiche Vorgehensweise, aber unterschiedliche Wahl der aspect vectors auf den untergeordneten Ebenen ermittelt.

<sup>8</sup> Vgl. Gabler (2000): „Kreativitätstechniken: Ideenfindungsmethode (...), die individuelle oder gruppenorientierte Suchprozesse stimulieren“

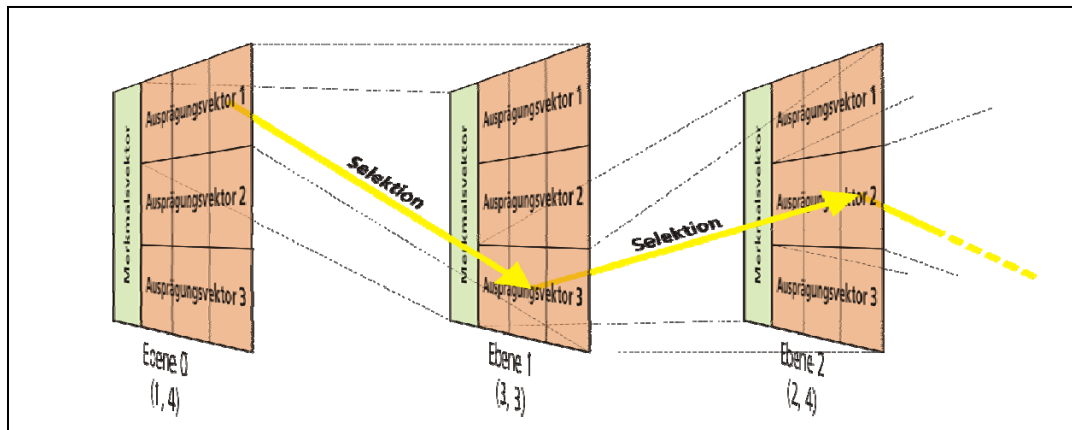


Abbildung 2: Aufbau des Morphologischen Merkmalschemas

(in Anlehnung an Knollmann/Obrenovic/Jäger/Lemmer (2005), S. 5)

Durch den übersichtlichen, auch für Personen ohne technischen Hintergrund leicht verständlichen Aufbau dieser Methode, lassen sich in anschaulicher Weise verschiedene Systemkonfigurationen entwickeln.<sup>9</sup>

Da es im Rahmen dieser Arbeit vorrangig um die Bestimmung der Kriterien für eine erfolgreiche Migration technischer Systeme geht, soll die Phase der Systemmodellierung hier nicht weiter untersucht werden.

## 2.1.2 Systemselektion und deren Erfolgsfaktoren

### 2.1.2.1 Strukturierung der Systemanforderungen

Aus der Vielzahl zuvor modellierter Varianten ist ein System auszuwählen. Dabei gilt jenes als das vorteilhafteste, welches die Zielvorgaben am meisten erfüllt. Das heißt, der Zielerfüllungsgrad der letztlich selektierten Systemvariante ist relativ zu den anderen am höchsten. Die Zielvorgaben ergeben sich aus den zunächst zu bestimmenden Erfolgsfaktoren, die die Anforderungen an das zu entwickelnde System darstellen. Um die relevanten Faktoren möglichst komplett zu erfassen, ist eine mehrdimensionale Betrachtungsweise notwendig. Eine mögliche Strukturierung zeigt Abbildung 3. Hierbei werden die Anforderungen zunächst in kundenabhängige und kundenunabhängige Anforderungen unterteilt. Diese Aufteilung liegt nahe, denn vorerst muss ein Produkt einen Kundennutzen schaffen, um erfolgreich zu sein. Das unternehmerische Ziel, Gewinne zu realisieren, kann nur dann erreicht werden. Zusätzlich wird es durch unternehmensinterne Richtlinien forciert. Von Unternehmensseite gibt es des Weiteren Vorgaben über die vorhandenen oder errichtbaren Fertigungsmöglichkeiten, das zu bedienende Marktsegment, die zu

<sup>9</sup> Vgl. Knollmann/Obrenovic/Jäger/Lemmer (2005), S. 3 ff.

erzielende Qualität usw. Diese Anforderungen werden ergänzt durch aus Expertenwissen und vorliegenden Systemerkenntnissen (z. B. aus dem Vorgängermodell) abgeleiteten Anforderungen. Weitere kundenunabhängige Anforderungen ergeben sich aus Gesetzen, Vorschriften und Normen, die vor und während einer Entwicklung zu berücksichtigen sind.

Mit Hilfe einer umfassenden Betrachtung dieser drei Dimensionen ist das Unternehmen in der Lage, potentielle Zukunftsmärkte zu erkennen und zu bedienen. Die Migration einer unter diesen Aspekten entwickelten Technologie ist einfacher, das Produkt Erfolg versprechend.

Bei all den Anforderungen muss dem Anwender bewusst werden, dass mögliche Vorgabenwidersprüche auftreten können. Es handelt sich dabei um Zielkonkurrenz. In solchen Fällen ist eine Rangfolge der Anforderungen aufzustellen und das ranghöhere Kriterium zu priorisieren. Die Erfüllung des Migrationsantriebs, also jener Motivation, die die Entwicklung eines migrationsfähigen Systems veranlasst, muss immer gesichert sein.<sup>10</sup> Ein solcher Migrationsantrieb kann etwa eine gesetzliche Vorgabe oder ein Unternehmensziel wie bspw. eine Marktanteilserhöhung oder die Realisierung einer höheren Wirtschaftlichkeit sein.

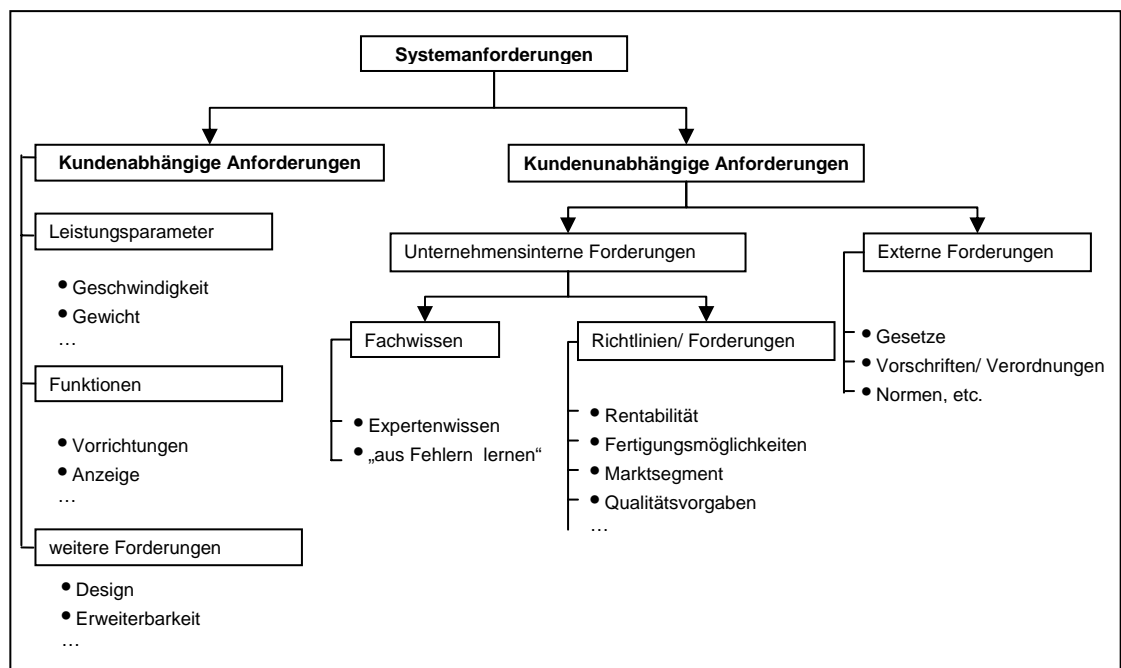


Abbildung 3: Strukturierung von Systemanforderungen

Die gewählte Aufteilung der Systemanforderungen ist außerdem durch einen weiteren Aspekt begründet. Wichtigste Voraussetzung, um einen aussagekräftigen

<sup>10</sup> Vgl. Obrenovic/Meyer zu Hörste/Jäger (2005), S. 3

Kriterienkatalog und damit einhergehend eine entsprechende Systembewertung zu erstellen, ist die Ermittlung der dafür notwendigen Informationen. Dies ist gleichzeitig der kritische Punkt. Während es vergleichsweise einfach ist, kundenunabhängige Anforderungen zu ermitteln, ist die Qualität der Informationen kundenabhängiger Anforderungen unsicherer. Dafür müssen Kenntnisse über den zukünftigen Kundenkreis vorhanden sein und dieser muss hinreichend informiert und auskunftswillig sein.

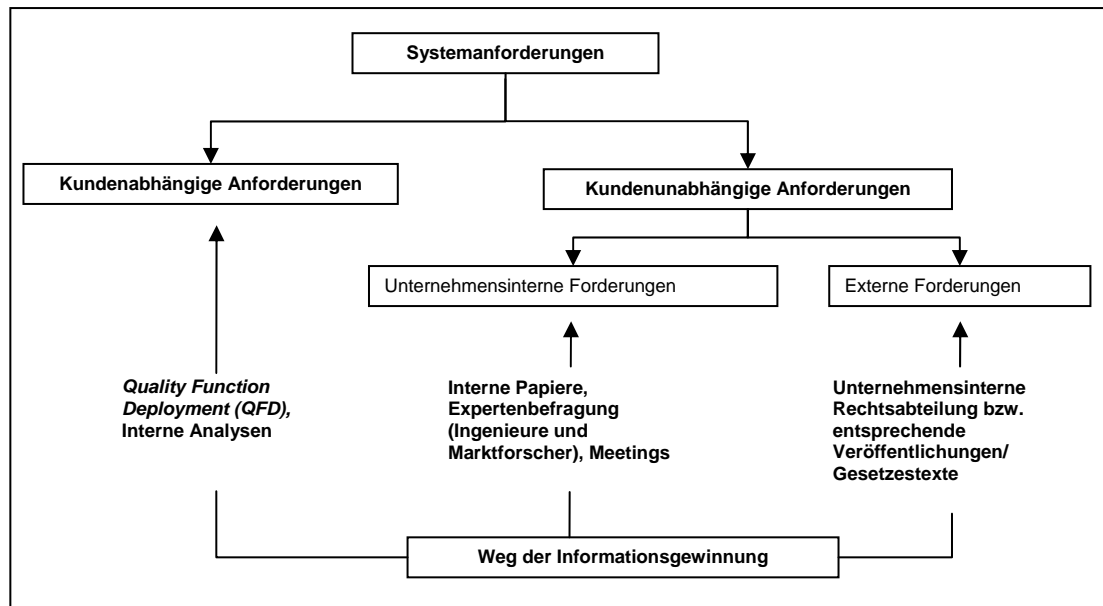


Abbildung 4: Informationsquellen zur Ermittlung der Systemanforderungen

### 2.1.2.2 QFD zur Bestimmung kundenabhängiger Anforderungen

Das Quality Function Deployment (QFD) ist eine in Japan entwickelte kompositionelle Methode zur systematischen und kundenorientierten Entwicklung von Produkten.<sup>11</sup> Sofern ein Kundenkreis bestimmt werden kann, ist QFD ein geeignetes Werkzeug, um Kundenanforderungen zu ermitteln.<sup>12</sup> Es zeichnet sich durch seine umfassende Sichtweise aus.

Generell gliedert sich das QFD in vier Phasen, die den vier Houses of Quality (HoQ) entsprechen.<sup>13</sup> Die hier interessierenden kundenabhängigen Anforderungen werden

<sup>11</sup> Definition des Erfinders Yoji Akao: „QFD ist die Planung und Entwicklung der Qualitätsfunktionen eines Produkts entsprechend den von den Kunden geforderten Qualitätseigenschaften.“

<sup>12</sup> Vgl. Saatweber, J. (1997), S. 10 ff.

<sup>13</sup> Vgl. ebenda, S. 41: Ausgehend von der Produktplanungsphase (1. HoQ) über Komponenten- und Prozessplanungsphase (2./3. HoQ) hin zur Produktionsplanungsphase (4. HoQ) ermöglicht das QFD ein strukturiertes Vorgehen zur Umsetzung von Kundenanforderungen innerhalb des gesamten Produktentstehungsprozesses.

im Rahmen des ersten House of Quality (1. Phase) bestimmt und für eine nachfolgende Bewertung bearbeitet.

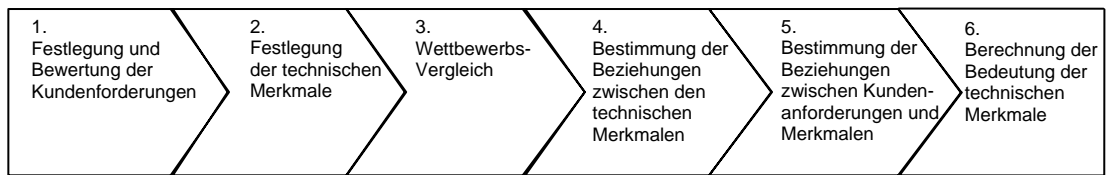


Abbildung 5: Vorgehensweise im 1. House of Quality

In einem ersten Schritt wird mittels einer Markt- und Meinungsforschung ein repräsentativer Kundenkreis<sup>14</sup> nach den Anforderungen an ein zukünftiges, d. h. noch zu entwickelndes Produkt befragt. Dabei sollten auch nicht artikuliert Kundenbedürfnisse bei der Bearbeitung des 1. House of Quality Berücksichtigung finden<sup>15</sup> (siehe hierzu S. 11 f.). Von diesen gesammelten Kundenanforderungen sind wesentliche von den unwesentlichen Anforderungen zu trennen. Um eine Übersichtlichkeit zu wahren, empfiehlt es sich, nicht mehr als 20 Kundenanforderungen in den weiteren Bearbeitungsablauf einzubeziehen. Die Kundenanforderungen sind dann zu bewerten. Hierbei bietet sich die Methode des paarweisen Vergleichs<sup>16</sup> in Matrixform an. Je nach Summe der Punktezahlen erhalten die Anforderungen eine entsprechende Gewichtung (siehe A.1.1).

In einem zweiten Schritt wird für jede Kundenanforderung mindestens ein Merkmal bestimmt. Die Ableitung von expliziten technischen Merkmalen, ausgehend von den Kundenanforderungen, ist ein wichtiger Schritt für die später folgende Bewertung des gesamten Anforderungskatalogs (siehe Abschnitt 2.1.2.4, EWA Stufe 3).

In einem nächsten Schritt kann, so ein vergleichbares Produkt am Markt besteht, ein Wettbewerbsvergleich angestellt werden. Ähnlich einer Stärken-Schwächen-Analyse wird zunächst vom Kunden der Grad der Anforderungserfüllung im Vergleich zum Konkurrenzprodukt bestimmt. Außerdem wird von Unternehmensseite ein solcher Vergleich anhand der technischen Merkmale erstellt. Dieser Schritt ist hinsichtlich der Migrationsfähigkeit des zu entwickelnden Produkts sinnvoll. Das Produkt muss nicht nur den Kunden- und unternehmerischen

<sup>14</sup> Ein repräsentativer Kundenkreis besteht nicht allein aus Kunden, die ähnliche Produkte bereits verwenden. Auch nicht bediente Kunden gilt es zu berücksichtigen. So kann es dem Unternehmen gelingen, den potentiellen Kundenkreis auszuweiten, den Erfolg des Produkts also zu steigern.

<sup>15</sup> Vgl. Schlake, O. (2000), S. 28

<sup>16</sup> Vgl. Grob/Haffner (1982), S. 56 f.: Jeweils zwei Kriterien werden einander gegenübergestellt und jenes mit höherer Relevanz erhält die höhere Punktzahl. Dabei werden Punkte zwischen 0 und 4 vergeben. Sind beide gleichbedeutend, erhalten sie jeweils zwei Punkte.



Ansprüchen genügen, um leicht migrationsfähig zu sein. Ein Wettbewerbsvorsprung hinsichtlich einiger Merkmale bei vergleichbaren Preisstrukturen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Etablierung am Markt.

Anschließend werden die Beziehungen der technischen Merkmale untereinander untersucht, um mögliche Zielkonflikte zu ermitteln.

Inwieweit die ermittelten technischen Merkmale zur Erfüllung der Kundenanforderungen beitragen, wird in einem nächsten Schritt festgelegt. Dazu wird die Korrelation zwischen Anforderung und technischem Merkmal ermittelt.

In einem letzten und für die anschließende Systemselektion wichtigsten Schritt wird die relative Bedeutung der einzelnen technischen Merkmale bestimmt. Je wichtiger das Merkmal ist, umso mehr Aufmerksamkeit erfährt es im Selektions- und später auch im Entwicklungsprozess.

Durch die umfassende Sichtweise bei der Erstellung des Anforderungskatalogs werden neben technik- und anwendungsorientierten Aspekten auch jene mit rechtlicher und bedarfsorientierter Relevanz berücksichtigt. Letzteres wird oft vernachlässigt, ist aber besonders bei lang andauernden Migrationsprozessen wichtig. Denn der Zukunftsaspekt ist nicht allein durch Kundenbefragungen abzudecken.<sup>17</sup> Welcher potentielle Kunde ist heute in der Lage seine individuellen Produkthanforderungen für einen späteren Zeitpunkt genau zu bestimmen? Gerade in einer hochtechnologisierten Welt, in der die Produktlebenszyklen immer kürzer werden,<sup>18</sup> gilt es, diese Unsicherheit durch unternehmensinterne Analysen zu reduzieren.

Mittels dieser internen Analysen sind „versteckte“ Kundenanforderungen aufzudecken. Der Anwender des oben beschriebenen QFD darf nicht vergessen, dass mittels direkter Kundenbefragungen lediglich so genannte *Leistungsanforderungen* ermittelt werden können, denn sie werden vom Kunden direkt ausgesprochen. Anders verhält es sich mit *Grundanforderungen* und *Begeisterungsanforderungen*. Alle drei Anforderungskategorien sind bei der Entwicklung zu berücksichtigen, denn sie ersetzen sich nicht gegenseitig.

Wie wichtig alle drei Kategorien für die Gesamtzufriedenheit des Kunden mit dem Produkt sind, zeigt das Kano Modell<sup>19</sup> auf. Auf dessen Ergebnisse soll im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden. Zusammenfassend ist zu sagen, dass eine hohe Anforderungserfüllung (also Anforderungen der Kunden, die in

---

<sup>17</sup> Schlake, O. (2000), S. 27 ff.

<sup>18</sup> Schilling, M. (2005), S. 216

<sup>19</sup> Kano et al. (1984)

reinen Marktanalysen bestimmt worden sind) nicht zwingend eine hohe Kundenzufriedenheit impliziert. Mangelt es dem Produkt etwa an der Erfüllung von Grundanforderungen, ist die Gefahr des Kundenverlustes gegeben. Grundanforderungen sind unabdingbare Qualitätselemente, die als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Bei deren Erfüllung verhält sich der Kunde indifferent, sind sie jedoch nicht erfüllt, induzieren sie Unzufriedenheit. Anders verhält es sich mit der Gruppe der Begeisterungsanforderungen. Sind sie nicht erfüllt, verursachen sie keine Unzufriedenheit, denn sie stellen unerwartete Qualität dar. Deshalb wird der potentielle Kunde diese nicht im Rahmen einer Marktanalyse benennen. Im Gegenzug führt deren Erfüllung sehr schnell zu Zufriedenheit. Somit lässt sich mit Begeisterungsanforderungen ein deutlicher Wettbewerbsvorteil realisieren. Generell gilt demnach, dass man im Rahmen von internen Analysen, z. B. Funktionenanalysen oder Kreativitätstechniken, diesen beiden unausgesprochenen Kundenanforderungen besondere Sorgfalt entgegenbringen sollte.<sup>20</sup>

Abschnitte 2.1.2.1 und 2.1.2.2 beschreiben somit ein umfassendes und handliches Verfahren, um die Erfolgskriterien der Systemselektion zu ermitteln.

### 2.1.2.3 Vorab-Selektion durch KO-Kriterien

Bevor eine abschließende Systemselektion erfolgen kann, sind alle Systemvarianten hinsichtlich möglicher KO-Kriterien zu überprüfen, d. h. hinsichtlich jener Anforderungen, die zwingend vom System erfüllt werden müssen. Zu solchen „Muss-Anforderungen“ gehören zumeist die externen Anforderungen wie bspw. gesetzliche Grenzwerte oder Normvorschriften. Aber auch unternehmensinterne Vorgaben wie etwa mangelnde Fertigungsmöglichkeiten können etwaige Systemvarianten ausbremsen. Vorhandene Fertigungsmöglichkeiten bilden einen Teilaspekt des wichtigen KO-Kriteriums *Realisierbarkeit*. Eine Vorab-Selektion ist notwendig, da die Varianten in der Phase der Systemmodellierung lediglich auf ihre funktionale Plausibilität überprüft worden sind.

Zur Durchführung der Vorab-Selektion sind zunächst alle KO-Kriterien aus dem Anforderungskatalog zu bestimmen. Jede Systemalternative ist jedem einzelnen Kriterium gegenüberzustellen. Wird bereits eines der KO-Kriterien vom System nicht erfüllt, entfällt die Systemvariante und sie darf für den weiteren Bewertungs- und Selektionsprozess nicht mehr berücksichtigt werden.

---

<sup>20</sup> Vgl. O'Shea, M. (2002), S. 102 ff.

Eine duale Bewertungstabelle<sup>21</sup> bietet hierbei eine übersichtliche Möglichkeit zur strukturierten Gegenüberstellung (siehe Abbildung 6). Erfüllt die Systemvariante (SV) das KO-Kriterium, erhält es den Wert 1, andernfalls den Wert 0 zugeordnet. Ist die Summe der Bewertung geringer als die Anzahl der KO-Kriterien, ist die Systemvariante zu eliminieren.

KO-Kriterien	Systemvarianten			
	SV 1	SV 2	SV 3	...
Kriterium 1				
Kriterium 2				
...				
...				
...				
Summe der Bewertungen	...	...	...	

Abbildung 6: Duale Bewertungstabelle (in Anlehnung an Heyde/Laudel/Pleschak/Sabisch (1991), S. 196)

Jene Systemalternativen, die alle KO-Kriterien erfüllen, werden nun umfassend anhand aller anderen, zuvor bestimmten Anforderungen bzw. Kriterien bewertet, um anschließend eine Auswahl zu treffen. Um alle Kriterien, die sowohl monetärer wie nichtmonetärer Art sind, in der Bewertung zu berücksichtigen, erfolgt die Selektion mittels Erweiterter Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA).

#### 2.1.2.4 Systemselektion mittels 3-Stufen-Verfahren zur EWA

Wirtschaftlichkeitsanalysen gehören zu den wichtigsten Entscheidungshilfen der Unternehmungsführung. Mit ihnen lässt sich die Tragbarkeit von Projekten umfassend bestimmen. Dies bedeutet, dass spätere Erträge aus dem Projekt jetzt anfallende Aufwendungen abdecken und wenn möglich übertreffen.<sup>22</sup> Die EWA unterscheidet sich in der Form von der traditionellen Bewertung von Investitionsvorhaben, dass sie eine einseitige Betrachtung *direkt monetärer* Größen durch die Berücksichtigung *indirekt monetär* erfassbarer und auch *nichtmonetärer* Investitionswirkungen ergänzt.<sup>23</sup> Als Instrument der Entscheidungshilfe bei Investitionsvorhaben verbindet sie dazu die traditionelle Investitionsrechnung mit einer Nutzwertanalyse. Mögliche indirekt monetäre Auswirkungen sind zum Beispiel Verbesserung der Liefertreue oder Ausschussminderung. Zu den nichtmonetären Größen gehören jene in der Phase der Systemselektion bestimmten Erfolgskriterien,

<sup>21</sup> Vgl. Heyde/Laudel/Pleschak/Sabisch (1991), S. 196

<sup>22</sup> Vgl. Arnold, D. (1995), S. 218

<sup>23</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 62 ff.

vor allem werden hier die Kundenanforderungen und ihr jeweiliger Erfüllungsgrad (im so genannten Zielwert erfasst) berücksichtigt.

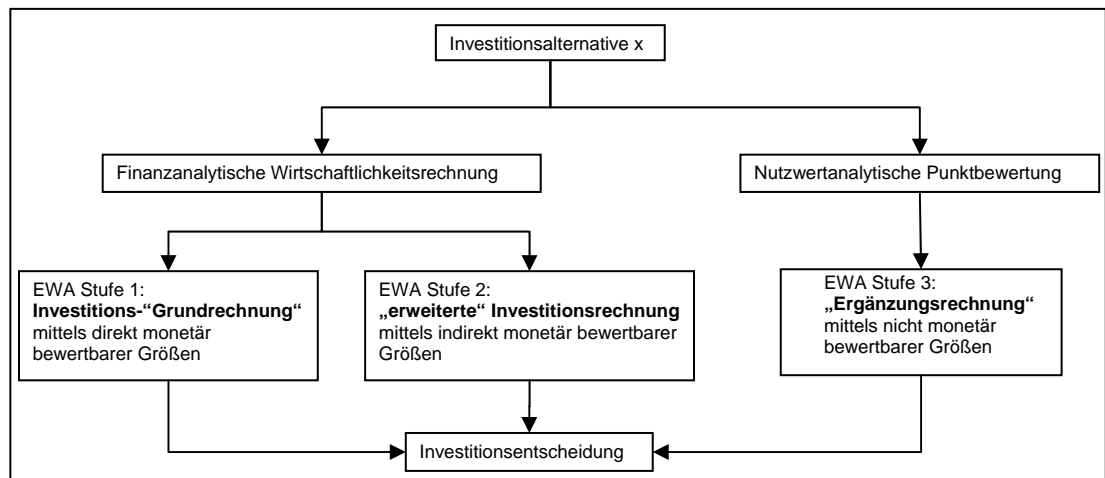


Abbildung 7: 3-Stufen-Verfahren zur EWA

Mittels dieses 3-Stufen-Verfahrens zur EWA erfolgt die eigentliche Selektion. Die modellierten Systemalternativen werden anhand der wichtigen, zuvor bestimmten Erfolgsfaktoren systematisch bewertet. Vorab sei dabei zu sagen, dass die Aussagefähigkeit einer solchen Investitionsbewertung entscheidend von den ausgewählten Kriterien und deren Analysequalität<sup>24</sup> abhängt.<sup>25</sup>

Zunächst werden auf der ersten Stufe der EWA (*finanzanalytische Grundrechnung*) alle vergleichsweise sicheren und direkt monetär erfassbaren Auszahlungen bzw. Einsparungen, die mit den zu vergleichenden Systemalternativen verbunden sind, analysiert und bewertet. Die bestimmten Effekte werden einem finanzanalytischen Wirtschaftlichkeitsvergleichs unter Verwendung statischer und (vorzugsweise) dynamischer Investitionsrechnungen<sup>26</sup> unterzogen. Als Basis dient dabei gewöhnlich der Ist-Zustand, als Basisalternative bzw. Weiterführungsszenario A0 bezeichnet.<sup>27</sup>

Mittels der *finanzanalytischen Erweiterungsrechnung* werden anschließend in gleicher Vorgehensweise die indirekt monetären Investitionsauswirkungen berücksichtigt. Da diese oftmals nur abgeschätzt werden können, bergen sie ein erhöhtes Risiko.<sup>28</sup>

<sup>24</sup> D. h. wie umfassend wurden die Auswirkungen (z. B. des Kriteriums Qualität) betrachtet und bewertet.

<sup>25</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 66

<sup>26</sup> Vgl. Perridon/Steiner (2004), S. 37 ff.

<sup>27</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 74-78

<sup>28</sup> Vgl. ebenda, S. 78-84

Da die hier durchgeführte EWA aus Sicht der Abnehmerinteressen durchgeführt wird, können auf den ersten beiden Stufen der EWA nur den Abnehmer betreffende (indirekt) monetäre Effekte berücksichtigt werden. Die unternehmensinternen monetären Anforderungen finden erst auf Stufe 3 der finanzanalytischen Wirtschaftlichkeitsrechnung Berücksichtigung. Zudem werden auf Stufe 3 die bisher nicht berücksichtigten nicht oder schwer monetär erfassbaren Investitionswirkungen für den Abnehmer sowie für die anderen Interessengruppen in die Wirtschaftlichkeitsanalyse einbezogen. Diese erweiterte Betrachtung steigert die Aussagequalität der Alternativenanalyse wesentlich. Die durchzuführende, so genannte *Nutzwertanalyse* erfolgt in mehreren Schritten (siehe Abbildung 8).<sup>29</sup> Sie verbindet die monetären Bewertungsergebnissen mit denen der nicht monetären Bewertung, um somit eine Gesamtwertermittlung je Alternative zu bestimmen.<sup>30</sup>

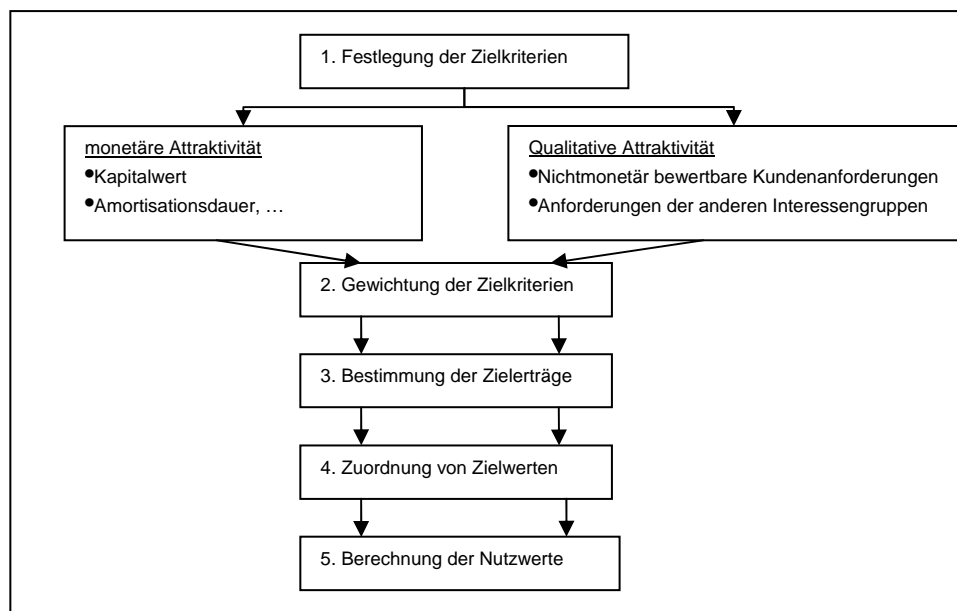


Abbildung 8: Ablauf der Nutzwertanalyse: EWA Stufe 3

Die fallspezifischen, nicht monetär erfassbaren Zielkriterien sind aus dem im Rahmen der Anforderungsanalyse bestimmten Anforderungskatalog (siehe Abschnitte 2.1.2.1, 2.1.2.2) zu entnehmen. Dabei sollte die Anzahl der Bewertungskriterien überschaubar sein, d. h. nur die wichtigsten und wenn möglich unabhängigen Kriterien sollten auf der Bewertungsstufe 3 zur EWA berücksichtigt werden.

<sup>29</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 84-95

<sup>30</sup> Vgl. ebenda, S. 90

Sowohl für die Ergebnisse aus den ersten beiden Bewertungsstufen der EWA als auch für die nicht oder schwer monetär erfassbaren Investitionsauswirkungen müssen die Schritte 2 bis 5 bearbeitet werden (siehe Abbildung 8).

Die Zielkriterien, die die monetäre Attraktivität einer Systemalternative beschreiben, sind in den Stufen 1 und 2 zur EWA bewertet worden. Ihre Zielerträge je Systemvariante, d. h. wie gut oder schlecht das jeweilige Kriterium von der jeweiligen Systemvariante erfüllt wird, sind somit bekannt. Es müssen nun noch die Gewichtungen bestimmt werden. So kann man bspw. Kapitalwert und Amortisationsdauer einer Investitionsmöglichkeit ermitteln. Da dem Kapitalwert bei der Auswahl konkurrierender Investitionsalternativen hohes Gewicht beigemessen wird,<sup>31</sup> erhält er bspw. eine Gewichtung von 70%, das Kriterium Amortisationsdauer nur 30%. Zur Ermittlung der Zielwerte wird eine Punkteskala von 0 bis 10 eingeführt. Zur Zielwertbestimmung bei quantitativen Zielkriterien eignen sich so genannte Zielwertfunktionen. Sie müssen vom Bewertenden aufgestellt werden und ermöglichen eine skalierte Zuordnung von Punktwerten zu den vorhandenen Zielerträgen. Der Nutzwert (N) einer Systemalternative x ergibt sich aus der Summe über alle mit den jeweiligen Kriteriengewichten  $g_j$  multiplizierten Zielwerten  $n(k_j)$  für  $m$  Zielkriterien. Es gilt:<sup>32</sup>

$$(3) \quad N_x = \sum_j [g_j * n(k_j)]; j = 1, 2, \dots, m$$

Dabei werden die Nutzwerte der monetären Attraktivität getrennt für die Zielerträge auf Stufe 1 und 2 zur EWA bestimmt.

Ähnlich wird bei der Bestimmung der Nutzwerte für die Zielkriterien der qualitativen Attraktivität verfahren. Eine erste Festlegung der Zielkriterien ausgehend von den Kundenwünschen wurde bereits in Abschnitt 2.1.2.2 behandelt. Für die hier festgelegten technischen Merkmale wurden mittels QFD bereits Gewichtungen unter Beachtung der Kundenanforderungen bestimmt. Durch unternehmensinterne Anforderungen, wie sie bspw. aus langjährigen Entwicklungserfahrungen entstehen oder externen Anforderungen, soweit sie nicht schon in den KO-Kriterien erfasst sind (vgl. Abschnitt 2.1.2.3), wird diese Sammlung von Kriterien qualitativer Attraktivität vervollständigt. Dabei sollten die beiden letzteren zunächst unabhängig von den aus Kundenwünschen abgeleiteten Merkmalen und deren Gewichtung betrachtet werden. Zunächst muss auch für sie die Kriteriengewichtung festgelegt werden. Handelt es sich um aus internen Anforderungen abgeleitete Zielkriterien, so

<sup>31</sup> Vgl. Pflaumer, P. (1992), S. 59

<sup>32</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 87

können entsprechend Verantwortliche die Gewichtung bestimmen. Bei externen Auflagen oder ähnlichem, muss das Unternehmen die Bedeutung bzw. Wichtigkeit abschätzen. Sind die zu zahlenden Strafen bei Nichteinhaltung bspw. hoch, wird das Unternehmen eine hohe Gewichtung wählen oder es gleich zu einem KO-Kriterium erklären. Zur Gewichtung der Kriterien eignet sich auch hier der paarweise Vergleich in Matrixform. Hiernach können die relativen Gewichtungen über alle qualitativen Zielkriterien, sowohl der kundenabhängigen als auch der kundenunabhängigen, bestimmt werden (siehe Anhang A.2.2). Wenn ein Zielkriterium sowohl von Kundenseite als auch unternehmensintern oder extern festgelegt wurde, werden die Gewichtungen zusammengefasst. So werden die Anforderungen aller Interessengruppen entsprechend berücksichtigt. Für den weiteren Bewertungsfortschritt darf jedes Kriterium nur einmal auftreten.

Nach der Ermittlung der Zielerträge sind ihnen nun entsprechende Zielwerte zuzuordnen. Dabei wird auf eine Skala von 0 bis 10 zurückgegriffen, wobei der Zielwert umso höher ist, je mehr der Zielertrag den Anforderungen entspricht bzw. diese von der Systemalternative erfüllt werden. Anschließend werden die Zielwerte (Ausdruck für den Kriterienerfüllungsgrad) mit den dazugehörigen Gewichtungen multipliziert und je Alternative aufsummiert, um so den Nutzwert der qualitativen Attraktivität je Systemvariante zu ermitteln.

Erst wenn alle drei Nutzenwerte je Systemalternative vorliegen, kann eine die EWA abschließende Ergebnisaufbereitung erfolgen, mit deren Hilfe die Selektionsentscheidung getroffen werden kann. Dafür eignet sich das Nutzwertportfolio.<sup>33</sup> Es bietet eine gute graphische Möglichkeit für eine anschauliche Ergebnisdarstellung. Damit der Entscheidungsträger je nach Risikoaffinität eine Systemvariante auswählen kann, empfiehlt es sich, zwei Nutzwertportfolios zu entwickeln. Jeweils werden die Nutzwerte qualitativer Attraktivität den Ergebnissen aus Stufe 1 und jenen aus Stufe 2 gegenübergestellt. Bei einer konservativen Entscheidung wird man sich eher auf die Gegenüberstellung mit Stufe 1 berufen. Je risikofreudiger man ist, desto mehr werden die Ergebnisse aus Stufe 2 mit einfließen.

In Kapitel 2 werden diese Teilschritte unter Verwendung von Annahmefällen konkretisiert.

---

<sup>33</sup> Vgl. Zangemeister, C. (1993), S. 95 ff.

In einem Nutzwertportfolio können die Systemalternativen hinsichtlich zweier Zieldimensionen abgebildet werden, um somit deren relative Lage zueinander zu ermitteln.

Unter Verwendung des 3-Stufen-Verfahrens zur EWA gelingt es mit relativ geringem zeitlichem und personellem Bewertungsaufwand eine plausible und zuverlässige Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

Die ersten Anforderungen an ein migrationsfähiges System sind somit bestimmt. Gleichzeitig sind den Anforderungen Gewichtungen zugeordnet, die sich aus den Forderungen der Dimensionen *Kunde*, *Unternehmen* und *Extern* zusammensetzen. Die Dimension *Wettbewerber* gilt soweit als erfasst, als dass das Unternehmen diese bei seinen Anforderungen berücksichtigt. Einen ersten Einblick auf den Faktor Wettbewerber bietet auch die Wettbewerbsanalyse im Rahmen des QFD. Mittels der Gewichtungen lässt sich eine Aussage darüber treffen, wie wichtig die einzelnen Anforderungen für den Migrationserfolg sind.

Ausgehend von der selektierten Systemvariante sind nun die Anforderungen für eine Migrationsfähigkeit des Systems im engeren Sinne zu ermitteln. Das heißt, es müssen zunächst mögliche Migrationsstrategien für das selektierte System entwickelt werden, um dann nach einer Bewertung die Optimale selektieren zu können.

### 2.1.3 Entwicklung von Migrationsstrategien

Mit der Migrationsstrategie soll das grundsätzliche Vorgehen bei der Einführung der neuen, zuvor ausgewählten Systemvariante beschrieben werden. Ausgangspunkt (aktuelles System und Systemumgebung) sowie Ziel (das ausgewählte System) sind bekannt. Die möglichen Wege, wie das Unternehmen vom Jetzt- zum gewünschten Zukunftssystem gelangen kann, werden bei der Migration neuer technischer Systeme in ein bereits bestehendes Umfeld durch (zumeist) umfangreiche *Randbedingungen* beeinflusst. Diese gilt es in einem ersten Schritt zusammenzutragen.

Für die Aufstellung aller relevanten Randbedingungen bzw. Einflussfaktoren empfiehlt sich ein *strukturiertes Analysieren des Systems und seiner Umwelt*. Hierbei ist unter Umwelt nicht nur das technische Umfeld, sondern auch der Absatz- und Beschaffungsmarkt, die Konkurrenz, das politisch-rechtliche Umfeld und das Herstellerunternehmen selbst zu verstehen.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Vgl. Koch, A. (2004), S. 114



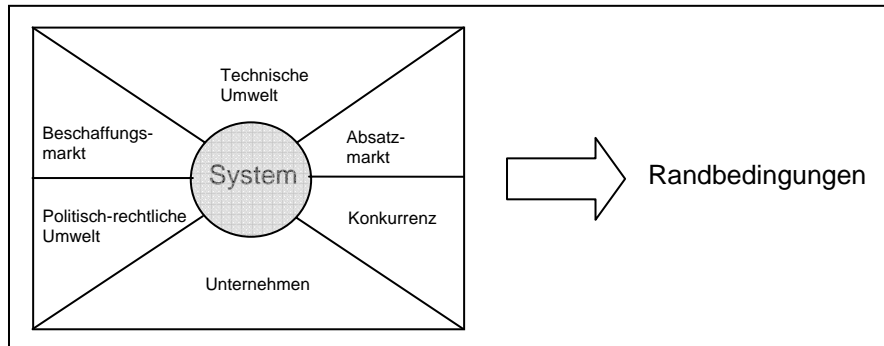


Abbildung 9: Systemumweltbetrachtung zur Erfassung von Randbedingungen

Für die zu erfolgende Informationsgewinnung über diese Einflussbereiche eignen sich Befragungen von internen oder externen Experten bzw. Quellen der einzelnen Bereiche, manche Randbedingungen sind auch offensichtlich aber nicht weniger bedeutend. Wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt wird, ist die entscheidende Einflussgröße bei der Gestaltung von Migrationsstrategien für ein neues Zugbeeinflussungssystem die Verfügbarkeit bzw. Betriebsfähigkeit. Während der Integration der neuen Technik muss der Transportbetrieb weitgehend ohne Einschränkungen fortgesetzt werden. Eine Randbedingung, die die Komplexität von Migrationsprozessen von LST signifikant erhöht. Gleichzeitig sind die Befragten dazu angehalten, die Randbedingungen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit zu bewerten.<sup>35</sup> Das genannte Kriterium der Verfügbarkeit etwa ist eine unabdingbare Randbedingung. Sie muss bei jeder Strategiegestaltung für Zugbeeinflussungssysteme entsprechend berücksichtigt werden.

In einem zweiten Schritt sind den Randbedingungen mögliche *Lösungsvarianten* (V) zuzuordnen, d. h. wie gelangt man unter Einhaltung der restriktiven Randbedingung von dem gegenwärtigen in den zukünftigen Zustand.

In einem letzten Schritt erfolgt die *Alternativenbündelung*. Hierbei sind die unterschiedlichen Kombinationen der einzelnen Vorgehensvarianten (V) zu den Randbedingungen Ausgangspunkt für die Entwicklung alternativer Migrationsstrategien. Diese gilt es abschließend auf Konsistenz und Logik zu überprüfen.<sup>36</sup> Zur Durchführung von Konsistenzanalysen empfiehlt sich die Verwendung des Rechnerprogramms CAS (Computer Aided Scenarios).<sup>37</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 34

<sup>36</sup> Obiges Verfahren ist in Anlehnung an das Grundprinzip induktiver Ansätze der Szenarienplanung entstanden; vgl. Schlake, O. (2000), S. 67 ff.

<sup>37</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 256

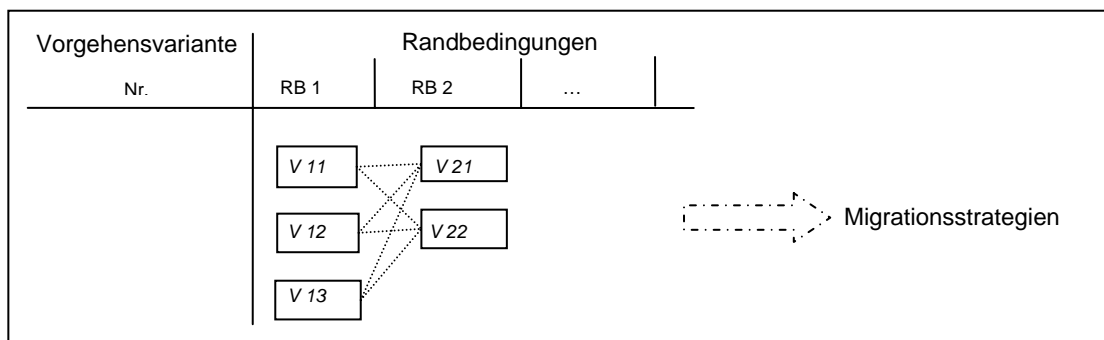


Abbildung 10: Ableitung von Migrationsstrategien

Die alleinige Berücksichtigung der Randbedingungen garantiert nicht den Erfolg einer Migrationsstrategie. Neben ihnen sind wichtige Aspekte wie Timing<sup>38</sup>, Preiswahl, Vertriebsstrategie und Marketing zu beachten.<sup>39</sup>

Da das Ziel dieser Arbeit die Festlegung von Erfolgskriterien für die Entwicklung migrationsfähiger Zugleitsysteme ist, finden diese Größen trotz ihrer Brisanz hier keine weitere Beachtung. Die richtige Wahl dieser Parameter ist nicht schon vor oder bei Produktentwicklung zu treffen. Über sie ist situationsgebunden zu entscheiden.

#### 2.1.4 Bewertung der Migrationsstrategien

Die entscheidenden Kriterien bei der Bewertung und anschließenden Selektion der optimalen Migrationsstrategie sind *Kosten- und Zeitaufwand*. Je nach Migrationsstrategie variieren das Kostenaufkommen und die Dauer des Migrationsprozesses. Bei vergleichsweise kurzer Integrationsdauer wird zügig eine vollständige Systemumstellung realisiert. Entgegen einer langsamen Migration besteht jedoch kaum die Möglichkeit, Know-How bezüglich der neuen Technik im Unternehmen strukturiert aufzubauen.<sup>40</sup> Zudem birgt eine schnelle Migration die Gefahr eines überhöhten Kostenaufkommens. Im Gegenzug kommt es bei der schnellen Migration nicht vor, dass der Migrationsprozess zu lange dauert und das System bei der endgültigen Einführung bereits veraltet sein könnte oder ein Wettbewerber bereits erfolgreich am Markt ist. Neben Einführungsgeschwindigkeit, die in hohem Maße den Neuheitsgrad des Produktes bestimmt, spielen ebenso Einführungsbreite und -resonanz eine wichtige Rolle für den Innovationserfolg<sup>41</sup>.

<sup>38</sup> d. h. wann und wie schnell wird das Produkt auf den Markt gebracht

<sup>39</sup> Vgl. Schilling, M. (2005), S. 259

<sup>40</sup> Vgl. Bundesministerium des Innern (2003), S. 14

<sup>41</sup> Vgl. Zahn, E. (Hrsg.) (1991), S. 75

Diese und weitere Vor- und Nachteile sind möglichst umfassend in den Werten Kosten und Zeit zu erfassen und zu bewerten.

Neben Kosten und Zeit ist die Berücksichtigung des *Risikos* für eine aussagekräftige Szenarienbewertung sehr wichtig. Dies gilt im Besonderen bei langfristiger angelegten Migrationsprojekten, zu denen ohne Frage die Einführung einer neuen Zugbeeinflussung in das System Bahn gehört. Denn umso weiter man von der heutigen Situation in die Zukunft geht, desto größer wird die Unsicherheit und somit auch die Komplexität des Entscheidungsprozesses.<sup>42</sup> Dies bedeutet, dass mit Eintreten unterschiedlicher Zukunftsszenarien die jeweilige Migrationsstrategie unterschiedlich erfolgreich hinsichtlich Kosten und Zeit sein wird.

Um eine Aussage über die Auswirkungen alternativer Zukunftseignisse auf den Migrationsprozess und das Unternehmen zu treffen, sind zunächst alle möglichen Zukunftsszenarien zu entwickeln. Wenn möglich sollten ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Danach werden für die einzelnen Zukunftsbilder Werte zu Kosten und Zeit der einzelnen Migrationsstrategien bestimmt. Je nachdem, ob Wahrscheinlichkeiten zu den einzelnen Zukunftsszenarien ermittelt werden können, handelt es sich bei der Strategiebewertung und -selektion um eine *Entscheidung unter Unsicherheit* (es sind lediglich die Umweltzustände, nicht aber ihre Wahrscheinlichkeiten bekannt) oder eine *Entscheidung unter Risiko* (Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten eines Umweltzustandes können bestimmt werden).<sup>43</sup>

Unter Zuhilfenahme eines Entscheidungsmodells soll aus der Menge möglicher Strategiealternativen diejenige ermittelt werden, die hinsichtlich Kosten und Zeit unter Beachtung möglicher zukünftiger Umweltszenarien am vorteilhaftesten ist.

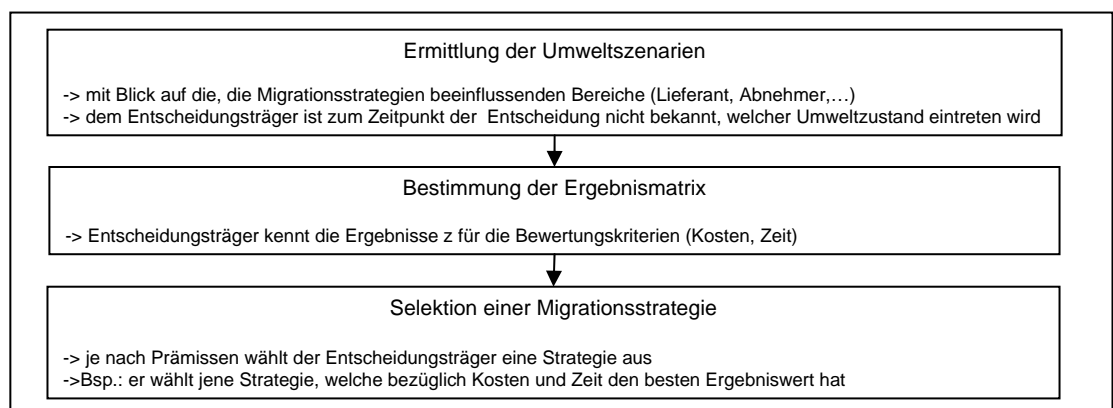


Abbildung 11: Ablauf der Strategie-Selektionsentscheidung

<sup>42</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 26

<sup>43</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 459

### 2.1.4.1 Erstellung von Umweltszenarien

Umweltszenarien sind widerspruchsfreie, logisch zusammenpassende Beschreibungen alternativer Zukunftsbilder des Migrationsumfelds und die Darstellung der Entwicklungswege von dem Jetzt in die Zukunft.<sup>44</sup> Die 3 wesentlichen Schritte für die Aufstellung alternativer Szenarien im Rahmen der Szenario-Technik sind Analyse, Formulierung von Entwicklungstendenzen und Synthese.<sup>45</sup>

Die Analyse umfasst im Wesentlichen die Untersuchung des Umfelds. Nach Bestimmung der für den Erfolg der Migrationsstrategien relevanten Einflussbereiche werden die dafür relevanten Einflussfaktoren erfasst. Für sie werden hiernach mögliche Entwicklungen formuliert. Abschließend werden die einzelnen Entwicklungstendenzen miteinander kombiniert. Für die somit ermittelten Szenarien werden wenn möglich Eintrittswahrscheinlichkeiten ermittelt (siehe Tabelle 1). Während man für die ersten beiden Schritte vor allem auf Kreativitätstechniken zurückgreift, eignet sich für die Aufstellung der Szenarien die Cross-Impact-Analyse<sup>46</sup>. Mit dieser Interaktionsmethode werden Wechselwirkungen zwischen den Ereignissen identifiziert, um sich somit einen Überblick über die Zusammenhänge zu verschaffen und Eintrittswahrscheinlichkeiten  $p$  der  $n$  Szenarien bestimmen zu können. Wobei gilt

$$(4) \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1 .$$

Damit das Cross-Impact-Verfahren das erhoffte Hilfsmittel zur strategischen Planung sein kann, sind jedoch vorab vergleichsweise umfangreiche Informationen zusammenzutragen.

Einflussfaktor 1 Einflussfaktor 2	A	B	C
I	$s_1$	$s_2$	$s_3$
II	$s_4$	$s_5$	$s_6$

A, B, C - Entwicklungsvarianten des Einflussfaktors 1  
I, II - Entwicklungsvarianten des Einflussfaktors 2  
 $s_1, s_2, \dots, s_6$  - mögliche Umweltszenarien mit Eintrittswahrscheinlichkeiten  $p_1, p_2, \dots, p_6$

Tabelle 1: Umweltszenarienerstellung (in Anlehnung an Homburg (2000), S. 457)

<sup>44</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 14

<sup>45</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 110 ff.

<sup>46</sup> Vgl. Gabler (2000), S. 661 und Brauers/Weber (1986)

### 2.1.4.2 Aufstellen der Ergebnismatrix

In der Ergebnismatrix werden die Ergebnisse  $z_{ij}$ , d. h. die Auswirkungen auf Kosten- und Zeitaufwand der einzelnen Migrationsstrategien bei Eintreten der verschiedenen Umweltzustände zusammengestellt.

Zur Bestimmung des Kosten- und Zeitaufwandes bedarf es zunächst Abschätzungen der Grunddaten. Diese können von Mitarbeitern der Marktforschungsabteilung in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Bereichsverantwortlichen ermittelt werden.

Bei der Kostenbestimmung bedient man sich der Verfahren der klassischen Investitionsrechnung. Sie werden bei Investitionseinzelentscheidungen unter sicheren Erwartungen angewendet. Da wir die Unsicherheit der zukünftigen Rahmenbedingungen durch die Betrachtung unterschiedlicher Umweltszenarien bereits berücksichtigen, sind die klassischen Investitionsrechenverfahren hier ausreichend. Generell unterscheidet man dabei zwischen statischen und dynamischen Verfahren. Während erstere ausschließlich Durchschnittsrechnungen durchführen, berücksichtigen dynamische Verfahren der Investitionsrechnung die zeitliche Verteilung der variierenden Ein- und Auszahlungen durch entsprechende Auf- bzw. Abzinsung mittels eines Kalkulationszinssatzes  $i$ .<sup>47</sup>

Der Umstand, dass statische Investitionsrechnungen keine Zeitreihenbetrachtung durchführen, sondern ausschließlich Durchschnittswerte für den Migrationskostenvergleich verwenden, macht sie für eine Analyse langfristig angelegter Migrationsprojekte ungeeignet. Etwa bei der Einführung eines Zugbeeinflussungssystems ist die zeitliche Verteilung von Kosten und ersten, bereits während der Migration erzielten Einsparungen (z. B. durch Reduktion der Wartungskosten) über die gesamte Migrationsdauer von entscheidender Bedeutung. Dies kann mittels dynamischer Investitionsrechenverfahren berücksichtigt werden.

Als günstig erweist sich dabei die Kapitalwertmethode<sup>48</sup>. Hierbei wird der Barwert  $C_0$  der Migrationsstrategien durch Diskontierung der Zahlungsreihen auf den jetzigen Zeitpunkt bestimmt.

$$(5) \quad C_0 = \sum_{t=0}^n (E_t - A_t) \cdot \frac{1}{(1+i)^t}$$

$C_0$  - Barwert (in der Regel negativer Wert)  
 $t$  - einzelne Perioden von 0 bis  $n$  der Migrationsdauer  
 $E_t$  - Einnahmen der Periode  $t$   
 $A_t$  - (Einführungs-)Ausgaben der Periode  $t$   
 $(E_t, A_t)$  umfassen ausschließlich die monetären Größen, die durch die Migration bedingt sind  
 $i$  - Kalkulationszinssatz

<sup>47</sup> Vgl. Schneider, H. (2000), S. 161

<sup>48</sup> Vgl. Perridon/Steiner (2004), S. 61 ff.

Die Werte der Zahlungsreihen beziehen sich ausschließlich auf den Migrationsprozess und werden in Relation zum Weiterführungsszenario gesehen. So werden Mehraufwendungen und erzielte Einsparungen analysiert, um den finanziellen Einfluss der Neueinführung zu bestimmen. Die Werte der Zahlungsreihe sind hierbei im Normalfall Negativpositionen. Die bereits während der Migration erzielten Einsparungen fallen geringer aus als die notwendigen Aufwendungen, d. h.  $A_t > E_t$ . Der errechnete Barwert ist deshalb in der Regel negativ. Man bezeichnet ihn als *Migrationskosten*.

Bei der Selektion einer Migrationsstrategie ist jenes mit dem höchsten Barwert, also dem geringsten Negativwert, aus Kostensicht das günstigste. Bei ihm fallen die geringsten Migrationskosten an.

Für die Bestimmung des Zeitaufwands muss sich der Entscheidungsträger von entsprechendem Fachpersonal bzw. Experten informieren lassen. Da die Zeitdauer Bestandteil der Kapitalwertberechnung ist, d. h. bis zu welchem Zeitpunkt fallen Kosten für die Migration an, die auf das Heute abgezinst werden müssen, gehen Kosten- und Zeitaufwandsbestimmung einander her.

	$Z_{ij}$			
Umweltszenarien	$s_1$	$s_2$	$s_3$	...
Migrationsstrategien	$p_1=$	$p_2=$	$p_3=$	
$a_1$				
$a_2$				
...				

Tabelle 2: Ergebnismatrix

### 2.1.4.3 Selektion einer Migrationsstrategie

Auf Basis der Ergebnismatrix soll die ‚beste‘ Migrationsstrategie ermittelt werden. Im Folgenden sollen dazu ausschließlich Entscheidungsregeln für eine Entscheidung unter Risiko vorgestellt werden. Es wird also vorausgesetzt, dass Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind, die Informationsbasis für eine Entscheidung somit besser ist. Sollten den Entscheidungsträgern keine Wahrscheinlichkeiten vorliegen (Entscheidung bei Unsicherheit), so sei an dieser Stelle auf die Ausführungen von Bamberg/Coenenberg (2002), Bitz (1981) und Laux (1998) verwiesen.

Der Entscheidungsträger kann bei Entscheidungen unter Risiko auf mehrere Entscheidungsprinzipien zurückgreifen.<sup>49</sup> Zwei handliche und übersichtliche Methoden dienen als Ausgangspunkt für die Auswahl einer Migrationsstrategie.<sup>50</sup>

Beim  $\mu$ -Kriterium werden für alle  $i$  Migrationsstrategien die Erwartungswerte bezüglich Kosten und Zeit nach der Vorschrift

$$(6) \quad \mu_i = \sum_{j=1}^n p_j z_{ij}$$

bestimmt.

Nachteil dieser Methode ist die Vernachlässigung der Streuung des Ergebnisses um den Erwartungswert. Risikofreude oder -aversion des Entscheidungsträgers lassen sich erst unter Verwendung des  $\mu, \sigma$ -Kriteriums berücksichtigen. Je nach Risikoeinstellung entscheidet man sich unter Berücksichtigung von Erwartungswert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma$ . Für  $\sigma$  gilt:

$$(7) \quad \sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - \mu_{ij})^2 \cdot p_j} .$$

Der als Basis der Entscheidung dienende Wert berechnet sich dann mit

$$(8) \quad \Phi(a_i) = \mu_i + \alpha \sigma_i .$$

Ein risikofreudiger Entscheider wird  $\alpha > 0$  wählen, ist er risikoscheu, wählt er  $\alpha < 0$ . Da das  $\mu, \sigma$ -Kriterium eine sinnvolle Erweiterung des  $\mu$ -Kriteriums ist, wird es im Folgenden als alleiniges Entscheidungskriterium verwendet. Beide Ergebnismatrizen für die Kriterien (q) Kosten und Zeit sind durch die Werte der Zielfunktionen  $\Phi_q(a_i)$  ergänzt wurden.

Da es sich bei der Auswahl einer Migrationsstrategie um ein zweikriterielles Entscheidungsproblem handelt, muss eine Abstimmung zwischen den Zielwerten aus Kosten- und Zeitbetrachtung erfolgen.

Vorab sind zunächst alle ineffizienten Migrationsstrategien zu entfernen. Strategiealternativen  $a_i$  die von einer anderen Alternative dominiert werden, müssen nicht weiter berücksichtigt werden. Sie haben bezüglich *aller* Erfolgskriterien  $q$  (hier Kosten und Zeit) gleiche oder schlechtere Ergebnisse  $\Phi$  als die sie dominierende Strategie  $a_k$ . Dabei muss  $a_i$  in mindestens einem Kriterium  $q^*$  schlechter sein. Formal bedeutet das:

<sup>49</sup> Vgl. Bamberg/Coenenberg (2002), S. 72 ff.

<sup>50</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 465 ff.

$$(9) \quad \Phi_{kq} \geq \Phi_{iq} \quad \text{und} \quad \Phi_{kq^*} > \Phi_{iq^*} .^{51}$$

Zusätzlich müssen vor Anwendung eines Lösungsansatzes die Ergebnisse der Strategien bezüglich der beiden Erfolgskriterien auf eine einheitliche Skala von 0 bis 1 transformiert werden. Dabei entspricht der jeweils höchste Wert jeder Kriterienbetrachtung dem Wert 1, dem niedrigsten wird der Wert 0 zugewiesen. Alle übrigen Werte werden ‚maßstabsgetreu‘ transformiert.<sup>52</sup> Die transformierten Werte  $\Phi'_{iq}$  berechnen sich aus:

$$(10) \quad \Phi'_{iq} = \frac{\Phi_{iq} - \min \Phi_q}{\max \Phi_q - \min \Phi_q} .$$

Eine bei multikriteriellen Entscheidungsproblemen häufig angewandte Lösungsmöglichkeit ist die Zielgewichtung.<sup>53</sup> Bei der Methode der Zielgewichtung werden nun die transformierten Zielwerte mit den zugehörigen, zuvor zu bestimmenden Gewichtungen  $g$  multipliziert und für jede Migrationsstrategie aufsummiert.

$$(11) \quad R(a_i) = \sum_q g_q \cdot \Phi'_{iq}$$

Da es sowohl Kosten als auch Zeit zu minimieren geht, beschreibt jene Migrationsstrategie mit dem geringsten Wert  $R(a_i)$  den hinsichtlich Kosten und Zeit optimalen Migrationsweg. Nach ihr ist das Produkt in den Markt zu integrieren. Sollte durch eine solche Betrachtung keine eindeutige Entscheidung getroffen werden können, sind die Migrationsstrategien hinsichtlich weiterer Aspekte zu prüfen. Entsprechend einer lexikographischen Gesamtnutzenmessung<sup>54</sup> kann bereits das Hinzunehmen eines dritten Erfolgskriteriums ein aussagekräftiges Ergebnis liefern.

Generell sollte sich der Entscheidungsträger vor Strategiewahl die Auswirkungsstärke der einzelnen Migrationsstrategien sowohl in positiver als auch

<sup>51</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 458

<sup>52</sup> Vgl. ebenda, S. 198

<sup>53</sup> Vgl. Bamberg/Coenenberg (2002), S. 55 f.

<sup>54</sup> Vgl. ebenda, S. 57



negativer Richtung bei den einzelnen Umweltszenarien veranschaulichen.<sup>55</sup> Er verschafft sich dadurch eine bessere Chancen-/ Risikosensibilisierung.

## **2.2 Migrationsfähigkeit als Anspruch an die Entwicklung**

Die mittels des Phasenmodells gesammelten Erkenntnisse über die Anforderungen aller Interessengruppen an das zu entwickelnde System, sind anhand des Lebenszykluskonzepts zu erweitern. Anschließend ist die Gesamtheit der gesammelten Erfolgskriterien in einem Anforderungsdokument festzuhalten, damit diese in dem sich anschließenden Entwicklungsprozess angemessen berücksichtigt werden können.

### **2.2.1 Lebenszyklusbetrachtung**

Lebenszyklusbetrachtungen sind gerade bei komplexen technischen Systemen mit langer Lebensdauer eine der wichtigsten Selektionsgrundlagen für den potentiellen Kunden. Auch für den Hersteller selbst gewinnen Erkenntnisse aus Lebenszyklusbetrachtungen durch eine zu beobachtende Erweiterung des Verantwortungsbereiches des Herstellers/ Lieferanten in der Praxis zunehmend an Bedeutung. Oftmals endet dessen Verantwortung heute nicht mehr mit dem Absatz des Produktes, sondern wird durch Wartungs- und Reparaturverträge, so genannte „Service-Verträge“ bis auf die Phase der Nutzung ausgeweitet. Teilweise entledigen sich die Abnehmer durch entsprechende vertragliche Abmachungen auch des Entsorgungsproblems. Durch eine solche „Full-Service“- Integration des Herstellers verpflichtet sich dieser automatisch zu einer kundengerechten Ausrichtung des Produkts über den gesamten Lebenszyklus. Die Berücksichtigung aller Lebensphasen bereits in der Produktentwicklung wird somit eine Notwendigkeit im Sinne des ökonomischen Zieles des Herstellers/ Lieferanten.<sup>56</sup> Ausgehend vom beschriebenen Phasenmodell kommt der Ausweitung der Beurteilungskriterien für die Innovationsselektion auf den gesamten Produktlebenszyklus zunehmende Bedeutung zu und soll deshalb auch in dieses Konzept entsprechend integriert werden.

---

<sup>55</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 60 f.

<sup>56</sup> Vgl. O'Shea, M. (2002), S. 16 f.

### 2.2.1.1 Das Konzept des integrierten Produktlebenszyklus

Das Grundmodell des Produktlebenszyklus geht davon aus, dass jedes Produkt während seines Lebenszyklus zeitlich aufeinander folgende Phasen durchläuft.<sup>57</sup> Das in Abbildung 12 dargestellte Konzept des integrierten Produktlebenszyklus gibt hierzu einen umfassenden Überblick. Es beschreibt ein komplexes Ablaufmodell mit den drei Zyklen Beobachtung, Entstehung und Markt, wobei die beiden letzteren den Lebenszyklus im engeren Sinne bilden. Jedes dieser Zyklen ist wiederum in einzelne Phasen unterteilt. Während die Reihenfolge der Phasen fix ist, variiert deren Länge von Produkt zu Produkt. Für die Phase der Degeneration des Produktes gilt, dass diese durch Innovationen am bestehenden Produkt oder System aufgeschoben werden kann. Prinzipiell hat jedes Produkt oder System eine begrenzte Lebensdauer, auf dessen Ende sich der Hersteller durch rechtzeitige Neuentwicklungen eines Folgeprodukts/ -systems vorbereiten muss.

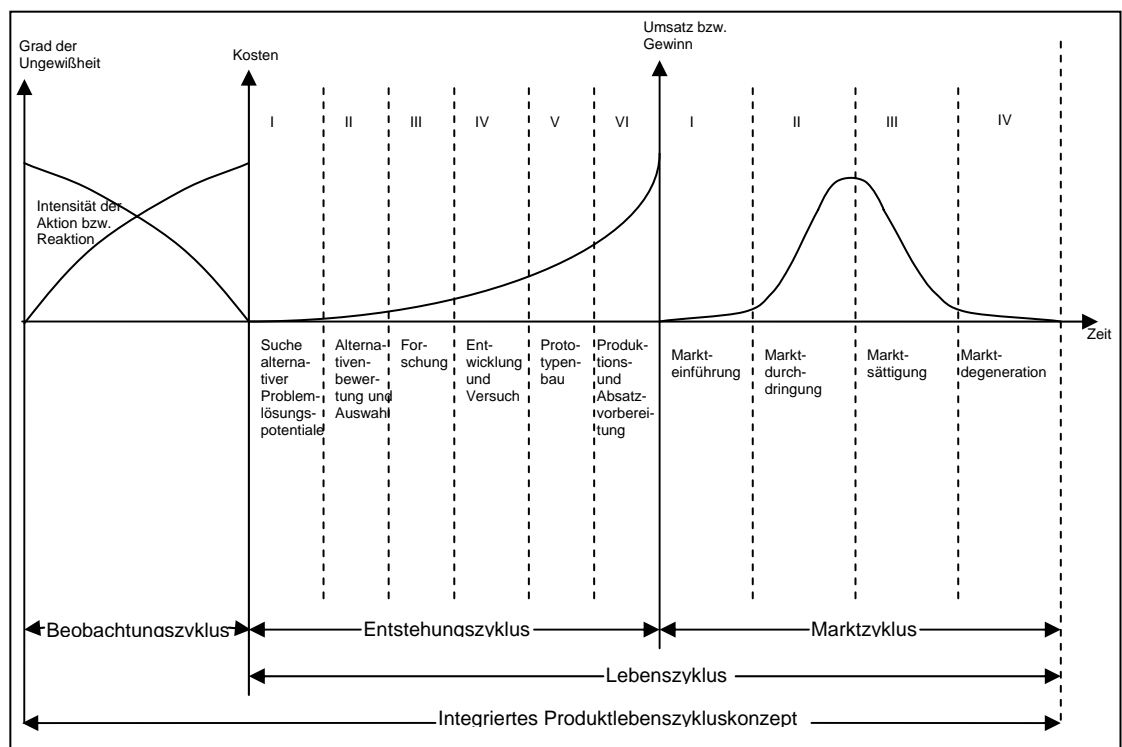


Abbildung 12: Schema des integrierten Produktlebenszykluskonzepts – idealtypischer Verlauf (in Anlehnung an Pfeiffer (1982), S. 27)

Das im Abschnitt 2.1 beschriebene Phasenmodell ist entsprechend den Teilabschnitten I und II des Entstehungszyklus zuzuordnen.

<sup>57</sup> Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 50

### 2.2.1.2 Der Marktzyklus

Im Rahmen der Lebenszyklusanalyse durch den die Kundenbedürfnisse analysierenden Hersteller ist die Untersuchung des *Marktzyklus* wesentlich. Dieser Zyklus ist der den Abnehmer interessierende, da er zumeist erst dann mit dem Produkt konfrontiert wird. Es gilt durch umfassende Betrachtungen und Analysen lebensphasenbezogene Informationen aus dem Marktzyklus in die Produktentwicklung zu integrieren, um diese bereits im Produktentstehungszyklus entsprechend zu berücksichtigen. Denn in der Phase der Produktentwicklung werden der größte Teil der Produkteigenschaften und die Prozesse für alle Phasen des Produktlebenszyklus festgelegt.<sup>58</sup> Eine zu kurzsichtige Analyse der Systemeigenschaften könnte fatale Auswirkungen auf die im gesamten Lebenszyklus gemessenen Faktoren Qualität, Kosten und Zeit des Produktes haben. Im Gegenzug steigert diese prospektive Betrachtung die Attraktivität eines (technischen) Produktes und somit seine Wettbewerbsfähigkeit mitunter erheblich. Die in Abbildung 12 gewählte Darstellung des Marktzyklus hat allgemeinen betriebswirtschaftlichen Charakter. Der genaue Verlauf von Umsatz bzw. Gewinn wird durch den Erfolg des Produktes bestimmt. Bei so genannten „Flops“ stellt sich ein solcher Verlauf nicht ein.

Aus produktionswirtschaftlicher bzw. entwicklungsorientierter Sicht ist eine zweite Darstellung des Marktzyklus (siehe Abbildung 13) günstiger.

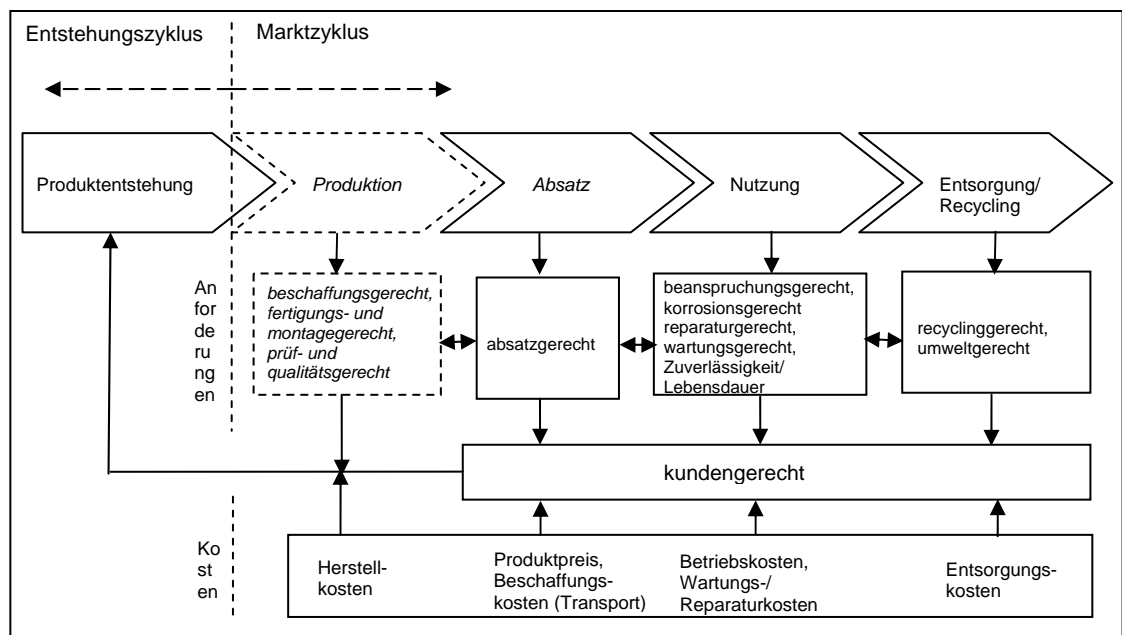


Abbildung 13: Marktzyklus mit seinen Anforderungen und Kostenquellen

<sup>58</sup> Vgl. Daum, B. (2002), S. 3

Aus den einzelnen Phasen des Marktzyklus lassen sich ergänzend zu den bereits mittels Phasenmodell bestimmten Erfolgskriterien weitere Anforderungen ermitteln. Dabei kann es möglich sein, dass im Rahmen der Lebenszyklusanalyse Anforderungen aufgestellt werden, die bereits mittels Phasenmodell ermittelt wurden. Es müssen also nicht immer neue Impulse sein, die man aus der Lebenszyklusbetrachtung gewinnt. Im Besonderen bei der Analyse der Absatzphase wird man im Wesentlichen auf Anforderungen aus Kundenwünschen stoßen. Neue Erkenntnisse wird man vor allem hinsichtlich der Aspekte Herstellbarkeit, Montierbarkeit, Testfähigkeit, Wart- und Reparaturgeeignetheit, Transportfähigkeit und Recyclebarkeit erhalten.<sup>59</sup> Die neu ermittelten Anforderungen sind analog zu den Erfolgskriterien aus dem Phasenmodell (siehe Abschnitt 2.1) bei der Erstellung des Anforderungsdokuments (siehe Abschnitt 2.2.2.1) zu berücksichtigen.

Wobei hier wesentliches Augenmerk auf die Interessen des Kunden gelegt wird. Dass diese nie ganz unabhängig von den traditionellen Herstellerinteressen, die vor allem in der Marktzyklusphase Produktion relevant sind, bewertet werden können, wird aus Abbildung 13 ersichtlich. Da die Interessen des Herstellers wie oben beschrieben jedoch immer weiter durch vertragliche Verpflichtungen auf den gesamten Lebenszyklus ausgeweitet werden, relativiert sich diese Tatsache.

Aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Lebensphasen müssen die einzelnen Phasen und die daraus abgeleiteten Anforderungen simultan berücksichtigt und optimiert werden. So wird eine einseitige Optimierung bezüglich einer bestimmten Produktlebensphase vermieden.<sup>60</sup> Um die damit einhergehenden Komplexität zu bewältigen, ist der Einsatz moderner Methoden aus dem Bereich der Informationstechnologie erforderlich (vgl. Kusiak, A. (1993), Daum, B. (2002)).

Die bestehenden Interdependenzen sollen an einem einfachen Beispiel verdeutlicht werden. Wird zur Verbesserung einer Kundenanforderung (bspw. Korrosionsbeständigkeit) ein bestimmter Werkstoff ausgewählt, so beeinflusst dies die Rohstoffbeschaffung, es hat Einfluss auf die Ausgestaltung des Produktes und letztlich auch auf dessen Recyclebarkeit und Umweltverträglichkeit. Analog verhält es sich mit den Lebenszykluskosten. Eine kostenrelevante Entscheidung in der Produktionsphase hat Auswirkungen bspw. auf die Ausfallrate des Produktes und somit auf die Servicekosten in der Nutzungsphase. Aus den Phasenbeziehungen ergeben sich dabei häufig konfliktäre Zielbeziehungen zwischen den Ausprägungen eines Kriteriums in den einzelnen Phasen.

---

<sup>59</sup> Vgl. Kusiak, A. (1993), S. 363

<sup>60</sup> Vgl. Daum, B. (2002), S. 5

### 2.2.1.3 Analyse der Lebenszykluskosten

Da viele Entscheidungsaspekte mehr oder weniger Einfluss auf den Kostenverlauf während des Produktlebenszyklus haben, zählen die *Lebenszykluskosten (LCC)*<sup>61</sup> zu den dominierenden Entscheidungskriterien. Sie beeinflussen entscheidend die Wirtschaftlichkeit einer Systemvariante. Das Entwicklerteam soll sich vorab aus einer längerfristigen strategischen Perspektive im Klaren werden, welche Teilekonfiguration unter Beachtung der mittels des Phasenmodells gewonnenen Erfolgskriterien für eine günstigste Kostenstruktur des Systems gemessen an der gesamten Produktlebensdauer zu wählen ist. Man spricht hierbei von einer kostenorientierten Konstruktion, d. h. einer Planung und Steuerung der Produktkosten in der Konstruktion.<sup>62</sup> Sie hat besonders im langlebigen Anlagenbau einen besonderen Stellenwert. Die Größe Lebenszykluskosten fließt im Rahmen des hier dargestellten Konzepts in die Bewertungsstufe 1 der EWA (siehe Abschnitt 2.1.2.4) ein.

Wie wichtig diese Überlegungen während der Entwicklungsphase sind, zeigt die Tatsache, dass ca. 2/3 der LCC<sup>63</sup> eines Produktes bereits nach der Konstruktion festgelegt sind. Andere Autoren sprechen von bis zu 90% der Lebenszykluskosten des Produktes bzw. bis zu 70% der Herstellkosten, die bereits nach der Konstruktionsphase bestimmt sind.<sup>64</sup>

Die entscheidenden Kostenquellen<sup>65</sup> sind in Abbildung 13 integriert. Dass die Kostenaspekte Herstellkosten, Anschaffungskosten (Produktpreis/Beschaffungskosten), Betriebskosten, Wartungs-/ Reparaturkosten und Entsorgungskosten in dieser Grafik nicht den Anforderungen zugeordnet wurden sind, sondern explizit erwähnt werden, ist durch ihre hohe Relevanz begründet. Es steht dabei außer Frage, dass niedrige LCC Anforderungskriterien sind.

Durch eine Zuordnung der einzelnen Lebenszykluskostenkomponenten zu den einzelnen Lebensphasen ist eine zeitliche Einordnung möglich (siehe Abbildung 14). Deren jeweilige Höhe hängt jedoch entscheidend von der gewählten Systemkonfiguration ab. Bei einer „Billig“-Variante fallen die Herstellungskosten niedriger aus und die Wartungs- und Reparaturkosten sind mit hoher Wahrscheinlichkeit höher und die Lebensdauer kürzer bzw. vice versa. Diese

---

<sup>61</sup> Vgl. IEC 300-3-3: „LCC sind die kumulierten Kosten eines Objektes (Produkt oder Verfahren) über seinen Lebenszyklus“

<sup>62</sup> Vgl. Schweitzer/Küpper (2003), S. 324 ff.

<sup>63</sup> Vgl. VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.) (1997), S. 1

<sup>64</sup> Vgl. Tanaka, M. (1989), S. 49 und Berliner/Brimson (Hrsg.) (1988), S. 140

<sup>65</sup> Konsequenter Weise müssten auch die Entwicklungskosten als Teil der LCC hier mit aufgezählt werden, da sie aber aus Kundensicht irrelevant sind, bleiben sie bei dieser Betrachtung außen vor.

Beziehungen zwischen den Aktivitäten und Ausgaben aufzudecken, ist wesentlicher Bestandteil der Lebenszyklusanalyse. Eine erste Vorstellung über die Zahlungsverläufe über den integrierten Produktlebenszyklus vermittelt Schweitzer/Küpper (2003), Abb. 3-5.

Exakte Zahlenwerte können dabei im Rahmen einer Prognose nicht geliefert werden. Es handelt sich dabei um Abschätzungen, die aus Erfahrungen mit ähnlichen Produkten oder Prototypen gewonnenen oder im Rahmen von Conjoint-Analysen ermittelt werden.<sup>66</sup> Dabei gilt, dass das Datenmaterial mit Voranschreiten der Produktentwicklung, also mit zunehmender Detaillierung, stetig an Qualität gewinnt.<sup>67</sup>

Das Projektteam muss also zwischen den einzelnen Erfolgskriterien und den jeweils damit verbundenen Lebenszykluskosten optimieren. Dabei ist die Ausgestaltung, d. h. die jeweilige Gewichtung der Kriterien zu den LCC sehr branchenabhängig.

Wie komplex sich der damit verbundene Optimierungsprozess gestaltet, soll kurz an einem Beispiel erläutert werden. Wie alle Anforderungen, ist auch die Größe Funktionstüchtigkeit (engl. serviceability) in sie bestimmende Teilaspekte zu untergliedern. Ihre wesentlichen Teilaspekte sind Diagnostizierbarkeit (diagnosability), Wartbarkeit (maintainability) und Reparierbarkeit (repairability). Mit den Teilaspekten verbundene Kosten werden durch Faktoren wie Verfügbarkeit der Teilkomponenten, Systemmodularität, Arbeitskosten, Komponentenzugänglichkeit, Werkzeugverfügbarkeit etc. bestimmt.<sup>68</sup> Für den Gesamtoptimierungsprozess sind analog alle Anforderungen, die dem Lebenszyklus entnommen wurden sind, in deren Teilaspekte zu untergliedern und anschließend deren kostenbeeinflussenden Merkmale zu bestimmen. Hiernach sind die Abhängigkeiten aller Einflussgrößen untereinander und die Kosteneinflüsse zu bestimmen. Es sind ausschließlich jene Einflussgrößen, die durch den Entwicklungsprozess beeinflusst werden können für das weitere Optimierungsverfahren wichtig. Mit ihnen und unter Einbeziehung der aus dem Phasenmodell gewonnenen Erkenntnisse ist hiernach eine schrittweise Optimierung durchzuführen. Hilfreich dabei sind so genannte Kostentabellenkataloge (Cost Tables)<sup>69</sup>. Sie enthalten die Kosten eines Kalkulationsobjektes (Produkt, Baugruppe, Einzelteil) für mögliche Alternativen hinsichtlich der wichtigsten Kosteneinflussgrößen, des Fertigungsverfahrens, der Fertigungsanlage, der Produktfunktionen und weiterer Produktmerkmale.<sup>70</sup> Es sei an

---

<sup>66</sup> Vgl. Schweitzer/Küpper (2003), S. 223

<sup>67</sup> Vgl. O'Shea, M. (2002), S. 135

<sup>68</sup> Vgl. Kusiak, A. (1993), S. 367 f.

<sup>69</sup> Vgl. Tani/Kato (1994), S. 209

<sup>70</sup> Vgl. Schweitzer/Küpper (2003), S. 331

dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass zur Lösung solcher komplexen Entscheidungsprozesse der Einsatz von heutiger Informationstechnologie unabdingbar ist.

Somit wird deutlich, dass durch das Hinzunehmen einer Lebenszyklusbetrachtung die letztlich gewonnene Aussagequalität über die relevanten Einflussgrößen erheblich steigt. Gleichzeitig erhöht sich die Komplexität der Entscheidung, will man alle Erkenntnisse berücksichtigen. Damit einher geht eine Erhöhung des Entscheidungsaufwands (zeitlich wie personell). In Anbetracht dessen empfiehlt es sich für die Praxis, sich auf die wesentlichen den Verlauf des Produktlebenszyklus beeinflussenden Größen zu beschränken. Dabei gilt wiederum, dass zu dieser Beschränkungsentscheidung, d. h. welche Einflussgrößen sind die relevantesten, umfangreiche System- und Marktkenntnisse notwendig sind.

## **2.2.2 Integration der Anforderungen in den Entwicklungsprozess**

### **2.2.2.1 Dokumentation der Anforderungen**

Resultat der Anforderungsermittlung und -zusammenstellung ist das Anforderungsdokument. Es hat den Charakter eines strategischen Konzepts, das beschreibt, was ein Produkt tun soll und als Grundlage für Vereinbarungen zwischen allen Betroffenen dient. Dabei ist die Verständlichkeit der Spezifikation für alle (Be)Nutzergruppen sicherzustellen. Die Unternehmenspraxis hat gezeigt, dass die Unterstützung des Top-Managements für den Erfolg einer Innovation wichtiger Bestandteil ist.<sup>71</sup> Dass dieses oftmals keine Fachleute sind, gilt bei der Dokumentation zu berücksichtigen. Geeignet dafür scheinen natürliche Sprachen. Mit ihnen fällt es jedoch schwer sehr präzise zu formulieren. Im Gegensatz lässt sich mit formalen Sprachen eine höhere Präzision realisieren. Sie sind wiederum schwieriger verständlich, gerade im Hinblick auf den unterschiedlichen fachlichen Background der Nutzer des Anforderungsdokuments. Somit ist ein Kompromiss zwischen Präzision und Verständlichkeit notwendig, der von den verschiedenen Requirements Engineering-Konzepten (siehe Abschnitt 2.2.2.2) unterschiedlich bewältigt wird. Umgehen kann man dieses Problem, indem man für die unterschiedlichen Zielgruppen verschiedene Repräsentationen des Anforderungsdokumentes wählt, die sich am jeweiligen fachlichen Background und

---

<sup>71</sup> Vgl. Zahn, E. (Hrsg.) (1991), S. 71

den Bedürfnissen orientieren.<sup>72</sup> Einen Überblick über die beteiligten Interessengruppen liefert Abbildung 14.

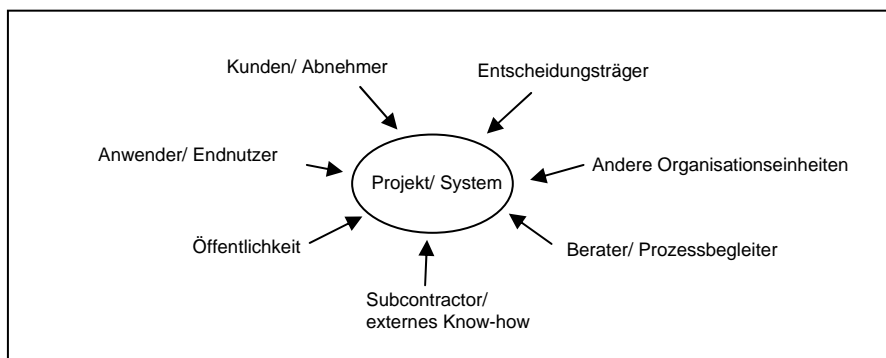


Abbildung 14: Interessengruppen des Entwicklungsprojektes  
(in Anlehnung an Fuchs/Fuchs/Hauri (2002), S. 30)

Sauber und eindeutig formulierte Dokumentationen dienen somit zur Überwindung des Kommunikations- und Koordinationsproblems zwischen den unterschiedlichen Interessengruppen. Sie gibt den Projektbeteiligten eine Diskussionsgrundlage, anhand welcher der Projektverlauf und -fortschritt nachvollzogen und kontrolliert werden kann. Für das Entwicklerteam ist es die entscheidende Orientierungshilfe. Dieses muss sicherstellen, dass am Ende des Projektes jeder geforderten Funktion mindestens eine realisierte Komponente zugeordnet werden kann. Somit liefert eine gute Dokumentation die Voraussetzung für eine gute Projekt- und Produktqualität. Zwei wichtige Dokumente, die vor dem Entwicklungsstart vorliegen sollten, sind das *Lastenheft* und das *Pflichtenheft*. Das Lastenheft beinhaltet alle Anforderungen eines Kunden bzw. Kundensegments und mögliche Anforderungen, die sich aus gesetzlichen Vorschriften, Normen und Standards für spezifische Produktgruppen ergeben. Es kann somit nach Durchführung des Phasenmodells und einer Lebenszyklusanalyse erstellt werden. Es steht in engem Zusammenhang mit Machbarkeits- und Feasibilitystudien<sup>73</sup>. Aufbauend darauf wird das Pflichtenheft erstellt. Es enthält alle wesentlichen Informationen über technische, organisatorische und betriebswirtschaftliche Ziele und Abläufe, die unter Berücksichtigung von Randbedingungen, Erfahrungen, Schnittstellenanalyse und einer Unterscheidung zwischen Muss- und Kannanforderungen erstellt wurden. Das Pflichtenheft schließt den entwicklungs vorbereitenden Prozess ab und ist das entscheidende Anforderungsdokument während des gesamten Entwicklungsprozesses. Es ist Basis für die im Folgenden benannten Aufgaben im

<sup>72</sup> Vgl. Partsch, H. (1998), S. 26 und S. 53 ff.

<sup>73</sup> Siehe hierzu Fuchs/Fuchs/Hauri (2002), S. 72 f.



Rahmen des RE wie bspw. das Entwicklungs-Controlling und muss bei Änderungen von Aufgabenstellung bzw. Anforderungen zwingend entsprechend geändert werden.<sup>74</sup> Da es das Leistungsverzeichnis des Kunden enthält, ist es die Entscheidungsgrundlage, wenn es Unstimmigkeiten über die vom Anbieter erbrachten Lieferungen und Leistungen gibt.<sup>75</sup>

### 2.2.2.2 Systematik des Requirements Engineering

Ausschlaggebend für den Entwurf migrationsfähiger Produkte, ist die Übernahme der mittels Phasenmodell und Lebenszyklusanalyse gewonnenen Anforderungen in die anschließenden Entwicklungsphasen. Es bedarf eines methodischen Anschlusses, damit aus den gesammelten Anforderungsspezifikationen ein entsprechendes System entwickelt werden kann. Das *Requirements Engineering* bezeichnet dabei eine Methode, wie das Projektteam systematisch von den anfänglich vagen, verschwommenen, mehrdeutigen, unzusammenhängenden, unvollständigen und teilweise widersprüchlichen Anforderungen hin zu einem vollständigen, konsistenten und eindeutigen Anforderungsdokument gelangt, der Entwurf des Pflichtenheftes (siehe Abschnitt 2.2.2.1) ist somit ein erster Teilprozess des RE. Dabei umfasst das RE auch Beschreibungsmittel und Werkzeuge, die zur Ermittlung, Formulierung und Analyse von Aufgabenstellungen und Anforderungen an Systeme notwendig sind.<sup>76</sup> Ausgehend von diesem Anforderungsdokument begleitet das RE den weiteren Entwicklungsprozess. Hierbei treten immer wieder Anforderungsänderungen, -ergänzungen bzw. -anpassungen auf, die in den Anforderungskatalog konsistent eingefügt werden müssen. Mögliche dadurch erzeugte Widersprüche müssen erkannt und beseitigt werden.

Wie wichtig ein solches strukturiertes Vorgehen zur Anforderungsspezifizierung ist, wird durch folgendes Zitat von Hull/Jackson/Dick (2005) deutlich:

*„Improving requirements means improving the quality of the product.“*

Das so genannte V-Modell hat sich als übersichtliche Darstellungsform des RE-Prozesses etabliert. Die in Abbildung 15 gewählte Darstellung lehnt an Hull/Jackson/Dick (2005) an und wurde durch einzelne Aspekte erweitert.

---

<sup>74</sup> Vgl. Schneider, H. (Hrsg.) (2000), S. 109 ff.

<sup>75</sup> Vgl. Faisst, R. (1994), S. 13

<sup>76</sup> Vgl. Partsch, H. (1998), S. 17 f.

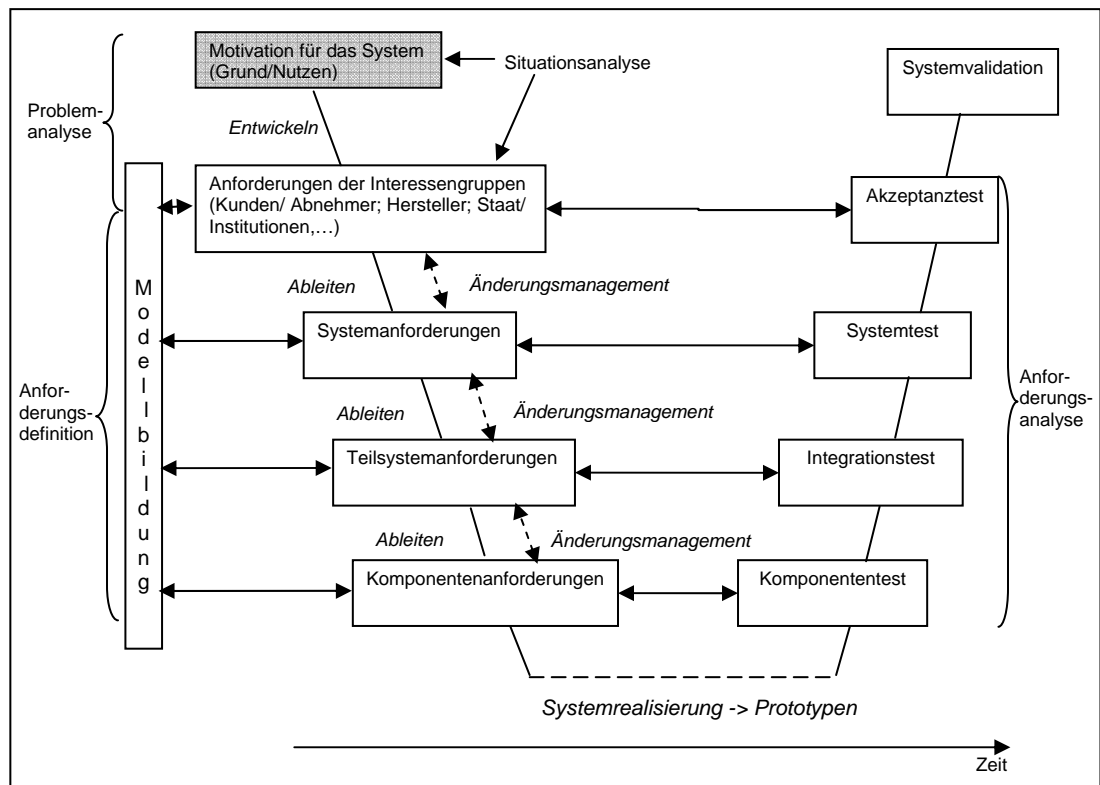


Abbildung 15: erweitertes V-Modell zum Requirements Engineering

Ausgehend von der Motivation für die (Neu-)Entwicklung werden unter Einfluss einer Situationsanalyse<sup>77</sup> die Anforderungen der beteiligten Interessengruppen entwickelt. Diese Teilaufgabe wird im Wesentlichen durch das beschriebene Phasenmodell und die Lebenszyklusanalyse (siehe Abschnitte 2.1 und 2.2.1) erfüllt. Hiernach erfolgt eine stufenweise Detaillierung der Systemanforderungen bis hin zur Bestimmung der Komponentenanforderungen. Die Analyse der Wünsche der Interessengruppen wird in der Literatur als *Problemanalyse* bezeichnet. Die präzisere Beschreibung der Systemanforderungen mit dessen Funktions- und Leistungsumfang erfolgt in der Phase der *Anforderungsdefinition*.<sup>78</sup> Dabei muss das zu erstellende System auch im Zusammenhang mit seiner *Systemumgebung*<sup>79</sup> und den *Systemschnittstellen* (zur Systemumgebung und zwischen den Systemkomponenten), sowie möglichen Zuständen und Zustandsübergängen untersucht werden, um Einflüsse und Abhängigkeiten zu ermitteln. Modelle<sup>80</sup> auf den einzelnen Stufen erleichtern das System- und Anforderungsverständnis und

<sup>77</sup> ...sind Analysen, um eine klare Sicht auf das aktuelle soziotechnische System mit seinen Stärken und Schwächen zu gewinnen. (vgl. Fuchs/Fuchs/Hauri (2002), S. 29)

<sup>78</sup> Vgl. Partsch, H. (1998), S. 20

<sup>79</sup> „... ist der Ausschnitt aus der „realen“ Welt, der für das Verständnis der Anforderungen und die vollständige Charakterisierung des Systems relevant ist.“ (Partsch, H. (1998), S. 21)

<sup>80</sup> Siehe hierzu Hull/Jackson/Dick (2005), S. 43 ff. und Partsch, H. (1998), S. 53 ff.

bilden eine gute Kommunikationsgrundlage für die Projektbeteiligten. Am Ende der Phase der Anforderungsdefinition, ist das Entwicklerteam in der Lage eine erste Systemrealisierung anhand von Prototypen umzusetzen. Damit ist es dem Projektteam möglich, rückwirkend mittels Tests zu verifizieren, ob die festgelegten Anforderungen in dem Systementwurf erfüllt sind. Diese Tests werden im RE unter dem Stichwort *Anforderungsanalyse* (siehe Abbildung 15) zusammengefasst. Voraussetzung für aussagekräftige Tests sind gute Testspezifikationen. Dazu ist die umfassende Quantifizierung der Anforderungen mit möglichst absoluten, messbaren Größenangaben erforderlich.<sup>81</sup> Sind geforderte Systemanforderungen nicht oder falsch umgesetzt worden, muss der Prototyp entsprechend geändert werden. Ein entsprechendes Änderungsmanagement muss projektbegleitend installiert werden. Änderungen sowohl von unterster Detailebene (z. B. eine Änderung einer Komponente wird notwendig) als auch von oberster Ebene (z. B. der Kunde verändert eine seiner Kernanforderungen) müssen in den jeweils höher- bzw. tiefergelegenen Stufen berücksichtigt werden. Um alle Auswirkungen der Anforderungsänderungen auf den einzelnen Stufen zu erkennen, ist eine entsprechende Rückverfolgbarkeit (traceability)<sup>82</sup> notwendig. Eine gute Anforderungsanalyse ermöglicht dem Team, Qualitätsmängel des Produktes frühzeitig zu erkennen und somit kostspielige Änderungsmaßnahmen zu einem späteren Zeitpunkt zu verhindern. Neben einem guten Änderungsmanagement ermöglichen gut aufgestellte Anforderungen eine zufrieden stellende Projektplanung, ein entsprechendes Risikomanagement, Akzeptanztests und eine strukturierte Kompromissgestaltung.<sup>83</sup> Eine von der (Migrations-)Motivation ausgehende Methode unterstützt dessen Einhaltung und somit eine leichte Migrationsfähigkeit und den Produkterfolg, was zusätzlich vom Akzeptanztest abgesichert wird.

Die Anfertigung einer Bedarfsanalyse bleibt davon unberührt. Mit ihr wird die Notwendigkeit zur Erstellung eines neuen Systems bestimmt, um somit zu sichern, dass aus einer marktfähigen Idee auch ein nachhaltiger Geschäftserfolg wird. Sie ist bei der Durchführung der Problemanalyse im Rahmen des RE zu erstellen. Im gleichen Atemzug sollte der Hersteller auch sein eigenes Unternehmenspotential untersuchen. Eine noch so gut entwickelte Idee hilft nichts, wenn dem Unternehmen Ressourcen zu dessen Umsetzung fehlen (vgl. hierzu auch den Aspekt der

---

<sup>81</sup> Vgl. Fuchs/Fuchs/Hauri (2002), S. 76 f.

<sup>82</sup> Vgl. Hull/Jackson/Dick (2005), S. 10 ff.

<sup>83</sup> Vgl. ebenda, S. 2

Realisierbarkeit, Abschnitt 2.1.2.3). Verfügbares Kapital, Personal, Technologiekenntnis, maschinelle Anlagen, starke Marktstellung und Image bestimmen entscheidend Innovationsbereitschaft, -fähigkeit und -möglichkeit des Unternehmens.<sup>84</sup>

---

<sup>84</sup> Vgl. Zahn, E. (Hrsg.) (1991), S. 72 ff.

## 3 Gestaltung einer migrationsfähigen Zugbeeinflussung

Vor dem Hintergrund der aktuellen Probleme bei der Einführung von ETCS in Deutschland, soll in diesem Abschnitt ein konzeptioneller Ansatz für die Entwicklung einer neuen, migrationsfähigen Systemkonfiguration der Zugbeeinflussung als Teil der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik aufgezeigt werden. Bei einer solchen Migration müssen vielfältige Randbedingungen hinsichtlich betrieblicher, technischer und wirtschaftlicher Aspekte berücksichtigt werden. Um die dadurch entstandene Komplexität des Entscheidungsprozesses reduzieren zu können, empfiehlt sich eine systematische Vorgehensweise bei der Entwicklung migrationsfähiger LST. Eine solche Systematik bietet das beschriebene Grundkonzept (siehe Abschnitt 2). Im Rahmen des Phasenmodells werden zunächst Erfolgs- und Bewertungskriterien sowie Randbedingungen, die Einfluss auf die Migrationsfähigkeit eines Zugbeeinflussungssystems haben, ermittelt und in einem Kriterienkatalog erfasst. Für ein umfassenderes Verständnis der Zusammenhänge werden wesentliche Aspekte im Lebenszyklus betrachtet. Die ermittelten Anforderungen sind Ausgangspunkt für den Entwurf des Lasten- und Pflichtenheftes und eine systematische Entwicklungsvorbereitung im Rahmen des Requirements Engineering. Neben Kenntnissen über das zuvor beschriebene Grundkonzept ist für die Gestaltung einer migrationsfähigen Zugbeeinflussung zunächst ein Grundverständnis über das System Bahn und seine Besonderheiten sowie die Aufgabe eines Zugbeeinflussungssystems notwendig. In Deutschland bestehende Zugbeeinflussungssysteme werden kurz vorgestellt.

### 3.1 Das System Bahn

#### 3.1.1 Spezifische Eigenschaften der Bahnsysteme

Einleitend seien die wesentlichen Eigenschaften des Systems Bahn, die vor allem im Rahmen dieser Untersuchung relevant sind, benannt. Für umfangreichere Informationen und Beschreibungen sei an dieser Stelle auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen.

Das System Bahn zeichnet sich durch eine erhöhte Komplexität aus. Zudem ist es vielfältigen Randbedingungen unterworfen und zählt zu jenen Technologien, die im Besonderen von politischen Entscheidungen beeinflusst werden. Außerdem besteht das System Bahn im Wesentlichen aus Bauelementen mit *langen Lebenszyklen*, die

wiederum lange Abschreibungsdauern aufweisen. Der Wettbewerb im Sektor Schienenverkehr besteht nur im beschränkten Maße.

Systemtechnisch unterscheidet sich der Schienenverkehr von anderen Verkehrstechniken im Wesentlichen durch folgende Eigenschaften, die es bei einer Systemgestaltung zu bedenken gilt.

Das System Bahn zeichnet sich durch seine *Spurführung* aus. Bei Fahrtverzweigungen sind bewegliche Fahrwegelemente, so genannte *Weichen* erforderlich. Entgegen dem Straßenverkehr weist der Schienenverkehr *lange Bremswege* durch geringere Haftreibung (System „Stahl auf Stahl“) auf. Bereits bei leicht erhöhter Zuggeschwindigkeit ist deshalb ein Fahren auf Sicht nicht mehr sicher, also unzulässig.<sup>85</sup> Dem Aspekt *Sicherheit* wird im gesamten System Bahn erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Entsprechend sind, durch den Einsatz von Stellwerken, Steuerung und Sicherung von Fahrwegelementen (Signale, Weichen) und Zugfolgen zu gestalten. Für letztere gelten unterschiedliche Abstandsvorschriften, mit denen Auffahrunfälle verhindert werden sollen. Die zwei gebräuchlichsten Methoden sollen hier kurz vorgestellt werden. Beim so genannten *Fahren im absoluten Bremswegabstand* entspricht die vor einem Zug freigehaltene Strecke seinem tatsächlichen Bremsweg zuzüglich eines Sicherheitsabstands. Da diese Abstandsregelung auf eine kontinuierliche Ortung und Kommunikation zu den beteiligten Zügen angewiesen ist, gewinnt sie mit zunehmender Weiterentwicklung moderner Technologien (Mobilfunk) an Bedeutung.

Die aktuell weltweit meist benutzte Methode ist das *Fahren im festen Raumabstand*. Hierbei ist der Abstand zwischen zwei Zügen konstant. Er beträgt die Summe aus maximalem Bremsweg bei höchstzulässiger Geschwindigkeit und einer Blockabschnittslänge<sup>86</sup>. Letzteres ergibt sich daraus, dass diese Methode in der Regel bei ortsfester Signalisierung angewendet wird. D. h. hier wird die Strecke nicht kontinuierlich, sondern nur im Abstand ortsfester Signale freigegeben.<sup>87</sup> Wie in Abbildung 16 ersichtlich, kann durch das Fahren im absoluten Bremsabstand die Streckenkapazität durch eine kleinere Abstandslänge zwischen zwei Zügen gegenüber festen Raumabständen erhöht werden.

---

<sup>85</sup> Vgl. Pacht, J. (2002), S. 1

<sup>86</sup> Blockabschnitte sind Gleisabschnitte, die nur dann befahren werden können, wenn diese frei von anderen Zügen sind.

<sup>87</sup> Vgl. Pacht, J. (2002), S. 36 ff.

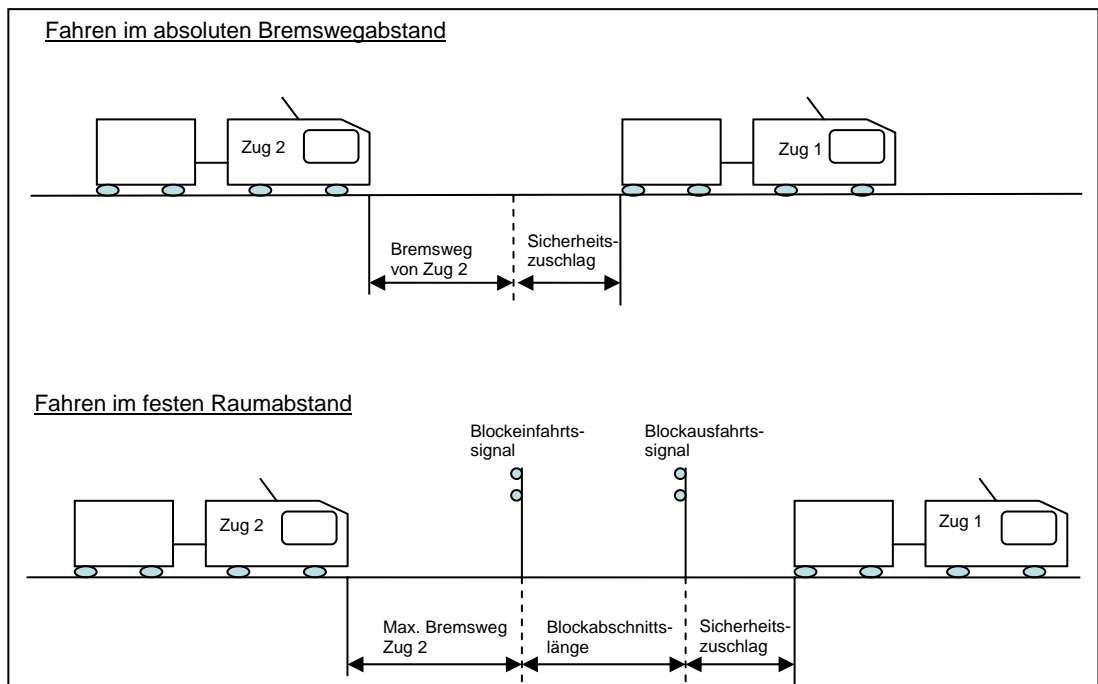


Abbildung 16: Abstandshaltemethoden (in Anlehnung an Pachl (2002), S. 36 ff.)

Züge dürfen somit nur auf *freien* Gleisabschnitten mit technisch *gesicherten Fahrstraßen* (richtige Weichenstellung) verkehren. So genannte Fahrgenehmigungen signalisieren dem Zugführer die freigegebene Strecke und einzuhaltende Restriktionen (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkungen). Die Kommunikation zum Zug kann dabei auf unterschiedliche Weise erfolgen: durch entsprechende Signalstellung an der Strecke, durch Führerstandssignalisierung im Zug, durch schriftliche, mündliche oder fernmündliche Befehle.<sup>88</sup>

Für regelspurige Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs (in Deutschland: ICE, IC/EC, RE, RB, etc.), also jene die für diese Arbeit relevant sind, sind diese und weitere Vorschriften in der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO) zusammengefasst. Durch die Europäisierung sind zunehmend auch internationale Richtlinien wie TSI (Technische Spezifikation für die Interoperabilität) oder CENELEC (elektrotechnische Normung auf europäischer Ebene) von den Betreibern des nationalen Schienenverkehrs zu beachten.

### 3.1.2 Automatische Zugbeeinflussung

Das Zugbeeinflussungssystem ist ein Bestandteil der Leit- und Sicherungstechnik (LST) des Systems Bahn. Mit ihm soll das Zusammentreffen zweier Züge verhindert

<sup>88</sup> Vgl. Pachl, J. (2002), S. 13

und damit die Sicherheit des Schienenverkehrs auch dann gewährleistet werden, wenn der Triebfahrzeugführer Signale übersieht oder andersartige Fehlhandlungen begeht und damit eine enorme Unfallgefahr erzeugt. Das Gefahrenpotential, das vom Menschen ausgeht, soll ausgeschaltet werden. Vorhandene Zugbeeinflussungsanlagen übergeben Informationen über die aktuell zulässige Fahrweise vom Fahrweg zum Fahrzeug. Entsprechende Warnsignale vermitteln auch noch nach dem Vorbeifahren am Signal Fahrhinweise. Bei nachhaltiger Missachtung der Vorgaben werden automatisch ohne Zutun des Zugführers Schutzreaktionen (z. B. Zwangsbremmung) eingeleitet. So wird sichergestellt, dass die beschriebenen Zugabstände eingehalten werden.

Je nach Art der Informationsübertragung wird zwischen der punktförmigen und der linienförmigen Zugbeeinflussung unterschieden. Das neue europäische System ETCS, das selbst noch in der Einführungsphase ist, verwendet auf seinen möglichen Funktionsstufen unterschiedliche Arten der Zugbeeinflussung (siehe 3.1.2.3). Anhand von ETCS lassen sich interessante, zeitnahe Rückschlüsse für Anforderungen an ein neu zu entwickelndes Zugbeeinflussungssystem ableiten, deshalb sei es in diesem Rahmen explizit genannt.

### **3.1.2.1 Punktförmige Zugbeeinflussung**

Die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) ist dadurch gekennzeichnet, dass die Informationsübertragung zum Fahrzeug nur an einzelnen Streckenpunkten erfolgt. Die Streckensignale bleiben erhalten. Deren Stellung wird in regelmäßigen Abständen an den Informationsübertragungsstellen an ein Gerät im Fahrzeug übermittelt. Bei Nichteinhaltung eines Haltsignals kann die PZB in die Brems- und Antriebssteuerung eingreifen, eine vollständige Führung des Triebfahrzeugs ist jedoch nicht möglich. Die an der Strecke befestigten Systeme zur Informationsübertragung sind mechanischer oder elektrischer Art (die älteren Bauformen) oder bauen auf elektromagnetische Induktion (Indusi) oder Transpondertechnik auf. Die Indusi<sup>89</sup> (Induktive Zugsicherung) ist die in Deutschland meist verwendete Form der PZB. An ihr soll kurz die Wirkungsweise einer PZB erläutert werden. Bei der Indusi wird das System der elektromagnetischen Induktion zur Informationsübertragung verwendet. Dazu befinden sich an den Fahrzeugen aktiv gespeiste, auf bestimmte Frequenzen (bei der DB AG: 500, 1000, 2000 Hz) abgestimmte Schwingkreise. Sie dienen als Prüfpunkte. Bei Halt-zeigendem Signal kommt es in dem mit dem Streckenstromkreis in Resonanz befindlichen

---

<sup>89</sup> Vgl. Eisenbahn-Lehrbücherei der deutschen Bundesbahn (1959)



Schwingkreis am Fahrzeug zu Gegeninduktion. Die dadurch verursachte Stromabsenkung verursacht Veränderungen am Fahrzeug. Es leuchtet hiernach eine Warnleuchte im Triebwagen, wird diese vom Triebfahrzeugführer ignoriert, erfolgt eine Zwangsbremung. Gleiches gilt, wenn der Triebfahrzeugführer die Warnleuchte bestätigt, aber nicht entsprechende Bremsvorgänge von sich aus einleitet. Eine so genannte (diskrete und kontinuierliche) Bremswegüberwachung kontrolliert den Bremsverlauf.

Entscheidender Nachteil ist, dass Indusi **nicht 100% sicher** ist, da die Schwäche des Menschen nicht sicher ausgeglichen werden kann. Nämlich dann nicht, wenn ein Stromkreis am Gleis ausfällt. Vom Zug wird dieser Ausfall nicht registriert.<sup>90</sup> Notwendige Informationen können nicht übermittelt werden.

### 3.1.2.2 Linienförmige Zugbeeinflussung

Im Gegensatz zur PZB werden die Informationen bei der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) kontinuierlich zum Fahrzeug übertragen. Die Überwachung der Bremsvorgänge und die Führung des Zuges sind somit ohne Unterbrechungen möglich. Durch den ununterbrochenen Kontakt zum Triebfahrzeug, kann dieses ausschließlich über LZB gesteuert werden. Die ortsfesten Signale sind nicht mehr notwendig, dienen höchstens bei Ausfall von LZB als Rückfallebene bzw. ermöglichen Mischverkehr (sowohl Züge mit als auch ohne LZB). Anstatt der Streckensignale werden Führerstandssignalisierungen verwendet.

Bei dem in Deutschland verwendeten System mit Kabellinienleiter werden auf der Strecke zwei parallel verlaufende Adern verlegt, die in regelmäßigen Abschnitten gekreuzt werden. Dort erfolgt u.a. eine Auswertung der Informationen über örtlich zulässige Geschwindigkeit und Abstand bis zum nächsten Geschwindigkeitswechsel im Triebfahrzeug. Die Blockteilung ist bei LZB kleiner als bei der Verwendung ortsfester Signale bei PZB, die Leistungsfähigkeit einer Strecke somit höher.<sup>91</sup>

### 3.1.2.3 ETCS

Im Rahmen der Vereinheitlichung des Schienenverkehrs in Europa wurde das ETCS (European Train Control System) entwickelt. Dies ist dringend notwendig, damit das System Bahn attraktiver und damit wettbewerbsfähiger gestaltet werden

---

<sup>90</sup> Vgl. Pacht, J. (2002), S. 71 ff.

<sup>91</sup> Vgl. ebenda, S. 77 ff.

kann. Denn die bestehende Vielfalt an Regelwerken und Signalsystemen ist umfangreich, ein problemloser grenzüberschreitender Verkehr bislang nicht möglich. ETCS ist Bestandteil des von der EU entwickelten Konzepts ERTMS (European Rail Traffic Management System) zur technischen Harmonisierung der Schienennetze und zur Entwicklung eines einheitlichen europäischen Betriebsleitsystems.

Um den nationalen Interessen entgegenzukommen, ist die von der EU geforderte ETCS-Einführung auf unterschiedlichen technischen Niveaus möglich. Die 3 möglichen so genannten ETCS Level unterscheiden sich vorrangig in ihrem Ausstattungsgrad, in der Leistungsfähigkeit und in den sie verursachenden Kosten.<sup>92</sup> Bei der Gestaltung der Funktionsstufen wurden Schwächen der bestehenden nationalen Systeme (z. B. Sicherheitslücke bei Indusi, Wartungsaufwand bei LZB) berücksichtigt und wenn möglich umgangen. Diese Erfahrungen sollen auch bei der unter 3.2.2 beschriebenen Systemselektion mit einfließen.

Die technische Ausstattung der ETCS Level ist übersichtlich in Tabelle 3 dargestellt.

Funktions- stufe	Funktion		Blockunterteilung		Datenübertragung			Signalisierung		Zugschlussintegrität		Zugortung	
	Zugsicherung	Zugsteuerung	fest	mobil	punktförmig (EUROBALISE)	quasi-kontinuierlich (EUROLOOP)	kontinuierlich (EUORADIO)	streckenseitige Signaleinrichtung	Führerstands- Signalisierung	fahrwerkseitig	fahrzeugseitig	fahrwerkseitig	fahrzeugseitig
1	x		x		x	x		x	(x)	X		x	
2a	x	x	x		x	(x)	x	x	x	X		(x)	x
2b	x	x	x		x		x		x	X		(x)	x
3	x	x		x	x		x		x		x		x

Tabelle 3: Systemgestaltung der ETCS-Level (in Anlehnung an Schnieder (1998), S. 39)

Für die Level I Ausführung ist die Erhaltung der Streckensignalisierung charakteristisch. Zudem können das bestehende nationale Zugbeeinflussungssystem und ETCS gut parallel betrieben werden. Dieser für die Migration wichtige Aspekt ist bei der Level II und III Ausführung noch nicht zufrieden stellend gelöst wurden. Entscheidender Vorteil bei Level II ist, dass die Streckensignale eingespart werden können. Eine technische Erweiterung hierzu ist in Level III mit der automatischen Zugintegritätsprüfung realisiert. Level III ist jedoch noch nicht vollständig spezifiziert. Die fahrzeugseitige Zugintegritätsprüfung stellt noch immer eine ungelöste Schwierigkeit dar.

<sup>92</sup> Vgl. Schnieder, E. (Hrsg.) (1998), S. 39

Da es nicht Ziel dieser Arbeit ist bestehende Konzepte umfassend darzustellen, wird an dieser Stelle zur Erläuterung der technischen Ausführungsmöglichkeiten der einzelnen Elemente des Zugbeeinflussungssystems (EUROLOOP, fahrzeugseitige Zugschlussintegrität, etc.) auf die Fachliteratur verwiesen.

Bei Durchführung der Systemselektion (siehe 3.2.2) werden die Erfolgs- und Misserfolgsgrößen von ETCS einbezogen, um damit Rückschlüsse auf eine bessere Systemgestaltung zu ziehen.

## **3.2 Phasenmodell zur Bestimmung eines migrationsfähigen Zugbeeinflussungssystems**

### **3.2.1 Systemmodellierung**

Voraussetzung für die Durchführung des Phasenmodells zur Bestimmung eines migrationsfähigen Zugbeeinflussungssystems ist die Modellierung verschiedener Systemvarianten. Dazu empfiehlt sich die Methode des Morphologischen Merkmalschemas. Die Vorgehensweise ist unter 2.2.1 beschrieben. Weitere Ausführungen sollen zu der Phase Systemmodellierung aus besagtem Grund nicht gemacht werden.

### **3.2.2 Systemselektion anhand von Erfolgskriterien**

Bei der Auswahl einer Systemvariante ist es u. a. wichtig, dass durch das neue Zugbeeinflussungssystem die Attraktivität des Schienenverkehrs sowohl im Personen- als auch im Güterschienenverkehr gesteigert wird. Besonders der Güterverkehr konnte bisher mit der Marktentwicklung nicht mithalten. An der enormen Zunahme des gesamten Güterverkehrs konnte die Bahn nicht profitieren. Ihr Anteil sank von 1970 bis 1998 von 21,1% auf 8,4%.<sup>93</sup> Ähnlich verhält es sich im Bereich Personenverkehr. Die Zunahme im Personenverkehr wurde vorrangig durch die Verkehrsträger Automobil und Flugzeug wahrgenommen. Der Anteil des Schienenverkehrs sank im gleichen Zeitraum von 10% auf 6%.<sup>94</sup> Die für die EU15-Länder ermittelten Zahlen verdeutlichen, wie hoch der Bedarf an einer Modernisierung des Bahnsystems ist.

---

<sup>93</sup> Vgl. Weissbuch (2001), S. 30

<sup>94</sup> Vgl. Weissbuch (2001), S. 39

Einleitend sei dabei zu sagen, dass die in diesem Modernisierungsprozess verfolgten Ziele teilweise recht unterschiedlich sind. Zunächst differieren sie je nach Interessengruppe (siehe Abbildung 14). Zusätzlich ergeben sich zwischen den jeweiligen am grenzüberschreitenden Verkehr beteiligten Ländern Europas Unterschiede bei der Zielformulierung und deren Gewichtung. Diese sind unter anderem durch die Unterschiede bei den bestehenden Techniken der Zugbeeinflussungssysteme und dem Anteil internationalen Verkehrs am gesamten nationalen Verkehrsaufkommen bedingt. Eine kurze vergleichende Darstellung (Tabelle 4) wichtiger beteiligter, zum Teil sehr gegensätzlicher Länder zeigt, wie groß die Unterschiede sind (obere und untere Extremwerte fett markiert).

Land	Anteil nicht ausgestatteter...		Anteil internationalen Verkehrsaufkommen...	
	Strecken [%]	Züge [%]	im Güterverkehr [%]	im Personenverkehr [%]
Bulgarien	<b>85</b>	<b>88</b>	<b>7</b>	<b>0,2</b>
Polen	39	34	40	0,1
Frankreich	12	27	27	3
Deutschland	40	5	30	2
Luxemburg	5	12	<b>73</b>	<b>93</b>
Niederlande	4	0	70	4
Schweiz	<b>0</b>	<b>0</b>	28	5

Tabelle 4: Gegenüberstellung von technischem Ausstattungsniveau und internationalem Verkehrsaufkommen für ausgewählte EU-Länder (in Anlehnung an Internationaler Eisenbahnverband (2004), S. 12, 13, 20)

Allein daraus ergeben sich von Land zu Land verschiedene Präferenzen für Aspekte wie Sicherheits- und Verfügbarkeitsverbesserung. Der damit verbundene Einfluss auf die länderspezifische Gestaltung der optimalen Migrationsstrategie (siehe Abschnitt 3.2.3) muss entsprechend berücksichtigt werden. Nur so kann das selektierte System erfolgreich im internationalen Schienennetz installiert werden.

### 3.2.2.1 Analyse der Erfolgskriterien

#### 3.2.2.1.1 Kundenabhängige Anforderungen

Wichtige Erfolgskriterien ergeben sich bereits schon durch eine Analyse der Gründe, warum der Schienenverkehr so wenig am steigenden Verkehrsaufkommen partizipieren konnte. Diese und weitere *kundenabhängigen Anforderungen* müssen in einem ersten Schritt mittels Markt- und Meinungsanalysen ermittelt und anhand des QFD weiter qualifiziert werden.

Eine ausführliche Marktanalyse hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Anhand einiger wesentlicher, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung zusammengetragener Anforderungen von Seiten der Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen soll die Vorgehensweise des QFD verdeutlicht werden.

### Erster Schritt

Einer der wichtigsten Erfolgskriterien ist die für den erfolgreichen Fortbestand des Schienenverkehrs notwendige *technische Harmonisierung/ Interoperabilität* in Europa (nicht nur weil sie mittlerweile von der EU gesetzlich festgeschrieben ist). Aktuell bestehen etwa 20 unterschiedliche, meist inkompatible Techniken zur Sicherung und Steuerung von Betriebsabläufen im Bahnsystem in Europa. Dabei existieren Lösungen von Systemen, die dem Zugführer ausschließlich Warnsignale geben. Erweitert ist dieses System durch die Möglichkeit der automatisch ausgelösten Zwangsbremung. Die weiterentwickelten Systeme besitzen punktförmige oder kontinuierliche Zugkontroll- und Beeinflussungstechniken. Wobei die kontinuierliche Zugbeeinflussung auf nur 4% des europaweiten Streckennetzes installiert ist.<sup>95</sup>

Besondere Dringlichkeit für die Interoperabilität besteht vorrangig im Fernverkehr. Hier findet der größte Teil des internationalen Schienenverkehrs statt.<sup>96</sup> Durch die Schaffung von Interoperabilität sollen Zugfahrten durch Europa ohne Umspannen und möglichst ohne Führerwechsel möglich sein.

Weiterhin ist es für das System Bahn wichtig, seine *Kostenpositionen zu reduzieren*. Nur so kann es potentiellen Kunden attraktive Preise bei Sicherung der eigenen Rentabilität anbieten.

Wünschenswert von Seiten der Bahnbetreiber sind die *Verbesserung des Sicherheitsniveaus*, sowie eine *Kapazitätssteigerung* des Streckennetzes.

Mit Erreichung dieser Ziele kann sich der Schienenverkehr als attraktiverer Verkehrsanbieter positionieren. Die *Kundenzufriedenheit*, Ausgangspunkt für eine positive Entwicklung des Schienenverkehrs, gemessen an Faktoren wie Preis, Pünktlichkeit, Schnelligkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit steigt.

---

<sup>95</sup> Vgl. Internationaler Eisenbahnverband (2003), S. 6

<sup>96</sup> Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird ausschließlich das System der Zugbeeinflussung analysiert. Für die Sicherung der Interoperabilität der Teilnetze der beteiligten europäischen Länder reicht die alleinige Betrachtung des Zugbeeinflussungssystems nicht aus. Dafür ist neben der Zugbeeinflussung eine umfassendere Analyse zur Vereinheitlichung von Spurweiten, Gleisabständen, Lichträumen, Stromsystemen und Betriebsleitsystemen notwendig. (vgl. Schnieder, E. (Hrsg.) (1998), S. 25)

Für die Durchführung des QFD ist es sinnvoll, die umfassenden Anforderungen zu untergliedern.<sup>97</sup> Von den in Schritt 1 genannten Anforderungen werden die Kriterien Kostenreduktion und Verfügbarkeit weiter untergliedert (siehe Abbildung 17).

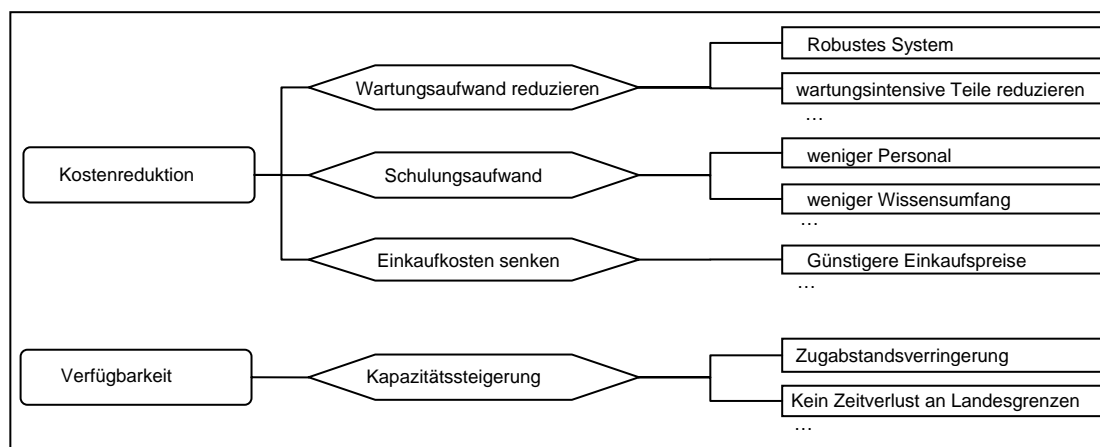


Abbildung 17: Strukturierung von Kundenanforderungen

Um den ersten Schritt des QFD (siehe Abbildung 5) abzuschließen, sind die ausgewählten Kundenanforderungen, die hier nur einen kleinen Teil des mit einer umfassenden Marktanalyse bestimmbaren Anforderungskatalogs darstellen, zu bewerten. Die Matrix des paarweisen Vergleichs des reduzierten Anforderungsumfangs ist in Anhang A.1.1 dargestellt.

### Zweiter Schritt

Anschließend ist jeder Kundenanforderung mindestens ein technisches Merkmal zuzuordnen. Diese müssen die Anforderungen möglichst gut qualitativ beschreiben. Dabei sind hier die Merkmale der zu erbringenden Leistung, nicht aber denkbare Lösungen anzugeben.

Kundenanforderung	Technisches Merkmal
1. Interoperabilität	grenzüberschreitende Einheit der Technik
2. Zugabstandsverringering	Bremswege verkürzen, Fahren im absoluten Bremswegabstand
3. weniger Personal	Prozesse automatisieren
4. robustes System	witterungsbeständige Materialien, verschleißarm Bremsen
5. wartungsintensive Teile reduzieren	Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente
6. hohes Sicherheitsniveau	Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile sicherstellen, Rückfallebenen
7. niedrigere Einkaufspreise	Standardisierung/ Marktöffnung

Tabelle 5: Zuordnung technischer Merkmale zu den Kundenanforderungen

<sup>97</sup> Die Untergliederung erfolgte in Anlehnung an die KJ-Methode (vgl. Teufelsdorfer/ Conrad (1998), S. 35)

### Dritter Schritt

Ein Wettbewerbsvergleich ist hier nicht sinnvoll. Die angebotene Systemvielfalt ist stark begrenzt. Wettbewerb zwischen den Systemanbietern besteht aktuell in nur geringem Umfang.<sup>98</sup>

### Vierter Schritt

Durch die Analyse der Zielbeziehungen zwischen den technischen Merkmalen werden mögliche Zielkonflikte, Zielneutralitäten oder Zielkonformitäten erkennbar. Auf Zielkonflikte muss im Entwicklungsprozess besonders geachtet werden, da es zur ihrer Lösung meist innovativer Ideen bedarf. Sie werden im Dach des 1. House of Quality (siehe Abbildung 18) gekennzeichnet. Besteht keine Möglichkeit zur Konfliktlösung, ist das wichtigere Merkmal zu priorisieren.

Ein Zielkonflikt zwischen den in Tabelle 5 genannten Merkmalen ergeben sich zwischen

- Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente und Rückfallebene (starker Widerspruch)
- Bremswege verkürzen und verschleißarm Bremsen (schwacher Widerspruch).

### Fünfter Schritt

Nun werden die Beziehungen (Korrelation) zwischen den Kundenanforderungen und den technischen Merkmalen festgelegt. Bei der Beantwortung der Frage, wie stark eine Kundenanforderung durch ein jeweiliges technisches Merkmal unterstützt wird, muss das QFD-Team zwischen *starkem Zusammenhang* (Wert 9 im HoQ), *mittlerem Zusammenhang* (Wert 3) und *schwachem Zusammenhang* (Wert 1) unterscheiden. Liegt kein Zusammenhang vor, wird der Wert 0 zugeordnet (siehe Anhang A.1.2). Die Beziehungswerte werden dann mit Hilfe von Symbolen im HoQ dargestellt (siehe Abbildung 18).

### Sechster Schritt

Um das QFD abzuschließen, wird die Bedeutung der technischen Merkmale festgelegt. Ausgehend von den Beziehungswerten (Schritt 5) kann die relative Bedeutung  $B_{Mj}$  eines jeden technischen Merkmals bestimmt werden (siehe Anhang A.1.3). Sie trifft eine Aussage darüber, wie sehr ein Merkmal das Erfüllen von

---

<sup>98</sup> Ein solcher Vergleich wäre sinnvoll, wenn man die Verkehrsträger als Ganzes vergleicht, nicht einzelne Systemkomponente wie die Zugbeeinflussung. Durch eine solche Gegenüberstellung würden klar die Stärken und Schwächen des Schienenverkehrs gegenüber Straße oder Luft herausgestellt werden können.

Kundenanforderungen unterstützt. Merkmale mit besonders hoher Gewichtung erfahren eine besonders hohe Aufmerksamkeit im Entwicklungsprozess.

Für  $B_{Mj}$  gilt

$$(11) \quad B_{Mj} = \sum_{i=1}^I (G_{Kij} * B_{Ai})$$

$A_i$	: Kundenanforderung i
$I$	: Anzahl der Kundenanforderungen
$B_{Ai}$	: relative Bedeutung der Kundenanforderung
$G_{Kij}$	: Grad der Korrelation des Merkmals j zur Kundenanforderung i
$M_j$	: technisches Merkmal j
$J$	: Anzahl technischer Merkmale

Die gesammelten Ergebnisse einschließlich der berechneten relativen Bedeutung der technischen Merkmale ist zusammenfassend im 1. House of Quality für ein Zugbeeinflussungssystem (Abbildung 18) dargestellt.

Nochmals sei erwähnt, dass das hier dargestellte Beispiel nur einen kleinen Teil der wirklichen Anforderungen erfasst und vorrangig der Beschreibung der methodischen Vorgehensweise des QFD für eine optimale Integration der Kundenanforderungen dient. Es wird bereits anhand dieses kurzen Beispiels deutlich, wie die Kundenwünsche gezielt in den Entwicklungsprozess integriert werden können. Der Entwickler hat eine klare Vorstellung darüber (durch genaue Zahlenwerte belegt), auf welche Eigenschaften des zu entwickelnden Produktes es besonders ankommt, damit das Produkt vom Kunden angenommen wird. Der erste Schritt hin zu einem migrationsfähigen Produkt ist gemacht. Für das Beispiel bedeutet das, dass die Aspekte Standardisierung der Komponenten (17,2), Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile (14,8) und die grenzüberschreitende Vereinheitlichung der Technik (13,9) neben der Automatisierung der Prozesse (13,3) besonders wichtig sind.

Um solch eindeutige Ergebnisse zu erhalten, ist bei der Anwendung von QFD auf eine beschränkte Anzahl von Kundenanforderungen (ca. 20) zu achten. Andernfalls sinken die einzelnen, die Bedeutung der technischen Merkmale beschreibenden Prozentzahlen und somit auch die absoluten Differenzwerte zwischen den einzelnen Prozentzahlen. Eine Einstufung der Merkmale in wichtig(er) oder unwichtig(er) fällt dann schwieriger.



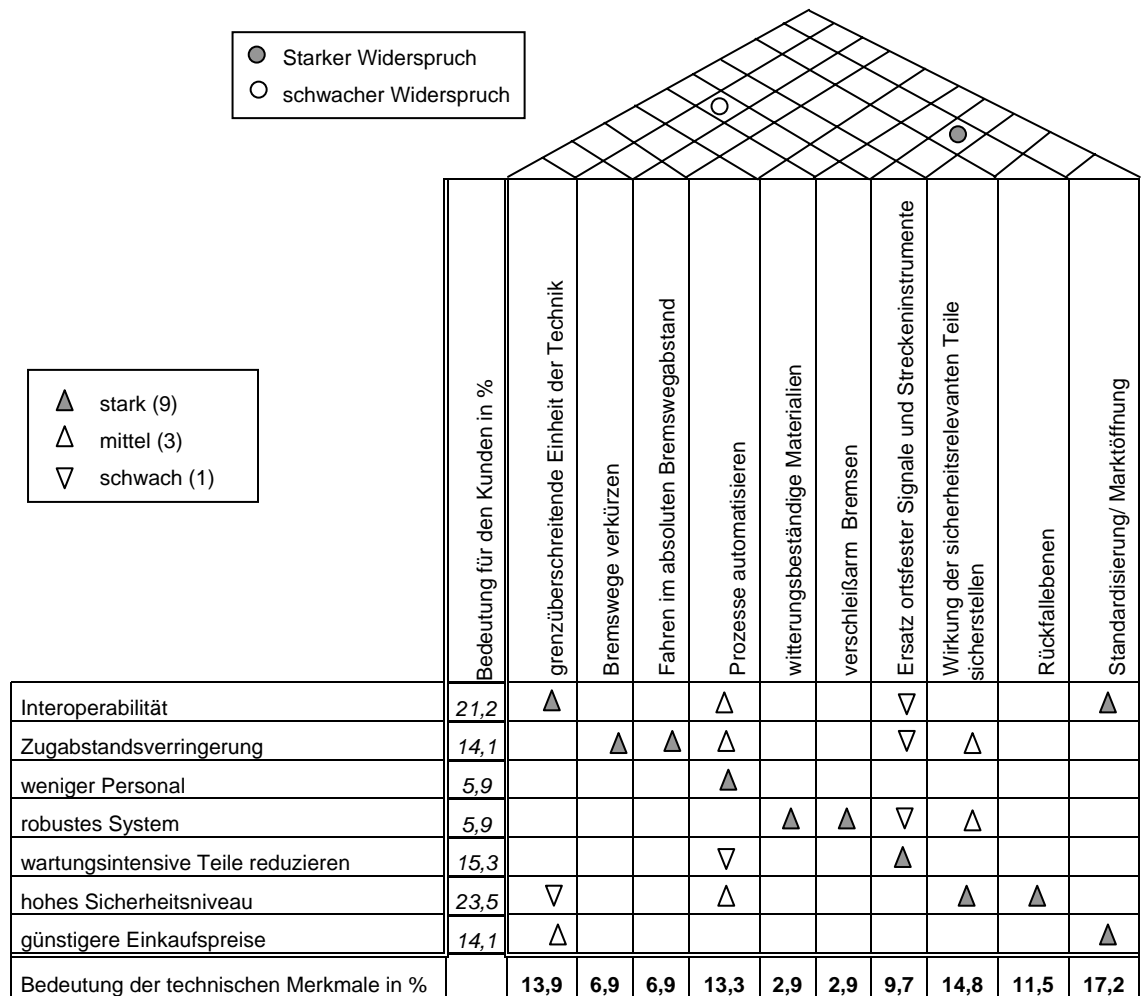


Abbildung 18: 1. House of Quality für Zugbeeinflussungssystem (ohne Wettbewerbsvergleich)

In dieser Analyse mittels QFD wurden lediglich Wünsche und Anforderungen<sup>99</sup> berücksichtigt, die durch das Zugbeeinflussungssystem beeinflussbar sind. Trotzdem sollte man sich bei der Gestaltung eines optimalen Zugbeeinflussungssystems den Blick fürs Ganze bewahren. Bei der Wahl eines neuen Informationsübertragungssystems (z. B. Funk), das die in der Wartung teure Streckensignalisierung ersetzen soll, ist bspw. auch an das Thema Service im Zug zu denken. Eine Technologie, die sowohl die Datenübertragung für den Zugführer als auch Zugang zum Internet für den Fahrgast ermöglicht, verursacht eine doppelt positive Wirkung. Durch die Betrachtung des Systems als Ganzes wird das Gesamtsystem Bahn und nicht nur eine Teilkomponente (hier das Zugbeeinflussungssystem) optimiert/ verbessert.

<sup>99</sup> Dabei handelt es sich sowohl um direkt geäußerte, mittels Marktanalyse bestimmte Wünsche/ Anforderungen als auch um nicht geäußerte Anforderungen. Wie viel Erfolgspotential in der Erfüllung dieser „versteckten“ Anforderungen liegt, und wie wichtig deren Erfüllung teilweise ist, wurde in Abschnitt 2.1.2.2 dargelegt.

### 3.2.2.1.2 Kundenunabhängige Anforderungen

#### 3.2.2.1.2.1 Unternehmensinterne Anforderungen

Für den langfristigen Erfolg des Produkts müssen auch die Vorstellungen des Herstellers durch das Produkt erfüllt werden. Die unternehmensinternen Anforderungen lassen sich in produktbezogenen und allgemeine Anforderungen, im Besonderen wirtschaftlicher Natur unterteilen.

So es Vorgängerprodukte gibt, will man dabei gemachte Fehler vermeiden. Gleichzeitig sind besonders gelungene Aspekte beizubehalten. Ein solcher Vergleich bietet sich mit dem selbst noch jungen System ETCS an. Die mit ETCS gesammelten Erkenntnisse bzw. Erfahrungen werden mit dem Know-how von (internen wie auch externen) Experten ergänzt.

Im Folgenden sind die besonders vorteilhaften Eigenschaften von ETCS genannt<sup>100</sup>:

- ETCS ermöglicht den Bahnbetreibern Zugang zu einem *offenen Beschaffungsmarkt* durch einen wachsenden Grad an *Standardisierung*, d. h. der Wettbewerb von Produkten und Lösungen wird erhöht, die Herstellerabhängigkeit sinkt und die Anwendungsbreite der Systemtechnik und der gesamte Dienstleistungsmarkt werden breiter. Dadurch und durch die mit der Standardisierung verbundenen höheren Stückzahlen kann der Kundenforderung nach niedrigeren Einkaufspreisen entsprochen werden, gleichzeitig fördert der Wettbewerb Produktqualität und Innovationsrate.<sup>101</sup>  
Dem Hersteller verschafft ein höherer Grad an Standardisierung Zugang zu einem größeren Absatzmarkt.
- *Interoperabilität* wird nach einer gewissen Einrichtungszeit erreicht
- eine damit gewonnene *Vereinheitlichung der Technik* vereinfacht den grenzüberschreitenden Verkehr
- eine durch Vereinheitlichung gewonnene *Kostensenkung* des Systems:
  - mehrere Zugbeeinflussungssysteme in einem Triebwagen sind nicht mehr notwendig;
  - weniger Schulungsaufwand;
  - gemeinsame Entwicklung und Zulassung<sup>102</sup> (Cross-Acceptance)

Die Schwächen des aus technischer Sicht als gut bewerteten ETCS liegen vorrangig in der Migrationsfähigkeit im engeren Sinne. Das bedeutet, besonders hier

---

<sup>100</sup> Vgl. Internationaler Eisenbahnverband (2004), Anhang A

<sup>101</sup> Vgl. Bundesministerium des Innern (2003), S. 304 und 362

<sup>102</sup> Vgl. Knewitz, R. (2003), S. 8 ff.

besteht Verbesserungsbedarf. So sind für die Einführung des ETCS hohe Startinvestitionen notwendig, die die meisten europäischen Bahnen nicht aufbringen können. Entscheidende Einsparungen, etwa an der Streckensignalisierung können erst nach einigen Jahren gemacht werden. Für das ETCS gilt, dass die Anreize zum Wechsel von dem jeweiligen nationalen Zugbeeinflussungssystem hin zu ETCS insbesondere für Länder wie Deutschland und Frankreich, die bereits ein technisch wesentlich weiterentwickeltes System als viele Ostblock-Länder (siehe Tabelle 4) besitzen, gering ausfallen. Ein weiterer Stolperstein für eine zügige Einführung von ETCS sind die für den Hersteller wichtigen klaren Spezifikationen. Ohne klare Anweisungen wagt sich kaum ein Produzent an dieses aufwendige Projekt.

Erste, aus den Schwächen von ETCS abgeleitete Anforderungen sind:

- Um den nationalen Interessen und finanziellen Möglichkeiten besser entsprechen zu können, ist das System so *modular* wie möglich aufzubauen. Mit einem wahlweisen Einsatz von Modulen, kann je nach Prioritäten<sup>103</sup> eine betreiber- bzw. länderspezifische Anpassung des Systems umgesetzt werden.<sup>104</sup> Somit wäre auch die Möglichkeit für eine Low-Cost Variante geschaffen. Der erzeugte Investitionsanreiz ist somit für ein modulares System höher. Zudem fallen dadurch die Investitionsaufwendungen nicht zwingend alle zu Beginn an, sondern dann, wenn der Bahnbetreiber das Zugbeeinflussungssystem für den Wechsel zu einer nächst höheren Funktionsstufe ausstattet. Dabei sind für alle Stufen die Abwärtskompatibilität und damit die Interoperabilität zu sichern.<sup>105</sup>
- Analyse aller länderspezifischen Situationen und damit differenzierte Ableitung von Systemkomponenten: es muss für jedes Land ein klarer Nutzen erkennbar sein.
- *Klare Spezifikationen* um Unsicherheiten zu reduzieren und Entwicklungskosten gering zu halten, denn diese steigen mit zunehmender

---

<sup>103</sup> Wie unterschiedlich die länderspezifischen Anforderungen sind, verdeutlicht bereits die Gegenüberstellung der Technologieausrüstungen der am grenzüberschreitenden, europäischen Verkehr beteiligten Länder (siehe Tabelle 4). Daneben sind die politischen und wirtschaftlichen Randbedingungen von Land zu Land verschieden.

<sup>104</sup> Vgl. Faisst, R. (1994), S. 9

<sup>105</sup> Einen ersten Lösungsansatz zur Modularisierung bietet Barak (1997). Er schlägt einen Systemaufbau in Schichten vor. Die unteren Basisschichten beinhalten die Grundfunktionen und sind gegenüber den oberen Schichten stabil. Die oberen Schichten können als Bausteine aufgefasst werden, die der Kunde je nach seinen spezifischen Bedürfnissen wählen und (begrenzt) kombinieren kann. Dabei bestehen funktionale Abhängigkeiten nur von den Bausteinen hin zur Basisschicht, die Basisschicht selbst darf nie abhängig von den oberen Schichten sein. (vgl. Barak, V. (1997), S. 69 f.) Durch eine solche Schichten-Struktur wird Transparenz und funktionale Unabhängigkeit geschaffen, wobei der Datenaustausch zwischen den Schichten immer zu sichern ist.

Entwicklungszeit.<sup>106</sup> Lange Entwicklungszeiten bergen wiederum die Gefahr, dass das System bei Einführung bereits veraltet ist.

- Klare Festlegung von *Schnittstellen* zur Systemumwelt, um Koordinierungsaufwand zu bewältigen
- Nicht zu komplexe, möglichst *preisgünstige* Systemalternative: Nicht mehr als nötig, anstatt soviel wie möglich (Die Eisenbahngesellschaften fordern die Erfüllung des (Grund-)Anforderungskatalogs gebunden an eine bestimmte Preiserwartung). Eine geringere Anzahl an neu zu entwickelnden Teilen reduziert die Projektkosten und damit auch den Systempreis.
- Sich bei der Gestaltung eines neuen Systems zunächst an *wichtigen europäischen Verkehrsadern* ausrichten, um somit die Komplexität des Entwicklungsprojektes zu reduzieren
- Immer wieder *Revision* der Komponentengestaltung, damit neue Techniken nicht verpasst werden<sup>107</sup>

Die Anforderungen, die aus Erfahrungen mit Vorgängersystemen und den Forderungen der Experten entspringen, werden durch allgemeine, für jedes marktwirtschaftliche Unternehmen relevante Anforderungen ergänzt. Hierzu zählt insbesondere die *Rentabilität* des gesamten Projektes, d. h. mit den erzielten Verkaufserlösen müssen Kosten gedeckt und Unternehmensgewinne möglich sein. Weiterhin ist bei der Herstellung sicherheitsrelevanter Bahnkomponenten die Einhaltung der *Qualitätsstandards* wichtig.

Die Gesamtheit der allgemeinen, systemunabhängigen Anforderungen aus Unternehmenssicht kann aus der Analyse des unternehmerischen Zielsystems für das produzierende Gewerbe (siehe Tabelle 6) abgeleitet werden. Sie alle beeinflussen die Attraktivität des zu entwickelnden Systems für den Hersteller und somit den Erfolg des Projekts als Ganzes. Berücksichtigt bspw. SIEMENS<sup>108</sup> eine mögliche Knappheit der Fertigungsressourcen nicht, treten Lieferverzug oder gar -ausfall ein. Die Abnehmer, etwa die DB AG in Deutschland oder SNCF in Frankreich, sind bereits zu Beginn enttäuscht, deren Systemakzeptanz sinkt und eine erfolgreiche Migration gerät ins Stocken. Dieses einfache Beispiel verdeutlicht,

<sup>106</sup> Schilling, M. (2005), S. 216 f.

<sup>107</sup> So sollte man bei ETCS die Tatsache überdenken, dass die Datenübertragung bisher mit GSM-R vorgesehen ist. Begründet wird dies durch die ausgereifte, lang erprobte Technik. Jedoch vollzieht sich in der Mobilfunkbranche seit 2004 der Wechsel von GSM zu UMTS. Ist ETCS in etwa 40 Jahren vollkommen im europäischen Bahnnetz integriert, wird diese Technik mit Sicherheit veraltet sein. Die Nutzungskosten für GSM werden steigen, wenn immer weniger diesen Mobilfunkstandard benutzen.

<sup>108</sup> SIEMENS gehört zu den großen Produzenten von Bahnsystemtechnik in Europa.

dass die Unternehmensziele bzw. -bedingungen analog auch bei der Ausgestaltung der Migrationsstrategie (vgl. Abschnitt 3.2.3) beachtet werden müssen.

Monetäre Ziele	Zeitziele	Mengen- und Qualitätsziele	Flexibilitätsziele	Soziale Ziele	Umweltziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Deckungsbeiträge (kurzfristig-operativ)</li> <li>• Hohe Periodengewinne (mittelfristig-taktisch)</li> <li>• Hohe Einzahlungsüberschüsse (cash-flow) (langfristig-strategisch)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurze Liefertermine</li> <li>• Geringe Durchlaufzeiten</li> <li>• Maximale Kapazitätsauslastung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Ausschussmengen</li> <li>• Hoher Qualitätsstandard (beinhaltet weniger Reklamationen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Anpassungsfähigkeit auf Bedarfs- und Umweltveränderungen (z. B. SIEMENS will deutschen und polnischen Markt bedienen)</li> <li>• Qualifizierte Arbeitskräfte</li> <li>• Flexible Betriebsmittelausstattung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menschengerechte Arbeitsinhalte</li> <li>• Sichere, Arbeitsplätze</li> <li>• Erhalt der Arbeitsplätze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Schadstoffbelastung der Umwelt</li> <li>• Geringer Verbrauch natürlicher Umwelt</li> </ul>

Tabelle 6: produktionswirtschaftliche Ziele zur Ableitung unternehmensinterner Anforderungen (in Anlehnung an Hoitsch (1993), S. 26)

### 3.2.2.1.2.2 externe Anforderungen

Gesetzliche Regelungen und Normen müssen bei der Neuentwicklung eines Zugbeeinflussungssystems berücksichtigt werden, damit eine behördliche Zulassung gesichert ist.

Es gilt die europäischen Richtlinien, nationalen Gesetzen sowie Verordnungen und die spezifischen Richtlinien der Eisenbahnen (z. B. die Konzernrichtlinien der DB AG) zu beachten. Deren Inhalt kann den entsprechenden Gesetzestexten/ Papieren entnommen werden. Zu den wichtigsten Regelungen im deutschen Schienenverkehr zählen: AEG (Allgemeines Eisenbahngesetz), EBO (Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung) und Mü8004 (Technische Grundsätze für die Zulassung von Sicherungsanlagen). Wichtige europäische Regelwerke, deren einheitliche Regelungen für den Bau und Betrieb der beteiligten Bahnen den grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr in Europa sichern sollen, sind CENELEC 50126<sup>109</sup>, 50128<sup>110</sup> und 50129<sup>111</sup>, 96/48/EG<sup>112</sup>, in der die TSI wichtige Vorschriften

<sup>109</sup> EN 50126: Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)

<sup>110</sup> EN 50128: Sicherheitsnorm zur Gestaltung von Software für Eisenbahnsteuerungs- und Überwachungssysteme

<sup>111</sup> EN 50129: Sicherheitsnorm für sicherheitsrelevante elektronische Systeme; enthält wesentliche Regelungen der Mü8004

<sup>112</sup> Eine von der europäischen Gemeinschaft erlassene Richtlinie für ein einheitliches Hochgeschwindigkeitsbahnsystem. Das System und seine funktionalen Teilsysteme (die Zugsteuerung und -sicherung ist eines dieser Teilsysteme) müssen die grundlegenden Anforderungen zur Sicherung der Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems erfüllen.

für die technische Harmonisierung beinhaltet, und 2001/16/EG<sup>113</sup>. Diese multinationalen Standards, die den technisch harmonisierten Schienenverkehr regeln, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Sie sind unverändert in die nationalen Vorschriften zu integrieren. Parallele nationale Normenvorhaben müssen hinter europäischen Normenvorhaben zurückgestellt werden. Gleiches gilt für die Einbindung von Richtlinien der einzelnen Eisenbahnen in das jeweilige nationale bzw. europäische Recht (Normenhierarchie siehe Bikker/Schroeder (2002), Abbildung 3.3).

Die Nichteinhaltung von rechtlichen Normen und Regeln führt zwingend zur Nichtzulassung eines neuen Systems. Sie sind klassische KO-Kriterien (siehe Abschnitt 3.2.2.2.1).<sup>114</sup>

Gesellschaftliche Anforderungen wie bspw. die Reduktion von schädlichen Umwelteinflüssen, Lärmminimierung etc. sind lediglich Kann-Anforderungen. Dem Systemhersteller steht es frei, inwieweit er sie berücksichtigt.

### **3.2.2.2 Systemselektion**

#### **3.2.2.2.1 Vorab-Selektion durch KO-Kriterien**

Anhand der Vorab-Selektion sind alle Systemalternativen zu eliminieren, die zwingend notwendige Anforderungen nicht erfüllen. Zu ihnen gehören gesetzliche Vorschriften und als unverzichtbar eingestufte kundenabhängige und unternehmensinterne Anforderungen (siehe 3.2.2.1). Beispiel für ein solches unabdingbares unternehmensinternes Kriterium sind Fertigungskapazitäten. Fehlt es dem Unternehmen an personellen, finanziellen und/ oder räumlichen Kapazitäten für die Herstellung bestimmter Systemvarianten, sind diese von der Liste (aus der in Abschnitt 3.2.2.2.2 die optimale Systemalternative gewählt wird) zu streichen. Gleiches gilt, wenn bspw. die Kundenanforderung nach Kostensenkung mit dem System nicht möglich ist. Diese Anforderung aus Kundensicht kann in der Regel als K.O. Kriterium angesetzt werden. Trifft dies nicht 100%-ig zu, kann die Gewichtung in der EWA (siehe Abschnitt 3.2.2.2.2) entsprechend den Kundenerwartungen höher oder niedriger angesetzt werden. Dadurch fällt ein System, das keine

---

<sup>113</sup> Erweiterung von 96/48/EG für konventionelle Strecken.

<sup>114</sup> Anmerkung: Um den Migrationsprozess zu beschleunigen, ist es angebracht, die Zulassungszeit durch die Behörden zu minimieren, des weiteren ist auf eine eindeutige Formulierung der Regeln zu achten, damit kein Interpretationsspielraum für den Hersteller besteht. Eine Regelung zum Kostenausgleich zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen und Eisenbahninfrastrukturunternehmen sollte getroffen werden.

Kostensenkung realisiert, nicht automatisch aus dem Selektionsprozess. Bei einer hohen Gewichtung des Kostenkriteriums ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses System von einer anderen Systemalternative dominiert wird, jedoch hoch.

Ein weiteres KO-Kriterium ist die Interoperabilität, eine von Kunden und Gesetz (siehe 96/48/EG) geforderte Systemeigenschaft. Auch die geforderten Leistungsparameter (z. B. Geschwindigkeit, Streckenkapazität) müssen als Mindestmaße vom neuen System erfüllt werden.

Hat man den gesamten Katalog der KO-Kriterien aufgestellt, wird jede einzelne Systemvariante nach deren Erfüllung überprüft. Ein übersichtliches Hilfsmittel bietet dabei die duale Bewertungstabelle (siehe Abbildung 6). Jene Systemalternativen, die alle KO-Kriterien erfüllen, sind Ausgangspunkt für die Durchführung der erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse.

#### **3.2.2.2 Systemselektion mittels 3-Stufen-Verfahren zur EWA**

Unter Verwendung des 3-Stufen-Verfahrens zur EWA können Investitionsentscheidungen auf einer fundierten Informationsbasis getroffen werden. Dazu werden sowohl monetäre wie nicht-monetäre Ausgangsdaten zu den einzelnen Systemvarianten auf systematische Weise verarbeitet (siehe Abbildung 7).

##### 1. Stufe:

In einem ersten Schritt sind alle direkt monetären Größen für die einzelnen Alternativen eines Zugbeeinflussungssystems zusammenzutragen. Einen ersten Eindruck hierzu liefert Tabelle 7.

Wenn einige Größen nicht bestimmt werden können, muss die Investitions-Grundrechnung auf Basis der gegebenen Werte durchgeführt werden. Mit zunehmendem Datenmangel sinkt jedoch die Aussagekraft. Die Orientierung an bestehenden Systemen ermöglicht oftmals zumindest eine erste Abschätzung der Werte. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Lebensdauer der Systemalternativen. Diese Größe ist für die Berechnung des Kapitalwertes der einzelnen Alternativen notwendig, ist aber in den seltensten Fällen bei Innovationen genau bestimmbar. Hier müssen Abschätzungen aushelfen.

Anhand der ermittelten Größen einmaliger und laufender Investitionsaus- und -einzahlungen sind die gewünschten Investitionskennzahlen zu bestimmen. Die direkt monetären Effekte werden immer in Relation zur Basisalternative A0 (Ist-System) betrachtet, so dass für A0 immer der Wert 0 anzusetzen ist. Für die weitere

Analyse ist die Kapitalwertberechnung und dynamische Amortisationsrechnung sinnvoll. Aber auch andere Investitionskennzahlen<sup>115</sup> der dynamischen Investitionsrechnung<sup>116</sup> wie etwa der interne Zinsfuß sind aussagekräftig. Die Entscheidungsträger haben zu bestimmen, welche Investitionskennzahlen sie benötigen.

Bei der Auswertung aller Kennzahlen am Ende der EWA wird auf die Berechnungswerte der Investitionsgrundrechnung zurückgegriffen.

	Alternative A1	Alternative A2	...
<b>einmalige Investitionsauszahlungen</b> Anschaffung von Streckenausrüstung Anschaffung von on-board Geräten Installation (inkl. Einnahmeeinbusen durch Betriebsausfall) Planung/ Engineering Schulungsaufwand ...			
<b>einmalige Investitionseinzahlungen</b> Veräußerungserlös aus bestehenden Anlagen			
<b>laufende jährliche Auszahlungen (in Relation zu A0)</b> Betriebskosten (Personal, Energie, ...) Wartung & Instandhaltung on-board Geräte und Streckenausrüstung ...			
<b>laufende jährliche Einzahlungen (in Relation zu A0)</b> Einsparungen durch reduzierte Wartungskosten an Strecke und Zug Personaleinsparungen Mehreinnahmen (z. B. durch Erhöhung des modal split) ...			
<b>Investitionsdauer</b>	<i>bei Neuentwicklungen meist schwer bestimmbar</i>		
<b>Kalkulationszinsfuß</b>			

Tabelle 7: Direkt monetäre Effekte der Systemalternativen einer Zugbeeinflussung

### Stufe 2:

In Stufe 2 der EWA sind die indirekt monetären Größen zusammenzutragen und wie in Stufe 1 zu analysieren, d. h. es sind analog Investitionskennzahlen zu berechnen. Charakteristisch für diese indirekt monetären Größen ist deren Schwierigkeit sie im Voraus zu erkennen und deren erhöhte Prognoseunsicherheit. Der Entscheidungsträger kann am Ende der EWA bestimmen, inwieweit er die Ergebnisse der Stufe 2 bei seiner Investitionsentscheidung berücksichtigt.

<sup>115</sup> Einen Überblick über die Berechnung der dynamischen Investitionskennzahlen bietet Perridon/Steiner (2004), S. 58 ff.

<sup>116</sup> Von der Verwendung statischer Investitionskennzahlen sei dringend abgeraten, da Zugbeeinflussungssysteme Systeme mit langer Lebensdauer sind. Eine Durchschnittsbetrachtung wie bei den statischen Verfahren, reicht nicht aus.



Je nach Systemvariante ergeben sich bspw. Einsparungen bei Lieferverzugskosten, da die Züge pünktlicher sind. Verringerung der Stillstandszeiten von Zug und Strecke durch höhere Auslastungen, Herabsetzung der Unfallhäufigkeit durch Steigerung der Sicherheit (d. h. weniger Schadensersatzzahlungen durch die Bahn, weniger Totalschaden/ Reparaturen an Fahrzeugen und Strecke), Reduzierung des Personalaufwandes bei Grenzübergängen durch Interoperabilität, etc. sind indirekt monetäre Effekte (in der Regel Einsparungen<sup>117</sup>), die im Vergleich zum Weiterführungsszenario A0 bestimmt werden. Das heißt, auch diesmal wird für A0 der Wert 0 festgesetzt. Ihre zahlenmäßige Bewertung kann nur durch entsprechendes Fachpersonal zuverlässig erfolgen. Da die indirekt monetären Auswirkungen stets nur abgeschätzt werden können, enthalten sie ein höheres Risiko. Sie jedoch deshalb zu vernachlässigen wäre aufgrund ihrer Relevanz besonders auf lange Sicht fatal.

Bei der Berechnung der Investitionskennzahlen werden die Werte für einmalige Investitionsauszahlung und -einzahlung sowie die der jährlichen Auszahlungen<sup>118</sup> aus Stufe 1 übernommen (siehe Tabelle 7). Die dort bestimmten jährlichen Einzahlungen werden durch die Einsparungen aus indirekt monetären Effekten ergänzt/ erhöht. Die Berechnung erfolgt dann wie in Stufe 1.

### Stufe 3:

Zu den Ergebnissen aus Stufe 1 und 2 müssen zunächst Nutzwerte bestimmt werden. Dies ist Voraussetzung dafür, dass die Ergebnisse der finanzanalytischen Wirtschaftlichkeitsrechnung (Stufe 1 und 2) mit den Ergebnissen der Nutzwertanalyse (Stufe 3) zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt werden können.

Für die ausgewählten Investitionskennzahlen werden *Kriteriengewichte* festgelegt. Wurden etwa Kapitalwert und dynamische Amortisationsdauer auf beiden Stufen bestimmt, ist eine Gewichtung von 80% für den Kapitalwert und 20% von Amortisationsdauer denkbar. Dies bedeutet, dass die Aussage des Kapitalwertes, als Maß des Vermögenszuwachses mehr berücksichtigt wird, als die der Amortisationsdauer. Er bildet damit die Entscheidungsgrundlage. Werden mehr als

---

<sup>117</sup> Die aufgeführten Beispiele stellen indirekte Einsparungen durch das neue System dar. Es sind natürlich auch indirekte Auszahlungen möglich. Dies sollte bei einer Neuentwicklung aber selten der Fall sein, bzw. ist dies der Fall, stellt die dazugehörige Systemalternative sicherlich nicht die optimale Variante dar.

<sup>118</sup> ... unter der Prämisse, dass keine indirekt monetären Auszahlungen durch das neue System verursacht werden

zwei Kriterien bei der Entscheidung berücksichtigt, sind die 100% entsprechend anders aufzuteilen.

Mittels der Gewichtung und den in Stufe 1 und 2 ermittelten Zielerträgen der Investitionskennzahlen für die Systemalternativen werden die *Zielwerte* und anschließend die *Nutzwerte* berechnet. Für die Berechnung der Zielwerte muss zunächst für jedes Kriterium eine Zielwertfunktion bestimmt werden. Durch sie wird der Zusammenhang zwischen Zielertrag und Punktzahl von 0 bis 10 beschrieben. D. h. durch die Zielwertfunktion werden die Zielerträge in Punkte überführt, um die Investitionskennzahlen mit den Einheiten EURO, Zeit und Zinssatz vergleichbar zu machen.

Zum Verständnis soll ein Beispiel zur Bestimmung der Zielwertfunktion gegeben werden. Es sei angenommen, dass für 2 Alternativen jeweils auf Stufe 1 und 2 die Kapitalwerte bestimmt wurden. Die errechneten Kapitalwerte liegen alle zwischen 0 und 1000 TEUR. Somit gilt

x [TEUR]	f(x)
0	0
1000	10

woraus folgt:  $f(x)=1/100 * x$

Die Zielwerte ergeben sich dann aus der Division der einzelnen Kapitalwerte durch 100.

Durch Multiplikation der so ermittelten Zielwerte mit der zuvor festgelegten Kriteriengewichtung ergeben sich die Teilnutzenwerte, die dann aufsummiert für jede Alternative auf jeder Bewertungsstufe den dazugehörigen Gesamtnutzwert ergeben (siehe hierzu (3)).

Bevor eine Gesamtaussage für jede Alternative getroffen werden kann, müssen nun noch die nicht-monetären Größen in die EWA mit einbezogen werden.

Die Bewertungskriterien bilden die wesentlichen kundenabhängigen und kundenunabhängigen Anforderungen (siehe Abschnitt 3.2.2.1), die nicht schon bereits als KO-Kriterien (siehe Abschnitt 3.2.2.2.1) identifiziert wurden. Die Bewertungskriterien müssen gewichtet werden. Die kundenabhängigen Kriterien sind bereits im Rahmen des QFD bewertet wurden (siehe Anhang A.1.3). Nun bedarf es noch der Bewertung der kundenunabhängigen Kriterien, die im Wesentlichen unternehmensinterne Anforderungen sind, da die externen Anforderungen in der Regel KO-Kriterien darstellen. Diese erfolgt analog mittels

eines paarweisen Vergleichs (siehe Anhang A.2.1). Die Gewichtungen der kundenabhängigen und kundenunabhängigen Anforderungen werden anschließend zusammengeführt. Damit wird gesichert, dass jedes Kriterium am Ende nur noch einmal in der Bewertungstabelle enthalten ist. Dies wird dann notwendig, wenn eine Anforderung von mehreren Interessengruppen genannt und bewertet wird. Das Vorgehen ist anhand der ermittelten Zahlen beispielhaft in Anhang A.2.2 erläutert. Anschließend müssen den einzelnen Systemalternativen Zielerträge und entsprechende Zielwerte zugeordnet werden. Die Zielerträge drücken aus, wie stark die jeweilige Systemvariante die jeweiligen Anforderungen erfüllt. Oftmals erfolgt die Bestimmung der Zielerträge mit Hilfe von Simulationen und verbalen Beschreibungen. Vergleichbar werden diese wiederum durch Zuordnung von Punkten von 0 bis 10 gemacht. Je höher die Punktezahl, desto höher der Anforderungserfüllungsgrad durch die Systemvariante. Wie für die finanzanalytische Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die Nutzwerte für die einzelnen Alternativen durch Aufsummierung der Produkte aus Zielwert und Gewichtung der Kriterien berechnet (vgl. (3)).

Die abschließende Ergebnisaufbereitung erfolgt durch so genannte Nutzwertportfolios. Mit ihnen lassen sich die Ergebnisse der 3 Stufen der EWA in anschaulicher Weise zusammenfassen. Die Abbildung 19 stellt die beiden wichtigen Nutzwertportfolios dar, anhand derer die Entscheidungsträger je nach Risikoeinstellung eine Systemvariante auswählen.

Ein konservativer Entscheidungsträger wird sich vorrangig auf die Ergebnisse des ersten Nutzwertportfolios berufen. Dort werden die sicheren Größen der finanzanalytischen Grundrechnung den Ergebnissen der Nutzwertanalyse gegenübergestellt. Je mehr man Risiko eingehen will, umso mehr werden die Ergebnisse aus der zweiten Nutzwertportfolio berücksichtigt. Für die in Abbildung 19 gegebene Darstellung würde sich ein risikoaverser Entscheidungsträger für Alternative 2, eine risikofreudiger wird sich mehr auf die unsicheren Daten der erweiterten Investitionsrechnung berufen und sich somit für Alternative 1 entscheiden.

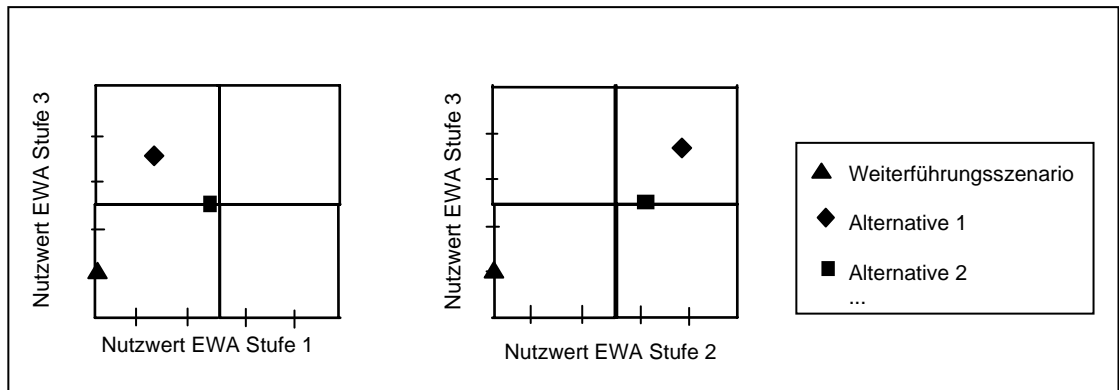


Abbildung 19: Nutzwertportfolio zum 3-stufigen EWA

Mit dem 3-Stufen Verfahren zur EWA gelingt es, auf nachvollziehbare Weise, jene Systemalternative auszuwählen, die die Erwartungen aller beteiligter Parteien (insbesondere des Kunden, des Herstellers und des Gesetzgebers) am meisten erfüllt. Durch die Gewichtung der Kriterien können dabei zusätzlich Abstufungen zwischen der Wichtigkeit einzelner Anforderungen umgesetzt werden.

Für die ausgewählte Systemalternative wird anschließend die optimale Migrationsstrategie bestimmt. Zu deren Durchführung müssen weitere Anforderungen vom System erfüllt sein. Das heißt, der Anforderungskatalog für das optimal migrationsfähige System vergrößert sich weiter.

### 3.2.3 Entwicklung von Migrationsstrategien unter Beachtung von Randbedingungen

Die funktionalen Eigenschaften werden von der selektierten Systemvariante erfüllt. Um das Produkt auch migrationsfähig im engeren Sinne, d. h. für die unmittelbare Markteinführung zu gestalten, sind das System und seine Migrationsrandbedingungen zu analysieren. Daraus gesammelte Kenntnisse lassen auf zusätzliche Systemeigenschaften schließen, deren Erfüllung den Systemerfolg weiter optimieren. Die Gestaltung und Durchsetzung einer geeigneten Migrationsstrategie für die Einführung des selektierten Zugbeeinflussungssystems ist damit möglich.

Generell wird bei Neueinführungen technischer Systeme zwischen einer schnellen und langsamen bzw. sanften Migration unterschieden. Eine *Gesamtmigration zum gleichen Zeitraum* (big bang)<sup>119</sup>, wie sie etwa bei neuen IT- Systemen praktiziert werden kann, ist bei der Einführung eines Zugbeeinflussungssystems nicht praktikabel. Dies würde bedeuten, dass zu einem Stichtag das gesamte System von

<sup>119</sup> Vgl. Barak, V. (1997), S. 120 f.

alt auf neu umgestellt wird. Bis zu diesem Zeitpunkt läuft alles mit dem alten System, danach ist nur noch die neue Technik sowohl im Fahrzeug als auch auf der Strecke anwendbar.<sup>120</sup> Wesentlich sinnvoller ist es, da der Umrüstprozess an Fahrzeug und Strecke insgesamt sehr zeitaufwendig ist, bereits umgerüstete Fahrzeuge und Strecken während der noch andauernden Migrationsphase mit der neuen Technik zu nutzen, d. h. eine *schrittweise Migration* durchzuführen um somit erste Kosteneinsparungen möglichst frühzeitig zu erzielen. Dabei sind entgegen der ersten Variante Schnittstellen zwischen alter und neuer Systemtechnik notwendig. Eine Risikominimierung durch eine bewusste Einführung eines komplexen Systems wie die Zugbeeinflussung und einer damit verbundenen frühzeitigen, migrationsbegleitenden Erhöhung des Wissenstands beim Kunden sind neben dem Kostenaspekt ausschlaggebende Selektionspunkte. Die Kunden, hier die europäischen Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen werden in der Regel eine schrittweise Migration verlangen.

Unabhängig davon liegen bei der Migration eines neuen Zugbeeinflussungssystems Randbedingungen vor, die vom Hersteller für eine optimale Ausgestaltung des Einführungsprozesses bereits bei Systemgestaltung beachtet werden sollten. Den Prozess entscheidend beeinflussende Faktoren während des Systemwechsels sind:

- die sicherzustellende Betriebsfähigkeit des Schienenverkehrssystems,
- die damit verbundene betriebliche Intraoperabilität zwischen alten und neuen Systemkomponenten,
- die Beibehaltung des Sicherheitsstandards.<sup>121</sup>
- vergleichsweise lange Lebensdauer der Fahrzeuge (etwa 30 Jahre) und der Streckenausrüstung (Abschreibungsdauer 20 Jahre)

Durch eine umfassende Analyse der Systemumwelt (siehe Abbildung 9), die Ausgangspunkt für die Entwicklung von Migrationsstrategien sein sollte, ergeben sich weitere, teilweise von Land zu Land unterschiedliche Restriktionen/Bedingungen.<sup>122</sup> Die Ressourcen und der Bedarf<sup>123</sup> (z. B. zeitliche Dringlichkeit, Produktionskonzept<sup>124</sup>) des Absatzmarktes, d. h. der einzelnen Bahnbetreiber

---

<sup>120</sup> Im IT-Bereich kann bspw. parallel zur bestehenden Infrastruktur die Neue aufgebaut werden. Zum Stichtag wird die alte ‚abgestellt‘ und alle Aufgaben laufen über die neue Infrastruktur. Ein solches Vorgehen ist im Schienennetz allein durch das immens hohe Kostenaufkommen undenkbar.

<sup>121</sup> Vgl. Obrenovic/Knollmann/Jäger/Lemmer (2005), S. 5

<sup>122</sup> Vgl. Internationaler Eisenbahnverband (2003), S. 12

<sup>123</sup> Vgl. ebenda, S. 24 f.

<sup>124</sup> Vgl. Bikker/Schroeder (2002), S. 71 f.

variieren. Zudem ist der bestehende Entwicklungsstand<sup>125</sup> innerhalb Europas teilweise sehr verschieden. Weiterhin gestaltet sich der Beschaffungsmarkt unterschiedlich (wobei dieser Aspekt in einem europäischen Markt an Gewicht verliert). Auch die politisch-rechtliche Umwelt (z. B. Subventionsbedingungen, Grad der Privatisierung, Abschreibungsvorschriften von Strecken- und Fahrzeugelementen) variiert von Land zu Land, lediglich die rechtlichen Vorschriften zum Schienenverkehr werden in Europa kontinuierlich vereinheitlicht. Zudem müssen die begrenzten Umrüstkapazitäten des Herstellers bei der Strategieentwicklung berücksichtigt werden. All diese Kriterien nehmen Einfluss auf die finanzielle Belastung der europäischen Bahnen und auf die Migrationsdauer, sowohl bei einer schnellen als auch sanften Migration. Abhängig für welches Land eine Migrationsstrategie zu entwickeln ist, sind diese Umweltfaktoren separat zu analysieren. Dieses Prinzip gilt in manchen Ländern, in denen sich der Schienenverkehr sehr unterschiedlich gestaltet, sogar innerhalb eines Landes<sup>126</sup>, d. h. streckenspezifische Strategien sind notwendig. Gleich bleiben dabei immer die vier oben genannten, die technische Ausgestaltung beeinflussenden Faktoren. Anhand derer werden erste Ansätze für mögliche Migrationsstrategien geliefert.

Um der Randbedingung der Aufrechterhaltung einer sicheren Betriebsfähigkeit während der Migration nachzukommen, gibt es generell nur vier Basisstrategievarianten<sup>127</sup>, wobei bei jeder von ihnen die Teile der beiden Migrationseinheiten Strecke und Fahrzeug so ausgestattet sein müssen, dass eine Kompatibilität zwischen alten und neuen Systemkomponenten gesichert ist. Mit ihr wird die betriebliche Intraoperabilität gesichert, d. h. der Forderung nach freier Einsetzbarkeit aller beteiligten Fahrzeuge auf allen beteiligten Strecken, unabhängig ob diese bereits umgerüstet sind oder nicht, muss gesichert sein. Ist eine Kompatibilität zwischen altem und neuem System aus technischen Gründen nicht möglich, muss die Intraoperabilität durch Doppelausrüstung einer oder beider Migrationseinheiten mit alter und neuer Technik gesichert werden (siehe Abbildung 20). Mit der doppelten Ausrüstung und Wartung sind entsprechende Kosten verbunden.

Eine Möglichkeit eine direkte Umrüstung, ohne dass Doppelausrüstungen einer oder beider Migrationseinheiten notwendig sind, umzusetzen, ist in Abbildung 20

---

<sup>125</sup> D. h. das etwa die Anzahl der umzurüstenden Fahrzeuge und Streckenkilometer, die Nutzungsfrequenz des Netzes, betriebliche Leistungskenngrößen wie Höchstgeschwindigkeit etc. unterschiedlich sind (vgl. Lemmer/Meyer zu Hörste/Schnieder (2003), S. 45 f.) (siehe hierzu auch Tabelle 4)

<sup>126</sup> z. B. ist die Bedarfsstruktur zwischen regionalem und nationalem bzw. internationalem Schienenverkehr in Deutschland sehr unterschiedlich

<sup>127</sup> Vgl. Lemmer/Meyer zu Hörste/Schnieder (2003), S. 44 f.

genannt. Die Kompatibilität kann durch *Übersetzungsmodule* im Fahrzeug realisiert werden. Dieses kann Informationen von der Strecke, unabhängig ob mittels alter oder neuer Technik gesandt, verarbeiten, der Zug somit flexible auf alten und neuen Strecken genutzt werden. Dies bedeutet, dass bei Umrüstung der Fahrzeuge gleichzeitig der Einbau des Übersetzungsmoduls erfolgt. Eine Umrüstung der Strecke kann dann jedoch erst nach vollständiger Ausstattung der Fahrzeuge mit der neuen Systemtechnik und dem Modul erfolgen. Die Wahl der zeitlichen Abfolge kann man dann frei gestalten. Für dieses Modul sollte der Entwicklungsaufwand jedoch nicht höher als die Kosten durch eine Doppelausrüstung sein. Andernfalls verliert diese Variante schnell an Attraktivität, da dieses Modul nach dem Migrationsprozess nicht mehr benötigt wird, es somit eine sehr kurze Daseinsberechtigung hat, während bei der Doppelausrüstung einzelne Elemente für eine Rückfallebene dienen können.<sup>128</sup>

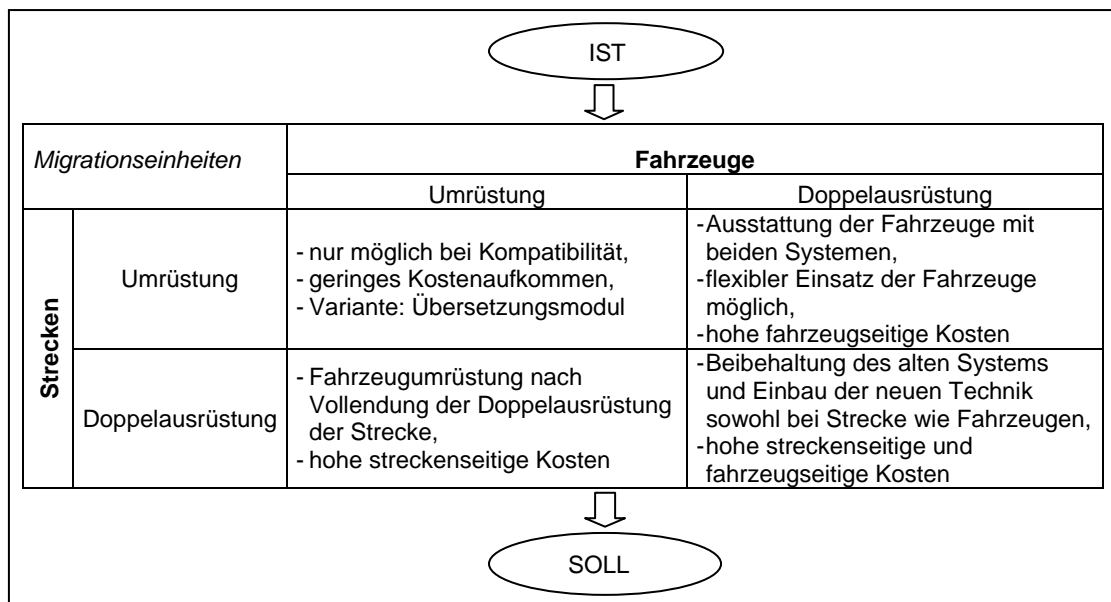


Abbildung 20: Basismigrationsstrategien

Bei den Varianten der Doppelausrüstung handelt es sich bei der Doppelausrüstung beider Systeme um die schnellstmögliche Variante. Bei den anderen beiden Basisstrategien, d. h. ausschließliche Doppelausrüstung von Strecke oder Fahrzeug, kann die andere Migrationseinheit erst nach Fertigstellung der Doppelausrüstung umgerüstet werden. Vorteil bei diesen langsameren Varianten sind die geringeren Migrationskosten. Bei den Basisstrategien gibt es wiederum unterschiedliche Strategievarianten, die in Abhängigkeit der nationalen Interessen ausgestaltet und ausgewählt werden sollten. Ein Beispiel hierfür liefert der aktuelle

<sup>128</sup> siehe hierzu auch Lemmer/Meyer zu Hörste/Schnieder (2003), S. 45

Migrationsprozess von ETCS in Deutschland. Hier wird von der DB AG eine passive Doppelausrüstung der Fahrzeuge ins Feld geführt, d. h. nur neue Fahrzeuge werden doppelt ausgerüstet bzw. umgerüstet. Fahrzeuge, die nur noch eine geringe Lebensdauer besitzen werden nicht umgerüstet.<sup>129</sup> Auch ist ein Wechsel zwischen Strategien während des Migrationsprozesses möglich. Man beginnt mit der Doppelausrüstung beider Migrationseinheiten und sobald eine Einheit doppelt ausgerüstet ist, wird die zweite Einheit nur noch umgerüstet.<sup>130</sup>

Bereits aus diesen ersten, durch die technisch-betrieblichen Randbedingungen bedingten Strategieansätzen, die länderabhängig weiter zu spezifizieren sind, werden Anforderungen an die neue Systemtechnik deutlich.

- Die Effizienz eines *Übersetzungsmoduls* ist zu überprüfen.
- Der Hersteller hat bei einer Doppelausrüstungsstrategie funktionierende *Schnittstellen* zwischen alter und neuer Technik sicherzustellen.<sup>131</sup> Ein dynamisches Umschalten zwischen beiden Systemen muss möglich sein.
- Zwischen beiden Systemen muss eine technische *Rückwirkungsfreiheit* bestehen.
- Für Parallelausrüstung sollen *keine Veränderungen/ Hochrüstungen* an alter Technik notwendig sein.<sup>132</sup>
- Die neue Technik muss bei fahrzeugseitiger Doppelausrüstung den *Platzmöglichkeiten* in den bestehenden Fahrzeugen genügen.
- Das neue System muss so *modular* wie möglich aufgebaut sein, um eine optimale Migration bei allen, teilweise sehr unterschiedlichen nationalen Ausgangssituationen realisieren zu können (hohe Anpassungsfähigkeit/Flexibilität des Systems). Systemkomponenten, die für sich selbst arbeitsfähig sind, also in sich abgeschlossene Einheiten bilden, können je nach Belieben des Abnehmers früher oder später in das Gesamtsystem schrittweise integriert werden.

Bei der Lösung der Anforderungen ist auf die Sicherung der geforderten Verfügbarkeit während des gesamten Migrationsprozesses zu achten.

Weiter können sich Anforderungen an den Herstellprozess ergeben:

<sup>129</sup> Vgl. Knewitz, R. (2003), S. 16

<sup>130</sup> Vgl. Mindel, K. (2001), S. 7

<sup>131</sup> Dieses Schnittstellenmanagement kann teilweise bereits in einem Land sehr komplex werden, wenn z. B. wie in Deutschland 10 verschiedene Stellwerksbauformen und 40 verschiedene Fahrzeugbaureihen in Betrieb sind. (vgl. Knollmannsberger/Kilian/Mindel (2003), S. 6) Dies gilt im Besonderen im internationalen Verkehr.

<sup>132</sup> Vgl. Knollmannsberger/Kilian/Mindel (2003), S. 8



- Wird eine schnelle Migration gewählt (Selektionsprozess siehe Abschnitt 3.2.4), muss sich der Hersteller möglicher Weise um *Kapazitätsvergrößerungen* bemühen.
- Um den Migrationsprozess vorab zu strukturieren und abzusichern, sollten *Simulationsmöglichkeiten* geschaffen werden.<sup>133</sup>
- Basis für erfolgreiche Koordination des Migrationsprozesses schaffen

Durch Tests und Simulationen können die Migrationsstrategien validiert werden. Dadurch gelingt es, mögliche Mängel und Probleme zu erkennen und zu beseitigen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Auswirkungen einzelner Migrationsmaßnahmen auf Fahrplan, Fahrzeugumläufe oder Personaleinsatz<sup>134</sup> zu antizipieren. Zudem können sich die Verantwortlichen bereits vor der eigentlichen Installation notwendiges Wissen aneignen um somit später Fehler zu vermeiden. Unterstützt werden kann die Fehlerreduktion durch eine länderübergreifende Kooperation und Informationsaustausch. Wiederholungen von gleichen Fehlern können vermieden werden.

Generell gilt, dass die Migration eines neuen Zugbeeinflussungssystems unabhängig von der gewählten Strategie nur dann erfolgreich sein kann, wenn die Interessen aller beteiligten Gruppen angemessen berücksichtigt werden.<sup>135</sup> Bei der Erstellung der Migrationsstrategien sind bereits mögliche Optimierungspotentiale hinsichtlich der wesentlichen Selektionskriterien Zeit und Kosten zu erkennen und zu integrieren.

Bevor die ermittelten Migrationsstrategien dem Bewertungs- und Selektionsprozess (siehe Abschnitt 3.2.4) unterzogen werden können, ist deren *technische Machbarkeit* zu überprüfen. Dafür ist es unabdingbar, dass der Hersteller alle (zumindest wesentlichen) Abhängigkeiten im System kennt.

### 3.2.4 Bewertung der Migrationsstrategien für das selektierte Zugbeeinflussungssystem

Aus den ermittelten möglichen Migrationsstrategien ist die für den Abnehmer optimale Strategie zu selektieren. Dazu dienen die entscheidenden Auswahlparameter *Kosten-* und *Zeitaufwand*. Denn sie prägen entscheidend die Akzeptanz und den Erfolg eines Migrationsprojekts. Wird der gewünschte

<sup>133</sup> Vgl. Deutsche Bahn (2003)

<sup>134</sup> Vgl. Obrenovic/Knollmann/Jäger/Lemmer (2005), S. 6

<sup>135</sup> Das Beispiel ETCS-Einführung in Deutschland zeigt, wie eine fehlende Interessenabstimmung den Migrationsprozess verlangsamt. Die ungleiche finanzielle Förderung von Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen führt zu Blockaden.

Systemwechsel innerhalb des vorgesehenen Zeit- und Budgetrahmens erreicht, gilt die Migration als erfolgreich.<sup>136</sup>

Aus rein operativer Sicht hat sich gezeigt, dass eine fahrzeugseitige Migration vorteilhafter ist, wenn nur eine begrenzte Anzahl an Fahrzeugen auf der neu ausgerüsteten Strecke laufen. Dies gilt im Besonderen auf Strecken niedriger Verkehrsdichte. Eine streckenseitige Migration empfiehlt sich, wenn viele unterschiedlicher Züge die Strecke benutzen. Dies ist vor allem auf Hauptverkehrsadern der Fall.<sup>137</sup> Anhand einer Kosten- und Zeitanalyse ist dieses Vorgehen zu überprüfen und bei insgesamt auftretenden Kosten- und Zeitüberschreitungen abzuändern. Dabei gilt für die Werte Kosten und Zeit der einzelnen Strategien eine erhöhte Datenunsicherheit. Die Migration eines Zugbeeinflussungssystems ist aufgrund der Komplexität ein über einen langen Zeitraum andauernder Prozess. Mit zunehmender Zukunftsperspektive steigt jedoch das Risiko der getroffenen Prognosen. Dieses gilt es entsprechend zu berücksichtigen. Abbildung 11 zeigt das prinzipielle Vorgehen bei Strategie-Selektionsentscheidungen.

#### **3.2.4.1 Umweltszenarien bei der Migration eines Zugbeeinflussungssystems**

Um das mit zunehmender Zukunftsperspektive verbundene Prognoserisiko zu erfassen, bietet das Konzept der Entscheidungen unter Risiko<sup>138</sup> ein passendes Werkzeug. Dabei werden für den Zeitraum der Migrationsdauer mögliche Umweltszenarien entwickelt. Sie ergeben sich aus der Analyse des Systemumfeldes (siehe Abbildung 9) und seiner wesentlichen Einflussfaktoren. Um eine Entscheidung unter Risiko treffen zu können, müssen für die einzelnen n Umweltszenarien Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmt werden. Es gilt (4).

Der entscheidende Punkt der Umweltszenarien-Betrachtung ist die Konsequenzanalyse aus der Zukunft für die Gegenwart. Das heißt entgegen des traditionellen Planungsansatzes aus der Vergangenheit her die Zukunft zu extrapolieren<sup>139</sup>, werden durch die Informationen über zukünftige Entwicklungen Chancen und Risiken abgeleitet. Mögliche, frühzeitig erkannte Chancen können genutzt werden und Risiken kann rechtzeitig mittels geeigneter (Korrektur-)

---

<sup>136</sup> Vgl. Bundesministerium des Innern (2003), S. 388

<sup>137</sup> Vgl. Internationaler Eisenbahnverband (2003), S. 17

<sup>138</sup> Vgl. Homburg, C. (2000), S. 465 ff.

<sup>139</sup> Generell gilt, dass der traditionelle Ansatz zunehmend hinterfragt wird. Er setzt eine Stabilität der Rahmenbedingungen (Kunden-/Lieferantenverhalten, rechtliche Grundlagen, etc.) voraus, die in der sich mit steigender Geschwindigkeit verändernden Umwelt nicht angenommen werden darf.

Maßnahmen vorgebeugt werden.<sup>140</sup> Durch die bessere Informationsgrundlage ist der Hersteller für Zugbeeinflussungssysteme besser für die Unsicherheiten und Veränderungen der Zukunft gerüstet.<sup>141</sup> Prinzipiell gilt jedoch, dass die Zukunft nicht eindeutig voraussagbar ist. Durch den bei der Migration eines Zugbeeinflussungssystems benötigten langen Zeitraum steigt die Art und Anzahl der zu berücksichtigenden Einflussgrößen und somit auch die Komplexität der Entscheidung. Dies bedingt eine erhöhte, mitunter gegen unendlich tendierende Anzahl an möglichen Entwicklungswegen in der Systemumwelt. Um dennoch unter diesen Umständen eine Empfehlung aussprechen zu können, müssen sich die Entscheidungsträger auf die wichtigsten, wahrscheinlichsten Umwelteinflüsse beschränken. Eine vollkommen abgesicherte Entscheidung für eine Migrationsstrategie ist per se nicht möglich, das Risiko und damit eine gewisse (Rest-)Ungewissheit nie vollkommen eliminierbar.<sup>142</sup>

Erste Umfeldanalyseergebnisse für das System Zugbeeinflussung sollen im Folgenden skizziert werden. Prinzipiell gilt, je unsicherer die zukünftige Entwicklung empfunden wird, desto größer ist die Anzahl der möglichen relevanten Umweltszenarien.

Ein wesentlicher Einflussbereich auf den notwendigen Kosten- und Zeitaufwand der Systemmigration ist die *Entwicklung des Lieferantenumfelds*. Weitet sich dieses aus, d. h. erhöht sich die Anzahl der Zulieferer ist das für den Hersteller eine günstige Entwicklung. Der steigende Wettbewerb verhilft ihm zu mehr Verhandlungspotential hinsichtlich Preis und Fertigungsdauer der Komponenten. Entgegengesetztes gilt bei für den Hersteller ungünstigen Entwicklungen im Lieferantenumfeld. Auch die Entwicklung des Rohstoffmarktes nimmt Einfluss auf die Gestaltung des Lieferantenumfelds. Steigende Nachfrage am Markt erhöht die Preise und kann zu Lieferverzug führen.

Zusammengefasst sind somit folgende grundlegende Entwicklungen der Lieferantenumwelt möglich:

- A – ungünstig
- B – unverändert
- C – günstig

Ein weiterer Einflussbereich bei der Migration eines Zugbeeinflussungssystems ist die *Stabilität gesetzlicher Vorschriften*. Treten Veränderungen während der Migration auf, können sie erhebliche Kosten- und Zeitaufwandssteigerungen

---

<sup>140</sup> Vgl. Koch, A. (2004), S. 53

<sup>141</sup> Vgl. Reibnitz, U. (1992), S. 29

<sup>142</sup> Vgl. Koch, A. (2004), S. 110 f.

verursachen. Eine Reduzierung des Vorschriftenkatalogs ist nicht absehbar, somit sind folgende Entwicklungen der Vorschriftenumwelt denkbar:

- I – keine Veränderungen
- II – Erweiterung des Vorschriftenkatalogs (Ergänzungen, Änderungen)

Insgesamt lassen sich aus den Umweltkonstellationen 6 mögliche, für den Migrationsprozess relevante Umweltszenarien  $s_1, \dots, s_6$  ableiten:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>I</b>	$s_1$	$s_2$	$s_3$
<b>II</b>	$s_4$	$s_5$	$s_6$

Der Zustand  $s_3$  bedeutet bspw. eine günstige Entwicklung im Lieferantenumfeld bei gleich bleibenden Vorschriften. So lassen sich Umweltszenarien von optimistischer Grundhaltung bezüglich der zukünftigen Entwicklung hin zu Pessimismus bestimmen, wobei diese auf Konsistenz zu überprüfen sind.

Durch sorgfältige Analysen sind (wenn möglich) den einzelnen Entwicklungen der Lieferanten- und Vorschriftenumwelt Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Liegen z. B. Wahrscheinlichkeit von 30% für eine günstige Entwicklung des Lieferantenumfelds und von 50% für einen unveränderten Vorschriftenkatalog vor, so ergeben sich für das Eintreten des Umweltszenarios  $s_3$  eine Wahrscheinlichkeit von  $p_3 = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15$  bzw. 15%. Analog sind die Wahrscheinlichkeiten der anderen Umweltszenarien zu bestimmen.

Zusätzlich zu dem Risiko aus der unsicheren Umweltentwicklung besteht das betriebliche Risiko bei Neueinführungen, besonders hoch bei schnellen und überstürzten Migrationen (Mangel an Kompetenz, ...). Generell muss sich das Unternehmen im Rahmen einer allgemeinen Unternehmensanalyse über seine Potentiale im Klaren werden und diese möglichst mit den Bedarfen der Unternehmensumwelt abgleichen.<sup>143</sup> Durch gezielte Entscheidungen und Maßnahmen gilt es das unternehmensinterne Risiko zu minimieren.

Die Kenntnisse aus der Umweltanalyse werden nur geringfügig bei der Erstellung des Gesamtanforderungskatalogs (siehe Abschnitt 3.3.2) berücksichtigt. Grund dafür ist die geringe Einflussnahme, die dem Hersteller hierbei gegeben ist. Lediglich die Reduzierung des betrieblichen Risikos kann der Hersteller gezielt

<sup>143</sup> Koch, A. (2004), S. 111

forcieren. Für die Selektion der optimalen Migrationsstrategie bietet dieser Schritt wichtige Entscheidungsunterstützung.

#### 3.2.4.2 Ergebnismatrizen für Migrationskosten und -dauer

Aufbauend auf den gesammelten Kenntnissen zu Umwelt(-entwicklungen) sind für die einzelnen Migrationsstrategien zu jedem Umweltszenario die Werte der entscheidenden Zielkriterien Kosten und Zeit zu bestimmen. Als Ergebnis dessen liegen den Entscheidungsträgern zwei Ergebnismatrizen (siehe Tabelle 2) jeweils für Kosten und Zeit vor.

##### Kosten

Das Zielkriterium Kosten beschreibt ausschließlich die Migrationskosten. Was das selektierte System während seiner gesamten Bestehensdauer kosten wird, also seine Lebenszykluskosten, ist mittels der EWA (siehe Abschnitt 3.2.2.2) erfasst. Die bereinigten Migrationskosten bilden den durch den Systemübergang verursachten Mehraufwand im Vergleich zum Weiterführungsszenario, also der Beibehaltung der bestehenden Systemtechnik, ab. Dabei werden für die wirtschaftliche Bewertung der Migrationsstrategien die Kostenströme sowohl auf der Strecken- als auch der Fahrzeugseite für die einzelnen Strategiealternativen zusammengetragen.<sup>144</sup>

Im Rahmen der Bestimmung der Lebenszykluskosten als Bestandteil der EWA (siehe Tabelle 5/ einmalige und laufende Auszahlungen) sind die Migrationskosten bereits in Ansätzen erfasst worden, da der Migrationsprozess eines Produktes Bestandteil des Lebenszyklus ist. Die mittels expliziter Migrationskostenanalyse ermittelten Zahlen sind demgegenüber detaillierter und differenzierter aufgestellt. Für deren Berechnung empfiehlt sich wie bei der EWA die Verwendung der Kapitalwertmethode (5).

Der Begriff Kosten kann hier zu Verwirrungen führen. Denn bei der Bestimmung des Kostenaufkommens während der Migrationsphase werden nicht nur der Mehraufwand gegenüber dem Weiterführungsszenario erfasst sondern auch die

---

<sup>144</sup> Um die Informationsbasis für die getrennt geführten EVU und EIU zur verbessern, ist es sinnvoll in einer Zusatzrechnung, die Kostenströme auf Strecken- und Fahrzeugseite in getrennten Kapitalwertberechnungen zu erfassen und zu bewerten. Diese dokumentiert mittels genauer Werte die in der Regel bestehende ungleiche finanzielle Belastung beider Parteien während der Migration, da sich zunehmend die Funktionalität der LST und somit auch die technische Ausrüstung von der Strecke auf das Fahrzeug verschieben werden. Die getrennt ausgeführten Berechnungen können dann Basis für einen fundierten Lastenausgleich zwischen beiden Parteien sein.

bereits im Migrationsprozess auftretenden Einsparungen (an Wartungskosten, etc.). Da in der Regel die durch den Systemwechsel verursachten Aufwendungen höher als die ersten Einsparungen sind, ist der Begriff Kosten hier dennoch berechtigt. Damit ist klar, dass auch der berechnete Kapitalwert negativ ist. Dies ändert nichts an der grundsätzlichen Entscheidungsregel: je höher der Kapitalwert, desto besser die Migrationsstrategie. Generell gilt jedoch, dass der Abnehmer durch den Systemwechsel eine Steigerung der Rentabilität verlangt, d. h. die aufgebrauchten Investitionsaufwendungen durch Einsparungen (niedrigere Anschaffungs- und Betriebskosten durch geringere Einkaufspreise bei höherem Herstellerwettbewerb, weniger Streckenkomponenten etc.) und Mehreinnahmen über kurz oder lang überkompensiert werden. Dass dies im Allgemeinen nicht schon während des Migrationsprozesses der Fall ist, also Amortisationsdauer größer ist als die Migrationsdauer, ist bewusst.

Die wesentlichen Kostenquellen, die in die Analyse einfließen sind

- Kosten für die neue Zugbeeinflussung,
- Kosten für die notwendigen Umrüstarbeiten (fahrzeug- und streckenspezifisch),
- Opportunitätskosten in Folge des Nutzenentgangs während der Umrüstung,
- Schulungskosten (Richtlinie 95/18/EG fordert, dass die für die Sicherheit verantwortlichen Beschäftigten, insbesondere die Zugführer, für ihr Tätigkeitsgebiet voll qualifiziert sind.).

Die Kosten für die Neuausrüstung mit dem selektierten Zugbeeinflussungssystem bilden dabei die Basiskosten. Denn egal welche Strategie letztlich gewählt wird, die anfallenden Kosten für die vollständige technische Ausrüstung aller Strecken und Fahrzeuge mit der vorab selektierten Systemtechnik bleiben konstant. Lediglich mögliche Schwankungen in den Anschaffungspreisen je nach gewähltem Anschaffungszeitpunkt verursachen leichte Unterschiede. Wesentlich bedeutender sind in der Regel die Opportunitätskosten und die Betriebs- bzw. Wartungs- und Instandhaltungskosten (insbesondere bei der Doppelausrüstung von Strecke und/oder Fahrzeug).

Insgesamt gestaltet sich die Informationssammlung und deren konsistente Zusammenführung als sehr komplex. Viele mögliche Einflussfaktoren müssen untersucht und bewertet werden. Dies kann sich gerade bei neuen Systemen, bei denen keine Erfahrungswerte vorliegen, besonders schwierig gestalten. Erschwert wird diese Betrachtung, wenn die Systemumwelt, in die migriert werden soll, sehr unterschiedlich ist. In Deutschland bspw. existiert eine Vielzahl verschiedener

Fahrzeugbaureihen, bei denen der notwendige Umrüstungsaufwand jeweils unterschiedlich ausfällt. Um die Komplexität des Entscheidungsprozesses nicht unnötig zu erhöhen, ist es ratsam, sich bei der eigentlichen Durchführung auf die wesentlichen Einflussgrößen zu konzentrieren. So können z. B. die Preisschwankungen für die fahrzeug- und streckenseitig notwendigen Komponenten vernachlässigt werden.

Für die Erstellung der Kosten-Ergebnismatrix mittels der Berechnung der Kapitalwerte der Migrationsstrategien bei den jeweiligen Umweltszenarien ist ein Kalkulationszinssatz notwendig. Er bringt die geforderte Mindestrendite des eingesetzten Kapitals zum Ausdruck. Deshalb orientiert er sich am Verhalten des Marktinzses und an betrieblichen Mindestverzinsungsvorgaben, in denen auch das mit der Investition verbundene systematische Risiko einfließt. In der Praxis ist die genaue Bestimmung des Kalkulationszinssatzes schwierig, besonders bei langwierigen Projekten wie der Migration einer neuen Zugbeeinflussung. Dessen Entwicklung über längeren Zeitraum ist unsicher, zudem werden vielfältige Anforderungen an ihn gestellt. Verschiedene Herangehensweisen zur Wahl des Kalkulationszinssatzes zeigt Perridon/Steiner (2004).<sup>145</sup> Mit Steigen des Kalkulationszinssatzes verlieren Auszahlungen und Einsparungen am Ende des Betrachtungszeitraums an Bedeutung. Sie werden stark abdiskontiert und sind somit quasi vernachlässigbar. Dies führt natürlich auch zu Verzerrungen. Migrationsszenarien, bei denen Investitionen verzögert werden, also erst relativ spät anfallen, stehen zu positiv da.<sup>146</sup> Umgekehrtes gilt für die Einsparungen. Umso früher sie realisiert werden können, umso vorteilhafter ist die Strategie da die positiven Rückflüsse mehr ins Gewicht fallen. Gleichzeitig reduzieren früh erzielte Einsparungen das Projektrisiko.

Für den Hersteller ergibt die Analyse, dass das neue System *nicht zu teuer* und vor allem möglichst *leicht und schnell installierbar* sein sollte. Auf der Einnahmenseite, hier Einsparungen gegenüber dem Weiterführungsszenario, können Steigerungen erzielt werden, wenn mit dem neuen System *möglichst bald Einsparungen* realisiert werden können. Weitere Anforderungen lassen sich auch aus der Analyse der wesentlichen Kostentreiber bei der Migration von ETCS ableiten (siehe Internationaler Eisenbahnverband (2003), S. 18).

---

<sup>145</sup> Vgl. Perridon/Steiner (2004), S. 86 ff.

<sup>146</sup> Vgl. Bikker/Schroeder (2002), S. 86

### Zeit

Das zweite wesentliche Entscheidungskriterium ist die, für die vollständige Migration des neuen Zugbeeinflussungssystems benötigte Zeit. Sie wird bereits bei der Berechnung des Kapitalwertes (5) zur Erstellung der Kosten-Ergebnismatrix benötigt. Dennoch soll für den Faktor Zeit aufgrund seiner Bedeutung eine separate Ergebnismatrix aufgestellt werden. Dabei können die beiden Ergebnismatrizen nicht unabhängig voneinander aufgestellt werden, da zwischen den Faktoren Migrationskosten und -zeit Wechselwirkungen bestehen. Will man bspw., um nicht etwa nach Beendigung der Migration durch einen zu lang verschleppten Migrationsprozess eine veraltete Technik vorzufinden, den Migrationsprozess beschleunigen (z. B. durch Erhöhung der Fertigungskapazitäten), wird dies in der Regel mit erhöhtem Kostenaufkommen verbunden sein. In diesem Zusammenhang muss der Hersteller auch mögliche Make-or-Buy Entscheidungen treffen. Mit ihnen können sich möglicher Weise Produktionskosten und/ oder -zeiten reduzieren.

Die Migrationsdauer für die jeweilige Strategieoption kann durch Analyse von Aus- und Umrüstkapazitäten ermittelt werden.<sup>147</sup> Durch Kenntnisse und Erfahrungen von Fachpersonal und Experten können die Zeitwerte weiter verfeinert werden.

Generell gilt, dass der Migrationsprozess nicht unnötig verlangsamt werden sollte. Nicht nur, um nicht am Ende eines aufwendigen Spezifikations-, Entwicklungs- und Migrationsprozesses ein veraltetes System vorzufinden, sondern auch in Anbetracht der sich zunehmend verkürzenden Lebenszyklen der Systemkomponenten und der durch Betriebseinschränkungen während der Systemmigration hervorgerufenen zusätzlichen Kosten.

Doch nicht nur aus Betreibersicht ist eine schnelle Migration anzustreben. Auch der Hersteller hat an einer schnellen Ablösung der alten Technik Interesse, da er auf diesem Wege die Kosten der Produktpflege der abzulösenden Technik reduzieren kann.<sup>148</sup>

#### **3.2.4.3 Auswahl der optimalen Migrationstrategie**

Die vorab bestimmten Kapitalwerte und Migrationsdauern der einzelnen Migrationsstrategien bei den zuvor ermittelten, unterschiedlichen Umweltszenarien (mit den dazugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeiten  $p$ ) werden in den beiden Ergebnismatrizen für Kosten und Zeit zusammengetragen. Diese sind Voraussetzung für den abschließenden Selektionsprozess, an dessen Ende die

---

<sup>147</sup> Vgl. Obrenovic/Knollmann/Jäger/Lemmer (2005), S. 7

<sup>148</sup> Vgl. Lemmer/Meyer zu Hörste/Schnieder (2003), S. 46



optimale Migrationsstrategie für das selektierte Zugbeeinflussungssystem unter Beachtung der Abnehmerpräferenzen feststeht. Die notwendigen Schritte sind in Abbildung 21 dargestellt und sollen im Folgenden erläutert werden.

Ausgehend von den Werten aus den Ergebnismatrizen, in denen neben den Zahlen  $z_{ij}$  auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Umweltszenarien  $p_j$  vorliegen, werden Erwartungswert (6) und Standardabweichung (7) einer Strategie  $a_i$  über alle  $j$  Umweltszenarien berechnet. Um unnötige Rechnungen zu vermeiden, sind vor Bestimmung von  $\mu$  und  $\sigma$  alle ineffizienten Migrationsstrategien aus dem Selektionsprozess zu entfernen (9). Mit  $\mu$ - (6) und  $\mu,\sigma$ -Prinzip (8) sind gute Entscheidungen unter Risiko möglich. (Wie bereits in Abschnitt 2.1.4.3 benannt, gibt es, so keine Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Umweltszenarien bestimmbar sind, andere Entscheidungsregeln für eine Entscheidung bei Unsicherheit.)

Generell ist das  $\mu,\sigma$ -Kriterium eine sinnvolle Ergänzung zum  $\mu$ -Kriterium. Das Entscheidungsteam kann jedoch über die Wahl von  $\alpha$  beeinflussen, wie und wie sehr die Standardabweichung Einfluss auf die Entscheidung haben soll (siehe Abschnitt 2.1.4.3). Übliche Werte für  $\alpha$  sind +0,2 bei Risikofreude bzw. -0,2, wenn das Entscheidungsteam risikoscheu ist. Für den hier aufgezeigten Fall, müssen die allgemeinen Vorzeichen jedoch umgekehrt werden, d. h. -0,2 bei Risikofreude und +0,2 bei Risikoaversion. Denn es gilt am Ende jene Migrationsstrategie mit *geringstem* Kosten- und Zeitaufwand zu selektieren. Als Ergebnis liegen die Werte der Entscheidungsregeln getrennt für Kosten und Zeit vor. Es empfiehlt sich, die Ergebnisse des  $\mu,\sigma$ -Prinzips aufgrund ihres höheren Aussagegehalts für den anschließenden und abschließenden Analyseschritt zu verwenden.

Mit den Kriterien Kosten und Zeit handelt es sich um eine Entscheidung bei zweifacher Zielsetzung. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Geld- und Zeitgrößen zu schaffen, sind die ‚echten‘ Werte auf eine Skala von 0 bis 1 zu transformieren. Dem jeweils höchsten Wert bei Kosten und Zeit wird der Wert 1 zugewiesen dem niedrigsten 0, die dazwischenliegenden Werte werden analog überführt (10). Die neu berechneten Zahlenwerte werden in die entsprechenden Spalten der unteren Tabelle der Abbildung 21 eingetragen. Für eine abschließende Aussage sind für beide Kriterien die Gewichtungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Migrationsstrategie zu bestimmen. Dafür sind Kenntnisse über die Interessenlagen der europäischen Bahnbetreiber als potentielle Abnehmer notwendig. Faktoren wie die Ablösedringlichkeit des Altsystems (sowohl aus technischer Sicht wie auch hinsichtlich Vorschriften und Gesetzen) oder die

finanziellen Ressourcen nehmen Einfluss auf die Prioritäten von Kosten und Zeit und damit auch deren Gewichtung.

Mit den transformierten Kosten- und Zeitwerten und den Kriteriengewichtungen kann der Gesamterfolg für die effizienten Strategien mittels der angegebenen Formel  $k * u_k + t * u_t$  (siehe Abbildung 21) bestimmt werden. Jene Strategie mit dem besten Ergebnis, ist die optimale. Für die Selektion der optimalen Migrationsstrategie für ein Zugbeeinflussungssystem ist jene optimal, deren Gesamterfolgs-Wert minimal ist, d. h. benötigte Geld- und Zeitressourcen fallen gegenüber der anderen möglichen Migrationsverläufen am geringsten aus.

Für die DB AG empfiehlt es sich, die Strategieauswahl streckenspezifisch durchzuführen. Grund dafür ist der z.T. erhebliche Unterschied bei den betrieblichen Anforderungen zwischen Regionalstrecken und europäischen Korridoren. Dadurch besitzen die Migrationsstrategien neben unterschiedlichen Kosten- und Zeitauswirkungen auch abweichende Gewichtungen der Faktoren Zeit und Kosten. So ist die Migrationsgeschwindigkeit bspw. für eine Regionalstrecke weniger bedeutend als für internationale Trassen.

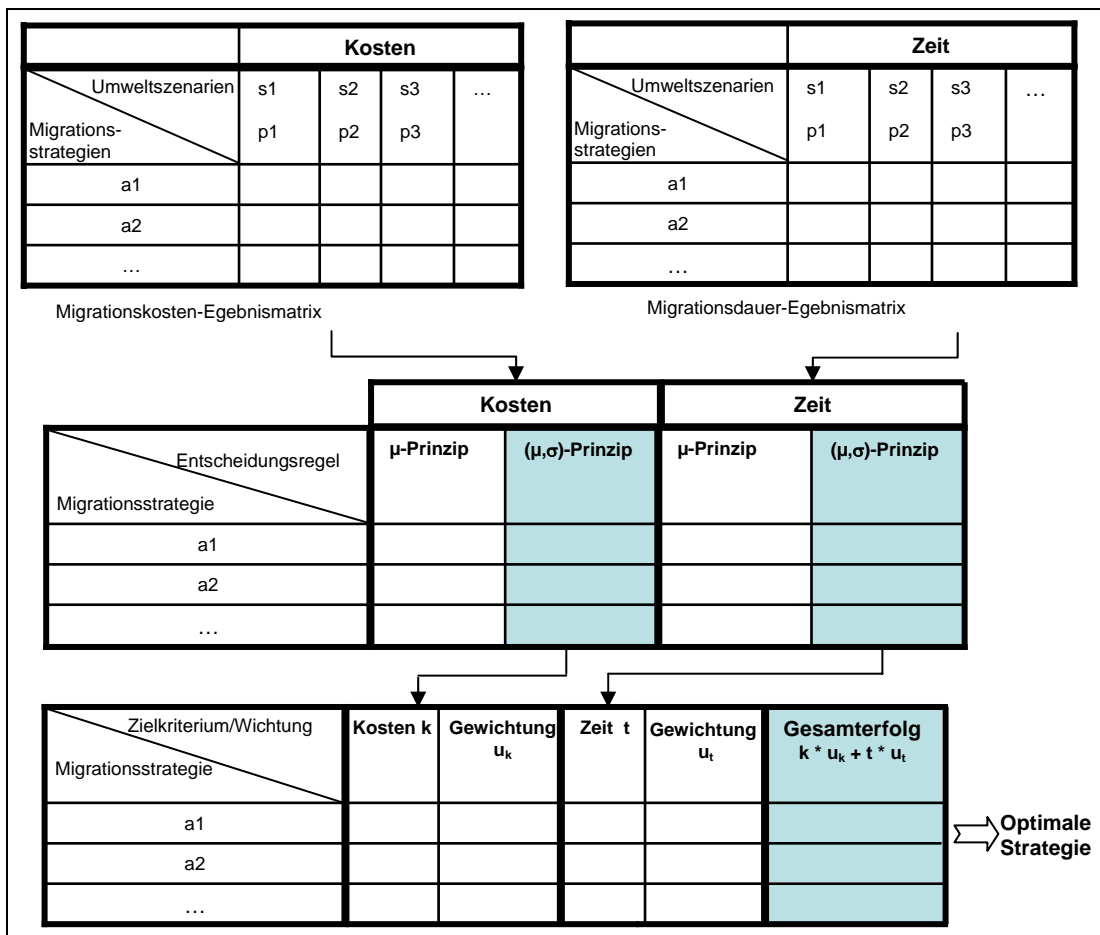


Abbildung 21: Vorgehensweise zur Selektion der optimalen Migrationsstrategie

Vorrangiges Ziel des beschriebenen Selektionsprozess ist die Auswahl der optimalen Migrationsstrategie. Gleichzeitig wird eine höhere Genauigkeit der in der EWA angenommenen Anfangsinvestitionen erreicht. Das Aufzeigen erster Einsparungen und daraus ableitbare finanzielle Entwicklungen des Systems verdeutlichen den potentiellen Abnehmern die wirtschaftliche Rechtfertigung des Systemwechsels. Der Kunde bekommt zudem eine genaue Vorstellung darüber, welche Ressourcen für die Umstellung notwendig sind. Dies verhindert böse Überraschungen in Form nicht erwarteter Kosten während der Migration bei den Kunden.

Neben den hard facts Kosten, Zeit und Risiko spielen je nach Eisenbahnbetrieb weitere Faktoren bei der Strategiewahl eine Rolle. Solche Faktoren leiten sich vorrangig aus der strategischen (Unternehmensziele und -kultur<sup>149</sup>, Prioritäten im Unternehmen) und operativen (geplante Investitionen, Dringlichkeit, weitere Projekte (und mögliche Abhängigkeiten)) Planung für den Bereich der Leit- und Sicherungstechnik (bzw. im Konkreten für das Zugbeeinflussungssystem) im Unternehmen ab.

Die Berücksichtigung all dieser Faktoren ist jedoch noch kein Erfolgsgarant für eine gewählte Strategie. Aspekte wie eindeutige Zielformulierung, Einbindung der Leitungs- und Entscheidungsebene, Schaffung einer hohen Benutzerakzeptanz und -schulung (bei guter Qualifikation der Mitarbeiter kann das Potential der Anlage vollständig ausgeschöpft werden) sowie entsprechende organisatorische Maßnahmen vor und während der Migration haben ebenso Einfluss auf den Migrationserfolg.<sup>150</sup>

Wie auch immer die Wahl der Strategie ausfällt. Dem Kunden wie dem Hersteller des Zugbeeinflussungssystems muss klar sein, dass eine Systemmigration ein schrittweiser Prozess ist, der eine parallele Koexistenz alter und neuer Technik nach sich zieht. Deshalb ist eine solche Migration ein langfristig zu planender, evolutionärer Prozess. Eine entsprechende Planung und Organisation beim Kunden und Hersteller (so er sich am Migrationsprozess beteiligt) muss vorliegen.<sup>151</sup>

### **3.3 Entwicklung einer migrationsfähigen Zugbeeinflussung**

Damit der Entwicklungsprozess des selektierten Zugbeeinflussungssystems erfolgreich verläuft und die migrationsfähige Systemtechnik sich gut am Markt

---

<sup>149</sup> Vgl. Barak, V. (1997), S. 160 ff.

<sup>150</sup> Vgl. Bundesministerium des Innern (2003), S. 389 ff.

<sup>151</sup> Vgl. Barak, V. (1997), S. 172

etablieren kann, sind zwei weitere, bisher vernachlässigte Aspekte vor Beginn der Entwicklungsarbeit zu analysieren.

Zum einen ist das selektierte System einer Lebenszyklusbetrachtung und -analyse zu unterziehen. Daraus gewonnene Kenntnisse und Anforderungen sollen sichern, dass die neue Zugbeeinflussung über alle Lebensphasen hinweg attraktiv ist.

Der zweite, zunehmend bedeutendere Aspekt ist die Sicherung einer Struktur und Organisation während des Entwicklungsprojektes. Dies spielt für die Migrationsfähigkeit der neuen Systemtechnik dahingehend eine Rolle, dass mangelnde Koordination und Organisation hohe Gefahren für Projektbudget und Zeitrahmen darstellen. Eine Überschreitung einer oder beider Kriterien hat erheblichen Einfluss auf die Attraktivität des neu entwickelten Zugbeeinflussungssystems und somit auch auf dessen Migrationsfähigkeit.

### 3.3.1 Lebenszyklusbetrachtung

Im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung sind die kundenabhängigen und -unabhängigen Anforderungen durch weitere, durch die einzelnen Lebensphasen der Systemtechnik bedingten Anforderungen zu ergänzen oder anzupassen. Eine solche Analyse ist vor Entwicklung einer neuen Zugbeeinflussung besonders wichtig, da es eine komplexe Anlagentechnik mit langer Lebensdauer<sup>152</sup> ist. Die einzelnen Marktzyklusphasen Produktion, Absatz, Nutzung und Recycling sind somit ausgeprägter, ihr jeweiliger Einfluss auf den Erfolg des Systems somit bedeutender. Die in Abbildung 13 aufgezeigten Anforderungen besitzen für ein Zugbeeinflussungssystem Gültigkeit. Insbesondere die Phase der Nutzung besitzt aufgrund der im Vergleich zu kurzlebigen Produkten (Wegwerfprodukte, Technik mit kurzen Innovationszyklen) langen Dauer einen erhöhten Stellenwert. Die aus der Nutzungsphase abgeleiteten Anforderungen sind entsprechend wichtig für die Ausgestaltung einer erfolgreichen Systemtechnik. Eine neue Zugbeeinflussung, die aus Wartungs- und Reparaturgesichtspunkten unvorteilhaft ist, wird für den potentiellen Abnehmer nicht weiter interessant sein. Aber wie bereits in Abschnitt 2.2.1 erwähnt, wird eine angemessene Berücksichtigung der einzelnen Produktlebensphasen und deren Anforderungen durch den Hersteller bei der Produktentwicklung durch eine zunehmende Verbreitung von „Service-Verträgen“ zwischen Abnehmer und Hersteller von Zugbeeinflussungssystemen unterstützt.

---

<sup>152</sup> So wird die induktive Zugsicherung (Indusi) bspw. in Deutschland seit den 50er Jahren betrieben.

Neben den grundsätzlichen Anforderungen (siehe Abschnitt 2.2.1.2) sind weitere, systemspezifische Aspekte zu berücksichtigen. Bedingt durch die Kombination aus hoher Systemkomplexität und langer Systemlebensdauer ist ein gutes *Schnittstellenmanagement* wichtige Voraussetzung für den Systemerfolg. Nicht nur, um, wie bereits erwähnt, den unterschiedlichen Interessen nationaler Eisenbahngesellschaften nachzukommen, sondern vor allem auch, um dem Umstand unterschiedlicher Lebensdauern der einzelnen Systemkomponenten gerecht zu werden.<sup>153</sup> Durch eine entsprechende Modularisierung ist das System leichter wartbar, flexibel anpassungsfähig und erweiterbar.<sup>154</sup> Kurzlebige Systembausteine sind leicht erneuerbar, technischen Neuerungen kann auf einfache und schnelle Weise nachgekommen werden (die umfangreiche Migration einer Nachfolgetechnik wird damit erleichtert) und nicht zuletzt kann somit den einzelnen Kundenwünschen auf optimale Weise nachgekommen werden. Ein gutes Schnittstellenmanagement erfüllt auch die Forderung, dass die Modulschnittstellen nicht zu komplex und gut zugänglich sind.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die *Lebenszykluskosten* (vgl. Abschnitt 2.2.1.3). Die Lebenszykluskosten setzen sich zusammen aus Anschaffungs- (dazu zählen auch die Migrationskosten), Betriebs-, Instandhaltungs- und Entsorgungskosten. Um eine Aussage über deren zeitliches Eintreten treffen zu können, sind Kenntnisse der Lebensdauer des Zugbeeinflussungssystems und dessen Komponenten notwendig. Dazu kann man sich an bestehenden Systemen orientieren und gesammeltes Wissen aus Simulationsläufen und Dauerbeanspruchungstests nutzen. Bei der Ermittlung der LCC des neuen Zugbeeinflussungssystems ist darauf zu achten, dass mit zeitlichem Fortschritt in allen Phasen *Kostensenkungen durch Lerneffekte* erreicht werden. D. h. durch den bei mehrfacher Wiederholung verursachten Abbau von Prozessunsicherheiten sinken Kosten- und auch Zeitbedarf. Zur Abbildung von Lerneffekten dient das Lernkurven-Modell. Dieses besagt, dass sich die beeinflussbare Tätigkeitszeit bei Herstellung, Vertrieb, Betrieb, Wartung, Reparatur und Entsorgung eines neuen Produkts um einen konstanten Prozentsatz verringert, wenn sich dessen kumulierte Produktionsmenge verdoppelt.<sup>155</sup> Für die neue Zugbeeinflussung bedeutet dies, dass der Lerneffekt zwar auch hier gilt, dieser aber nicht so zügig und umfassend erzielt wird, da das System kein Massenprodukt ist, also geringere Stückzahlen produziert werden.

---

<sup>153</sup> Vgl. Uebel, H. (2001), S. 38

<sup>154</sup> Vgl. Daum, B. (2002), S. 19

<sup>155</sup> Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 127 f.

Im Rahmen dieser Arbeit sind die LCC in der Investitions-Grundrechnung der EWA (Stufe 1) erfasst. Die Änderungen am selektierten System durch die Umsetzung der Kenntnisse aus der Lebenszyklusbetrachtung, z. B. ist die gewählte Systemtechnik bisher kompliziert wartbar, haben Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Diese Veränderung hat jedoch in der Regel keinen Einfluss auf das Ergebnis der Systemselektion (Abschnitt 3.2.2.2). Nur wenn das Entscheidungsteam den Eindruck hat, dass eine zweite Systemvariante, die im Rahmen der EWA kaum schlechter war als das selektierte System, bessere Ergebnisse bei (jährlichen) Einsparungen und Auszahlungen (siehe Tabelle 7) erzielt (z. B. ist es gegenüber der selektierten Systemvariante noch einfacher wartbar oder verursacht einen niedrigeren Recyclingaufwand), sollte die Investitions-Grundrechnung der EWA mit den in Frage kommenden Systemalternativen wiederholt werden. An den Ergebnissen der anderen beiden Stufen der EWA wird sich nichts ändern, deren Wiederholung ist somit nicht notwendig. Sollte sich die zweite Variante als attraktiver erweisen, und besteht ein großer Unterschied zwischen beiden Varianten, ist möglicher Weise eine Anpassung der optimalen Migrationstrategie notwendig. Um dieser Gefahr der Mehrfachbeurteilung zu entgehen, ist das Vorziehen der Lebenszyklusanalyse in den Systemselektionsprozess möglich. Ein solches Vorgehen wird für zukünftige Betrachtungen empfohlen. Dadurch steigt jedoch auch die Komplexität der Auswahlphase.

Generell gilt, dass durch die Lebenszyklusbetrachtung das selektierte System hinsichtlich der LCC optimiert wird. Mit der produktbezogenen Lebenszyklusrechnung (Life Cycle Costing) versucht man, die Kosten des Systems während seines gesamten Lebenszyklus zu analysieren und für den Abnehmer Kostentransparenz zu schaffen. Durch eine längerfristige, strategische Perspektive bei der Analyse des gesamten Produktprozesses von den ersten Aktivitäten für dessen Einführung bis zu den letzten damit verbundenen Tätigkeiten und Zahlungen sammelt man umfangreiche Kenntnisse über die wesentlichen Kostentreiber der Zugbeeinflussung.<sup>156</sup> Mit diesem Wissen ist eine geeignete Beeinflussung der Kosten bereits in der Entwicklungsphase einfach möglich. Auch während der anderen Phasen des Lebenszyklus können rasch geeignete Maßnahmen zur Kostensicherung getroffen werden. Prinzipiell können die berechneten LCC aufgrund der hohen Dynamik in der Systemumwelt und damit möglicher Weise auch im System selbst nur als Schätzwerte betrachtet werden. Dies reicht jedoch aus, um eine geeignete Orientierungshilfe und Entscheidungsgrundlage zu sein.

---

<sup>156</sup> Vgl. Schweitzer/ Küpper (2003), S. 213

Die einzuhaltenden *RAMS-Anforderungen* der EN 50126 (siehe auch Abschnitt 3.2.2.1.2.2) sind den Lebenszyklus eines Zugbeeinflussungssystems charakterisierende Aspekte. Die Forderungen nach Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit müssen während aller Phasen des Lebenszyklus angemessen erfüllt sein. Entsprechend ist dies in der Ausgestaltung der Anlage zu berücksichtigen. Einflussfaktoren und Mittel zur Gewährleistung dieser Eigenschaften werden bereits in der Einleitung dieser Norm genannt. Insbesondere den Forderungen nach Sicherheit, d. h. dem Freisein von nichtakzeptablen Risiken, und Verfügbarkeit ist aufgrund ihrer Relevanz für Mensch und Maschine stets nachzukommen. Um dies zu tun, müssen im Rahmen einer Risikoanalyse die entscheidenden Gefahren und die sie auslösenden Ereignisse bestimmt werden. Mit den (anhand von Prototypen oder mit Hilfe von Experten) gesammelten Kenntnissen können entsprechende Vorkehrungen am System zur Risikoreduktion getroffen werden.

### 3.3.2 Vom Anforderungskatalog zum Pflichtenheft

Abschließend gilt es zu sichern, dass die mittels Phasenmodell und Lebenszyklusbetrachtung gesammelten Anforderungen auf strukturierte Weise in den Entwicklungsprozess integriert werden. Eine gute Projektorganisation ist wichtige Voraussetzung dafür.

Vorab sind Anforderungsdokumente zu entwerfen. Ergebnis der in den Phasen Systemselektion, Migrationsstrategieentwicklung und -auswahl sowie der Lebenszyklusanalyse erzielten Anforderungszusammenstellung ist zunächst das *Lastenheft*. Darauf aufbauend wird das *Pflichtenheft* entworfen (siehe Abschnitt 2.2.2.1), ein für den Requirements Engineering Prozess wichtiges Dokument. Es soll in klarer und verständlicher Form das Übereinkommen zwischen (potentiellem) Kunden und Hersteller hinsichtlich der geforderten Systemeigenschaften dokumentieren. Das Pflichtenheft ist somit Verhandlungsbasis, ermöglicht eine genauere Schätzung der Projektkosten<sup>157</sup> und ist Orientierungshilfe für das Entwicklerteam während des Requirements Engineering.

Die Systematik des *Requirements Engineering* bietet eine gute Möglichkeit (siehe Abschnitt 2.2.2.2) für eine erfolgreiche Projektorganisation. Dabei werden schrittweise die Anforderungen auf ihre Konsistenz, Eindeutigkeit und Vollständigkeit überprüft und entsprechend in das Zugbeeinflussungssystem

---

<sup>157</sup> Vgl. Hofmann, H. F. (2000), S. 9

integriert. Auch die Anforderungsintegration erfolgt peu à peu. So werden Anforderungen, die die Funktionalität, Herstellbarkeit, Kosten und Recycling-Fähigkeit betreffen, in der Konzeptionsphase berücksichtigt. Forderungen nach optimaler Systemzugänglichkeit (für Wartung) und -(de)montierbarkeit kann in der Regel erst nach einer ersten Gestaltungsphase eines Prototypen nachgekommen werden. Erst zu diesem Zeitpunkt ist eine genaue Form und Lage der Teile bestimmt.<sup>158</sup> Zudem können einige (Lebenszyklus-) Anforderungen erst mit Projektfortschritt, z. B. nach ersten Simulationen an Prototypen, genauer bestimmt und berücksichtigt werden. Durch die in Abbildung 15 beschriebene schrittweise Konkretisierung der Anforderungen werden diese auf die niedrigste Systemschicht herunter gebrochen. Bestehende Abhängigkeiten werden somit frühzeitig erkannt und können durch Einhaltung abgeleiteter *Nebenbedingungen* optimal bewältigt werden.

---

<sup>158</sup> Vgl. O'Shea, M. (2002), S. 19



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen machen deutlich, dass bei der Einführung eines neuen technischen Systems, hier eines Zugbeeinflussungssystems, ein umfangreicher Kriterienkatalog zu berücksichtigen ist. So müssen vor allem betriebliche, technische und (umwelt-)politische Aspekte beachtet und bei einer Bewertung gegeneinander abgewogen werden. Für die unmittelbare Systemmigration spielen bestehende Strukturen und Besonderheiten des Systems und seiner Umwelt eine entscheidende Rolle. Die Entwicklung einer migrationsfähigen Zugbeeinflussung gelingt somit nur, wenn der Systemhersteller ausführliche System- und Systemumfeldbetrachtungen durchführt und die gewonnenen Informationen strukturiert verarbeitet. Die aufgezeigte Methodik bietet dafür ein handliches Werkzeug. Hierbei finden nicht nur die Wünsche und Anforderungen der potentiellen Systemkäufer Berücksichtigung (von deren Erfüllung der Systemerfolg primär abhängt). Ebenso werden die anderen beteiligten Interessengruppen analysiert, auch wenn dies im Vergleich zu der Interessengruppe Kunden in abgeschwächter Form erfolgt. Die Anforderungen aller Beteiligten werden sowohl in die Systemselektion als auch in die Migrationsstrategieauswahl angemessen einbezogen. Angemessen bedeutet hierbei nicht nur die alleinige, sondern auch die methodisch richtige Integration der jeweiligen Wünsche und Anforderungen. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Systemselektion auf die 3-stufige EWA zurückgegriffen. Sie garantiert, dass nicht ausschließlich die monetären Aspekte (z. B. Umsatzsteigerung durch steigende Streckenkapazität) für die Auswahl einer Systemalternative entscheidend sind, sondern auch die qualitativen Kriterien. Hierunter fallen vor allem die für die Kunden, also die Bahnbetreiber in Deutschland, Frankreich etc. wichtigen Systemeigenschaften. Nur durch ein solch gegliedertes Bewertungsverfahren gelingt es, die Kundenanforderungen angemessen in das zu entwickelnde Zugbeeinflussungssystem zu integrieren.

Gleiches gilt für die methodische Qualität bei der Bestimmung der optimalen Migrationsstrategie für das selektierte Zugbeeinflussungssystem. Da es sich bei der Migration eines Zugbeeinflussungssystems um einen langwierigen Prozess handelt, wäre es fatal, wenn das mit steigender Zukunftsperspektive verbundene Risiko unberücksichtigt bliebe. Anhand der aufgezeigten Entscheidungsregeln wird die unter den Prämissen Migrationskosten und Migrationszeit optimale Migrationsstrategie ausgewählt.

Eine zu einseitige Systemgestaltung wird somit durch die Berücksichtigung der vielseitigen Interessenlagen und die Wahl angemessener Auswahlmethoden verhindert. Die Basis für eine optimal migrationsfähige Zugbeeinflussung ist damit geschaffen. Verfeinert und ergänzt werden die gesammelten Kenntnisse über die Erfolgskriterien einer neuen Zugbeeinflussung durch umfangreiche Lebenszyklusanalysen. Damit kann der Systemhersteller umfassend Systemanforderungen ermitteln, die den Markterfolg des Systems dauerhaft (d. h. während der gesamten Systemlebenszeit) sichern. Dies ist besonders bei dem langlebigen Zugbeeinflussungssystem wichtig. Dass die daraus gewonnenen Erkenntnisse nicht nur dem Systemkäufer zu Gute kommen, zeigen die aktuellen Entwicklungen im Bereich Anlagenservice. Die Systemhersteller werden zunehmend über die eigentliche Systemeinführung hinweg, teilweise bis hin zur Systementsorgung durch entsprechende Serviceverträge in den Systemlebenszyklus eingebunden.

Damit die umfangreichen Erkenntnisse über die relevanten Erfolgskriterien optimal in den Entwicklungsprozess integriert werden und damit nach Vollendung der Systementwicklung ein optimal migrationsfähiges System vorliegt, empfiehlt es sich, die Systematik des Requirements Engineering einschließlich der Richtlinien einer verständlichen, vollständigen und widerspruchsfreien Anforderungsdokumentation (Pflichtenheft) zu befolgen. Das RE sichert eine effektive Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung. Dafür ist es notwendig, dass der Hersteller eine entsprechende operative und strategische<sup>159</sup> *Organisation*, eine funktionierende *Kommunikation* zwischen den beteiligten Interessengruppen und die notwendige *Ressourcenverfügbarkeit* ermöglicht. Zusammenfassend bedeutet das, dass die Gesamtheit der erfolgswirksamen Anforderungen an das System und Aspekte des Entwicklungsumfeldes gemeinsam die Erfolgsfaktoren des Entwicklungsprojekts bilden. Letztlich knüpft das Requirements Engineering dort an, wo die entwickelte Methodik zur Gestaltung einer migrationsfähigen Zugbeeinflussung endet. Mit dieser kann das Entwicklerteam ausschließlich die Erfolgskriterien für ein migrationsfähiges System ermitteln. Deren Umsetzung anhand detaillierter Systemkomponentenanforderungen wird im Rahmen des Requirements Engineering möglich.

Unter Zuhilfenahme der dargestellten Methodik gelingt es auf übersichtliche Weise, die vorhandene Komplexität des vorliegenden Entscheidungsprozesses zu

---

<sup>159</sup> ..., d. h. vor allem die Einbeziehung der Führungskräfte in das Projekt

bewältigen. Die detaillierten Vorabüberlegungen garantieren die gewünschten Nutzeneffekte für die potentiellen Kunden bei optimalem Migrationsverlauf. Durch die geschaffene Informationsbasis werden vorhandene Unsicherheiten beseitigt und Abhängigkeiten sowohl zwischen den Systemkomponenten als auch zwischen den Anforderungen deutlich. Unkontrollierbare Kostensteigerungen und Zeitverzögerungen können somit vermieden werden. Das entwickelte Zugbeeinflussungssystem ist das unter den gegebenen Randbedingungen optimal migrationsfähige. Diese Eigenschaft bedingt sich nicht nur daraus, wie gut das neue Zugbeeinflussungssystem die bisherigen Schwächen beseitigt bzw. die vorhandenen Stärken ausbaut, d. h. das System Bahn für den steigenden Wettbewerb im Transportsektor rüstet, sondern auch wie gut die Interessen der anderen Prozessbeteiligten berücksichtigt sind; auch wenn diese gegenüber den Kundenwünschen eine untergeordnete Rolle spielen. Für den Systemhersteller sichert die Vorgehensweise des dargestellten Konzepts die Berücksichtigung seiner eigenen Interessen (Gewinn, Ressourcenverfügbarkeit, etc.).

Mit Hilfe der gewonnenen Methodik kann der Hersteller die Attraktivität des Systems Bahn steigern und es damit dauerhaft wettbewerbsfähig machen (auf bestehenden wie auch auf neuen Märkten). Für den Hersteller selbst bedeutet dies die Verbesserung seiner Marktposition. Besonders in einem standardisierten europäischen Markt ist dies wichtig. Jeder Hersteller muss sich langfristig gegenüber Konkurrenzanbietern wettbewerbsfähig positionieren. Ein gutes Produkt gepaart mit einer erfolgreichen Migration ist dafür der erste entscheidende Schritt.

Wichtig für den Erfolg dieses Konzepts ist eine fundierte Datenbasis. Bereits anhand der kurzen Methodenbeschreibung am Beispiel der Zugbeeinflussung wird deutlich, wie wichtig und auch wie schwierig die Informationsbeschaffung ist.

Wesentliches noch bestehendes Problem bei der Anwendung des Konzepts ist die Informationsbeschaffung. Die Prognose der Zahlenwerte für EWA und Lebenszyklusanalyse, die bei einer neuen Zugbeeinflussung für eine lange Lebensdauer erfolgen muss, sowie für die Migrationsentscheidung im engeren Sinne ist schwierig und mit Unsicherheiten behaftet. Oftmals bleibt nur die Orientierung an bestehenden Systemen, also an der Vergangenheit. Untersuchungen anhand von Prototypen können hinsichtlich einzelner Aspekte bessere, aktuellere Ergebnisse liefern. Dies gestaltet sich jedoch bei vielen möglichen, im Rahmen der Systemmodellierung entwickelten Systemalternativen sehr aufwendig.

Für weitere Untersuchungen ist es deshalb wichtig, umfassendere Instrumente zur Informationsbeschaffung und -verarbeitung zu besitzen. Die Einbindung entsprechender Software bietet eine erste Möglichkeit.

Für weitergehende Betrachtungen kann eine ausführlichere Analyse der anderen Interessengruppen notwendig werden. Um nicht wie bisher, vorrangig die Anforderungen der Kunden/ Systemabnehmer zu analysieren und zu bewerten, muss eine Methoden Anpassung hin zu einer gleichberechtigten Untersuchung der Anforderungen aller Projektbeteiligten erfolgen.

Das entwickelte Konzept zur migrationsgeleiteten Systementwicklung bietet durch seine Untergliederung in Teilschritte gute Möglichkeiten für notwendige Erweiterungen und Anpassungen. Durch den geschaffenen Spielraum eignet es sich somit bei unterschiedlichsten Randbedingungen zur Bestimmung des optimal migrationsfähigen Systemdesigns.

## Literaturverzeichnis

ARNOLD, D. (1995): Materialflusslehre, Braunschweig 1995

BAMBERG, G. / COENENBERG, A. (2002): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, München 2002

BARAK, V. (1997): Systemmigration – Strategien für die Informatik, Wiesbaden 1997

BERLINER, C. / BRIMSON, J.A. (Hrsg.) (1988): Cost Management for Today's Advanced Manufacturing – The CAM-I Conceptual Design, Boston 1988

BIKKER, G. / SCHROEDER, M. (2002): Methodische Anforderungsanalyse und automatisierter Entwurf sicherheitsrelevanter Eisenbahnleitsysteme mit kooperierenden Werkzeugen, Düsseldorf 2002

BITZ, M. (1981): Entscheidungstheorie, München 1981

BRAUERS, J. / WEBER, M. (1986): Szenarioanalyse als Hilfsmittel der strategischen Planung – Methodenvergleich und Darstellung einer neuen Methode, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 56, 7, S. 631-652

BUNDESMINISTERIUM DES INNERN (Hrsg.) (2003): Migrationsleitfaden – Leitfaden für die Migration der Basissoftwarekomponenten auf Server- und Arbeitsplatz-Systemen, Berlin 2003

DAUM, B. (2002): Lifecycle-integrierte Produktentwicklungsumgebung, Aachen 2002

EISENBAHN-LEHRBÜCHEREI DER DEUTSCHEN BUNDESBahn (1959): Induktive Zugbeeinflussung, Starnberg 1959

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2001): Weißbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellung für die Zukunft, Luxemburg 2001

- FAISST, R. (1994): Musterpflichtenheft PPS- und Logistik-Systeme, Renningen-Malmsheim 1994
- FUCHS, E. / FUCHS, K. H. / HAURI, C. (2002): Requirements Engineering in IT effizient und verständlich, Braunschweig Wiesbaden 2002
- GABLER (2000): Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden 2000
- GROB, R. / HAFFNER, H. (1982): Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung: Systematik zur Gestaltung von Arbeitssystemen, Berlin 1982
- HEYDE, W. / LAUDEL, G. / PLESCHAK, F. / SABISCH, H. (1991): Innovationen in Industrieunternehmen – Prozesse, Entscheidungen und Methoden, Wiesbaden 1991
- HOFMANN, H. F. (2000), Requirements Engineering – a Situated Discovery Process, Wiesbaden 2000
- HOITSCH, H.-J. (1993): Produktionswirtschaft – Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, München 1993
- HOMBURG, C. (2000): Quantitative Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 2000
- HULL, E. / JACKSON, K. / DICK, J. (2005): Requirements Engineering, London 2005
- INTERNATIONALER EISENBAHNVERBAND (2003): Implementing the European Train Control System – Opportunities for European Rail Corridors, Paris 2003
- INTERNATIONALER EISENBAHNVERBAND (2004): ETCS migration strategies on corridors and at national level – Cost/ Benefit analysis, Paris 2004
- KANO, N. / SERAKU, N. / TAKAHASHI, F. / TSUJI, S. (1984): Attractive Quality and Must-Be Quality in the Best on Quality, in IAQ Book Series Vol. 7, S. 166-186

- KNEWITZ, R. (2003): Internationaler SIGNAL+DRAHT-Kongress 2003, Signal+Draht (95) 12/2003
- KNOLLMANN, V. / OBRENOVIC, M. / JÄGER, B. / LEMMER, K. (2005): Optimized Migration Process in Rail Traffic Using Simulation Support, 1. International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis RailDelft 2005, Delft
- KNOLLMANN/SBERGER, F. / KILIAN, L. / MINDEL, K. (2003): Migration von LZB zu ETCS: Streckenseitige Parallelausrüstung LZB/ETCS, Signal+Draht (95) 3/2003
- KOCH, A. (2004): Technologiebilanz – Instrument zur Beurteilung und Steuerung von Erfolgspotentialen, Göttingen 2004
- KUSIAK, A. (Hrsg.) (1993): Concurrent Engineering – Automation, Tools, and Techniques, New York 1993
- LAUX, H. (1998): Entscheidungstheorie, Berlin Heidelberg 1998
- LEMMER, K. / MEYER ZU HÖRSTE, M. / SCHNIEDER, E. (2003): Migrations- und Einsatzstrategien für Systeme der Eisenbahnleittechnik, ZEV-Rail 1+2 2003, Januar 03
- MINDEL, K. (2001): Migration von der LZB zu ETCS in Deutschland, Signal+Draht (93) 9/2001
- OBRENOVIC, M. / KNOLLMANN, V. / JÄGER, B. / LEMMER, K. (2005): Methodik für die Entwicklung, Bewertung und simulative Validierung von Migrationsstrategien ZEL 2005, Zilina
- OBRENOVIC, M. / MEYER ZU HÖRSTE, M. / JÄGER, B. (2005): Phase model for the development and evaluation of migration strategies in rail traffic, The 5<sup>th</sup> European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services (HITS) 2005, Hannover

- O'SHEA, M. (2002): Planungsverfahren für die Produktkonzeption – Ein systematisches Vorgehenskonzept unter Berücksichtigung des Lebenszyklus-Ansatzes, Wiesbaden 2002
- PACHL, J. (2002): Systemtechnik des Schienenverkehrs, Stuttgart Leipzig 2002
- PARTSCH, H. (1998): Requirements-Engineering systematisch, Berlin Heidelberg 1998
- PERRIDON, L. / STEINER, M. (2004): Finanzwirtschaft der Unternehmung, München 2004
- PFEIFFER, W. (1982): Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder, Göttingen 1982
- PFLAUMER, P. (1992): Investitionsrechnung, München 1992
- REIBNITZ, Ute von (1992): Szenario-Technik – Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung, Wiesbaden 1992
- SAATWEBER, J. (1997): Kundenorientierung durch Quality Function Deployment – Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen, München Wien 1997
- SCHLAKE, O. (2000): Verfahren zur kooperativen Szenario-Erstellung in Industrieunternehmen, Paderborn 2000
- SCHILLING, M. (2005): Strategic Management of Technological Innovation, New York 2005
- SCHNEIDER, H. (Hrsg.) (2000): Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen, Stuttgart 2000
- SCHNIEDER, E. (Hrsg.) (1998): RailOrt - Ortung im spurgebundenen Verkehr auf der Basis von Satelliten-Navigation, Band 2: Bestandsanalyse von LZB und ETCS, Braunschweig 1998



- SCHWEITZER, M. / KÜPPER, H.-U. (2003): Systeme der Kosten- und Erlösrechnung, München 2003
- TANAKA, M. (1989): Cost Planning and Control Systems in the Design Phase of a New Product, in MONDEN, Y. / SAKURAI, M.: Japanese Management Accounting, Cambridge 1989, S. 49-71
- TANI, T. / KATO, Y. (1994): Target Costing in Japan, in DELLMANN, K. / FRANZ, K.-P.: Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement, Bern 1994, S. 191-222
- TEUFELSDORFER, H. / CONRAD, A. (1998): Kreatives Entwickeln und innovatives Problemlösen mit TRIZ/TIPS – Einführung in die Methodik und ihre Verknüpfung mit QFD, Erlangen 1998
- UEBEL, H. (2001): Fünfter Bericht des Internationalen Technischen Komitees der IRSE, Signal+Draht (93) 5/2001
- VDI-GESELLSCHAFT FAHRZEUG- UND VERKEHRSTECHNIK (Hrsg.) (1997): Systemoptimierung im spurgeführten Verkehr – Lebenszykluskosten (LCC), Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit, Düsseldorf 1997
- VERWORN, B. (2005): Die frühen Phasen der Produktentwicklung, Wiesbaden 2005
- ZAHN, E. (Hrsg.) (1991): Auf der Suche nach Erfolgsfaktoren – Strategische Optionen in turbulenter Zeit, Stuttgart 1991
- ZANGEMEISTER, C. (1993): Erweiterte Wirtschaftlichkeits-Analyse (EWA) – Grundlagen und Leitfaden für ein „3-Stufen-Verfahren“ zur Arbeitssystembewertung, Dortmund 1993

### **Präsentation**

- DEUTSCHE BAHN (2003): UIC ERTMS Conference 2003 – Migration from analogue to digital operation, Leipzig 2003

## **Anhang**

### **A.1 AUSFÜHRUNGEN ZUM QFD FÜR EIN ZUGBEEINFLUSSUNGSSYSTEM**

*A.1.1 Gewichtung der Kundenanforderungen*

*A.1.2 Beziehungsmatrix zur Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Kundenanforderungen und technischen Merkmalen*

*A.1.3 Berechnung der Bedeutung aller technischen Merkmale*

### **A.2 AUSFÜHRUNGEN ZUR EWA STUFE 3 FÜR EIN ZUGBEEINFLUSSUNGSSYSTEM**

*A.2.1 Gewichtung der kundenunabhängigen Anforderungen*

*A.2.2 Relative Zielgewichtung nicht monetärer Zielkriterien*

## A.1 Ausführungen zum QFD für ein Zugbeeinflussungssystem

### A.1.1 Gewichtung der Kundenanforderungen

*Punkteskala für den paarweisen Vergleich:*

Kriterium 1 : Kriterium 2	Aussage
4:0	Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2
3:1	Kriterium 1 ist wichtiger als Kriterium 2
2:2	Kriterium 1 und 2 sind gleich wichtig
1:3	Kriterium 1 ist unwichtiger als Kriterium 2
0:4	Kriterium 1 ist sehr viel unwichtiger als Kriterium 2

*Ergebnis des Paarweisen Vergleichs:*

	Interoperabilität	Zugabstandsverringering	weniger Personal	robustes System	wartungsintensive Teile reduzieren	Sicherheit	günstigere Einkaufspreise	Summe	Gewichtung [%]
Interoperabilität		3	4	4	2	2	3	18	<b>21,2</b>
Zugabstandsverringering	1		3	4	2	1	2	12	<b>14,1</b>
weniger Personal	0	1		2	1	0	1	5	<b>5,9</b>
robustes System	0	1	2		1	0	1	5	<b>5,9</b>
wartungsintensive Teile reduzieren	2	2	3	3		1	2	13	<b>15,3</b>
hohes Sicherheitsniveau	2	3	4	4	3		4	20	<b>23,5</b>
günstigere Einkaufspreise	1	2	3	3	2	1		12	<b>14,1</b>
								85	<b>100,0</b>

Die ausgewählten kundenabhängigen Systemanforderungen orientieren sich an Abbildung 17.

### A.1.2 Beziehungsmatrix zur Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Kundenanforderungen und technischen Merkmalen

	grenzüberschreitende Einheit der Technik	Bremswege verkürzen	Fahren im absoluten Bremswegabstand	Prozesse automatisieren	witterungsbeständige Materialien	verschleißarm Bremsen	Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente	Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile sicherstellen	Rückfallebenen	Standardisierung/Markttöffnung
Interoperabilität	9	0	0	3	0	0	1	0	0	9
Zugabstandsverringerung	0	9	9	3	0	0	1	3	0	0
weniger Personal	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
robustes System	0	0	0	0	9	9	1	3	0	0
wartungsintensive Teile reduzieren	0	0	0	1	0	0	9	0	0	0
hohes Sicherheitsniveau	1	0	0	3	0	0	0	9	9	0
günstigere Einkaufspreise	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9

Die für die ausgewählten kundenabhängigen Anforderungen relevanten technischen Merkmale wurden in Tabelle 5 festgelegt.

Die Werte 9, 3, 1 und 0 geben Auskunft darüber, wie stark der Zusammenhang zwischen Kundenanforderung und jeweiligem technischen Merkmal ist:

9	starker Zusammenhang, d. h. das Merkmal unterstützt die Kundenanforderung sehr gut
3	mittlerer Zusammenhang, d. h. das Merkmal unterstützt die Kundenanforderung gut
1	schwacher Zusammenhang, d. h. das Merkmal unterstützt die Kundenanforderung geringfügig
0	keine Zusammenhang, d. h. das Merkmal unterstützt die Kundenanforderung nicht

### A.1.3 Berechnung der Bedeutung aller technischen Merkmale

Mit den in A.1.1 ermittelten relativen Bedeutungen der Kundenanforderungen und den in A.1.2 bestimmten Korrelationsgraden 9, 3, 1 oder 0 kann die relative Bedeutung eines jeden technischen Merkmals nach (11) berechnet werden.

technisches Merkmal	$\sum_{i=1}^I (G_{K_{ij}} * B_{Ai})$	relative Bedeutung [%]
grenzüberschreitende Einheit der Technik	255,7	13,9
Bremswege verkürzen	126,9	6,9
Fahren im absoluten Bremswegabstand	126,9	6,9
Prozesse automatisieren	244,8	13,3
witterungsbeständige Materialien	53,1	2,9
verschleißarm Bremsen	53,1	2,9
Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente	178,9	9,7
Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile sicherstellen	271,5	14,8
Rückfallebenen	211,5	11,5
Standardisierung/Marktöffnung	316,8	17,2
	1839,2	100,0

Berechnungsbeispiel:

$$B_{M1} = (9 \cdot 21,1) + (1 \cdot 23,5) + (3 \cdot 14,1) = 255,7$$

## A.2 Ausführungen zur EWA Stufe 3 für ein Zugbeeinflussungssystem

### A.2.1 Gewichtung der kundenunabhängigen Anforderungen

*Punkteskala für den paarweisen Vergleich:*

Kriterium 1 : Kriterium 2	Aussage
4:0	Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2
3:1	Kriterium 1 ist wichtiger als Kriterium 2
2:2	Kriterium 1 und 2 sind gleich wichtig
1:3	Kriterium 1 ist unwichtiger als Kriterium 2
0:4	Kriterium 1 ist sehr viel unwichtiger als Kriterium 2

#### Ergebnis des paarweisen Vergleichs

	Interoperabilität	klare Spezifikationen	modulares System	Gewinn	geringe Umweltbelastung	sichere, qualitativ hochwertige Bauteile	Summe	Gewichtung [%]
Interoperabilität		3	3	2	3	2	13	<b>21,7</b>
klare Spezifikationen	1		2	1	2	1	7	<b>11,7</b>
modulares System	1	2		1	2	1	7	<b>11,7</b>
Gewinn	2	3	3		3	2	13	<b>21,7</b>
geringe Umweltbelastung	1	2	2	1		1	7	<b>11,7</b>
sichere, qualitativ hochwertige Bauteile	2	3	3	2	3		13	<b>21,7</b>
							60	100,0

Für den paarweisen Vergleich kundenunabhängiger Anforderungen wurde nur eine begrenzte Auswahl aus der Vielzahl der unternehmensinternen und externen Anforderungen (letztere sind jedoch zumeist in den KO-Kriterien erfasst) verwendet.

## A.2.2 Relative Zielgewichtung nicht monetärer Zielkriterien

Unter Verwendung der in A.1.3 und A.2.1 ermittelten Gewichtungen der kundenabhängigen und -unabhängigen Erfolgskriterien werden die relativen Zielgewichtungen über alle Kriterien ermittelt. Mehrfachnennungen gleicher Erfolgskriterien müssen zusammengefasst werden, jedem Kriterium wird *eine* Gewichtung zugeordnet.

Nr.	Kriteriengruppe	Zielgewichtung		Zusammenfassung
		gruppenspezifische Gewichte	relative Zielgewichte	
			<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>I</b>	<b>kundenabhängige Kriterien</b>	<b>100%</b>		
	grenzüberschreitende Einheit der Technik	13,9	6,95	→ <b>17,8</b> (6,95+10,85)
	Bremswege verkürzen	6,9	3,45	<b>3,5</b>
	Fahren im absoluten Bremswegabstand	6,9	3,45	<b>3,5</b>
	Prozesse automatisieren	13,3	6,65	<b>6,7</b>
	witterungsbeständige Materialien	2,9	1,45	<b>1,5</b>
	verschleißarm Bremsen	2,9	1,45	<b>1,5</b>
	Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente	9,7	4,85	<b>4,9</b>
	Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile sicherstellen	14,8	7,40	→ <b>18,3</b> (7,4+10,85)
	Rückfallebenen	11,5	5,75	<b>5,8</b>
	Standardisierung/Marktöffnung	17,2	8,60	<b>8,6</b>
<b>II</b>	<b>kundenunabhängige Kriterien</b>	<b>100%</b>		
	Interoperabilität	21,7	10,85	
	klare Spezifikationen	11,7	5,85	<b>5,85</b>
	modulares System	11,7	5,85	<b>5,85</b>
	Gewinn	21,7	10,85	<b>10,85</b>
	geringe Umweltbelastung	11,7	5,85	<b>5,85</b>
	sichere, qualitativ hochwertige Bauteile	21,7	10,85	

Die Erfassung des kundenunabhängigen Kriteriums Gewinn im Rahmen der Zielgewichtung nicht monetärer Zielkriterien, liegt darin begründet, dass die EWA aus Sicht des Kunden durchgeführt wird. Ohne Frage ist der Herstellergewinn eine monetäre Größe, jedoch kann diese nicht auf der 1. oder 2. Stufe der EWA erfasst werden, da sie keine, den Kunden betreffende monetäre bzw. indirekt monetäre Größe ist. Gleiches gilt für monetäre Kriterien der anderen Interessengruppen.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne unerlaubte Hilfsmittel und nur unter der in der Arbeit angegebenen Literatur angefertigt habe.

Ilmenau, den 16.08.2005