

Integration der Migrationsmethodik in den Requirements Engineering-Prozess bei der Entwicklung technologischer Innovationen im System Bahn

M. Obrenovic^{a,1}, B. Jäger² and K. Lemmer³

^a Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Deutschland

Kurzfassung:

Die Migration neuer Technologien im System Bahn stellt ein mehrdimensionales Optimierungsproblem dar. Es gilt dabei vielfältige technische, betriebliche, volks- sowie betriebswirtschaftliche Kriterien und Randbedingungen zu berücksichtigen. Aufgrund dieser Komplexität ist es notwendig, die Migrationsfähigkeit von Bahnsystemen bereits in der Entwicklungsphase zu sichern. Der hier vorgestellte methodische Rahmen beschreibt zuerst den Prozess der Identifikation von relevanten Bewertungskriterien für die Migrationsfähigkeit und ihre Zuordnung zu den einzelnen Lebenszyklusphasen des Systems. Anschließend werden diese Kriterien als Systemanforderungen formuliert und in den Entwicklungsprozess mit seinem Requirements Engineering integriert. Auf diese Art wird die Basis geschaffen, eine mehrdimensional optimierte migrationsgeleitete Systemspezifikation zu erstellen und eine entsprechende Systementwicklung zu realisieren. Der Systemhersteller erhöht durch eine derartige Vorgehensweise die Erfolgchancen seiner Produkte, Anlagen oder Systemlösungen.

Abstract:

The migration of new technologies in the domain of rail traffic represents a multi-dimensional optimisation problem. This contains technical, operational, political and other criteria and constraints under the boundary condition of the financing of new systems. Therefore it is necessary to consider the migration process already during the system specification and development. The methodical framework presented here gives the basis for the identification of relevant system requirements related to the whole life cycle and the integration in the development process of railway systems. Thus the possibility for a multi-dimensional migration-driven-design of new technologies in the domain of railway systems can be provided.

Schlagworte: Migration; Lebenszyklusbetrachtung; Entwicklungsprozess; Migration-driven-Design

¹E-mail: miroslav.obrenovic@dlr.de, URL: www.dlr.de/fs

²E-mail: baerbel.jaeger@dlr.de

³E-mail: karsten.lemmer@dlr.de

1 Einleitung

Der Begriff Migration beschreibt die Implementierung sowie eine dauerhafte Integration von technologischen Innovationen in ein bestehendes betrieblich-technisches Umfeld. Diese Art von Implementierung ist mit einer Transition von der aktuellen zu einer Zielsystemkonfiguration verbunden.

Migration neuer Konzepte der Leit- und Sicherungstechnik in das komplexe System Eisenbahn ist durch eine Vielzahl heterogener Kriterien und Randbedingungen sowie das dabei entstehende mehrdimensionale Optimierungsproblem charakterisiert. Dabei ist die grundsätzliche Migrationsfähigkeit die notwendige Bedingung für die Selektion und die anschließende Migration eines Systems. Sie stellt demnach eine essentielle Eigenschaft des Systems dar und bestimmt somit maßgeblich seinen Markterfolg.

Es können einige Beispiele technologischer Innovationen für Verkehrssysteme und insbesondere für den Schienenverkehr genannt werden, die bis zum Prototyp entwickelt, jedoch nicht in die Praxis übernommen worden sind bzw. deren Migration sich als sehr schwierig erwiesen hat oder immer noch erweist, z. B.:

- European Train Control System (ETCS)
- Maut-Einführung
- Umschlaggerät Lässig-Schwanhäuser
- Automatische Zugkupplung mit Kupplungsroboter
- Funkfahrbetrieb

Eine Ursache für diese Problematik ist die fehlende oder zumindest unzureichende Betrachtung von Fragen der Migration in bestehende Verkehrssysteme bei der Entwicklung dieser Technologien. Dies begründet die Notwendigkeit der Erarbeitung eines Migrationskonzeptes bereits in den frühen Entwicklungsphasen eines Produktes und weiterführend eine *migrationsgeleitete Systemspezifikation* und ein daraus abgeleitetes *Systemdesign*.

Eine hohe Migrationsfähigkeit eines Systems ist die Voraussetzung für seine Selektion unter mehreren Alternativen sowie für die reibungslose Migration in das bestehende betrieblich-technische Umfeld. Bei dem hier vorgestellten Ansatz können aus der Migrationsmethodik für die Behandlung bereits vorhandener Systeme Erkenntnisse für die künftigen Technologieentwicklungen im Bahnbereich gewonnen werden.

2 Methodische Vorgehensweise

Diese Arbeit beschreibt das Vorgehen zur Beschreibung der Migrationsfähigkeit technologischer Innovationen und insbesondere der Leit- und Sicherungstechnik (LST) im Bahnsektor

und die daraus abzuleitenden Anforderungen an den Entwicklungsprozess und das darin eingebettete Requirements Engineering (Abb. 1).

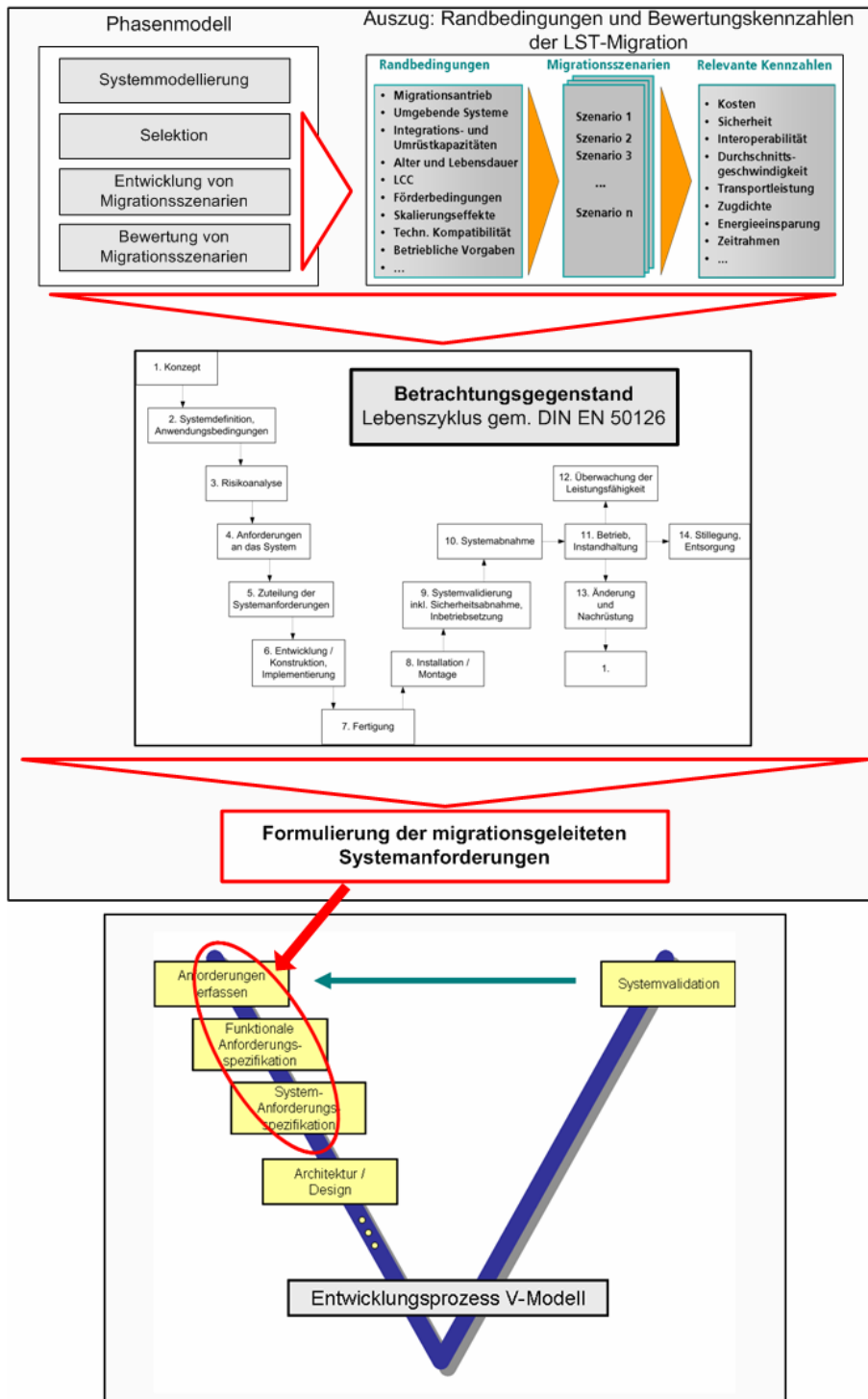


Abbildung 1: Prozessrahmenwerk für die migrationsgeleitete Entwicklung

Der Migrationsprozess kann auf der Planungsebene bis hin zu seiner operativen Durchführung in vier Phasen gegliedert werden [7]:

- Phase 1: Systemmodellierung
- Phase 2: Systemselektion
- Phase 3: Entwicklung von Migrationsszenarien
- Phase 4: Bewertung von Migrationsszenarien

Die Komplexität des Systems Bahn erfordert eine systematische und methodische Vorgehensweise in allen Phasen eines Migrationsvorhabens, um das ideale Zielsystem auszuwählen und eine optimale Einführungsstrategie zu entwickeln.

Das Ziel ist es, aus diesem Prozess Kriterien und Merkmale zu extrahieren, welche die Migrationsfähigkeit von Bahnsystemen und insbesondere der migrationssensitiven Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik charakterisieren. In einem nächsten Schritt sollen daraus Anforderungen für die Entwicklung dieser Systeme definiert werden.

Aus der Selektionsphase (Phase 2) werden Kriterien extrahiert, welche in erster Linie die geforderten Systemeigenschaften des Zielsystems bestimmen. Dabei spielen technische, wirtschaftliche, systemstrukturelle, funktionale, sicherheitsspezifische und andere Aspekte unter Berücksichtigung der bahnspezifischen Randbedingungen eine Rolle. Hinzu kommt eine Analyse der Change Requests von ausgewählten relevanten Entwicklungsprozessen, aus denen Erkenntnisse hinsichtlich bestimmter Muster und Tendenzen gewonnen werden können. Es können aus dieser Beobachtung z.B. flexible Skalierungsmöglichkeiten durch Modularisierung oder niedrige LCC als Kerneigenschaften künftiger Systeme identifiziert werden.

Die Erfüllung der Kriterien, die in den Phasen 3 und 4 angewendet werden, ermöglicht eine reibungslose Migration in das Zielumfeld. Diese fokussieren somit stärker auf den tatsächlichen Migrationsprozess und den dort zu leistenden Aufwand. Dabei spielt die Analyse der aktuell eingesetzten Systeme und ihrer Umgebungen eine wichtige Rolle.

Die identifizierten Bewertungskriterien für die Migrationsfähigkeit werden auf den gesamten Lebenszyklus neuer Systeme abgebildet und als Anforderungen in den Entwicklungsprozess integriert. Durch die rechtzeitige Integration wird hier ein wichtiger Input für die Erstellung der Systemanforderungsspezifikation geschaffen. Ein effizienter Requirements Engineering - Prozess ermöglicht die Verfolgung dieser Anforderungen, was in einem meist iterativen Entwicklungsprozess notwendig ist. Dadurch wird eine auf die Migrationsfähigkeit ausgerichtete Systemspezifikation bzw. das dazugehörige Systemdesign realisiert. Dieser methodische Ansatz kann bei Abwandlung bestimmter Kriterien und Randbedingungen auch auf andere Verkehrsträger angewendet werden.

Durch die Ausrichtung auf die migrationsgeleiteten Anforderungen an eine technologische Innovation und ihren Entwicklungsprozess im Bereich Bahn wird die Migrations- und damit auch die Marktfähigkeit neuer Systeme realisiert.

2.1 Phasenmodell

Die im vorherigen Kapitel genannte Vorgehensweise bei der Durchführung von Migrationsvorhaben in Form eines Phasenmodells beschreibt eine Methodik für die strukturierte Auswahl eines Zielsystems sowie für die Entwicklung und Bewertung geeigneter Migrationsstrategien [7].

In der ersten Phase – *Systemmodellierung* – werden verschiedene potentielle Zielsysteme beschrieben und entsprechend modelliert. Dafür können formale oder semi-formale Beschreibungsmethoden eingesetzt werden. Mit Hilfe eines morphologischen Merkmalschemas kann das System in seiner Formgestaltung mit den möglichen Merkmalen und ihren Ausprägungen dargestellt werden. Ausgehend von den verschiedenen Anforderungen, die an das System Bahn und seine Subsysteme gestellt werden, können entsprechende Realisierungsmöglichkeiten in Form von Funktionalitäten, Technologien usw. identifiziert werden. Auf diese Art können auch gänzlich neue Konzepte – z.B. neue Leit- und Sicherungstechnik für die Regionalbahnen – generiert werden. Mit UML, railML[®], Petrinetzen o. Ä. können die identifizierten Konfigurationen für die Erstellung von Simulationsmodellen beschrieben werden. Somit werden durch die Betriebssimulation entsprechende Kennwerte für die Nutzwertanalyse bereitgestellt. [5]

Die Nutzwertanalyse ist eine Planungsmethode zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei der Auswahl von Projekt- oder Systemalternativen. Sie ist aus den Ingenieurwissenschaften entstanden und ermöglicht neben den finanziellen Aspekten ebenfalls die Betrachtung nichtmonetärer Bewertungskriterien und zielt somit nicht ausschließlich auf die wirtschaftliche Effizienz hin. Sie wird in der Phase 2 – *Systemselektion* – für die Identifikation der relativ vorteilhaftesten LST-Konfiguration angewendet. Somit können neben den wirtschaftlichen auch betriebliche, technische, politische und andere Kriterien bei der Systemauswahl berücksichtigt werden. Die Selektion wird somit entlang mehrerer Dimensionen optimiert. Es ist hier jedoch zu erwarten, dass der Analyse der Lebenszykluskosten eine hohe Gewichtung beigemessen wird.

Nach der Phase 2 ist das für die jeweilige Anwendung optimale Zielsystem bekannt. Im nächsten Schritt muss die Vorgehensweise für den Übergang vom aktuellen zum Zielzustand festgelegt werden. Diese Fragestellung wird in der Phase 3 – *Entwicklung von Migrationsszenarien* – behandelt. Die dabei auftretende Komplexität im Bereich der Bahnsysteme lässt sich am Beispiel der Leit- und Sicherungstechnik mit ihrem sicherheitsrelevanten Zusammenspiel der fahrzeug- mit der streckenseitigen Technik darstellen. Die Kernanforderung ist die betriebliche und technische Leistungsfähigkeit des Systems Bahn während des Migrationsprozesses. [6] Der Betrieb darf also während der zumeist langen Migrationsphase in den betroffenen Netzteilen nicht unterbrochen werden.

Dabei können zumeist mehrere Migrationsszenarien definiert werden, die sich aus einer strukturierten Reihe von Maßnahmen für den Systemübergang zusammensetzen.

Im letzten Planungsschritt – *Bewertung von Migrationsstrategien* – muss die optimale Strategie für die Migration identifiziert werden. Dafür werden die in der Phase 3 entwickelten Sze-

narien anhand eines Kennzahlensystems bewertet. Dieses beinhaltet drei Kern-Kennwerte, auf die alle anderen Messgrößen zurückgeführt werden können. Diese wesentlichen Kriterien für die Bewertung der entwickelten Migrationsszenarien sind die *Kosten* und die *Migrationsdauer*, wobei die beiden Kennzahlen nicht voneinander unabhängig sind. Zusätzlich muss ebenfalls das dazugehörige *Risikomaß* bezüglich dieser beiden Größen betrachtet werden. Dabei kann z.B. eine Sensitivitätsanalyse im Rahmen der Risikobewertung vorgenommen werden, um die Stabilität der Bewertungskennzahlen bei Veränderungen der Kriterien und Randbedingungen bzw. bei Eintritt bestimmter Ereignisse zu ermitteln. Da in der Selektionsphase die Lebenszykluskosten als Bewertungskriterium üblicherweise eingesetzt werden und somit eine LCC-Analyse der vorgestellten Alternativen nach der Phase 2 typischerweise bereits durchgeführt wurde, sollen hier lediglich die bereinigten Migrationskosten für den Systemübergang betrachtet werden. Bei Hinterlegung der relevanten Aus- und Umrüstkapazitäten kann beim jeweiligen Szenario die dazugehörige Migrationsdauer ermittelt werden.

Für die Bewertung der Migrationsszenarien im Bereich der Bahnsysteme hinsichtlich der Kosten wird die Kapitalwertmethode als eine Ausprägung der dynamischen Investitionsrechnung eingesetzt. Die Investitionsrechnung befasst sich mit der Ermittlung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen anhand ihrer Zahlungsreihen. [2]

Im Vergleich zur klassischen Kapitalwertmethode wird hier eine Anpassung vorgenommen. Die kalkulatorischen Ein- und Auszahlungen werden aus dem Bezug der betrachteten Alternative zu dem Weiterführungsszenario bestimmt. Auf diese Art werden die Migrationskosten als Bewertungskennzahl und nicht der Kapitalwert der jeweiligen Strategie ermittelt (s. Gleichung 1)

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

C_0 : Migrationskosten (der Wert ist negativ)

E / A : Einnahmen / Ausgaben (die Zahlungsreihe des betrachteten Szenarios wird mit der Zahlungsreihe des Weiterführungsszenarios verglichen)

i : Kalkulationszinssatz

L : Liquidationserlöse

$0 \dots n$: Migrationsdauer

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden Werte ausgewählter Parameter verändert und somit das Auftreten bestimmter Zukunftereignisse modelliert.

Einflussfaktor 1	A	B	C
Einflussfaktor 2			
I	s₁	s₂	s₃
II	s₄	s₅	s₆

A, B,C - Entwicklungsvarianten des Einflussfaktors 1
I, II - Entwicklungsvarianten des Einflussfaktors 2
S₁, S₂, ... ,S₆ - mögliche Umweltszenarien mit Eintrittswahrscheinlichkeiten p₁, p₂,..., p₆

Abbildung 2: Darstellung der Umweltszenarien für die Sensitivitätsanalyse

Da es sich hier um eine Entscheidung unter Risiko handelt, werden für Umweltszenarien Eintrittswahrscheinlichkeiten p angenommen. Der Grad an Veränderungen von den Kennzahlen *Kosten* und *Zeit* bei veränderten Umweltszenarien gibt somit die Stabilität bzw. das *Risikomaß* einzelner Migrationsszenarien wieder und nimmt somit Einfluss auf das Entscheidungsmodell.

Anhand dieser Kennzahlen und der individuellen Risikobereitschaft oder –aversion des Anwenders wird die optimale Migrationsstrategie ausgewählt.

2.2 Erkenntnisse für die Migrationsfähigkeit aus der Systemselektion

Bei der Einführung neuer Technologien im Bahnsektor muss man sich zuerst mit der möglichen Motivation auf der Betreiberseite befassen. Diese Motivation ist der Migrationstreiber und bildet somit die Grundlage für die Selektion eines neuen Systems, welches das aktuelle ablösen soll.

In der Domäne der Eisenbahnleit- und Sicherungstechnik kann dabei das aktuelle Beispiel des einheitlichen europäischen Zugsicherungssystems ETCS betrachtet werden.

Es stellt sich also in erster Linie die Frage nach der Motivation einzelner nationaler Eisenbahngesellschaften, das Zugsicherungssystem ETCS einzuführen. Dabei kann die Verbesserung bzw. Optimierung u. a. folgender Aspekte identifiziert werden:

- Betriebliche Leistungsfähigkeit des Systems Bahn
- Lebenszykluskosten
- RAMS-Kriterien (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)
- Interoperabilität mit ihren eisenbahnbetrieblichen und volkswirtschaftlichen Aspekten
 - Beschaffungsmärkte
 - Absatzmärkte
 - Diskriminierungsfreier Zugang zur europäischen Eisenbahninfrastruktur
 - Grenzüberschreitender Verkehr
 - ...
- etc.

Im Falle des ETCS handelt es sich um eine politische Entscheidung, das System einzuführen. Die entsprechenden EU-Richtlinien 96/48/EG sowie 2001/14/EG wurden dazu verabschiedet. Die ETCS-Spezifikationen als Grundlage für die Systementwicklung wurden in Zusammenarbeit mit den Kunden – den europäischen Bahnen – erstellt. Dennoch bestehen Schwierigkeiten bei der Systemmigration.

Einer der Gründe ist sicherlich die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der aktuellen Zugsicherungssysteme in verschiedenen europäischen Ländern, die durch ETCS abgelöst werden sollen. Somit ist der Migrationstreiber „Erhöhung der Leistungsfähigkeit“ durch höchst unterschiedliche Systemausprägungen bezogen auf einzelne Länder zu befriedigen. Eine hohe Modularisierung des Systems bzw. die sich daraus ableitende Skalierbarkeit dient dazu, den heterogenen europäischen Markt zu bedienen. Bei der gegenwärtig anhaltenden Diskussion über die ETCS-Migration stellt sich die Frage, ob die drei ETCS-Level hierzu genügen.

Es wird erwartet, dass in einem Großteil der Anwendungsfälle die Fokussierung auf den Lebenszykluskosten liegen wird. Dabei wird in erster Linie auf die Anschaffungs- und Installationskosten fokussiert. Als Beleg dafür kann der Change Request der ETCS-Spezifikation hinsichtlich der Integration des Modes „Limited Supervision“ angeführt werden. Diese Systemkonfiguration soll einen Low-Cost-Einstieg für ETCS bieten. Andererseits wird davon ausgegangen, dass das auf Computer- und digitaler Kommunikationstechnologie basierende System niedrigere Wartungs- und Instandhaltungskosten verursacht.

Daraus wird ersichtlich, dass dem Kostenfaktor und der Betrachtung des System-Lebenszyklus eine hohe Bedeutung beigemessen wird. Aus diesem Grund wird im Folgenden näher auf dieses Kriterium eingegangen.

2.3 Lebenszyklusbetrachtung

Lebenszyklusbetrachtung ist gerade bei komplexen technischen Systemen mit langer Lebensdauer eine der wichtigsten Selektionsgrundlagen. Forciert wird diese Entwicklung durch eine zu beobachtende Erweiterung des Verantwortungsbereiches des Herstellers in der Praxis. Oftmals endet dieser 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. Zudem entledigt sich der Systembetreiber durch entsprechende vertragliche Vereinbarungen oftmals auch des Entsorgungsproblems. Durch eine solche „Full-Service“-Integration des Herstellers in den Produktlebenszyklus verpflichtet sich dieser noch stärker zu einer kundengerechten Ausrichtung. Die Berücksichtigung aller Lebensphasen (Abb. 3) bereits in der Produktentwicklung wird somit eine Notwendigkeit im Sinne des ökonomischen Zieles des Herstellers. [9]

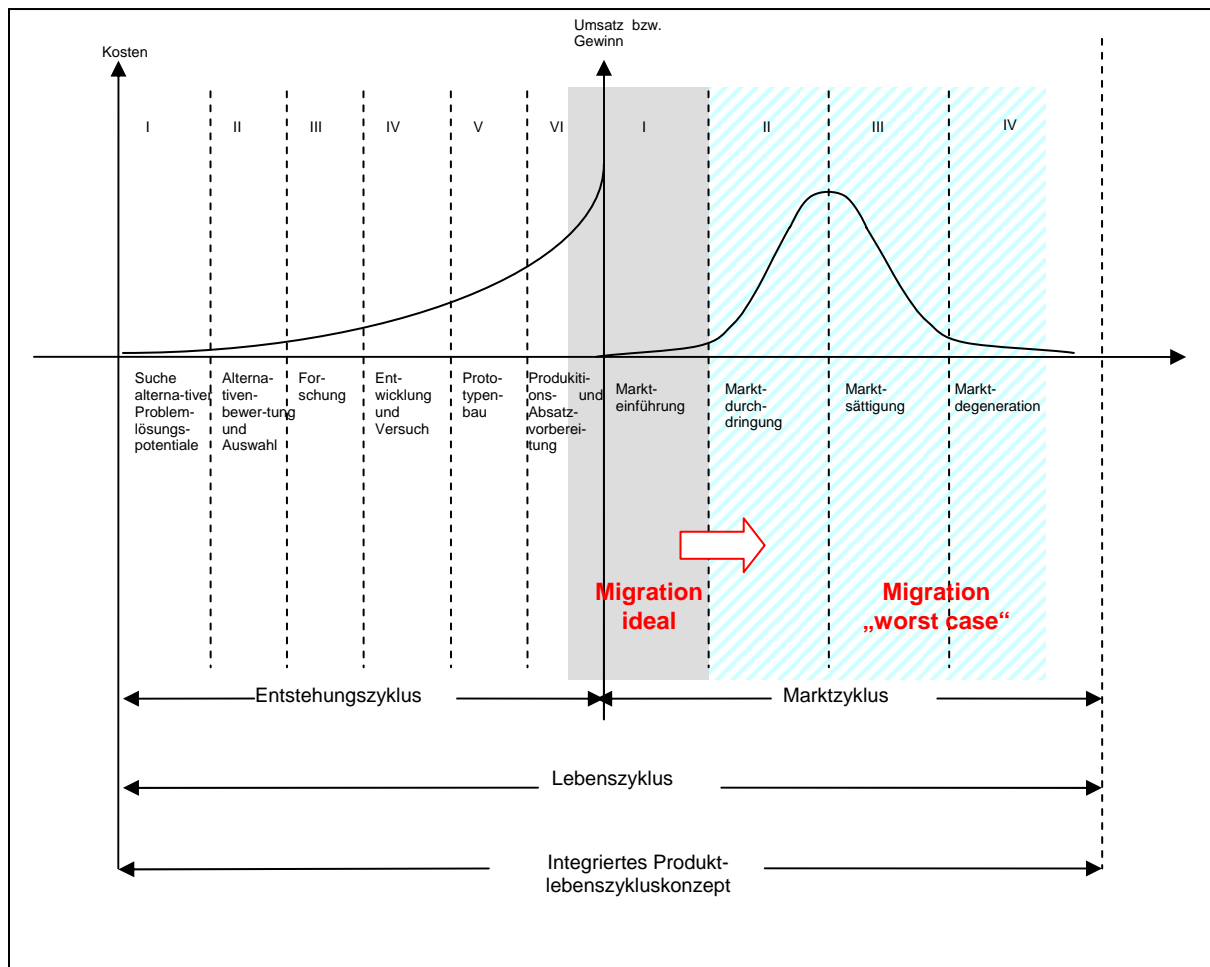


Abbildung 3: Integriertes Lebenszykluskonzept mit der Migrationsphase

Ausgehend vom beschriebenen Phasenmodell kommt der Ausweitung der Beurteilungskriterien für die Innovationsselektion auf den gesamten Produktlebenszyklus zunehmende Bedeutung zu und soll deshalb auch in diesem Konzept entsprechend integriert werden.

Idealerweise sollte sich der in Abb. 3 dargestellte Verlauf im Portfolio des Herstellers zyklisch wiederholen, so dass am Ende der Lebensdauer des aktuellen Produktes bereits ein Nachfolger bereitsteht.

Die notwendige Migrationsdauer ist dabei zu minimieren, da für den Kunden in dieser Phase in den Regel Betriebseinschränkungen und zusätzliche Kosten entstehen. Die in der Grafik gezeigten Werte manifestieren zwei mögliche und zum Teil extreme Ausprägungen der Migrationsdauer und zeigen im „worst case“-Szenario die Gefahr auf, dass eine Technologie nach dem Ende der Migration ebenfalls das Ende ihrer Lebensdauer erreicht hat. Dies ist insbesondere im Bereich der neuen computergestützten technischen Lösungen mit ihren kurzen Lebenszyklen eine offensichtliche Gefahr, da in der Domäne der Bahnsysteme typischerweise lang andauernde Migrationsprozesse üblich sind. Dieser Effekt kann im Fall der ERTMS / ETCS – Migration ebenfalls auftreten, falls hier kein aggressiverer Umgang mit dem Thema Migration realisiert wird.

Im Rahmen der Lebenszyklusanalyse durch den Systemhersteller ist die Untersuchung des gesamten Marktzyklus von Bedeutung. Dieser Zyklus ist auf den ersten Blick primär für den Betreiber interessant, da *er* zumeist dabei mit dem Produkt konfrontiert wird. Es gilt jedoch, durch umfassende Betrachtungen und Analysen lebensphasenbezogene Informationen aus dem Marktzyklus in die Produktentwicklung zu integrieren, um diese bereits im Produktentstehungszyklus entsprechend zu berücksichtigen (Abb. 4). In der Phase der Produktentwicklung werden der größte Teil der Produkteigenschaften sowie die Prozesse für alle Phasen des Produktlebenszyklus festgelegt. Eine zu kurzfristige Analyse der Systemeigenschaften könnte fatale Auswirkungen auf die im gesamten Lebenszyklus gemessenen Faktoren Qualität, Kosten und Zeit des Produktes haben. [1]

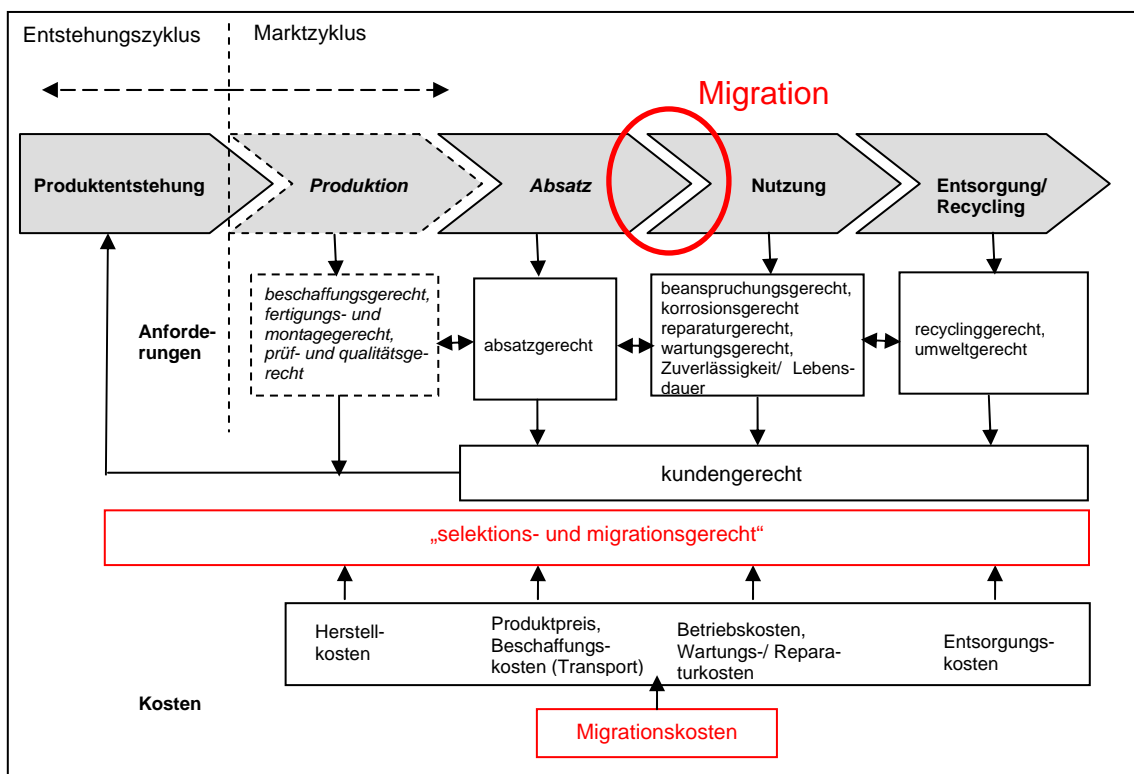


Abbildung 4: Der Marktzyklus mit seinen Anforderungen und Kostenquellen (in Anlehnung an [1])

Häufig wird in diesem Zusammenhang auch vom Lebenszyklusmanagement gesprochen. Dieser Begriff bezeichnet neben der Analyse der Lebenszykluskosten u. a.

- die Instandhaltungsplanung,
- die Releaseplanung als einen wichtigen Kostentreiber im Lebenszyklus der wartungsarmen computergestützten Technologien sowie
- die Migrationsplanung in Abhängigkeit des Lebenszyklus.

Wichtig bei der Berechnung der Lebenszykluskosten ist die Festlegung auf eine einheitliche inhaltliche Basis und Nomenklatur. So wird häufig von „*Investitionskosten*“ gesprochen, die als Begriff in der Betriebswirtschaftslehre nicht existieren. Investitionen stellen bilanziell kei-

ne Kosten sondern eine Vermögensumschichtung dar. Gemeint sind damit zumeist Anschaffungskosten eines Produktes oder Systems. Ein weiterer Unterschied ergibt sich aus der Betrachtung von nominellen Kostenpositionen vs. einer Betrachtung der Finanzmittelflüsse. Ein Beispiel dafür sind Abschreibungen, die in der Unternehmensbilanz als Kosten verzeichnet sind, jedoch keine Auszahlung darstellen. Diese erhöhen sogar die Liquidität, da sie die gewinnabhängigen Steuern mindern. Demnach darf man nicht gleichzeitig die Anschaffungskosten (Investitionen) und die Abschreibungen als Kosten betrachten, da in diesem Fall eine künstliche Verdoppelung einer Kostenposition erzeugt wird.

Die entscheidenden Kostenquellen sind in der Abbildung 4 dargestellt. Konsequenterweise müssten auch die Entwicklungskosten als Teil der Lebenszykluskosten hier integriert werden. Da sich die Entwicklungskosten aber aus Kundensicht letztendlich in den Beschaffungskosten niederschlagen, bleiben sie bei dieser Betrachtung außen vor. Durch eine Zuordnung der einzelnen Kostenpositionen zu den einzelnen Lebensphasen ist eine zeitliche Einordnung möglich (Abb. 4). Eine Minimierung dieser Kosten soll neben den weiteren migrationsrelevanten Kriterien bereits in der Systementwicklung als Zielrichtung befolgt werden.

2.4 Erkenntnisse aus der Entwicklung und Bewertung von Migrationsszenarien

Wie im Abschnitt 2.1 vorgestellt, setzt sich die Migration von Bahnsystemen aus einer Reihe von Maßnahmen zusammen, deren verschiedene Abfolgevarianten als Migrationsszenarien bezeichnet werden. Um eine optimale Migrationsstrategie zu identifizieren, werden diese Szenarien anhand der Kennzahlen Kosten, Zeit und Risiko bewertet. Diese drei Kennzahlen stehen am Ende einer Ursache-Wirkungskette bestehend aus einer Reihe von technischen, betrieblichen, politischen und anderen Kriterien und Randbedingungen, die für die Migration relevant sind.

Bei der Entwicklung von Migrationsszenarien ist insbesondere auf die essentielle Randbedingung der Betriebsfähigkeit während des Migrationsprozesses zu achten. Dies betrifft die Stellwerks- aber insbesondere die Zugbeeinflussungstechnik.

Die Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrweg bei der Migration von Systemen der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik stellt eine besondere Herausforderung dar. Aufgrund der häufig fehlenden Kompatibilität zwischen der aktuellen und der zu migrierenden Systeme ist eine Parallelausrüstung von mindestens einer Systemseite (Fahrzeug oder Fahrweg) notwendig. Diese doppelte Vorhaltung impliziert spezielle technische und betriebliche Lösungen sowie wirtschaftliche Mehraufwände.

Um diesen Prozess zu optimieren, sollten die relevanten Kriterien bereits bei der Systemspezifikation neuer Produktentwicklungen berücksichtigt werden. Dabei sollte die Notwendigkeit der Parallelausrüstung wenn möglich vermieden oder zumindest zeitlich minimiert werden. Dabei muss aus den Gründen der betrieblichen Sicherheit die Rückwirkungsfreiheit gewährleistet werden. Jedes der parallel betriebenen Systeme muss so funktionieren, als würde das andere nicht existieren.

Bei einer Parallelausrüstung auf den Fahrzeugen und gleichzeitig einfacher Ausrüstung der Strecken (Abb. 5) wird häufig von den Bahnbetreibern die Anforderung geäußert, dynamisch zwischen den beiden Systemen umschalten zu können.

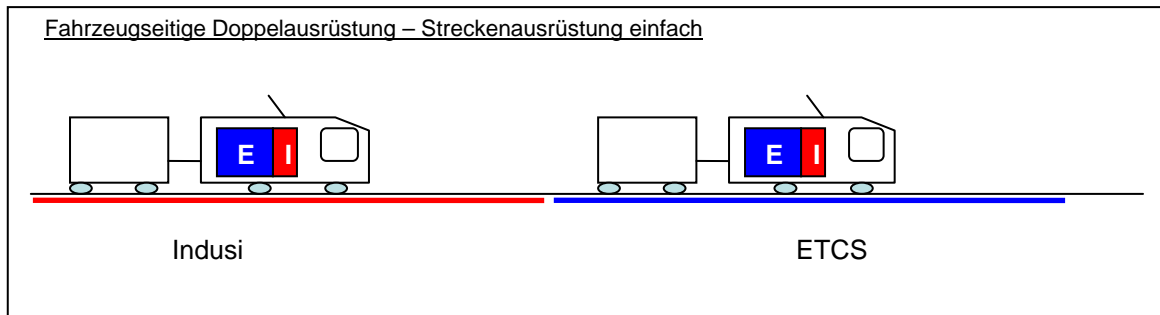


Abbildung 5: Beispiel einer Ausrüstungsvariante während der ETCS-Migration

Wenn das Fahrzeug den Streckenabschnitt mit der Indusi verlässt und in den ETCS-Bereich hinein fährt, soll die fahrzeugseitige Verantwortung an das ETCS-Onboard-Gerät während der Fahrt übergeben werden. Dies ist momentan lediglich bei den Migrationslösungen mit dem Specific Transmission Module (STM) möglich. Bei separaten Onboard-Geräten für verschiedene Systeme muss der Zug für den Wechsel angehalten werden, ansonsten entsteht eine zeitliche Sicherheitslücke. Dieser Aspekt zeigt ein weiteres Kriterium, das bei der Konzeption innovativer Lösungen für den Schienenverkehr beachtet werden sollte.

Bei der Migration neuer Stellwerke als zentrale Einheiten der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik liegt der Fokus auf den zu bedienenden Schnittstellen. Dabei müssen zwei grundsätzliche Entscheidungen getroffen werden. Die erste betrifft die Art der Realisierung:

- elektronisch
- digital
- analog
- mechanisch
- optisch
- etc.

Die zweite Entscheidung betrifft den Ort, an dem die Schnittstelle realisiert werden soll. Dieser Aspekt hat Einfluss auf die Gestaltung der Systemgrenzen, was in der Stellwerksentwicklung eine häufig diskutierte Thematik ist. Die Standardisierung dieser Schnittstellen wäre ein möglicher Weg zur Kostensenkung von Migrationsprozessen.

All diese Kriterien sollten bei der Entwicklung von innovativen Lösungen für die Leit- und Sicherungstechnik in die Systemspezifikation als Anforderungen integriert werden.

Eine weitere Schwierigkeit in der Domäne der Bahnsysteme, die im Anwendungsfall des ETCS beobachtet werden kann, ergibt sich dabei aus der sehr langen Migrationsdauer. Es besteht dabei die Gefahr, ein System einzuführen, das nach der Beendigung der Migration

bereits veraltet ist. Die Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen Releases, die im Laufe der Migrationsdauer auf den Markt kommen, sollte aus den Kostengründen ebenfalls gewährleistet werden. Ähnliches sollte bei der Kompatibilität zwischen den Systemkomponenten unterschiedlicher Hersteller geschehen. Nur dann ist eine echte Interoperabilität mit den entsprechenden Economies-of-Scale auf den Absatz und Beschaffungsmärkten möglich.

Die Migrationsfähigkeit der Innovationen im Bahnsektor wird also nicht nur von den funktionalen, betrieblich-technischen oder wirtschaftlichen Kriterien aus der Selektionsphase beeinflusst, sondern ebenso von der unmittelbaren Integrierbarkeit in die vorhandenen Strukturen sowie von den dabei auftretenden Eigenheiten des tatsächlichen Migrationsprozesses.

2.5 Von den Bewertungskriterien zu den Anforderungen an die Systementwicklung

Das Quality Function Deployment (QFD) ist eine in Japan entwickelte Methode zur systematischen und kundenorientierten Entwicklung von Produkten. Generell gliedert sich das QFD in 4 Phasen, die den 4 Houses of Quality (HoQ) entsprechen [11]. Die hier interessierenden Anforderungen werden im Rahmen des ersten House of Quality (1. Phase) bestimmt und für eine nachfolgende Bewertung bearbeitet (Abb. 6).

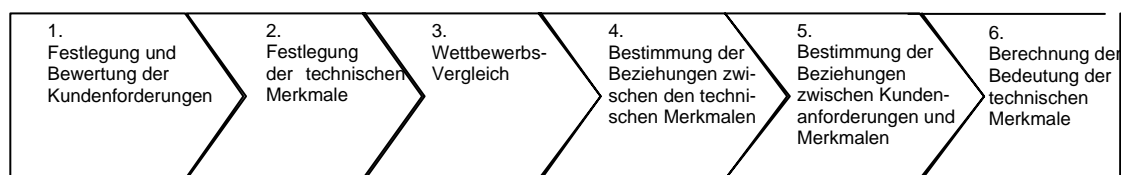


Abbildung 6: Vorgehensweise im 1. House of Quality (in Anlehnung an [1])

In einem ersten Schritt wird mittels einer Markt- und Meinungsforschung ein repräsentativer Kundenkreis nach den Anforderungen an ein zukünftiges, d.h. noch zu entwickelndes Produkt befragt. Dieser Kreis 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 und den Erfolg des Produktes zu steigern. Die Anforderungen sind anschließend zu bewerten und entsprechend zu gewichten.

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.

Im 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 Pro-

duktes wichtig. Das Produkt muss unter mehreren Alternativen in der Selektionsphase (Phase 2 des Phasenmodells) ausgewählt werden, um überhaupt anschließend migriert zu werden. 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 Systemspezifikation äußerst wichtigen Schritt wird die relative Bedeutung der einzelnen technischen Merkmale bestimmt. Je wichtiger das Merkmal, umso mehr Aufmerksamkeit erfährt es im Spezifikations- und später auch im Entwicklungsprozess.

Durch die umfassende Sichtweise des Forderungskatalogs werden neben technik- und anwendungsorientierten Aspekten auch jene mit rechtlicher und bedarfsorientierter Sichtweise berücksichtigt. Letztere wird oft vernachlässigt, ist aber besonders bei lang andauernden Migrationsprozessen wichtig. Der Zukunftsaspekt ist nicht allein durch Kundenbefragungen abzudecken, da künftige Produkthanforderungen seitens des Kunden oft nur schwierig bestimmt werden können. In hochtechnologisierten Domänen, in denen die Produktlebenszyklen immer kürzer werden, gilt es diese Unsicherheit durch unternehmensinterne Expertenanalysen zu reduzieren. [1]

2.5.1 Vorselektion für den Entwicklungsprozess durch KO-Kriterien

Bevor eine abschließende Auswahl erfolgen kann, welches System tatsächlich entwickelt wird, sind alle Systemvarianten hinsichtlich möglicher KO-Kriterien zu überprüfen. Das bedeutet, dass jene Anforderungen identifiziert werden, die zwingend vom System erfüllt werden müssen. Zu solchen „Muss-Anforderungen“ gehören zumeist die externen Anforderungen wie beispielsweise gesetzliche Grenzwerte oder Normvorschriften. Aber auch unternehmensinterne Vorgaben wie etwa mangelnde Fertigungsmöglichkeiten können bestimmte Systemvarianten ausschließen. Dieser und andere Aspekte können unter dem wichtigen KO-Kriterium Realisierbarkeit zusammengefasst werden.

Zunächst sind alle KO-Kriterien aus dem Anforderungskatalog zu bestimmen. Jede Systemalternative ist jedem einzelnen Kriterium gegenüberzustellen. Wird bereits eines der KO-Kriterien nicht vom System erfüllt, entfällt es und darf für den weiteren Bewertungs- und Selektionsprozess nicht mehr berücksichtigt werden.

Eine Bewertungsmatrix (Abb. 7) bietet hierbei eine übersichtliche Möglichkeit zur strukturierten Gegenüberstellung. Erfüllt die Systemvariante (SV) das KO-Kriterium erhält es den Wert eins zugeordnet, andernfalls den Wert null. Ist die Summierung der Bewertung geringer als die Anzahl der KO-Kriterien, ist das Systemmodell zu eliminieren.

KO-Kriterien	Systemvarianten			
	SV 1	SV 2	SV 3	...
Kriterium 1				
Kriterium 2				
...				
...				1 oder 0
...				
Summierung der Bewertung	

Abbildung 7: Bewertungsmatrix für die KO-Kriterien

Jene Systemalternativen, welche die 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 als auch nicht-monetärer Art sind, in der Bewertung zu berücksichtigen, erfolgt die Selektion für die Systementwicklung ähnlich wie die für die Systemmigration und -nutzung mittels erweiterter Wirtschaftlichkeits- oder der Nutzwertanalyse.

Das Ergebnis ist die migrationsfähigste, d. h. für die Systemselektion des Kunden und die Migration in seine vorhandenen Systemumgebungen ideale Systemalternative, die dementsprechend aus der Herstellersicht entwickelt werden soll.

2.5.2 Beispielhafter Aufbau des 1. HoQ für eine automatische Zugbeeinflussung

Eine automatische Zugbeeinflussung ist ein technisches System in der Eisenbahndomäne, welches verhindern soll, dass Fehlhandlungen des Triebfahrzeugführers zu Unfällen führen. Vorhandene Zugbeeinflussungsanlagen übergeben Informationen über die aktuell zulässige Fahrweise vom Fahrweg zum Fahrzeug. Bei Nichteinhaltung dieser Fahrweise durch den Triebfahrzeugführer werden Maßnahmen vom System automatisch eingeleitet und so die Sicherheit des Gesamtsystems Bahn gewährleistet. Es existieren hinsichtlich der Informationsübertragung zwei Arten von Zugbeeinflussungssystemen:

- Punktförmig wirkende Systeme und
- Kontinuierlich wirkende Systeme

Wichtige Erfolgskriterien für die Entwicklung dieser Systeme können bereits durch eine Analyse der Gründe identifiziert werden, warum der Schienenverkehr so wenig am steigenden Verkehrsaufkommen partizipieren konnte. Diese und weitere kundenabhängige Anforderungen müssen in einem ersten Schritt mittels Markt- und Meinungsanalysen ermittelt und anhand des QFD weiter qualifiziert werden. Dabei steht der Fernverkehr, im Besonderen der Hochgeschwindigkeitsverkehr im Vordergrund. Viele der Anforderungen an ein Zugbeeinflussungssystem haben dabei auch allgemeinen Relevanzcharakter.

Im Folgenden wird die im Abschnitt 2.5 beschriebene Methode beispielhaft angewendet.

Erster Schritt:

Eines der wichtigsten Erfolgskriterien ist die für den erfolgreichen Fortbestand des Schienenverkehrs notwendige technische Harmonisierung/ Interoperabilität in Europa. Diese ist mittlerweile rechtsverbindlich und von der EU in den TSI und den Richtlinien 96/48/EG und 2001/14/EG beschrieben.

Aktuell bestehen etwa 20 unterschiedliche, meist inkompatible Techniken zur Sicherung und Steuerung von Betriebsabläufen im Bahnsystem in Europa. Dabei existieren unterschiedlich leistungsfähige Systemlösungen, wobei die kontinuierliche Zugbeeinflussung auf nur 4% des europaweiten Streckennetzes installiert ist. [4]

Besondere Dringlichkeit für die Interoperabilität besteht vorrangig im Fernverkehr. Hier findet der größte Teil des internationalen Schienenverkehrs statt. Im Rahmen dieses Beispiels wird ausschließlich das System der Zugbeeinflussung analysiert. Für die Sicherung der Interoperabilität von Teilnetzen der beteiligten europäischen Länder reicht diese reduzierte Betrachtung nicht aus. Dafür ist neben der Zugbeeinflussung eine umfassendere Analyse zur Vereinheitlichung von Spurweiten, Gleisabständen, Lichträumen, Stromsystemen, Betriebsverfahren sowie der -leitsysteme notwendig. [8] Durch die Schaffung von Interoperabilität sollen Zugfahrten durch Europa ohne Umspannen und möglichst ohne Wechsel des Triebfahrzeugführers 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 ist 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 soll dabei gesteigert werden.

Um den ersten Schritt des QFD abzuschließen, sind die ausgewählten Kundenanforderungen, die nur einen kleinen Teil des mit einer umfassenden Marktanalyse bestimmbareren Anforderungskatalogs darstellen, zu bewerten.

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.

Kundenkriterium	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 weiterer Streckenelemente
6. Vorgabe eines Sicherheitslevels	Wirkung der sicherheitsrelevanten Teile sicherstellen, Rückfallebenen
7. niedrigere Einkaufspreise	Standardisierung/ Marktöffnung

Abbildung 8: Zuordnung technischer Merkmale zu den Kundenanforderungen oder -kriterien

Dritter Schritt:

Auf den an dieser Stelle üblichen Vergleich verschiedener Systemlösungen im Wettbewerb wird hier verzichtet. Zur vergleichenden Untersuchung siehe [4].

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 zu ihrer Lösung meist innovativer Ideen bedarf. Sie werden im Dach des 1. House of Quality (Abb. 9) gekennzeichnet.

Zielkonflikte zwischen den in der Tabelle (Abb. 8) genannten Merkmalen ergeben sich zwischen *Ersatz ortsfester Signale und Streckeninstrumente und Rückfallebene* (starker Widerspruch) bzw. *Bremswege verkürzen und verschleißarm Bremsen* (schwacher Widerspruch).

Fünfter Schritt

Nun werden die Beziehungen (Korrelation) zwischen den Kundenanforderungen und den technischen Merkmalen festgelegt. Ein starker Zusammenhang wird mit dem Wert 9 im HoQ gekennzeichnet, ein mittlerer Zusammenhang mit dem Wert 3 und ein schwacher Zusammenhang mit dem Wert 1. Liegt kein Zusammenhang vor, wird der Wert 0 zugeordnet. Die Beziehungswerte werden dann mit Hilfe von Symbolen im HoQ dargestellt (Abb. 9).

Sechster Schritt

Um das QFD abzuschließen, wird die Bedeutung der technischen Merkmale festgelegt. Ausgehend von den Beziehungswerten (Schritt 5) kann die relative Bedeutung BM_j eines technischen Merkmals bestimmt werden. Sie trifft eine Aussage darüber, wie sehr ein Merkmal das Erfüllen von Kundenanforderungen unterstützt. Merkmale mit besonders hoher Gewichtung erfahren eine besonders hohe Aufmerksamkeit im Entwicklungsprozess.

Für BM_j gilt:

$$BM_j = \sum_{i=1}^I (GK_{ij} * BA_i)$$

- A_i : Kundenanforderung i
- I : Anzahl der Kundenanforderungen
- BA_i : relative Bedeutung der Kundenanforderung
- GK_{ij} : Grad der Korrelation des Merkmals j zur Kundenanforderung i
- M_j : technisches Merkmal j

Die gesammelten beispielhaften Ergebnisse einschließlich der berechneten relativen Bedeutung der technischen Merkmale sind zusammenfassend im 1. House of Quality für ein Zugbeeinflussungssystem (Abb. 9) dargestellt.

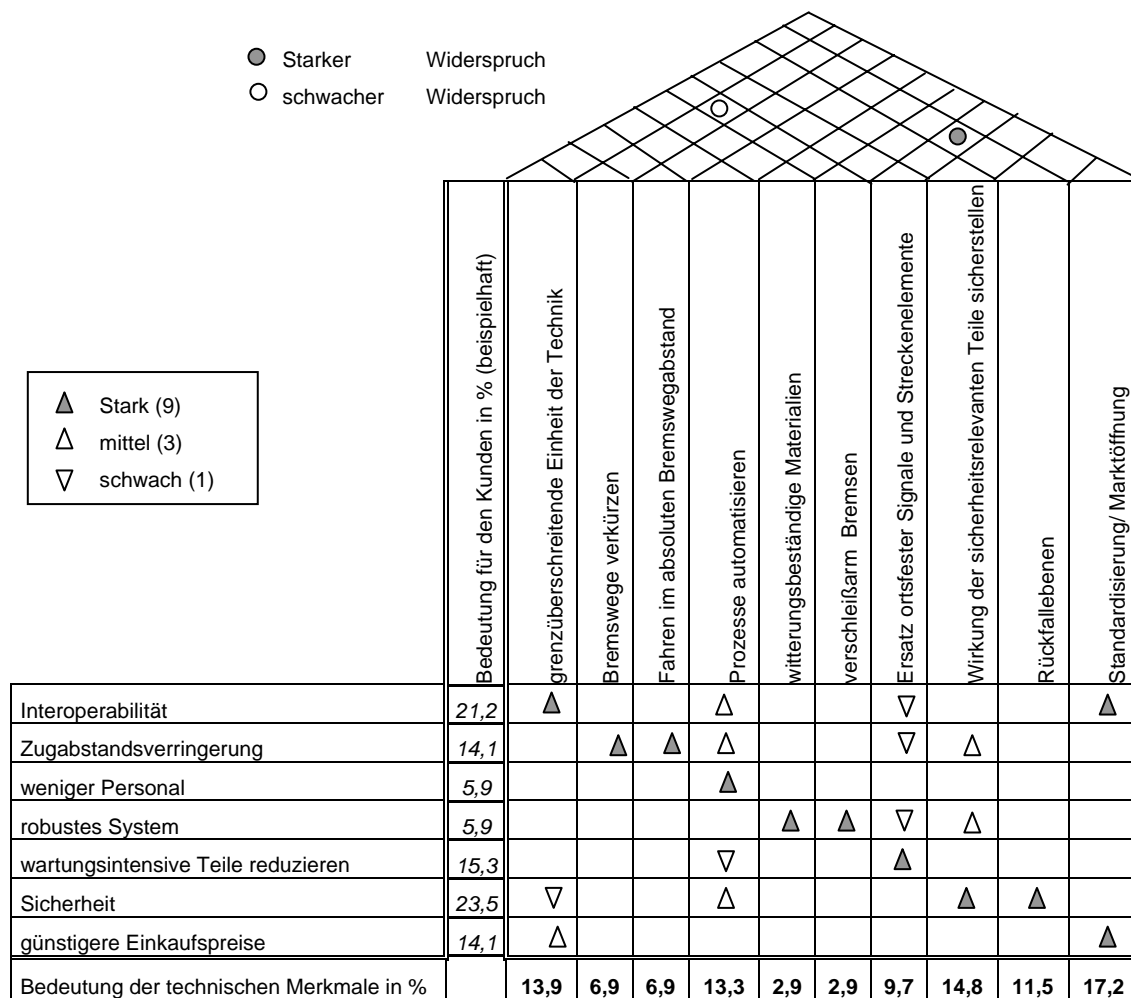


Abbildung 9: House of Quality für ein Zugbeeinflussungssystem – beispielhaft [1]

Nochmals sei erwähnt, dass das hier dargestellte Beispiel nur einen kleinen Teil der wirklichen Anforderungen erfasst und vorrangig der Beschreibung der methodischen Vorgehens-

weise 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. 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.

Somit wird die Entwicklung einer technologischen Innovation für das System Bahn nicht ausschließlich nach wirtschaftlichen, funktionalen oder technisch-betrieblichen Gesichtspunkten optimiert. Das Ziel ist vielmehr das mehrdimensional optimierte „*migrationsgeleitete*“ *Systemdesign* und die entsprechende *Systemspezifikation*.

2.6 Systemspezifikation und das Requirements Engineering

Ausschlaggebend für den Entwurf migrationsfähiger Produkte, ist die Übernahme der mittels Phasenmodell und Lebenszyklusanalyse gewonnenen Anforderungen in die frühen Phasen des anschließenden Entwicklungsprozesses. Es bedarf einer methodischen Konsistenz, damit aus den gesammelten Anforderungsspezifikationen ein entsprechendes System entwickelt werden kann. Das Requirements Engineering (RE) bezeichnet dabei eine Methode, wie das Projektteam systematisch von den anfänglich vagen, mehrdeutigen, unzusammenhängenden, unvollständigen und teilweise widersprüchlichen Anforderungen hin zu einem vollständigen, konsistenten und eindeutigen Anforderungsdokument gelangt. Dabei umfasst das RE auch Beschreibungsmittel und Werkzeuge, die zur Ermittlung, Formulierung und Analyse von Aufgabenstellungen und Anforderungen an Systeme notwendig sind. [10] Der Prozess des RE ist nicht mit der Ausarbeitung des Anforderungsdokumentes abgeschlossen. Im Entwicklungsprozess 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 deutlich:

„Improving requirements means improving the quality of the product.“ [3]

Das so genannte V-Modell hat sich als übersichtliche Darstellungsform des Entwicklungs- und des darin eingebetteten RE-Prozesses etabliert. Die in Abbildung 10 gewählte Darstellung lehnt an [3] an und wurde durch einzelne Aspekte erweitert.

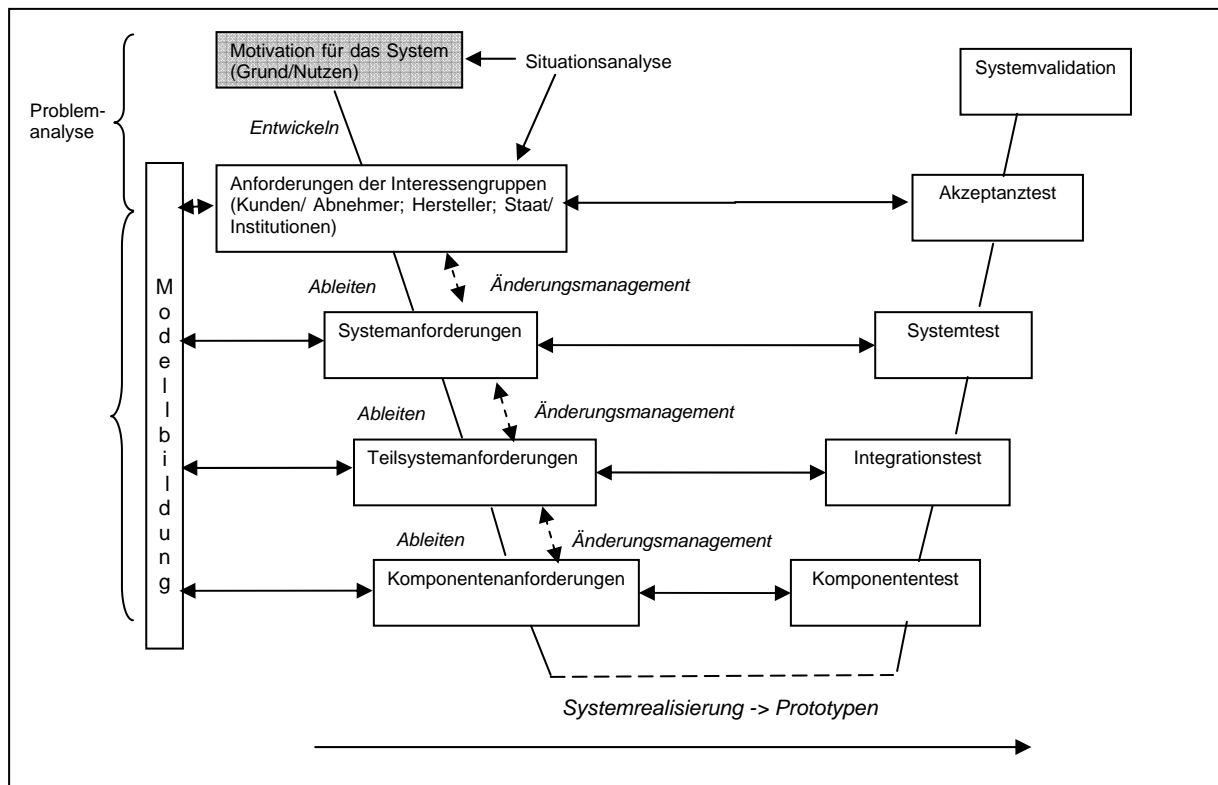


Abbildung 10: Vorgehensmodell des Systementwicklung und des RE

In diesem Vorgehensmodell bestehen allgemeine Ansätze zur Prozessoptimierung durch den Einsatz ausführbarer Spezifikationen. Diese erfordern eine modellbasierte Anforderungsbeschreibung mit Hilfe formaler, ausführbarer Beschreibungstechniken. Auf diese Art kann z. B. eine Simulation des dynamischen Systemverhaltens direkt aus der Systemspezifikation automatisch generiert werden.

Diese Vorgehensweise im RE ermöglicht eine Optimierung im Entwicklungsprozess hinsichtlich:

- der Validierung der Spezifikation gegen die Kundenanforderungen
- der Entwicklung von Testfällen und Testkatalogen
- der Verifikation der Entwicklungsergebnisse gegen das Modell
- der modellbasierten Gefährdungsanalyse (CENELEC)
- ...

In einem weiteren für die *migrationsgeleitete Entwicklung* spezifischen Optimierungsschritt soll auch die technische Migrationsfähigkeit bereits während der Entwicklung modellbasiert getestet werden. Um die Entwicklungsergebnisse hinsichtlich ihrer technischen Migrationsfähigkeit modellbasiert verifizieren zu können, müssen die Modellgrenzen ausgeweitet werden. So müssen auch Teile der Systemumgebung beschrieben werden, in die das betrachtete System integriert werden soll. Hier ist insbesondere eine Fokussierung auf die Schnittstellen ent-

scheidend, um die optimalen Systemgrenzen und die Ausprägung der notwendigen Schnittstellen zu den Umsystemen zu identifizieren.

Durch diese Modellerweiterung kommt es zu einer Aufwandserhöhung, deren Nutzen im kostengünstigeren Testen in der Simulationsumgebung im Verhältnis zu den Feldtests in der realen Umgebung liegt.

Die vorrangige Zielsetzung bei dieser Vorgehensweise ist die mehrdimensional optimierte „migrationsgeleitete“ Entwicklung.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die fehlende Migrationsfähigkeit ist häufig eine große Hürde bei der Einführung technologischer Innovationen im Bahnsektor. Exzellente technische Lösungen können sich am Markt nicht behaupten, weil die Fragen der Migration in bestehende Systemumgebungen nicht rechtzeitig berücksichtigt werden. Diese Fragen beziehen sich dabei sowohl auf die Selektion einer für den Systembetreiber optimalen Lösung als auch auf die Integrierbarkeit in seine vorhandenen Systemstrukturen. Produkte, Anlagen oder Systemlösungen müssen zunächst typischerweise unter mehreren Alternativen vom Betreiber ausgewählt werden, um überhaupt anschließend in die Migrationspase zu gelangen. Dabei wird deutlich, dass die Migrationsfähigkeit eines Systems von seinem gesamten Lebenszyklus abhängig ist.

Ausgehend von dem Phasenmodell für die Planung von Migrationsprozessen im Schienenverkehr wurde hier ein methodischer Ansatz vorgestellt, wie die Migrationsfähigkeit künftiger Systeme verbessert werden kann. Dabei werden in einer Art Lernprozess die aus der Sicht des Systembetreibers relevanten Migrationskriterien aus dem Phasenmodell extrahiert. Diese beziehen sich sowohl auf die Systemselektion als auch auf die anschließende Integration in bestehende Umgebungen mit der Ablösung von aktuellen Systemen. Diese Kriterien sollen den einzelnen Lebenszyklusphasen zugeordnet und als Anforderungen an die Systementwicklung formuliert werden. Mit einem effizienten Requirements Engineering wird somit die Basis für eine migrationsgeleitete Systemspezifikation geschaffen. Das anschließende Systemdesign und die entsprechende Gestaltung des Entwicklungsprozesses erhöhen und optimieren somit die Migrationsfähigkeit einer Innovation. Durch diese Vorgehensweise sollen künftige technische Lösungen nicht an ihrer Migrationsunfähigkeit oder an den Schwierigkeiten der Migration scheitern.

In den nächsten Schritten soll diese Methodik um simulative Aspekte erweitert und durch konkrete Anwendungen auf die Systeme der Eisenbahnleit- und –sicherungstechnik validiert werden.

4 Literatur

- [1] Beck, K., 2005, Methodik zur Gestaltung eines migrationsfähigen Systemdesigns am Beispiel der Zugbeeinflussung (Diplomarbeit am DLR / Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung), Braunschweig.
- [2] Blohm, H., Lüder, K., 1995, Investition, 8. Auflage, München.
- [3] Hull, E., Jackson, K., Dick, J., 2005, Requirements Engineering, London.
- [4] Internationaler Eisenbahnverband UIC, 2003: Implementing the European Train Control System – Opportunities for European Rail Corridors, Paris.
- [5] 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.
- [6] Obrenovic, M., Knollmann, V., Jäger, B., Lemmer, K., 2005, Methodik für die Entwicklung, Bewertung und simulative Validierung von Migrationsstrategien. ZEL 2005, Zilina.
- [7] Obrenovic, M., Meyer zu Hörste, M., Jäger, B., 2005, Phase Model for the development and evaluation of migration strategies in rail traffic, The 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services (HITS) 2005, Hannover.
- [8] Schnieder, E. (Hrsg.) 1998, RailOrt - Ortung im spurgebundenen Verkehr auf der Basis von Satelliten-Navigation: Band 2: Bestandsanalyse von LZB und ETCS, Braunschweig.
- [9] O’Shea, M., 2002, Planungsverfahren für die Produktkonzeption – Ein systematisches Vorgehenskonzept unter Berücksichtigung des Lebenszyklus-Ansatzes, Wiesbaden.
- [10] Partsch, H., 1998, Requirements-Engineering systematisch, Berlin Heidelberg.
- [11] Saatweber, J., 1997, Kundenorientierung durch Quality Function Deployment – Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen, München Wien.