

Andreas Warkentin

Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen über den Produktlebenszyklus

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

©Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2010

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz und Gestaltung: Andreas Warkentin

Hersteller: Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG
Druck · Buch · Verlag
Bielefeld

Printed in Germany

Geleitwort

Das Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik. Das von mir vertretene Fachgebiet „Produktentstehung“ befasst sich u.a. mit der Nutzung der Informationstechnik in Produktentstehungsprozessen.

Zur Stärkung ihrer Wettbewerbsposition setzen Automobilhersteller auf Elektrik/Elektronik-Systeme (E/E-Systeme). Mit Hilfe dieser Systeme lassen sich bestehende Funktionen kostengünstiger und flexibler gestalten. Zudem sind gänzlich neue Funktionen realisierbar, die bei einem alleinigen Einsatz klassischer Mechanik nicht umsetzbar wären. Solche Funktionen wirken durch das Zusammenspiel mehrerer Komponenten (Bauteile, Baugruppen und Software-Komponenten). Die mit dieser Entwicklung einhergehende Komplexität kann mit der heute dominierenden, bauteilorientierten Dokumentation und Arbeitsweise nicht beherrscht werden. Die Automobilindustrie wendet sich daher zunehmend einer Dokumentationsweise zu, welche die Funktionen eines Produkts in den Fokus rückt. Bislang ist jedoch noch nicht systematisch definiert worden, wie eine solche Dokumentation im Detail aussieht und welche Nutzenpotentiale daraus über den Produktlebenszyklus erwachsen.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Warkentin eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen entwickelt. Zum Einen wird ein funktionsorientiertes Produktmodell vorgestellt, das die funktionalen Aspekte von E/E-Systemen ganzheitlich abdeckt. Es umfasst eine anwenderorientierte, eine logische und eine technische Ebene. Zum Anderen wird ein Vorgehen zur Definition eines bedarfsspezifischen Produktmodells aufgezeigt. Dieses Vorgehen beschreibt, wie aus einem Produktmodell unter Berücksichtigung des Nutzens aus dem Produktmodell sowie des Aufwands für die Modellierung und Aktualisierung ein bedarfsspezifisches Produktmodell abgeleitet werden kann. Die Systematik wurde bei einem führenden Automobilhersteller erfolgreich angewendet. Mit dieser Arbeit hat Herr Warkentin einen wichtigen Beitrag zur Etablierung der Funktionsorientierung in Industrieunternehmen geleistet.

Paderborn, im November 2010

Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier

Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen über den Produktlebenszyklus

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
Dipl.-Wirt.-Ing. Andreas Warkentin
aus Orenburg

Tag des Kolloquiums: 5. November 2010
Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Rainer Koch

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wird die Evolution moderner Fahrzeuge durch den zunehmenden Einsatz von Elektrik/Elektronik-Systemen (E/E-Systeme) dominiert. Um die damit einhergehende Komplexität zu beherrschen, rücken vermehrt die Funktionen eines Produkts in den Fokus der Hersteller. Hilfreich hierfür ist ein funktionsorientiertes Produktmodell. Der potentielle Zusatznutzen eines solchen Produktmodells für die Phasen nach der Entwicklung ist bislang nicht systematisch untersucht worden. Zudem erfolgt in den vorhandenen Ansätzen keine Gegenüberstellung vom resultierenden Aufwand und Nutzen aus einer Dokumentation von Funktionen.

Daher wurde in dieser Arbeit eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen unter Berücksichtigung vom Nutzen und Aufwand definiert. Den ersten Teil der Systematik bildet ein funktionsorientiertes Produktmodell, das die funktionalen Aspekte von E/E-Systemen abdeckt. Es umfasst eine anwenderorientierte, eine logische und eine technische Ebene. Das funktionsorientierte Produktmodell dient als Ausgangsbasis für den zweiten Teil der Systematik: ein Verfahren zur Definition eines bedarfsspezifischen Produktmodells. Dieses Verfahren beschreibt, wie aus einem Produktmodell unter Berücksichtigung des Nutzens aus dem Produktmodell sowie des Aufwands für die Modellierung und Aktualisierung ein bedarfsspezifisches Produktmodell abgeleitet werden kann.

Unter Anwendung des Verfahrens wird in dieser Arbeit ein konkretes, bedarfsspezifisches Produktmodell für einen Automobilhersteller bestimmt. Hierzu werden die einzelnen Schritte des Verfahrens in einem realen Unternehmensumfeld detailliert ausgeführt.

Summary

In the past years the evolution of modern automobiles has been dominated by the increasing usage of electric/electronic-systems. In order to manage the accompanying complexity, there is an ongoing paradigm shift towards the functions of a product. Here, a function-oriented representation is a helpful means. The additional benefit of a function-oriented representation beyond the development phase has not been addressed systematically so far. Moreover, current approaches have not analyzed the benefit arising from the usage of a function-oriented representation in relation to the effort connected with modeling and updating this information.

Within this thesis an approach for a definition of a function-oriented representation with consideration of the accompanying benefit and effort has been defined. The first part of the approach consists of a function-oriented representation which documents the functional aspects of electric/electronic-systems. It comprises a user level, a logical level and a technical level. The function-oriented representation is the basis for the second part of

the approach: a method for the definition of a needs-driven representation. This method describes how to derive a needs-driven representation from the function-oriented representation in consideration of the corresponding benefit and effort.

A concrete needs-driven representation is defined for an automotive manufacturer by applying the method. This is achieved by executing each step of the method within an existing company.

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [WH07] WARKENTIN, A.; HERBST, J.: Funktionsorientierung bei PLM-Systemen - Eine Analyse des Standes der Technik. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. 22./23. März 2007, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 210, Paderborn, 2007
- [WGH09a] WARKENTIN, A.; GAUSEMEIER, J.; HERBST, J.: Function Orientation beyond Development – Use Cases in the Late Phases of the Product Life Cycle. In: Roy, R.; Shehab, E. (Ed.): Proceedings of the 19th CIRP Design Conference. March 30-31 2009, Cranfield, Cranfield University Press, 2009
- [WGH09b] WARKENTIN, A.; GAUSEMEIER, J.; HERBST, J.: Konzeption eines funktionsorientierten Produktmodells zur Nutzung in den nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. 2./3. April 2009, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 250, Paderborn, 2009
- [WGH09c] WARKENTIN, A.; GAUSEMEIER, J.; HERBST, J.: An Approach for a Needs-Driven Definition of a Function-Oriented Representation in the Automotive Domain. European Concurrent Engineering Conference - ECEC'2009. April 15-17 2009, Brügge, EUROSIS-ETI, 2009

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	5
1.1 Problematik.....	5
1.2 Zielsetzung	6
1.3 Vorgehensweise	7
2 Problemanalyse	9
2.1 Einordnung und Begriffsdefinitionen.....	9
2.2 Automotive Elektrik/Elektronik-Systeme	20
2.2.1 Bedeutung von Elektrik/Elektronik-Systemen im Automobilbereich.....	20
2.2.2 Aufbau von Elektrik/Elektronik-Systemen.....	21
2.2.3 Charakteristika von Elektrik/Elektronik-Systemen	23
2.2.3.1 Intransparenz in Bezug auf vorhandene Funktionen aus Anwendersicht.....	24
2.2.3.2 Intransparenz in Bezug auf die Funktionsweise	25
2.2.3.3 Intransparenz in Bezug auf die Realisierung durch Komponenten	26
2.3 Funktionsorientierung im Produktlebenszyklus.....	26
2.3.1 Kundenperspektive und Funktionsorientierung.....	27
2.3.2 Funktionsmodellierung bei etablierten Entwicklungsmethodiken	27
2.3.3 Funktionsorientierte Modellierung in der Praxis.....	31
2.3.4 Ebenenübergreifende Modellierung.....	32
2.3.5 Problemlösungsmöglichkeiten und Modellierungsumfang	32
2.4 Anforderungen an eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen.....	33
3 Stand der Technik	37
3.1 Ansätze für eine funktionsorientierte Modellierung	37
3.1.1 FOPD	38
3.1.2 Daimler-Modell für E/E-Systeme in einer frühen Konzeptphase.....	39
3.1.3 MOSES.....	40
3.1.4 Architecture Description Language – ADL.....	42
3.1.5 AUTOSAR	44
3.2 Handlungsbedarf aus der Ansatzbetrachtung	46

3.3 Verfahren mit Bezug zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells	47
3.3.1 Monetäre Verfahren für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen	48
3.3.2 Nutzwertanalyse	49
3.3.3 Nachweis der Wirtschaftlichkeit von IT-Investitionen nach BURGER	50
3.3.4 Nutzenorientierte Einführung von Produktdatenmanagement-Systemen nach WEHLITZ	52
3.3.5 Prozessmodellierung im Business Process Reengineering	54
3.4 Handlungsbedarf aus der Verfahrensbetrachtung	55
4 Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen	57
4.1 Funktionsorientiertes Produktmodell	57
4.1.1 Anwenderorientierte Ebene	58
4.1.2 Logische Ebene	60
4.1.3 Technische Ebene	62
4.2 Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells	65
4.2.1 Identifikation von Anwendungsfällen	66
4.2.2 Bestimmung von Lösungsmethoden	67
4.2.3 Bewertung der Lösungsmethoden	69
4.2.4 Bewertung des Modellierungsaufwands	72
4.2.5 Ableitung des bedarfsspezifischen Produktmodells	74
4.3 Anwendung des Verfahrens	75
4.3.1 Identifikation von Anwendungsfällen und Analyse von Lösungsmethoden	75
4.3.1.1 Anwendungsfall 1 – Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen	75
4.3.1.2 Anwendungsfall 2 – Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung in der Prüfplanung	83
4.3.1.3 Anwendungsfall 3 – Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen	93
4.3.1.4 Anwendungsfall 4 – Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen	100
4.3.1.5 Anwendungsfall 5 – Bewertung vom Funktionsumfang bei Feedbackartikulation durch Kunden	107
4.3.1.6 Anwendungsfall 6 – Bewertung vom Funktionsumfang mit automatisiertem Produktnutzungsmonitoring	113
4.3.1.7 Anwendungsfall 7 – Nachträgliche Erweiterung des Funktionsumfangs im Aftersales	119
4.3.2 Bewertung des Modellierungsaufwands	123

4.3.3 Ableitung des bedarfsspezifischen Produktmodells.....	126
5 Bewertung der Systematik	129
6 Zusammenfassung und Ausblick	131
7 Literaturverzeichnis	135

Anhang

A1 Abhängigkeitsmatrix	A-1
A2 Bewertung der Lösungsmethoden.....	A-3
A3 Notation von Feature-Diagrammen	A-9

1 Einleitung

Die Bedeutung von Elektrik/Elektronik-Systemen (E/E-Systeme) im Automobilbereich hat in den letzten Jahrzehnten als Innovationstreiber zugenommen. Schätzungen zufolge resultieren 80 bis 90 Prozent aller Innovationen aus dem Einsatz von E/E-Systemen [FG07], [WR06]. Zusätzlich hat der Anteil von E/E-Systemen am Gesamtfahrzeugwert in den letzten Jahrzehnten zugenommen und steigt weiterhin an. So betrug der Wertanteil im Jahr 2004 durchschnittlich 19 Prozent des Gesamtfahrzeugs und für das Jahr 2015 wird ein Anstieg des Wertanteils auf ungefähr 40 Prozent prognostiziert [WFO09]. Aus diesen Gründen bezeichnet BRAESS die zunehmende Bedeutung von E/E-Systemen als den wichtigsten Paradigmenwechsel im bisherigen Automobil [Bra06].

1.1 Problematik

Mit der steigenden Bedeutung von E/E-Systemen hat eine deutliche Zunahme von Funktionen in Fahrzeugen stattgefunden [All07]. Gleichzeitig führt diese Entwicklung zu einer höheren Komplexität: Eine Vielzahl von Funktionen wird zunehmend durch das geschickte Zusammenspiel vieler mechanischer und elektrischer/elektronischer Bauteile sowie Softwarekomponenten realisiert. Allerdings ist die heute vorherrschende Arbeitsweise an den Bauteilen und der Baustuktur eines Fahrzeugs ausgerichtet. Dies wird beispielsweise bei der Betrachtung der bauteilgetriebenen Produktdokumentation deutlich. Weitere Beispiele stellen die Organisationsstrukturen und Prozesse in der Entwicklung dar, die stark bauteilorientiert gestaltet sind. Diese Fokussierung auf die Bauteile eines Fahrzeugs wird der Komplexität moderner Fahrzeuge jedoch nicht gerecht. Die Automobilindustrie begegnet dieser Herausforderung zunehmend mit der Hinwendung zu einer Arbeitsweise, welche die Funktionen eines Produkts als Ausgangspunkt nimmt. Dieser Paradigmenwechsel wird durch den Begriff Funktionsorientierung¹ charakterisiert [Bra06], [SW06], [SJ09].

Voraussetzung für eine funktionsorientierte Arbeitsweise ist eine explizite Modellierung bzw. Dokumentation von Funktionen. Eine implizite Modellierung von Funktionen in Gestalt von persönlichem Wissen der jeweiligen Entwickler reicht nicht mehr aus, da der Umfang der in einem Fahrzeug realisierten Funktionen in den letzten Jahren stark

¹ Der in dieser Arbeit verwendete Begriff Funktionsorientierung ist nicht zu verwechseln mit dem gleichlautenden Begriff im Bereich der Unternehmensorganisation. In der Unternehmensorganisation steht Funktionsorientierung für eine hohe funktionale Arbeitsteilung innerhalb des Leistungserstellungsprozesses. Als Ergebnis einer solchen funktionsorientierten Ausrichtung des Unternehmens steht die Aufbauorganisation im Vordergrund (vgl. z.B. [GPW09]). Im Rahmen dieser Arbeit zielt Funktionsorientierung hingegen immer auf ein technisches Produkt ab.

zugenommen hat. Auch der Vernetzungsgrad von Bauteilen und Softwarekomponenten zur Realisierung von Funktionen ist stark angestiegen. Der Funktionsumfang eines modernen Fahrzeugs ist durch den zunehmenden Einsatz von E/E-Systemen im Vergleich zu einem von Mechanik dominierten Fahrzeug aus früheren Dekaden weniger transparent. Vor dem Hintergrund der Vielzahl der an einem Entwicklungsprojekt beteiligten Personen erleichtert eine explizite Modellierung von Funktionen zudem das gemeinsame Verständnis darüber, was aus Kundensicht zu erfüllen ist.

Bislang existieren einige Ansätze zur Modellierung von E/E-Systemen mit Berücksichtigung der Funktionen des zu entwickelnden Produkts (siehe beispielsweise [LFO+04], [FRA06], [GFD+08a], [GFD+08b]). Allerdings fokussieren diese Ansätze auf die Entwicklungsphase eines Produkts. Die nachfolgenden Phasen im Produktlebenszyklus werden hingegen nicht adressiert. Die potentiellen Anwendungsfälle² und die damit verbundenen Verbesserungspotentiale durch den Einsatz einer funktionsorientierten Modellierung sind für diese Phasen bisher nicht systematisch identifiziert und analysiert worden. Daher ist zu untersuchen, wie ein funktionsorientiertes Produktmodell für die Nutzung in den späten Phasen des Produktlebenszyklus gestaltet sein muss. In diesem Zusammenhang muss auch eine Betrachtung des erwarteten Nutzens und des Aufwands erfolgen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen von Fahrzeugen. Diese Systematik beinhaltet ein Verfahren zur Definition eines bedarfsspezifischen funktionsorientierten Produktmodells und ein konkretes funktionsorientiertes Produktmodell für E/E-Systeme für den Einsatz in der Produktions- und Nutzungsphase.

Das Verfahren soll – ausgehend von der Betrachtung unterschiedlicher Anwendungsfälle im Produktlebenszyklus – ein funktionsorientiertes Produktmodell vorschlagen. Das Ergebnis der Anwendung des Verfahrens soll eine angemessene Lösung im Zielkonflikt zwischen dem Aufwand der Datenmodellierung und -pflege auf der einen Seite und dem Nutzen der Produktinformationen in den nachgelagerten Phasen auf der anderen Seite bilden.

Das konkrete funktionsorientierte Produktmodell – definiert unter Anwendung des erarbeiteten Verfahrens und anhand der Betrachtung konkreter Anwendungsfälle – soll der Beschreibung von E/E-Systemen dienen. Damit stellt das konkrete Produktmodell die

² Ein Anwendungsfall bezeichnet im Kontext dieser Arbeit eine in einem Unternehmen angesiedelte Tätigkeit, bei der ein funktionsorientiertes Produktmodell zur Lösung einer Aufgabe hilfreich ist.

angemessene Deckung von Informationsbedarfen in der Produktions- und Nutzungsphase eines Automobilherstellers sicher.

1.3 Vorgehensweise

In Kapitel 2 erfolgt eine Problemanalyse (Bild 1-1). Nach der Charakterisierung wesentlicher Begriffe erfolgt eine Einführung in die E/E-Systeme moderner Kraftfahrzeuge. Zusätzlich wird die Rolle der Funktionsorientierung im Produktlebenszyklus dargestellt. Abschließend werden die Anforderungen an eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung aufgezeigt.

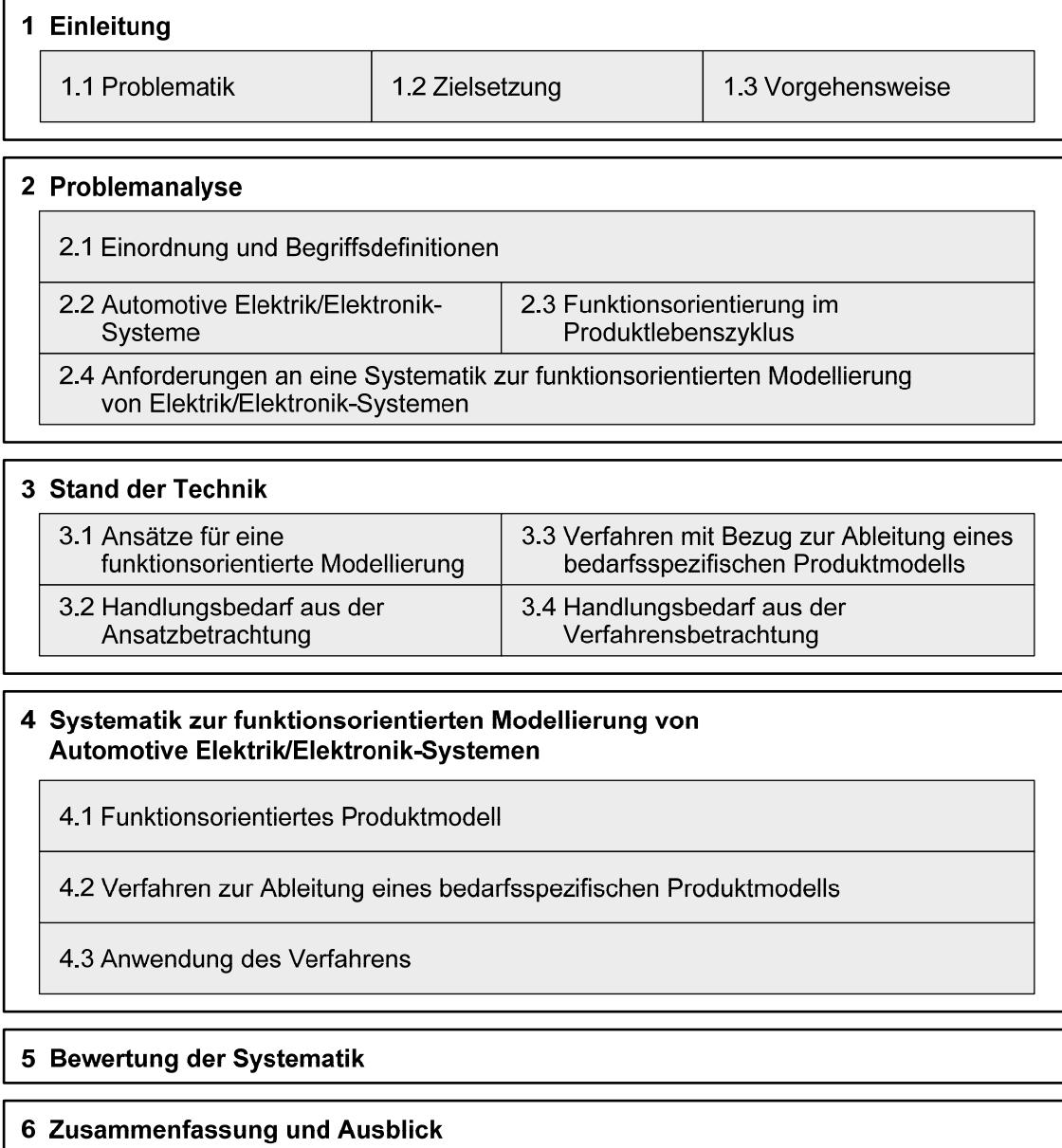


Bild 1-1: Aufbau der Arbeit

Der Stand der Technik wird in Kapitel 3 analysiert. Dazu gehören Ansätze für eine funktionsorientierte Modellierung von Produkten sowie Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells. Es wird jeweils anhand der in Kapitel 2 definierten Anforderungen der Handlungsbedarf abgeleitet.

In Kapitel 4 wird die Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen dargestellt. Diese fokussiert auf die Phasen nach der Entwicklung im Produktlebenszyklus. Dazu wird in Kapitel 4.1 ein funktionsorientiertes Produktmodell für E/E-Systeme beschrieben. In Kapitel 4.2 wird ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells dargestellt. Dieses Verfahren beschreibt, wie aus einem Produktmodell unter Berücksichtigung des Nutzens der Produktinformationen und des Aufwands der Datengenerierung und -pflege ein bedarfsspezifisches Produktmodell abgeleitet werden kann. Anschließend wird auf Basis des in Kapitel 4.1 dargestellten Produktmodells unter Anwendung des in Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens ein bedarfsspezifisches funktionsorientiertes Produktmodell abgeleitet.

In Kapitel 5 wird die erarbeitete Systematik anhand der definierten Anforderungen bewertet. Kapitel 6 beinhaltet eine Zusammenfassung der Arbeit und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten.

2 Problemanalyse

Im Folgenden werden die für diese Arbeit grundlegenden Begriffe und Konzepte erläutert. Dann werden die Entwicklung von E/E-Systemen im Automobilbereich in den letzten Jahren und die Notwendigkeit einer funktionsorientierten Modellierung aufgezeigt. Anschließend werden die Rolle und die Bedeutung der Funktionsorientierung im Produktlebenszyklus dargestellt. Darauf aufbauend werden abschließend die Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik definiert.

2.1 Einordnung und Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden Begriffe erläutert, die im Rahmen dieser Arbeit von zentraler Bedeutung sind. Zusätzlich erfolgt eine Einordnung der Arbeit.

Funktion

Eine Funktion wird im allgemeinen Sprachgebrauch als Aufgabe, Tätigkeit, Wirken oder Zweck verstanden [NN06]. Im Gegensatz hierzu existiert in der wissenschaftlichen Welt keine einheitliche Definition einer Funktion, da der Funktionsbegriff ein intuitives Konzept darstellt und in Abhängigkeit des Einsatzzwecks variiert [UT95]. Daher wird im Folgenden der Begriff der Funktion im Kontext dieser Arbeit dargestellt.

Die Beschreibung einer Funktion kann verbal, grafisch oder aus einer Kombination aus diesen beiden Formen erfolgen. Die verwendeten Symbole zur Darstellung unterscheiden sich dabei in Abhängigkeit von den Disziplinen, Branchen und Unternehmen [PL08].

Im Rahmen der Entwicklung von technischen Produkten bestehen generell zwei Perspektiven für die Auslegung des Begriffs der Funktion. Auf der einen Seite die Perspektive des späteren Anwenders eines Produkts und auf der anderen Seite eine technisch geprägte Perspektive der Entwickler. Zur Unterscheidung dieser beiden Perspektiven werden in dieser Arbeit der Begriff **Funktion** bei der Anwenderperspektive und der Begriff **technische Funktion** bei der Entwicklerperspektive verwendet.

Aus der Anwenderperspektive heraus wird durch Funktionen das erwartete Verhalten eines Produkts beschrieben. In Anlehnung an UMEDA und TOMIYAMA kann eine Funktion als eine abstrahierte Beschreibung eines Verhaltens aus der Sicht einer Person definiert werden [UT95]. Eine Funktion spezifiziert demnach, was der Anwender von einem Produkt erwartet. In diesem Zusammenhang ist auch der Begriff der Anforderung wichtig. Anforderungen werden häufig in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen unterschieden [Rei07]. Wenn funktionale Anforderungen aus der Perspektive des Anwenders eines Produkts beschrieben werden, sind diese als Synonym zum Begriff Funktion in dieser Arbeit zu sehen.

Aus der technisch geprägten Perspektive von Entwicklern bezeichnet eine Funktion den gewollten Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen [PBF+05]. Hierfür wird in dieser Arbeit der Begriff technische Funktion verwendet.

Bei einem ungewollten Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang spricht BIRKHOFER in Abgrenzung zum Funktionsbegriff vom Verhalten. Mit dem Begriff Funktion wird die gewünschte Funktion und mit dem Begriff Verhalten die reale Funktion eines Systems beschrieben. Das in Bild 2-1 dargestellte Beispiel verdeutlicht diese Sichtweise. Die Funktion eines Elektromotors lautet: *elektrische Energie in mechanische Energie wandeln*. Als Eingangsgröße tritt also elektrische Energie und als Ausgangsgröße mechanische Energie auf. In einem realen Elektromotor wird neben mechanischer Energie auch thermische Energie abgegeben. Das Verhalten des Elektromotors umfasst damit als Ausgangsgröße neben der schon in der Funktion beschriebenen mechanischen Energie zusätzlich noch die thermische Energie [BKB00], [Mat02].

Gewollter Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang



Gewollter und ungewollter Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang



Bild 2-1: Funktion und Verhalten am Beispiel eines Elektromotors (in Anlehnung an [Mat02])

Diese Interpretation einer Funktion als gewollter Zusammenhang einerseits und des Verhaltens als einer Summe aus gewolltem und ungewolltem Zusammenhang andererseits ist in der Literatur jedoch nicht einheitlich. RODENACKER definiert beispielsweise eine Funktion als allgemeinen Wirkzusammenhang. Somit wird kein Unterschied zwischen gewolltem und ungewolltem Zusammenhang und damit zwischen Funktion und Verhalten gemacht³ [Rod91], [Mat02]. PONN und LINDEMANN wiederum unterscheiden zwischen einem gewollten und einem ungewollten Zusammenhang und verwenden die Begriffe nützliche Funktion und schädliche Funktion [PL08].

In der Entwicklungsphase ist die Modellierung von schädlichen bzw. ungewollten Funktionen wichtig, da somit ein Verbesserungsbedarf identifiziert werden kann. Somit können schädliche Funktionen eliminiert oder abgeschwächt werden. Mit einem fortgeschreitenden Reifegrad der Entwicklung verlieren schädliche Funktionen also an Bedeutung. Diese Arbeit behandelt die späteren Phasen im Produktlebenszyklus. Daher liegt

³ Ein weiteres Beispiel ist in der VDI Richtlinie 2221 zu finden. Auch hier wird nicht zwischen gewolltem und ungewolltem Zusammenhang unterschieden [VDI2221]. In der VDI Richtlinie 2803 dagegen wird der Begriff *unerwünschte Funktion* explizit verwendet [VDI 2803].

die Modellierung von schädlichen Funktionen nicht im Fokus. Damit bezeichnet eine technische Funktion in dieser Arbeit den gewollten Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems.

Vereinheitlichung der Funktionsformulierung

Nach PAHL/BEITZ werden Funktionen mit einem Substantiv und einem Verb ausgedrückt⁴. Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich mit der Definition von normierten Funktionen ([PBF+05], [Kru74], [Rot00], [Alt84], [SW99], [SSR99], [Hua02], [Kol85]). Diese Ansätze werden auch mit den Stichworten Funktionstaxonomie, gemeinsames Vokabular und standardisierte Liste von Funktionsverben und -subjekten umschrieben. Beispielsweise werden allgemein anwendbare Funktionen definiert, die auf einem hohen Abstraktionsniveau liegen ([PBF+05], [Kru74], [Rot00], [Kol85]). So definiert ROTH so genannte Allgemeine Funktionen. Diese ergeben sich aus der Kombination der Allgemeinen Größen Stoff, Energie und Information sowie den Zustandsänderungen, die diese Allgemeinen Größen erfahren können. Folgende Zustandsänderungen sind zugelassen: Speichern, Leiten, Umformen, Wandeln und Verknüpfen. Die drei Allgemeinen Größen in Kombination mit den erwähnten Zustandsänderungen ergeben 30 Allgemeine Funktionen [Rot00]. Die Zustandsänderungen und damit die Verben der Substantiv-Verb Paarungen werden in einigen Ansätzen auch als Funktionen bezeichnet. Für die Größen bzw. die Substantive werden auch die Begriffe Objekt oder Fluss verwendet.

Der Vorteil der allgemein anwendbaren Funktionen liegt in dem hohen Abstraktionsniveau. Dadurch wird in einer frühen Phase der Produktentwicklung der Suchraum für Lösungsmöglichkeiten zur Realisierung einer Funktion nicht eingeschränkt. Zudem können durch die Normierung der Funktionen Kataloge verwendet werden. Diese unterstützen bei der Lösungssuche, indem für jede allgemein anwendbare Funktion beispielsweise in Frage kommende physikalische Effekte vorgeschlagen werden. Allerdings haben die allgemein anwendbaren Funktionen in der Praxis oft den Nachteil, dass sie durch ihre abstrakte Art wenig anschaulich und verständlich sind⁵ [PBF+05], [Eis99].

In den verschiedenen Ansätzen weichen die vorgeschlagenen allgemein anwendbaren Funktionen bzw. das verwendete Vokabular teilweise stark voneinander ab. Daher wurde in zwei parallelen Arbeiten ein Standardvokabular definiert, das die wesentlichen existierenden Ansätze integriert. Im Rahmen der Arbeit von SZYKMAN et al. wurden

⁴ In [VDI2803] wird die verbale Funktionsformulierung auch als Werkzeug zur *sanften Modellbildung* bezeichnet.

⁵ Die Funktionen *Stoff leiten* und *Energie umwandeln* zeigen beispielhaft das hohe Abstraktionsniveau von allgemein anwendbaren Funktionen.

über 130 Funktionen und Flüsse definiert. Diese sind zusätzlich hierarchisch gegliedert, sodass die einzelnen Hierarchieebenen unterschiedliche Abstraktionsgrade widerspiegeln [SSR99]. Vergleichbar hierzu wurden auch bei STONE et al. im *Functional Basis* genannten Ansatz standardisierte Funktionen und Flüsse vorgeschlagen [SW99]. Diese beiden Ansätze wurden in einem späteren Schritt verglichen und zu einer vereinheitlichten Taxonomie verschmolzen [HSM+02].

Eine mögliche Vereinheitlichung von Funktionsverben bzw. -substantiven von E/E-Systemen wird in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Da diese Arbeit in den späteren Phasen des Produktlebenszyklus angesiedelt ist und damit die erwähnten Vorteile von allgemein anwendbaren Funktionen nicht zum Tragen kommen, werden diese im Weiteren nicht angewandt. Auch die Verwendung von anderen Funktionstaxonomien ist nicht vorgesehen, da die Funktionsbezeichnungen im zu entwickelnden Ansatz anschaulich, allgemeinverständlich und frei wählbar sein sollen. Auch LEEMHUIS kommt im Rahmen ihrer Arbeit zu dem Schluss, dass der Einsatz von vordefinierten, abstrakten Funktionen nicht der praktizierten Vorgehensweise in Konstruktionsprozessen entspricht. Der Entwickler sollte nicht gezwungen werden, nur vordefinierte Funktionen benutzen zu müssen [Lee05].

Verknüpfung von Funktionen

Grundsätzlich existieren mehrere Möglichkeiten, Funktionen miteinander zu verknüpfen. Die einfachste Form ist die Aufzählung von Funktionen in einer Liste. Eine weitergehende Möglichkeit stellt die Funktionsstruktur in Form einer Funktionshierarchie oder eines Funktionsnetzes dar [PL08].

In einer **Funktionsliste** werden Funktionen ohne Beziehungsinformationen zueinander abgebildet. Funktionslisten werden oft verwendet, um in einem ersten Schritt die zu betrachtenden Funktionen eines komplexen Systems zu sammeln. In einem zweiten Schritt erfolgt dann eine Definition von Beziehungen zwischen den Funktionen, sodass eine Funktionshierarchie oder ein Funktionsnetz entsteht [PL08].

Eine **Funktionsstruktur** ist eine Anordnung und Verknüpfung einzelner Funktionen [VDI2221]. Mit der Modellierung von Funktionsstrukturen befassen sich einige Ansätze (bspw. [PBF+05], [Rot00], [SW99], [VDI2222]). Die Anordnung von Funktionen in einer Funktionsstruktur umfasst die Dekomposition einer übergeordneten Funktion in Teilfunktionen. Neben diesen hierarchischen Beziehungen werden in einer Funktionsstruktur auch die nicht-hierarchischen Beziehungen zwischen Teilefunktionen beschrie-

ben [Göp98]. Die Betonung des hierarchischen Aspekts führt zur Funktionshierarchie, die Konzentration auf Funktionen auf einer gemeinsamen Ebene zum Funktionsnetz⁶.

In einem Funktionsbaum bzw. einer **Funktionshierarchie** werden Funktionen hierarchisch gegliedert und in einer Baumstruktur angeordnet. In Richtung fallender Hierarchie wird dabei die Frage *Wie?* beantwortet, also auf welche Art und Weise eine Funktion durch Teilfunktionen erfüllt wird. In Richtung steigender Hierarchie wird die Frage *Warum?* beantwortet, also aus welchem Grunde Teilfunktionen in die Hierarchie aufgenommen wurden [VDI2803]. Bild 2-2 zeigt exemplarisch eine Funktionshierarchie für die Funktion *Bremsen mit ABS*.

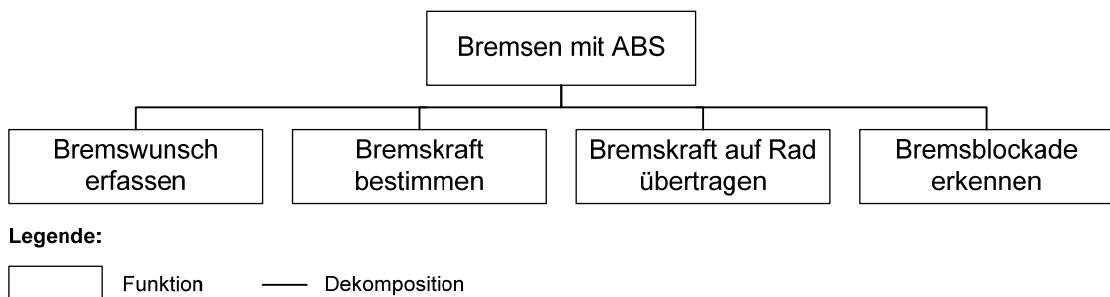


Bild 2-2: Funktionshierarchie der Funktion „Bremsen mit ABS“

In einem **Funktionsnetz** werden Funktionen auf einer gedachten Ebene angeordnet und miteinander verknüpft. Die Beziehungen zwischen Funktionen können hinsichtlich ihrer Art, Intensität und Richtung beschrieben werden [Göp98], [PBF+05]. Die Art einer Beziehung kann als Energie-, Stoff- oder Signalfluss ausgeprägt sein. Auf diese Weise wird der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen einer Funktion angegeben [PBF+05]. Bild 2-3 zeigt exemplarisch ein Funktionsnetz für die Funktion *Bremsen mit ABS*.

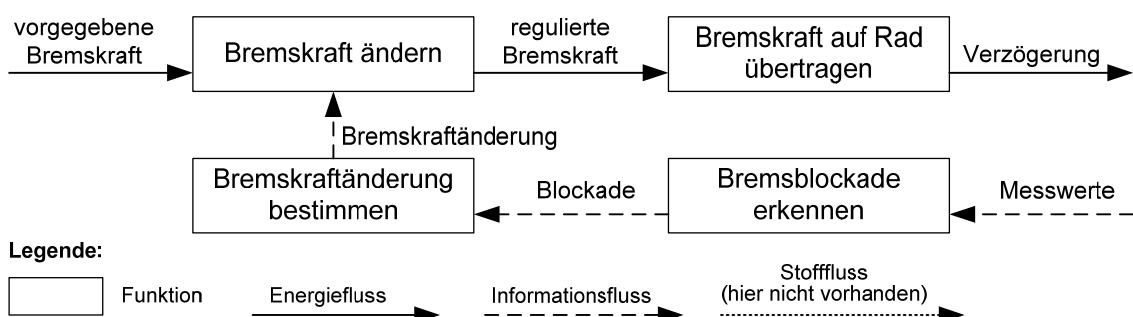


Bild 2-3: Funktionsnetz der Funktion „Bremsen mit ABS“ [Geh05]

⁶ In [Eis99] und [Bat06] wird bei einer Funktionshierarchie von einer *hierarchischen Darstellung einer Funktionsstruktur* und bei einem Funktionsnetz von einer *ablaufbezogenen Darstellung einer Funktionsstruktur* gesprochen.

System

Ein System ist eine Zusammenstellung mehrerer, miteinander verknüpfter Elemente zur Realisierung von einer oder mehreren Funktionen⁷. Der Umfang eines Systems wird durch die Definition seiner Systemgrenzen bestimmt. Eine Systemgrenze bezeichnet hierbei die Abgrenzung zwischen dem System und der Umgebung, in die es eingebettet ist. Die Positionierung von Systemgrenzen erfolgt weitgehend willkürlich [DH02], [Göp98], [Ste07], [APP08].

Systemelement

Systemelemente sind Bestandteile von Systemen. Dies können gestaltbehaftete Bestandteile (Bauteile), Software-Teile oder Kombinationen von beiden sein. Die Dekomposition eines Systems in Systemelemente lässt sich nahezu beliebig weit fortführen, ggf. bis zur molekularen Ebene. Der Detaillierungsgrad der Dekomposition hängt vom Betrachter und vom beabsichtigten Anwendungszweck ab. Durch die flexible Zerlegung kann ein Systemelement wiederum als System betrachtet werden [Göp98], [FGK+04], [Ste07].

Komponente

Mit dem Begriff Komponente wird im Allgemeinen ein Bestandteil eines Ganzen verstanden [NN06]. Im Speziellen wird dieser Begriff auch für Bauteile sowie Aggregationen von Bauteilen verwendet [App08]. Im Rahmen dieser Arbeit, die den Fokus auf E/E-Systeme richtet, sind Komponenten Bestandteile von E/E-Systemen. Dies sind Sensoren, Aktoren und Steuergeräte.

Partitionierung

Systemelemente bzw. Komponenten werden zur Realisierung von Funktionen eingesetzt. Die Zuordnung von Funktionen zu Komponenten im Entwicklungsprozess wird als Partitionierung oder auch als Mapping bezeichnet [WR06].

Produktmodell

Bei der Entwicklung eines Produkts spielen Produktmodelle eine wichtige Rolle. Ein Produktmodell wird als eine Spezifikation von Produktinformationen in Form technischer Dokumente oder sonstiger Produktrepräsentationen verstanden. Somit stellen Produktmodelle Abbilder realer oder geplanter Produkteigenschaften dar. Produktmodelle

⁷ Zu unterscheiden sind Systeme und Module. Module sind eine Zusammenfassung von Komponenten, die eine räumliche Zusammengehörigkeit bilden. Systeme sind hingegen Zusammenschlüsse von Komponenten, die durchaus räumlich verteilt angeordnet sein können [ESG96].

sind aufgabenspezifisch und zweckorientiert. Damit wird mit Produktmodellen Wesentliches vom Unwesentlichen für die jeweilige Aufgabe getrennt [PL08], [GAP+93].

Bei der Betrachtung von Modellen sind Metamodelle von hoher Bedeutung. Metamodelle schaffen einen formalen Rahmen für ein Modell. Ein Metamodell definiert, welche Bestandteile – Knoten und Kanten – mit welcher Bedeutung in einem Modell verwendbar sind [Hau09]. Knoten stellen Elemente dar, während Kanten für Beziehungen zwischen den Elementen stehen. Weiterhin kann unterschieden werden, ob ein bestimmtes Produktspektrum oder ein konkretes Produkt modelliert wird⁸. Eine Kombination dieser Aspekte führt zu den Begriffen Produktspektrummetamodell, Produktspektrummodell sowie Produktmodell [Pul04]. Das **Produktspektrummetamodell** definiert, welche Elemente für das Modell eines **Produktspektrums** verwendbar sind. Die Konfiguration, also die Bestimmung eines konkreten Produkts, führt zu einem **Produktmodell** für dieses konkrete Produkt. Dieser Zusammenhang wird in Bild 2-4 an einem Beispiel veranschaulicht.

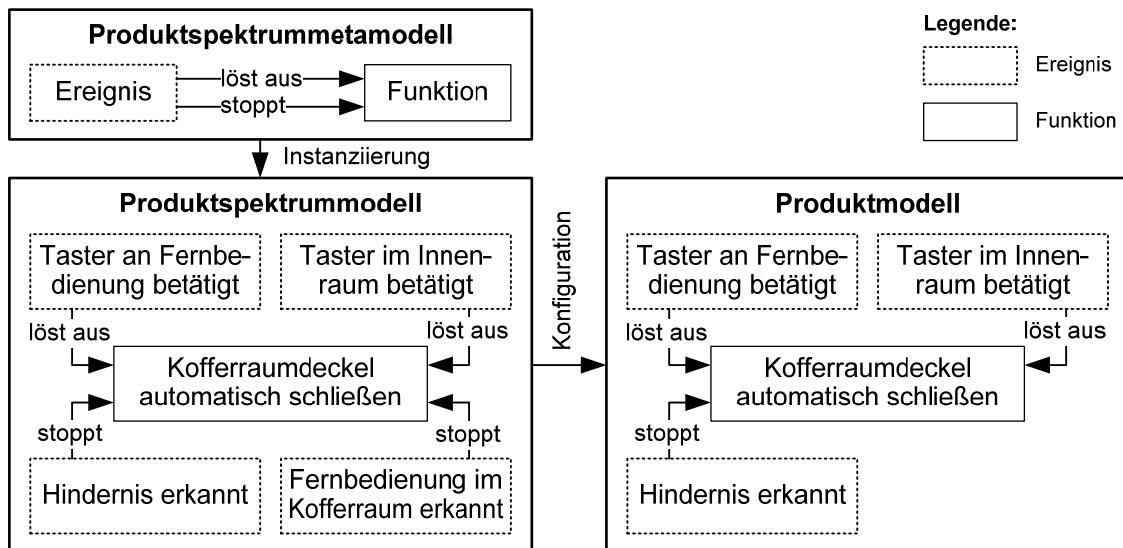


Bild 2-4: Zusammenhang zwischen einem Produktspektrummetamodell und einem Produktmodell

Im abgebildeten Produktspektrummetamodell wird beschrieben, dass Funktionen und Ereignisse modelliert und miteinander in Beziehung gesetzt werden: Funktionen können durch Ereignisse ausgelöst und gestoppt werden. Die Instanziierung und damit die Modellierung eines konkreten Produktspektrums führt zu dem Produktspektrummodell, in

⁸ Folgendes Beispiel veranschaulicht die Begriffe Produktspektrum und Produkt. Eine Baureihe eines Fahrzeuganbieters kann als Produktspektrum aufgefasst werden. Die Konfiguration und damit die Auswahl einer bestimmten Motorisierung, von Sonderausstattungen etc. führt zu einem konkreten Produkt.

dem einige konkrete Ereignisse definiert und mit der exemplarischen Funktion *Kofferraumdeckel automatisch schließen* verknüpft werden. Somit sind diese Ereignisse und diese Funktion im Produktspektrum vorhanden. Bei der Konfiguration wird bestimmt, welche dieser Elemente in einem konkreten Produkt und damit im Produktmodell vorhanden sind. Im abgebildeten Produktmodell wird beispielsweise das Ereignis *Fernbedienung im Kofferraum erkannt* nicht ausgewählt, so dass die Funktion im modellierten Produkt durch ein solches Ereignis nicht gestoppt wird.

Im Rahmen dieser Arbeit wird aus Gründen der Lesbarkeit ein Produktspektrummetamodell als Produktmodell bezeichnet. Zur Abgrenzung wird ein Produktspektrummodell als Beispiel bzw. als eine beispielhafte Ausprägung bezeichnet.

Funktionsorientiertes Produktmodell und Funktionsmodellierung

Eine Fokussierung auf die Funktionen eines Produkts führt zu einem funktionsorientierten Produktmodell. Alternativ wird das funktionsorientierte Produktmodell als Funktionsmodell bezeichnet. Dieses enthält die Beschreibung und Abbildung der Funktionen eines Systems in einem Modell [PL08]. Entsprechend wird hier der Vorgang des Modellierens als Funktionsmodellierung bezeichnet. Eine Funktionsmodellierung ist die Spezifikation von Modellen, welche die Funktionen und funktionalen Zusammenhänge beschreiben [Lee05].

Wissensrepräsentation

Mithilfe eines Produktmodells wird Wissen über ein Produkt repräsentiert. Die Wissensrepräsentation kann in diesem Zusammenhang als eine Menge von Konventionen zur Beschreibung von Dingen und Sachverhalten definiert werden [SK97]. Damit lässt sich ein Produktmodell in die in Bild 2-5 dargestellte sogenannte Wissenstreppe einordnen.

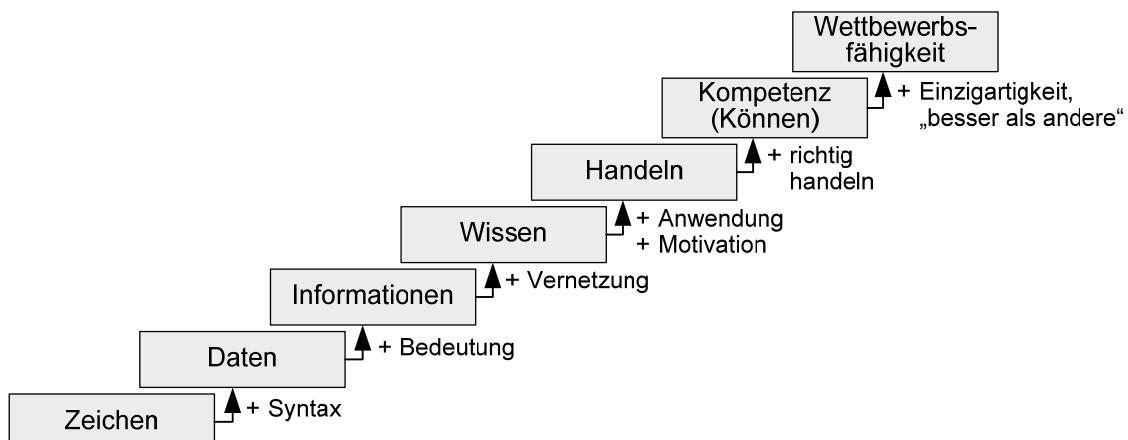


Bild 2-5: Die Wissenstreppe (in Anlehnung an [Lin08], [Nor05])

Ausgehend von Zeichen und Daten zeigt die Wissenstreppe über Informationen und Wissen den Weg zur Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Die Zeichen auf der un-

tersten Stufe der Treppe werden durch eine Ordnungsregel (Syntax) zu Daten. Daten sind noch nicht interpretierte Symbole wie beispielsweise Zahlen. Wenn Daten eine Bedeutung zugewiesen bekommen, werden sie zu Informationen. Werden diese wiederum vernetzt, entsteht Wissen. Damit kann ein Produktmodell als Wissen in die Treppe eingeordnet werden. Wissen versetzt ein Unternehmen über das Handeln und die richtigen Kompetenzen in die Lage, wettbewerbsfähig zu agieren [Lin08], [Nor05].

Die Einordnung von Produktmodellen in die Wissenstreppe zeigt, dass diese einen Baustein für den Unternehmenserfolg darstellen. Der Nutzen von Produktmodellen zeigt sich im Handeln, also in der Anwendung dieser Produktmodelle.

Nutzen

Der Begriff des Nutzens ist nicht präzise definiert. Allgemein wird unter Nutzen eine Vorteilhaftigkeit zur Erreichung eines Ziels verstanden [Zil01]. Im Rahmen dieser Arbeit ist der Nutzen eines funktionsorientierten Produktmodells wichtig. Dieser Nutzen ergibt sich aus der Verwendung des Modells bei bestimmten Handlungen im Unternehmensumfeld. Um den Nutzen eines funktionsorientierten Produktmodells zu bestimmen, muss also zuerst definiert werden, in welchen Anwendungsfällen bzw. Prozessen dieses sinnvoll verwendet werden kann.

Zur Bestimmung des Nutzens ist eine Einteilung in Kategorien hilfreich. Tabelle 2-1 zeigt häufig verwendete Unterscheidungsmerkmale bei der Kategorisierung von Nutzen (vgl. [Bur97], [GPW09], [Pie03]). Diese sind die Unmittelbarkeit der Wirkung, Quantifizierbarkeit und Monetarisierbarkeit. Die Monetarisierbarkeit stellt eine Unter- menge der Quantifizierbarkeit dar: Ein monetär bewertbarer Nutzen ist auch zwingend quantifizierbar, umgekehrt gilt dies jedoch nicht.

Tabelle 2-1: Unterscheidungsmerkmale bei der Kategorisierung von Nutzen

Unmittelbarkeit der Wirkung	Direkt: Nutzen ergibt und zeigt sich direkt an den durch eine Maßnahme betroffenen Stellen.	Indirekt: Nutzen ergibt sich nur mittelbar. Nutzen zeigt sich an Stellen, die durch eine Maßnahme nicht direkt betroffenen sind.
Quantifizierbarkeit	Quantifizierbar	Nicht quantifizierbar/ Qualitativ
Monetarisierbarkeit	Monetär bewertbar	Monetär nicht bewertbar

Produktlebenszyklus

In der vorliegenden Arbeit wird ein bestimmter Ausschnitt aus dem gesamten Produktlebenszyklus betrachtet. Zur Einordnung soll deshalb zuerst eine Erläuterung des Begriffs Produktlebenszyklus erfolgen. In der Wissenschaft existieren mehrere unterschiedliche Interpretationen dieses Begriffs [Köl99]. So wird z.B. die marketingorientierte Sichtweise vielfach diskutiert. Diese betrachtet vor allem den Verlauf der Erlöse eines Produkts am Markt, gekennzeichnet durch die Abschnitte Einführung, Wachstum,

Reife, Sättigung und Rückgang (vgl. z.B. [SS95]). Im Rahmen dieser Arbeit ist der Produktlebenszyklus als eine Abfolge von Prozessen bzw. von Phasen von Interesse.

Der Produktlebenszyklus von Serienprodukten besteht aus fünf Phasen (Bild 2-6). Die Produktentstehung, der Serienanlauf und die Serienproduktion laufen sequentiell ab. Zeitlich parallel zur Serienproduktion finden die Nutzung der Produkte auf der Abnehmerseite und die Produktpflege seitens des Abnehmers statt [Ass00].

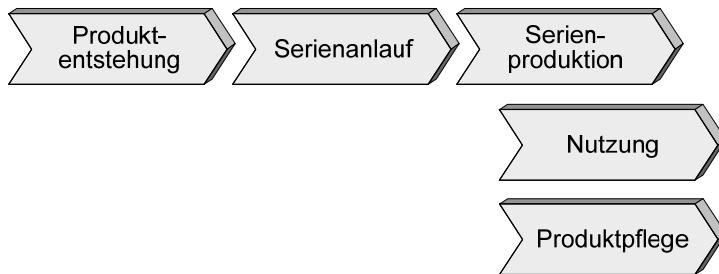


Bild 2-6: Phasen im Produktlebenszyklus (in Anlehnung an [Ass00])

Die Phase der Produktentstehung umfasst nach dem von GAUSEMEIER definierten 3-Zyklen-Modell die strategische Produktplanung, die Produktentwicklung und die Produktionssystementwicklung (Bild 2-7). Die strategische Produktplanung besteht aus den Aufgabenbereichen Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung. Ziel ist eine Erfolg versprechende Produktkonzeption. Diese dient in der nachfolgenden Phase, der Produktentwicklung, als Ausgangsbasis für den domänen spezifischen Entwurf und die entsprechende Ausarbeitung. Die domänen spezifischen Ergebnisse werden zu einer Gesamtlösung integriert. In der Phase der Produktentwicklung spielt die Bildung und Analyse von rechnerinternen Modellen eine wichtige Rolle [GPW09].

Nach der Produktentwicklung erfolgt die Produktionssystementwicklung. Für die Produktionssystementwicklung werden unterschiedliche Begriffe verwendet: Arbeitsvorbereitung, Arbeitsplanung, Fertigungsplanung, Produktionsplanung oder technische Produktionsplanung [Eve02], [GHK+06], [Zen06]. In der Automobil- und Zuliefererindustrie wird der Begriff der Produktionsplanung bevorzugt eingesetzt [Zen06]. Die Produktionssystementwicklung bzw. Produktionsplanung erfolgt vor der eigentlichen Produktion. Im Gegensatz dazu beschäftigt sich die Produktionsplanung und -steuerung (PPS), ein betriebswirtschaftlich geprägter Begriff, mit der Unterstützung des Ablaufs bei der Produktion in einem bereits existierenden Produktionssystem.

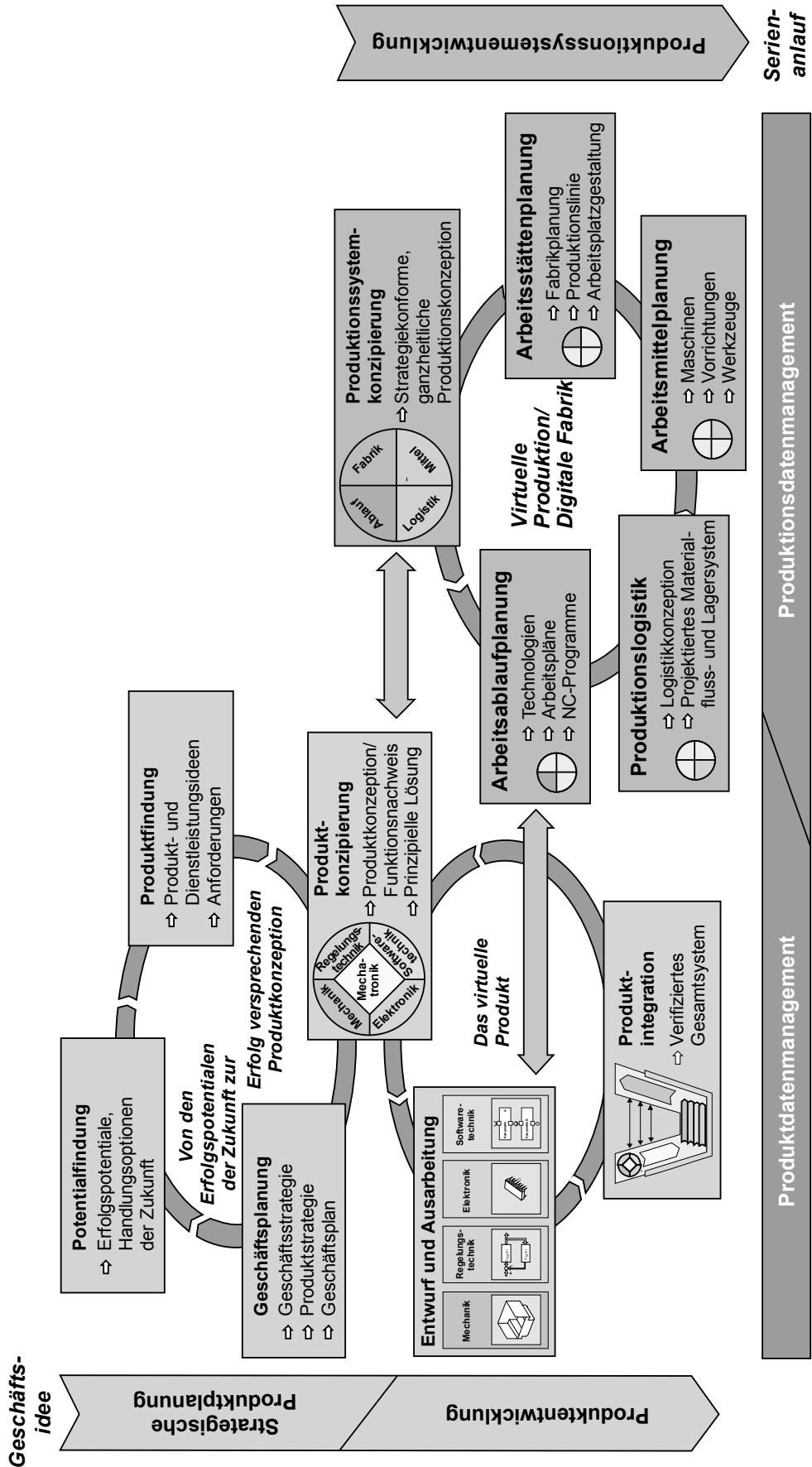


Bild 2-7: 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung [GPW09]

Die Produktionssystementwicklung schließt alle einmalig durchzuführenden Maßnahmen bezüglich der Gestaltung des Produktionssystems und der Produktionsprozesse ein. Dies umfasst, basierend auf einer Konzipierung des Produktionssystems, die Aufgabenbereiche Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Arbeitsstättenplanung und Produktionslogistik [GPW09]. Im Rahmen der Arbeitsablaufplanung erfolgt die Prüfplanung. Diese umfasst die Planung von Prüfungen in der Produktion zur Qualitätssicherung unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit [Dan01].

Die vorliegende Arbeit fokussiert auf den Produktlebenszyklus beginnend mit der Produktionssystementwicklung. Die strategische Produktplanung und die Produktentwicklung werden nicht betrachtet.

2.2 Automotive Elektrik/Elektronik-Systeme

Im Folgenden wird die Rolle von E/E-Systemen im Automobilbereich dargestellt und der Aufbau von E/E-Systemen erläutert. Abschließend werden die relevanten Charakteristika von E/E-Systemen aufgezeigt und damit die Notwendigkeit von funktionsorientierter Modellierung motiviert.

2.2.1 Bedeutung von Elektrik/Elektronik-Systemen im Automobilbereich

In den letzten Jahren wurde im Kraftfahrzeuggbereich eine hohe Innovationsdichte vor allem durch Fortschritte auf dem Gebiet der E/E-Systeme erzielt. Auch der Anteil von E/E-Systemen am Gesamtfahrzeugwert hat kontinuierlich zugenommen und steigt weiterhin an. Aus diesen Gründen bezeichnet BRAESS die zunehmende Bedeutung von E/E-Systemen als den wichtigsten Paradigmenwechsel im bisherigen Automobil [Bra06].

Mit der steigenden Leistungsfähigkeit von E/E-Systemen hat eine deutliche Zunahme von Funktionen in Fahrzeugen stattgefunden [All07]. E/E-Systeme eröffnen das Potential, Funktionen flexibler sowie günstiger zu realisieren. Eine zusätzliche Motivation für den zunehmenden Einsatz von E/E-Systemen stellen Verbesserungspotentiale in den Bereichen Sicherheit, Umwelt und Komfort dar. Im Folgenden wird an einigen Beispielen kurz dargestellt, welche Verbesserungen durch den Einsatz von E/E-Systemen in diesen drei Bereichen entstehen.

Bei der Sicherheit eines Fahrzeugs kann zwischen aktiver und passiver Sicherheit unterschieden werden. Funktionen, die auf die normale Fahrsituation und auf die Phasen vor einem Unfall abzielen, werden der aktiven Sicherheit zugeordnet. Das Ziel ist die Verhinderung eines Unfalls. Als Beispiele sind hier Funktionen zur Überwachung des Spurhaltens, zur Regelung der Fahrdynamik und zur automatischen Notbremsung zu nennen. Diese Funktionen wären ohne den Einsatz von E/E-Systemen nicht realisierbar. Im Forschungsstadium befindliche Funktionen wie das automatische Ausweichen bei einem plötzlichen Auftauchen von Fußgängern zeigen, dass auf dem Gebiet der aktiven Sicherheit auch in Zukunft noch mit umfangreichen Fortschritten zu rechnen ist [Juc09].

Bei der passiven Sicherheit liegt der Fokus auf den Phasen während eines Unfalls und den Phasen nach einem Unfall. Ziel ist die Reduzierung der Schwere von Unfallfolgen. Beispiele für den erfolgreichen Serieneinsatz von E/E-Systemen sind Airbag-Systeme und Fußgängerschutzfunktionen wie beispielsweise aktive Motorhauben. Auch hier zeigen Systeme wie Sitze mit Luftkammern, welche die Insassen bei einem Unfall aus der Gefahrenzone wegdrücken, dass in der Zukunft mit weiteren Verbesserungen zu rechnen ist [Gei09].

Die Steigerung der Umweltverträglichkeit ist ein weiterer Motivationsfaktor für den zunehmenden Einsatz von E/E-Systemen. Die aktuellen Emissionsvorschriften sind ohne elektronische Motorsteuerung nicht erfüllbar. Der zur Reduzierung von Emissionen essentielle Katalysator arbeitet nur bei Einhaltung eines definierten Luft-Kraftstoff-Verhältnisses und einer bestimmten Temperatur. Diese Voraussetzungen können nur mit E/E-Systemen gewährleistet werden [WR06]. In den letzten Jahrzehnten konnte durch Einsatz von E/E-Systemen im deutschen Straßenverkehr beispielsweise bei den CO- und HC-Emissionen eine Reduktion um 90 Prozent erzielt werden [SV09].

Neben Sicherheits- und Umweltaspekten stellen auch neue Komfortfunktionen einen Grund für die zunehmende Bedeutung von E/E-Systemen dar. Beispiele sind hier Funktionen zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit, des Klimas im Fahrzeug bis hin zu automatisch betätigten Heckklappen.

2.2.2 Aufbau von Elektrik/Elektronik-Systemen

Die so genannten E/E-Systeme von Kraftfahrzeugen bestehen aus Komponenten folgender Domänen:

- **Elektrik:** Elektrik umfasst Komponenten, die zur Funktionserfüllung elektromechanische Wirkprinzipien nutzen. Beispiele hierfür sind Schalter, Elektromotoren, Relais und Lampen [Jen02].
- **Elektronik:** Elektronik umfasst Komponenten, bei denen zur Funktionserfüllung elektronische Wirkprinzipien zur Anwendung kommen. Beispiele hierfür sind Steuergeräte sowie intelligente Sensoren und Aktoren⁹ [Jen02].

⁹ Im einfachsten Fall erfolgt beispielsweise in einem Sensor nur die Umwandlung einer nicht-elektrischen Messgröße in ein elektrisches Ausgangssignal. Es können jedoch auch weitere Prozessschritte, die zur Nutzung des Ausgangssignals in einem Steuergerät notwendig sind, in einen Sensor integriert werden. Dies kann von der Signalaufbereitung, der Analog-Digital Wandlung bis hin zur Einbindung eines Mikrocontrollers zur Anbindung an ein Bussystem reichen [Rei07]. Die „Intelligenz“ eines Sensors bzw. Aktors steigt somit sukzessiv an.

- **Software:** Mit dem Begriff Software werden Bestandteile zusammengefasst, die zur Funktionserfüllung elektronisch gespeicherte Programme nutzen. Diese werden in der Regel auf einem Steuergerät ausgeführt [Jen02].

Der grundsätzliche Aufbau von E/E-Systemen ist in Bild 2-8 dargestellt. Außerhalb eines E/E-Systems liegt die mechanische Struktur. Diese wirkt über Sensoren auf das E/E-System ein. Sensoren dienen der Erfassung von Messgrößen der mechanischen Struktur oder auch der Umgebung. Die Wirkungsweise von Sensoren liegt in der Wandlung von meist nicht-elektrischen Eingangsgrößen in elektrische Ausgangsgrößen. Deshalb werden Sensoren auch als Wandler bezeichnet [Rei07]. Die von Sensoren erfassten Informationen werden an die Informationsverarbeitung weitergeleitet. Die für die Informationsverarbeitung zuständigen Komponenten werden als Steuergeräte bezeichnet. Diese bestimmen die notwendigen Einwirkungen auf das System, die wiederum von Aktoren umgesetzt werden.

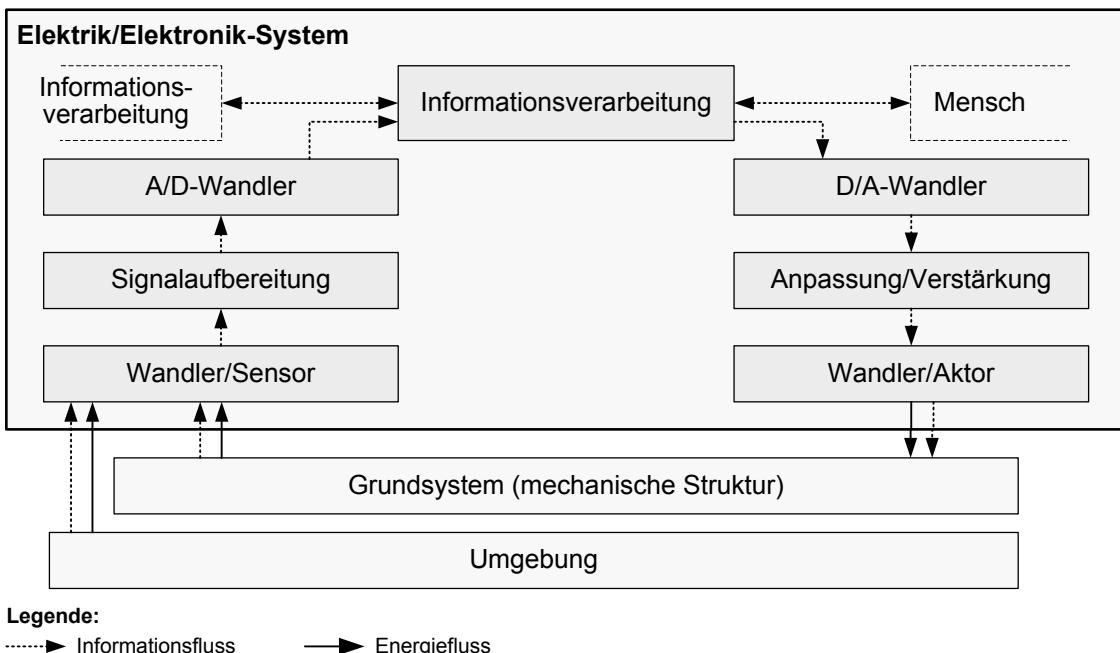


Bild 2-8: Grundsätzlicher Aufbau von E/E-Systemen (in Anlehnung an [GEK01])

Die Kommunikation zwischen Steuergeräten und teilweise auch die Anbindung von Sensoren und Aktoren erfolgt in modernen Fahrzeugen über Bussysteme. Bis Ende der achtziger Jahre bestanden die E/E-Systeme in Fahrzeugen aus einzelnen, nicht vernetzten Steuergeräten. Ab diesem Zeitpunkt markierte die Einführung des CAN-Busses den Beginn eines komplexen Verbunds vernetzter Komponenten [Rei07]. Mit der Einführung von Bussystemen sollte der Verkabelungsaufwand reduziert werden [MT08]. Zudem wurden damit neue Möglichkeiten zur Realisierung von übergreifenden Funktionen geschaffen [Rei07]. Dies wird vor allem dadurch ermöglicht, dass die in einem Bussystem von einem Steuergerät gesendeten Nachrichten von allen anderen Steuergeräten empfangen werden können [ZS07].

In Bild 2-9 ist das Bussystem eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs dargestellt. Bei der On-Board Kommunikation erfolgt der Informationsaustausch zwischen den Steuergeräten im Fahrzeug. Bei der Off-Board Kommunikation findet der Austausch mit externen Werkzeugen beispielsweise zur Fehlersuche und für Abgasprüfungen statt [ZS07]. Das Bussystem besteht aus einzelnen Bussen, die jeweils auf einer für den jeweiligen Anwendungszweck geeigneten Busart basieren. Beispiele sind hier das weitverbreitete CAN (Controller Area Network) und MOST (Media Oriented Systems Transport). Die Kommunikation zwischen den Einzelbussen wird über sogenannte Gateways ermöglicht.

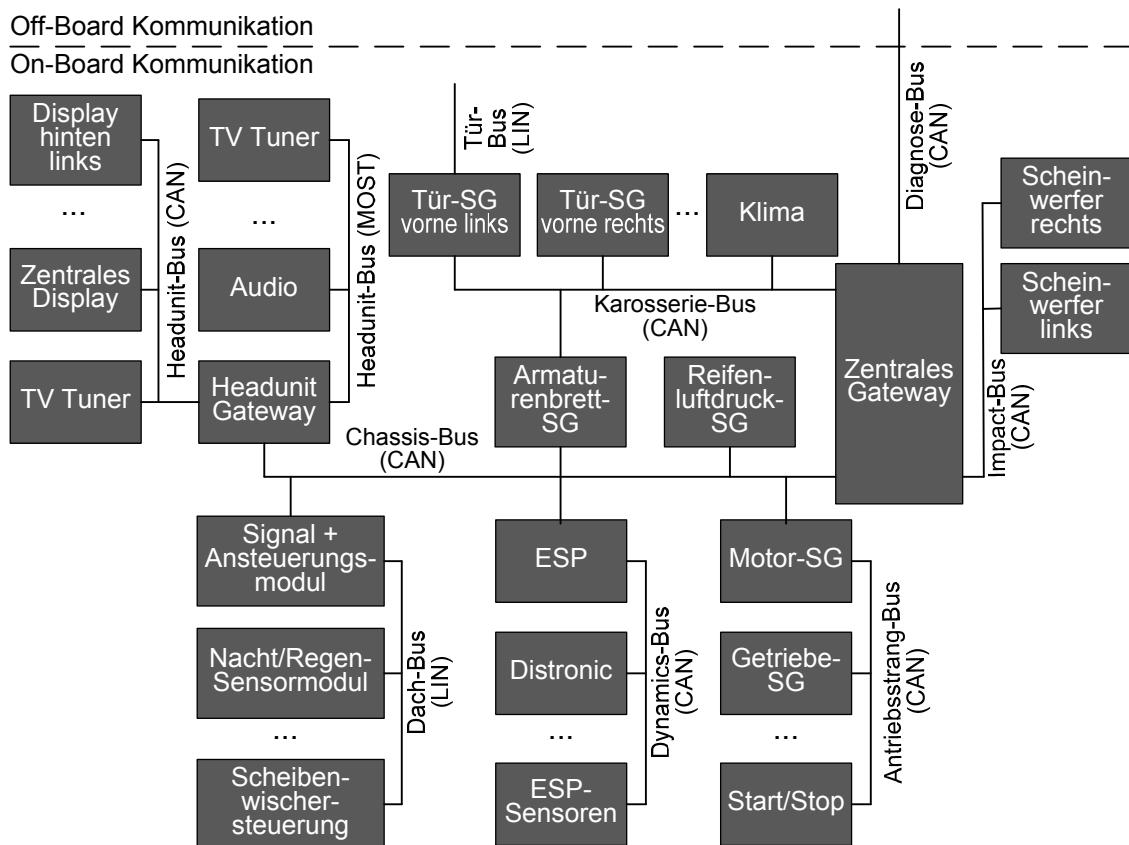


Bild 2-9: Bussystem eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs

2.2.3 Charakteristika von Elektrik/Elektronik-Systemen

Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Charakteristika von E/E-Systemen dargestellt. Dies sind Intransparenzen bezüglich der enthaltenen Funktionen und deren Verhalten aus Anwender- bzw. Kundensicht, der Funktionsweise aus logischer Sicht sowie der beteiligten Komponenten.

2.2.3.1 Intransparenz in Bezug auf vorhandene Funktionen aus Anwendersicht

Die Transparenz bezüglich der in Fahrzeugen vorhandenen Funktionen hat im Vergleich zu mechanik-dominierten Fahrzeugen durch den zunehmenden Einsatz von E/E-Komponenten abgenommen. Bei mechanischen Systemen sind die Funktionen meist direkt sichtbar, wohingegen diese bei E/E-Systemen nicht direkt sichtbar sind [Eis99]. Grund hierfür ist, dass bei E/E-Systemen viele Funktionen nicht über dedizierte Komponenten, sondern durch eine geschickte Verknüpfung von Komponenten realisiert werden. Diese Komponenten setzen wiederum eine Vielzahl von Funktionen um. In der Systemtechnik wird in diesem Zusammenhang von emergenten Funktionen gesprochen, da diese erst durch das Zusammenspiel einzelner Systembestandteile existieren, nicht aber durch die Summe aller Systembestandteile selbst [MT08].

EISENHUT sieht einen direkten Zusammenhang zwischen der Transparenz bezüglich vorhandener Funktionen eines Produkts auf der einen Seite und der Vernetzungsdichte zwischen Funktionen und Komponenten auf der anderen Seite. Je größer die Vernetzungsdichte, desto weniger transparent ist der Funktionsumfang. Bei mechanischen Systemen ist die Vernetzungsdichte niedrig, während diese bei E/E-Systemen hoch ist [Eis99]. Wenn also eine neue Funktion realisiert wird, erfolgt dies häufig nicht durch den Einsatz neuer, dedizierter Komponenten, sondern durch eine Ausnutzung der Fähigkeiten vorhandener Komponenten. Dies wird am Beispiel der Funktion *Blinken* deutlich (Bild 2-10).

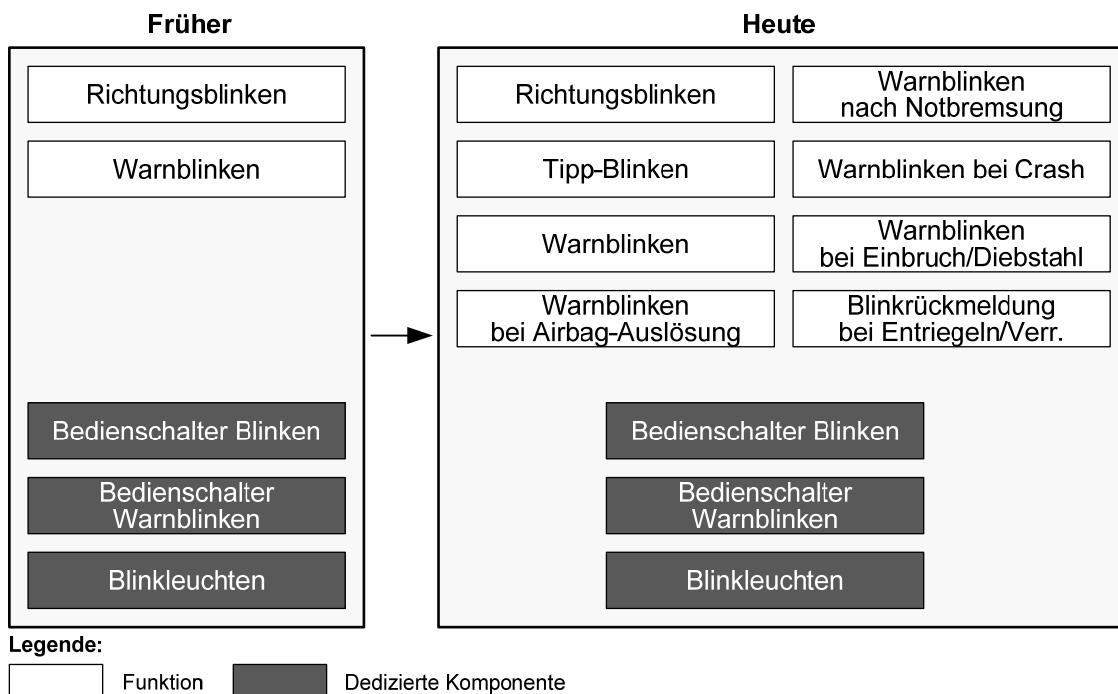


Bild 2-10: Vergleich der Funktion „Blinken“ und der dedizierten Komponenten bei früheren und heutigen Fahrzeugen

Bei aktuellen Fahrzeugen sind hier viele Funktionen hinzugefügt worden, obwohl keine Komponente hinzugekommen ist, die nur für die Funktion *Blinken* zuständig ist. Damit wird deutlich, dass die hinzugekommenen Funktionen durch das Zusammenspiel anderer, nicht nur für das Blinken zuständiger Komponenten realisiert werden. Deshalb kann durch die bloße Betrachtung der in einem Fahrzeug enthaltenen Komponenten nicht auf die realisierten Funktionen geschlossen werden¹⁰.

2.2.3.2 Intransparenz in Bezug auf die Funktionsweise

Aus der hohen Vernetzung innerhalb von E/E-Systemen resultiert neben der Intransparenz bezüglich vorhandener Funktionen auch eine mangelnde Transparenz bezüglich der Realisierung von Funktionen auf einer logischen Ebene: Aus einer Betrachtung von Komponenten kann bei manchen Funktionen nicht auf die Funktionsweise geschlossen werden. Beispielsweise kann die Funktion *Warnung bei Reifenluftdruckverlust ausgeben* realisiert werden, indem die Umdrehungsfrequenzen vom linken und rechten Rad einer Achse verglichen werden (Bild 2-11). Wenn die Differenz in einem kurzen Zeitabschnitt außerhalb eines bestimmten Toleranzbereichs gerät, ohne dass sich das Fahrzeug in einer Kurve befindet, ist von einem unzulässig schnellen Luftdruckverlust in einem der Reifen auszugehen. Ein Luftdruckverlust wird also indirekt erfasst. Der Fahrer wird in diesem Fall mit einer Meldung im Fahrzeugdisplay gewarnt. Dieser Realisierungsansatz wird bei alleiniger Betrachtung der Sensoren für die Erfassung der Umdrehungsfrequenzen nicht deutlich. Die Funktionsweise ist in diesem Fall also bei einer bauteilorientierten Produktdokumentation nicht transparent.

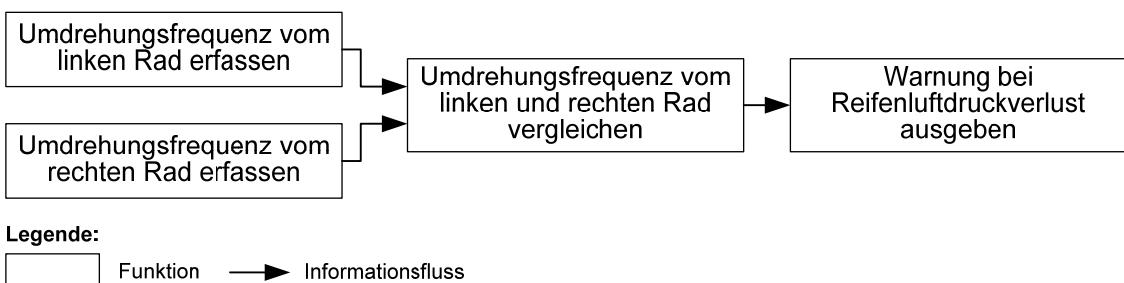


Bild 2-11: Funktionsweise der Funktion „Warnung bei Reifenluftdruckverlust ausgeben“

¹⁰ In der Konstruktionstechnik wird in diesem Zusammenhang zwischen Funktionsintegration und Funktionsdifferenzierung unterschieden. Das Prinzip der Funktionsintegration drückt aus, dass eine Komponente zwei oder mehrere Funktionen erfüllt. Im Gegenzug existiert bei der Funktionsdifferenzierung im Extremfall für jede Funktion eine eigene Komponente [PL08]. Somit herrscht bei E/E-Systemen die Funktionsintegration vor. Alternativ zu diesen Begriffen wird auch von Funktionsvereinigung und Funktionstrennung sowie von gekoppeltem und entkoppeltem Design gesprochen [Ehr09], [Suh90].

2.2.3.3 Intransparenz in Bezug auf die Realisierung durch Komponenten

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, dass die Funktionsweise von einigen Funktionen bei E/E-Systemen nicht offensichtlich ist. Ebenso ist es nicht immer ersichtlich, durch welche Komponenten eine bestimmte Funktion realisiert wird. Relativ einfach ist hingegen die Identifikation von solchen Beziehungen bei Sensoren und Aktoren, die in erster Linie für die jeweils betrachtete Funktion eingesetzt werden. Dies trifft beispielsweise bei Drucksensoren in Reifen zu, wenn diese im Unterschied zu der in Bild 2-11 dargestellten Lösung direkt den Luftdruck messen und auf dieser Basis im Gefahrenfall eine Warnung erfolgt. Bei Sensoren, die für viele Funktionen genutzt werden, ist die Transparenz bezüglich realisierter Funktionen dagegen gering. Dies gilt auch bei Komponenten, die zwischen Sensoren und Aktoren die Rolle der Informationsverarbeitung einnehmen (vgl. Bild 2-8).

In Bild 2-12 wird die Intransparenz in Bezug auf die Realisierung durch Komponenten an einem konkreten Beispiel verdeutlicht. Dargestellt sind die an der Funktion *Richtungsblinken* und weiteren Blinkfunktionen beteiligten Komponenten bei einem aktuellen Fahrzeugmodell. Während in Fahrzeugen vor einigen Jahrzehnten die Funktion *Richtungsblinken* nur durch den Bedienschalter, ein Blinkerrelais sowie die Blinkleuchten realisiert wurde, sind heute an dieser Funktion mehr als zehn Komponenten beteiligt. Neben dedizierten Komponenten wie dem Bedienschalter und den Blinkleuchten sind auch Komponenten wie das Steuergerät Airbag beteiligt, die auf den ersten Blick der Funktion nicht zugeordnet würden.

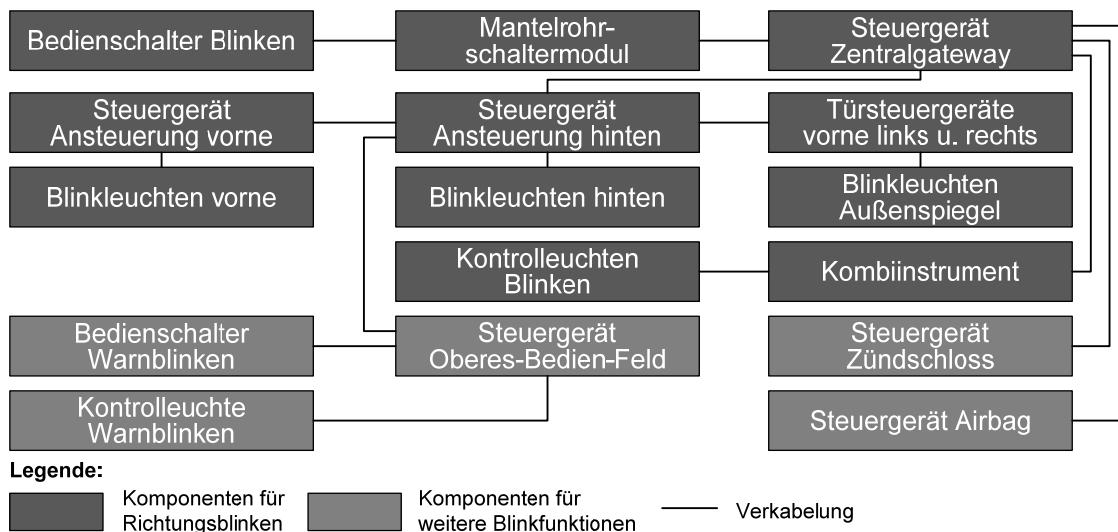


Bild 2-12: Komponenten für Blinkfunktionen in einem aktuellen Fahrzeugmodell

2.3 Funktionsorientierung im Produktlebenszyklus

In diesem Abschnitt wird die Rolle der Funktionsorientierung und der funktionsorientierten Modellierung entlang des Produktlebenszyklus dargestellt. Dies dient in Verbin-

dung mit dem Abschnitt 2.2 der Ausleitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik.

2.3.1 Kundenperspektive und Funktionsorientierung

Der Stellenwert von Kunden bei der Gestaltung von Unternehmenstätigkeiten hat in den letzten Jahren zugenommen. Das Ziel ist, aus einer Fokussierung auf den Kunden einen ökonomischen Nutzen zu ziehen. Der Weg dahin wird als Erfolgskette der Kundenorientierung bezeichnet. Das erste Glied dieser Wirkungskette ist die Kundenausrichtung. Diese bezeichnet die Fähigkeit eines Unternehmens, die Erwartungen an die Leistungen oder Produkte aus Kundensicht kontinuierlich zu erfassen und in Unternehmensleistungen umzusetzen. Grundlage für die Kundenorientierung ist daher die Berücksichtigung der Kundenperspektive in allen Geschäftsprozessen des Unternehmens. Eine erfolgreich betriebene Kundenorientierung mündet in einer hohen Kundenzufriedenheit, dem zweiten Glied der Wirkungskette. Die Kundenzufriedenheit ergibt sich aus Kundensicht aus dem Vergleich der Erwartungen mit den tatsächlichen Leistungen. Eine hohe Kundenzufriedenheit führt zu einer hohen Kundenbindung. Diese wiederum stellt die Grundlage für den Kundenwert dar. Der Kundenwert beschreibt die Profitabilität einer Kundenbeziehung und stellt das letzte Glied der Erfolgskette der Kundenorientierung dar [Bru06].

Aus Produktsicht bildet eine Abbildung von Funktionen die Grundlage für die Kundenorientierung und damit für den Einstieg in die dargestellte Erfolgskette. Die Kundenperspektive wird durch die Modellierung von Funktionen auf der Anwenderebene wiedergegeben. Die in einem Fahrzeug enthaltenen Komponenten sind für den Kunden hingegen von untergeordneter Bedeutung [SJ09]. Damit schafft die Modellierung von Funktionen die Basis für die Berücksichtigung der Kundenperspektive in den Geschäftsprozessen eines Unternehmens.

2.3.2 Funktionsmodellierung bei etablierten Entwicklungsmethodiken

Die Modellierung von Funktionen bei der Entwicklung von Produkten ist Gegenstand mehrerer Entwicklungsmethodiken. Daher werden im Folgenden relevante Ausschnitte aus drei bekannten Methodiken dargestellt: Die Entwicklungsmethodik nach PAHL/BEITZ für vorwiegend maschinenbauliche Produkte, die VDI Richtlinie 2206 für mechatronische Produkte sowie eine beispielhafte Darstellung der Entwicklung von E/E-Systemen im Automobilbereich [PBF+05], [VDI2206], [Rei07].

Die Entwicklungsmethodik nach PAHL/BEITZ ist im Bereich maschinenbaulicher Erzeugnisse weit verbreitet. Andere etablierte Vorgehensmodelle in diesem Bereich ähneln dem Ansatz von PAHL/BEITZ [Köc04]. Zudem basieren auch Teilespekte von Entwicklungsmethodiken aus der Mechatronik wie beispielsweise der VDI Richtlinie

2206 auf diesem Ansatz. Daher wird im Folgenden ein kurzer Einblick in die relevanten Phasen der Entwicklungsmethodik gegeben (Bild 2-13).

In der ersten Phase erfolgt eine **Klärung der Aufgabenstellung**. Das Ergebnis dieser Phase ist die Anforderungsliste. Beim **Entwickeln der prinzipiellen Lösung** wird zuerst durch Abstrahieren das Wesentliche der Aufgabenstellung identifiziert, um die passenden Entwicklungsschwerpunkte setzen und unvoreingenommen nach Lösungen suchen zu können. Im nächsten Schritt wird die Gesamtfunktion des zu entwickelnden Produkts definiert und diese zur Komplexitätsreduktion in Teilfunktionen zerlegt. Die einzelnen Teilfunktionen werden untereinander mit Stoff-, Signal- und Energieflüssen verbunden. Anschließend werden für die Teilfunktionen Wirkprinzipien gesucht. Wirkprinzipien beschreiben grundlegende Prinzipien zur Erfüllung von Funktionen, beispielsweise durch physikalische Effekte. Wirkprinzipien werden zu einer oder mehreren konsistenten Wirkstrukturen verknüpft. In weiteren Schritten erfolgt dann eine Konkretisierung der prinzipiellen Lösung aus der Wirkstruktur zum finalen Produkt [PBF+05].

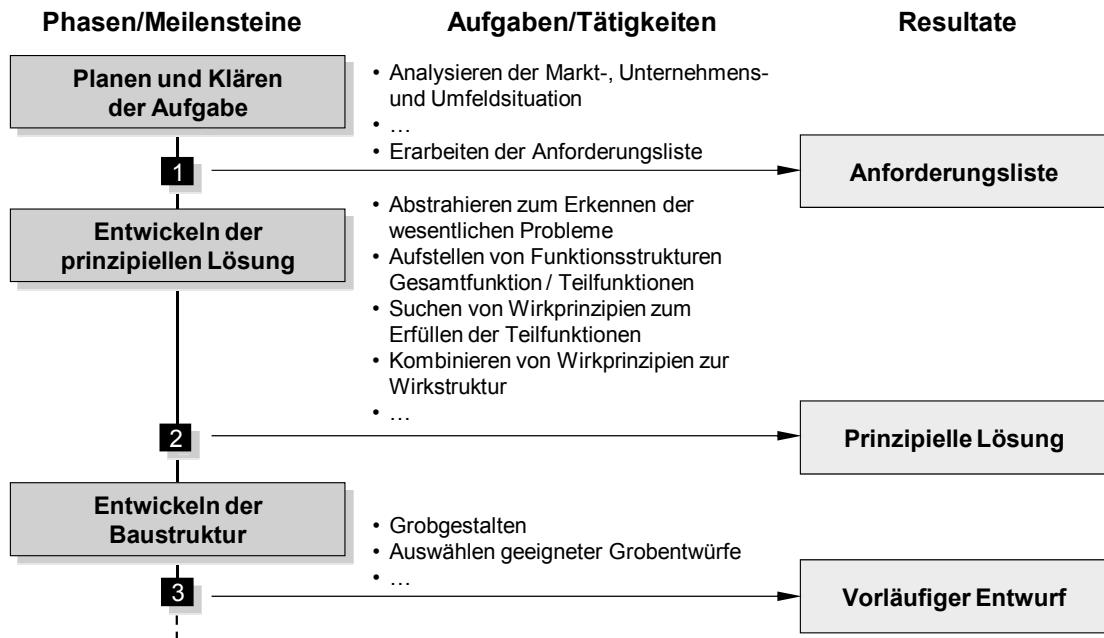


Bild 2-13: Die ersten drei Phasen in der Entwicklungsmethodik nach PAHL/BEITZ [PBF+05]

Im Bereich von Entwicklungsmethodiken für mechatronische Erzeugnisse stellt die VDI Richtlinie 2206 *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme* einen Konsens dar und hat breite Anwendung gefunden [Ste07], [Mic06]. Als Richtlinie für das grundsätzliche Vorgehen wird das aus der Softwaretechnik übernommene und an die Erfordernisse der Mechatronik angepasste V-Modell vorgeschlagen. Die darin enthaltenen Schritte sind in Bild 2-14 dargestellt.

Ausgangspunkt für die Entwicklung stellt ein konkreter Entwicklungsauftrag in Form von **Anforderungen** dar. Diese bilden auch den Vergleichsmaßstab zur Bewertung des

späteren Produkts. Im **Systementwurf** wird die domänenübergreifende Prinzipiellösung festgelegt. Die dazugehörigen Tätigkeiten orientieren sich weitgehend an dem Ansatz von PAHL/BEITZ. Die Gesamtfunktion des Systems wird in Teifunktionen zerlegt. Anschließend werden für diese Teifunktionen geeignete Wirkprinzipien oder Lösungselemente bestimmt. Auf Grundlage der domänenübergreifenden Prinzipiellösung erfolgt beim **Domänen spezifischen Entwurf** eine Konkretisierung mit den jeweils etablierten Methoden. Die Teilergebnisse aus den jeweiligen Domänen werden in der **Systemintegration** zu einem Gesamtsystem integriert und das Zusammenwirken untersucht. Bei der **Eigenschaftsabsicherung** wird der Reifegrad des Systems während des Entwicklungsprozesses laufend anhand der Anforderungen und des Systementwurfs kontrolliert. Die **Modellbildung und -analyse** unterstützt die Entwicklung durch den Einsatz von Modellen und Simulationswerkzeugen.

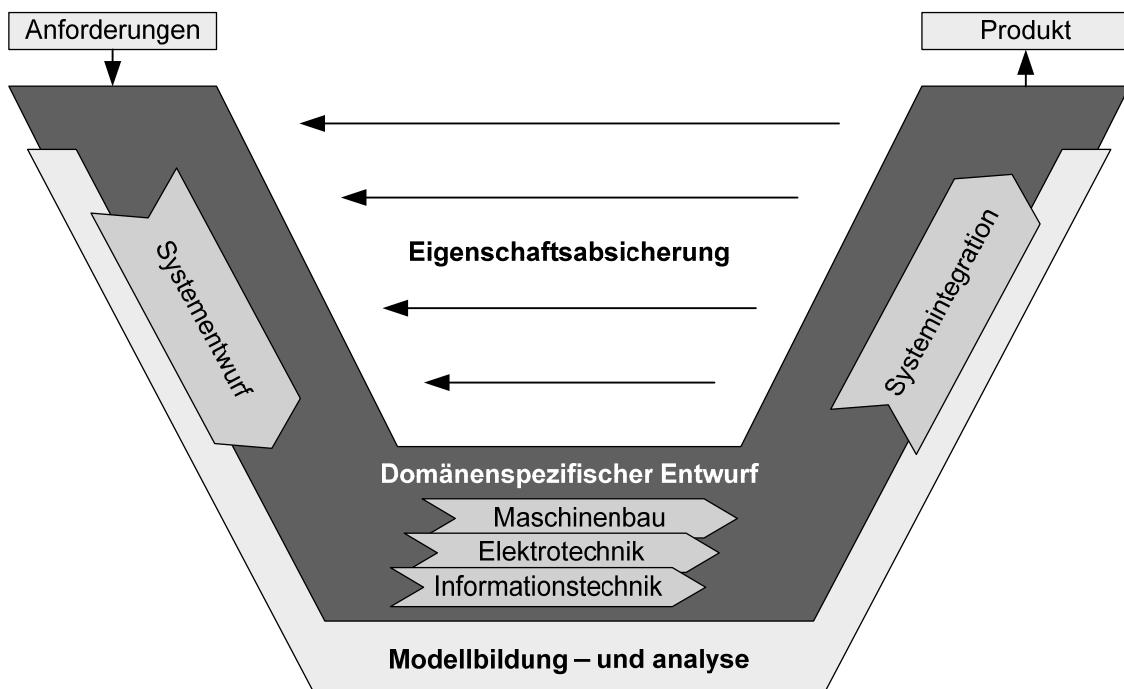


Bild 2-14: Das grundsätzliche Vorgehen in der VDI Richtlinie 2206 als V-Modell [VDI2206]

Das Ergebnis der skizzierten Phasen ist ein **Produkt**. Dieses muss allerdings nicht unbedingt ein für den Endkunden reifes Produkt sein. Vielmehr kann das Ergebnis eine bestimmte Stufe auf dem Weg zum Endergebnis darstellen. Gerade bei komplexen Produkten sind somit durchaus mehrere Durchläufe des V-Modells zur endgültigen Produktreife nötig [VDI2206].

Abschließend wird die Vorgehensweise bei der Entwicklung von E/E-Systemen im Automobilbereich dargestellt. Die wesentlichen Schritte werden in Bild 2-15 gezeigt [Rei07].

Als Ausgangspunkt dienen, wie auch schon bei den vorherigen Entwicklungsmethodiken, **Anforderungen** bzw. die erwarteten Funktionen aus Kundensicht an das zu entwickelnde System. Auf Grundlage der Anforderungen werden die Funktionen bei der **Spezifikation der logischen Systemarchitektur** auf einer logischen Ebene definiert und miteinander vernetzt. Im Gegensatz zu den weiter oben beschriebenen Entwurfsmethodiken bestehen hier zwischen den Funktionen zwar Signal- und Energieflüsse, jedoch keine Stoffflüsse. Bei der **Spezifikation der technischen Systemarchitektur** werden die realisierenden Steuergeräte und Aktoren sowie Sensoren festgelegt. Zusätzlich erfolgt eine Partitionierung, in dem die Funktionen aus dem vorherigen Schritt auf die Komponenten verteilt werden. Somit entspricht dieser Schritt zusammen mit der Spezifikation der logischen Systemarchitektur prinzipiell der Phase Systementwurf in der VDI-Richtlinie 2206.

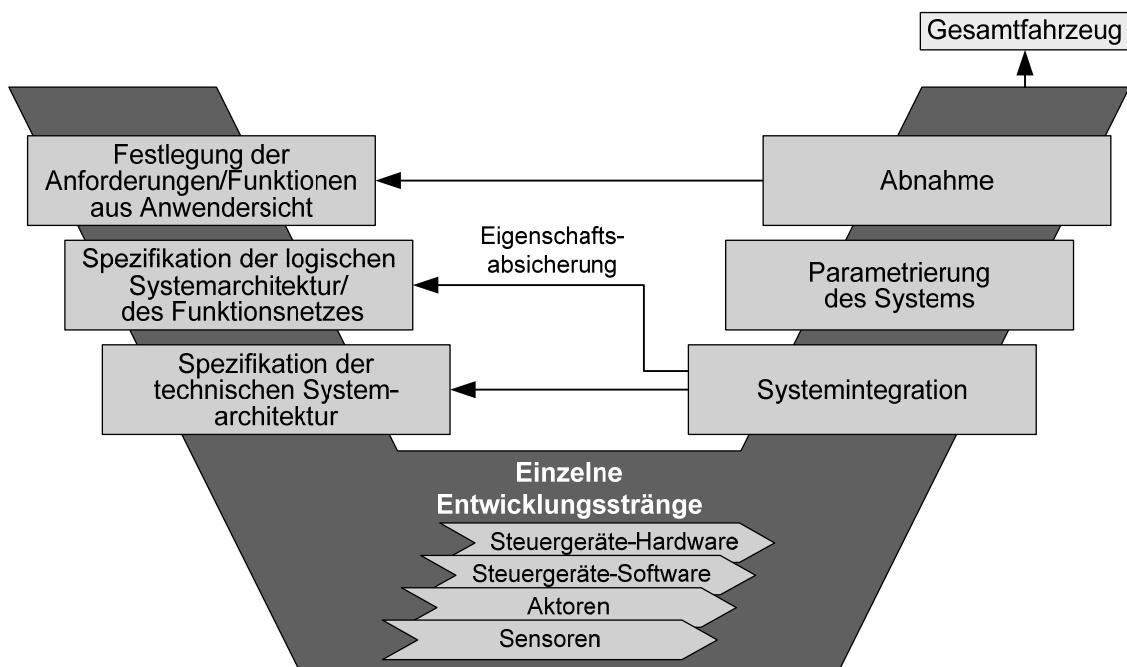


Bild 2-15: Entwicklungsprozess bei E/E-Systemen im Automobilbereich (in Anlehnung an [Rei07])

Nach der Spezifikation des Gesamtsystems wird der Entwicklungsprozess in **einzelne Entwicklungsstränge** aufgeteilt. So kann die Entwicklung von der Steuergeräte-Hardware und -Software sowie den Aktoren und Sensoren unabhängig voneinander in eigenen V-Modell-Zyklen durchlaufen werden.

Die **Systemintegration** der einzelnen Entwicklungsstränge erfolgt schrittweise. Zunächst werden die Steuergeräte-Hardware und -Software zusammengeführt. Anschließend müssen Aktoren und Sensoren eingebunden werden. Hierzu werden einzelne Verbünde von Steuergeräten und Aktoren sowie Sensoren aufgebaut und getestet. Diese Verbünde bzw. Systeme stellen nur einen Ausschnitt aus dem Gesamtfahrzeug dar, da eine direkte Integration zu einem Gesamtfahrzeug zu komplex und kostenintensiv wäre.

Die in einem aufgebauten System im Vergleich zum Gesamtfahrzeug fehlenden Komponenten müssen daher durch passende Modelle nachgebildet werden. Abschließend werden die einzelnen Systeme zum Gesamtfahrzeug integriert. Bei der **Parametrierung des Systems** erfolgt die Feinabstimmung der realisierten Funktionen über Modifikationen an der Software. Der Entwicklungsprozess birgt eine Reihe von potentiellen Fehlerquellen. Zudem führt das Durchlaufen der vielen Schritte im Entwicklungsprozess zu einer Distanz zu den ursprünglichen Anforderungen bzw. Funktionen aus Anwendersicht. Daher erfolgt im letzten Schritt eine **Abnahme** des Gesamtfahrzeugs in einer realen Umgebung unter Berücksichtigung der Anforderungen auf der obersten Ebene.

2.3.3 Funktionsorientierte Modellierung in der Praxis

In den etablierten Entwicklungsmethodiken nimmt die Modellierung von Funktionen sowohl auf der Anwenderebene als auch auf einer logischen Ebene einen wichtigen Platz ein (vgl. Abschnitt 2.3.2). Auch in anderen Quellen wird die zunehmende Bedeutung der Modellierung von Funktionen betont (vgl. z.B. [ES09]). In der praktischen Anwendung hat sich die systematische Modellierung von Funktionen jedoch noch nicht durchgesetzt. Den Grund hierfür sieht DREWINSKI in dem Umstand, dass sich die Vorteile einer funktionsorientierten Modellierung hauptsächlich im Gesamtprozess oder in den nachgelagerten Phasen zeigen und weniger für diejenigen, die den Modellierungsaufwand zu tragen haben [Dre07]. Der mit der Modellierung und Pflege bzw. Aktualisierung verbundene Aufwand und der Nutzen eines funktionsorientierten Produktmodells sind asymmetrisch verteilt (Bild 2-16).

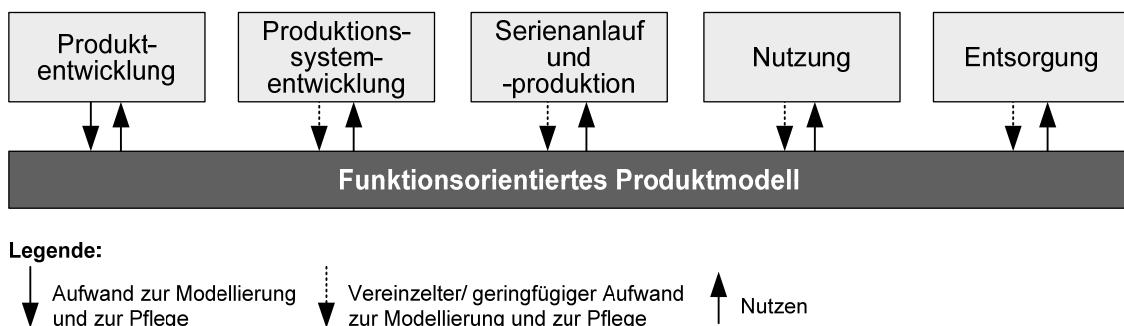


Bild 2-16: Verteilung von Aufwand und Nutzen eines funktionsorientierten Produktmodells im Produktlebenszyklus

Ein großer Teil des Aufwands für die initiale Modellierung entsteht während der Produktentwicklung. In den späteren Phasen erwächst Aufwand nur im Falle notwendiger Aktualisierungen des Produktmodells. Der Nutzen einer funktionsorientierten Produktmodellierung zeigt sich jedoch auch nach der Produktentwicklungsphase. Es handelt sich hier also um indirekten Nutzen (vgl. Abschnitt 2.1). Dies ist den für die Modellierung zuständigen Mitarbeitern jedoch nicht unbedingt bewusst. Dadurch kann die Bereitschaft eingeschränkt sein, systematisch Funktionen in einer expliziten, für andere zugänglichen Form und nicht nur im eigenen mentalen Modell zu dokumentieren.

2.3.4 Ebenenübergreifende Modellierung

Im Abschnitt 2.2.3 wurde gezeigt, dass der zunehmende Einsatz von E/E-Systemen zu Intransparenz auf mehreren Ebenen führt: Intransparenz bezüglich enthaltener Funktionen und deren Verhalten aus Anwendersicht, der Funktionsweise aus logischer Sicht sowie der beteiligten Komponenten. Daher ist es wichtig, diese Ebenen im Produktlebenszyklus zu berücksichtigen.

Eine isolierte Betrachtung reicht jedoch nicht immer aus. In einigen Fällen ist eine ganzheitliche Sicht auf diese Ebenen unter Berücksichtigung der Beziehungen zwischen den Ebenen notwendig. Dies kann am Beispiel der Prüfplanung illustriert werden¹¹. Ziel der Prüfplanung ist ein Prüfablauf, mit dem möglichst effizient Fahrzeuge geprüft und eventuell vorhandene Fehler gefunden werden können. Es kommen zwei prinzipielle Möglichkeiten in Betracht. Einerseits können Funktionen explizit geprüft werden. Andererseits können Komponenten und die Verbindungen zwischen den Komponenten geprüft werden in der Annahme, dass die jeweils auf den Komponenten realisierten Funktionen damit implizit abgedeckt sind. Um hier ein Optimum zu finden, müssen die Beziehungen zwischen den Ebenen berücksichtigt werden. Wenn eine Funktion explizit geprüft wird, sind damit auch zum Teil die realisierenden Komponenten abgedeckt und umgekehrt.

2.3.5 Problemlösungsmöglichkeiten und Modellierungsumfang

Produktmodelle werden eingesetzt, um das Lösen von Aufgaben bzw. Problemen in verschiedenen Geschäftsprozessen entlang des Produktlebenszyklus zu unterstützen. Beispielsweise kann durch ein funktionsorientiertes Produktmodell die Prüfplanung erleichtert werden (vgl. Abschnitt 2.3.4).

Die Intensität der Problemdurchdringung variiert im Allgemeinen in Abhängigkeit vom investierten Aufwand und von den zur Verfügung stehenden Informationen (Bild 2-17). Bei Inkaufnahme einer geringeren Entscheidungsgüte (intuitive Entscheidung) kann auf der Grundlage eines geringen Aufwands und auf Basis weniger Informationen entschieden werden [Ger02]. Im Gegenzug nimmt die Intensität der Problemdurchdringung mit mehr zur Verfügung stehenden Informationen zu. Damit kann eine fundiertere Entscheidung bzw. Problemlösung erzielt werden. Allerdings geht mit einer zusätzlichen Informationsbeschaffung auch ein Mehraufwand einher.

¹¹ Eine ausführliche Behandlung des Themenfeldes Prüfplanung erfolgt im Kapitel 4.

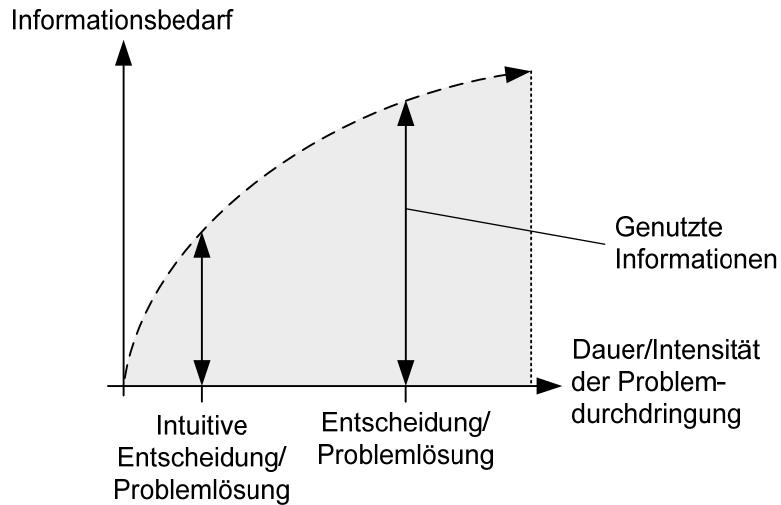


Bild 2-17: Problemlösungsmöglichkeiten und Informationsbedarf (in Anlehnung an [Hüb79] und [Ger02])

Das Prinzip der unterschiedlichen Problemlösungsmöglichkeiten findet sich auch bei der Nutzung eines funktionsorientierten Produktmodells wieder. Zur Veranschaulichung soll ein Beispiel aus dem Bereich der Prüfplanung dienen. Ziel ist hier unter anderem, wichtige Funktionen aus Sicht der Prüfplanung zu bestimmen und zu priorisieren. Hierzu existieren mehrere Möglichkeiten. Die Bestimmung der wichtigen Funktionen kann auf Basis von Expertenwissen subjektiv erfolgen, ohne dass ein detailliertes Produktmodell vorliegen muss. Alternativ dazu kann die Bestimmung auf Basis von detaillierten Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell erfolgen. Beispielsweise können die Komplexität der Realisierung einer Funktion sowie die Fehlerraten der realisierenden Hardware- und Softwarekomponenten in die Bestimmung der wichtigen Funktionen einfließen. Die Komplexität der Realisierung einer Funktion wird bestimmt durch die Anzahl der beteiligten Hardware- und Softwarekomponenten. Diese Betrachtung kann auf Seiten der Softwarekomponenten weiter detailliert werden. So kann beispielsweise die Zahl der Quellcodezeilen die Komplexitätsbestimmung für eine Funktion verbessern. Dies ist nur eine kurze Auswahl der sinnvollen Informationen aus einem funktionsorientierten Produktmodell für die Priorisierung von Funktionen in der Prüfplanung. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt in Kapitel 4 und in [WGH09]. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in Abhängigkeit von den im Produktmodell enthaltenen Informationen unterschiedliche Problemlösungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

2.4 Anforderungen an eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen

In diesem Teilkapitel werden, ausgehend von den Betrachtungen in den vorherigen Abschnitten, Anforderungen an eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen formuliert. Dies umfasst einerseits mit den Anforderungen A 1 bis

A 3 direkte Anforderungen an ein funktionsorientiertes Produktmodell. Andererseits werden mit den Anforderungen A 4 bis A 7 Anforderungen an ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells aufgestellt. Das bedarfsspezifische Produktmodell ist eine Variante des gesamten Produktmodells mit dem besten Verhältnis aus Aufwand und Nutzen. Eine Variante wird durch das Kombinieren der Elemente und Relationen des funktionsorientierten Produktmodells gebildet. Somit stellt das bedarfsspezifische Produktmodell eine Untermenge aus den Elementen und Relationen des gesamten funktionsorientierten Produktmodells dar.

Anforderungen an das Produktmodell

A 1 – Berücksichtigung von anwenderorientierten, logischen und technischen Aspekten

Der vermehrte Einsatz von E/E-Systemen in heutigen Fahrzeugen führt zu Intransparenz auf mehreren Ebenen (vgl. Abschnitt 2.2.3): Intransparenz bezüglich enthaltener Funktionen und deren Verhalten aus Anwendersicht, der Funktionsweise aus logischer Sicht sowie der beteiligten Komponenten. Um diese Intransparenz zu überwinden, bedarf es einer funktionsorientierten Modellierung von Fahrzeugen unter Berücksichtigung jeder dieser drei Ebenen.

Aufgrund der Vielzahl von beteiligten Personen entlang des Produktlebenszyklus reicht hier ein mentales Modell in Gestalt von persönlichem Wissen der jeweiligen Entwickler nicht aus. Die Modellierung muss in einer expliziten Form erfolgen.

A 2 – Durchgängigkeit

Die isolierte Betrachtung der in der vorherigen Anforderung dargestellten Ebenen reicht nicht immer aus. In einigen Prozessen im Produktlebenszyklus ist eine durchgängige Betrachtung aller drei Ebenen inklusive der Beziehungen zwischen den Ebenen notwendig (vgl. Abschnitt 2.3.4). Daher müssen die Betrachtungsebenen sinnvoll miteinander verknüpft werden.

A 3 – Bedarfsspezifisches Produktmodell mit Berücksichtigung vom Aufwand und Nutzen

Aufbauend auf einem durchgängigen funktionsorientierten Produktmodell (vgl. A 1 und A 2) bedarf es der Definition eines bedarfsspezifischen Produktmodells für die späten Phasen des Produktlebenszyklus. Dieses stellt einen Kompromiss zwischen dem Nutzen des Produktmodells und dem Aufwand für die Modellierung und Aktualisierung des Produktmodells dar.

Anforderungen an ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

A 4 – Berücksichtigung von potentiellen Anwendungsmöglichkeiten in den späten Phasen des Produktlebenszyklus

Um eine passende Variante des Produktmodells für die späten Phasen des Produktlebenszyklus zu bestimmen, müssen potentielle Anwendungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Diese Anwendungsfälle stellen die Grundlage zur Rechtfertigung des Modellierungsaufwands dar.

A 5 – Berücksichtigung unterschiedlicher Problemlösungsmöglichkeiten

Bei den unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten eines funktionsorientierten Produktmodells im Produktlebenszyklus stehen in Abhängigkeit von den im Modell enthaltenen Informationen unterschiedliche Problemlösungsmöglichkeiten zur Verfügung (vgl. Abschnitt 2.3.5). Diese Tatsache muss bei der Bestimmung der passenden Variante des funktionsorientierten Produktmodells berücksichtigt werden.

A 6 – Transparenz in Bezug auf den entstehenden Nutzen

Die Vorteile einer funktionsorientierten Modellierung zeigen sich über den gesamten Produktlebenszyklus und weniger für diejenigen, die den Modellierungsaufwand zu tragen haben. Daher hat sich die funktionsorientierte Modellierung in der Praxis nicht vollständig durchgesetzt (vgl. Abschnitt 2.3.3). Um dies zu beheben, müssen nicht nur die Anwendungsmöglichkeiten des Produktmodells (vgl. A 4), sondern auch der hieraus resultierende Nutzen transparent gemacht werden.

A 7 – Berücksichtigung vom Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand

Die Modellierung und Aktualisierung eines Produktmodells ist mit Aufwand verbunden (vgl. Abschnitt 2.3.3). Dieser Aufwand ist nur gerechtfertigt, wenn der mit der Modellierung und Aktualisierung einhergehende Nutzen überwiegt. Daher bedarf es eines Werkzeugs zur Messung des Aufwands sowie zur Gegenüberstellung mit dem Nutzen. Aus dieser Gegenüberstellung muss hervorgehen, welche Variante des funktionsorientierten Produktmodells dokumentiert sein muss, um das Optimum zwischen Aufwand und Nutzen zu erzielen.

Die beschriebenen Anforderungen bilden die Grundlage für die Konzipierung der Systematik. Im nächsten Kapitel werden bestehende Ansätze anhand der Anforderungen bewertet und hieraus der resultierende Handlungsbedarf bestimmt.

3 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird der für diese Arbeit relevante Stand der Technik analysiert. Dazu gehören existierende Ansätze zur Produktmodellierung mit Berücksichtigung von Funktionen sowie Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells. Abschließend wird jeweils anhand der in Kapitel 2 definierten Anforderungen der verbleibende Handlungsbedarf dargestellt.

3.1 Ansätze für eine funktionsorientierte Modellierung

In diesem Teilkapitel werden Ansätze dargestellt, die eine Modellierung von Produkten anhand von Funktionen ermöglichen. Der Fokus liegt auf Arbeiten, die sich mit der Integration einer funktionsorientierten Abbildung in die Modellierung von E/E-Systemen im Automobilumfeld befassen. Eine zusammenfassende Bewertung und Ableitung des Handlungsbedarfs für die relevanten Anforderungen erfolgt im Abschnitt 3.2.

Zur Vereinfachung und zum besseren Vergleich zwischen den Ansätzen werden zunächst einige grundlegende Begriffe definiert. Diese Begriffe werden bei der Beschreibung der Ansätze zur Strukturierung verwendet.

Bei einer funktionsorientierten Modellierung bestehen zwei mögliche Perspektiven: die Perspektive des späteren Anwenders einerseits und die Perspektive der Entwickler andererseits (vgl. Kapitel 2.1 und 2.2.3). Aus der **Anwenderperspektive** heraus beschreibt eine Funktion, was der Anwender von einer Funktion erwartet. Damit werden mit Funktionen die Interaktionen zwischen Anwendern und dem jeweiligen Produkt beschrieben [Lin07]. Für ein Modell oder einen Modellausschnitt mit dem Fokus auf Funktionen aus der Anwenderperspektive wird in dieser Arbeit der Begriff **anwenderorientierte Ebene**¹² verwendet.

Aus der **Entwicklungs perspektive** heraus beschreiben technische Funktionen die **Funktionsweise** eines Systems auf einer logischen Ebene. Damit werden die Funktionen aus der anwenderorientierten Ebene konkretisiert. Für ein Modell oder einen Modellausschnitt mit technischen Funktionen wird in dieser Arbeit der Begriff **logische Ebene** verwendet.

Die **Technische Ebene** enthält die physischen Bestandteile eines E/E-Systems und deren Vernetzung. Dies sind vor allem Aktoren, Sensoren sowie Steuergeräte. Die Vernetzung kann über Bussysteme oder über konventionelle elektrische Verbindungen erfol-

¹² Die Benennung der Modellierung von Funktionen aus der Anwenderperspektive ist in der Literatur nicht einheitlich. Beispielsweise werden für entsprechende Modelle auch die Begriffe Kundenfunktions ebene und Nutzerorientiertes Funktionsmodell verwendet [All07], [Lin07].

gen. Zusätzlich werden Software-Module und weitere technische Details wie die Buskommunikation abgebildet.

Im Folgenden werden einige Ansätze zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen dargestellt. Die Beschreibung ist anhand der eingeführten Begriffe anwenderorientierte, logische sowie technische Ebene strukturiert. Die in den jeweiligen Ansätzen verwendeten Bezeichnungen bzw. Eigennamen werden zur Abgrenzung zu den Begriffen dieser Arbeit kursiv dargestellt. Abschließend erfolgt jeweils eine Bewertung.

3.1.1 FOPD

FOPD¹³ wurde zur Spezifikation der funktionalen Aspekte von E/E-Systemen auf der Anwenderebene entwickelt. Die Nutzung des Ansatzes soll hauptsächlich in der Produktentwicklung stattfinden, beispielsweise zur Erleichterung der Wiederverwendung von vorhandenen Lösungen [Pol08], [PB09]. Die Modellierung von Funktionen legt den Fokus auf die **anwenderorientierte Ebene** mit zusätzlichen Aspekten aus der **logischen Ebene**.

Das Grundgerüst bildet eine Funktionshierarchie, die Funktionen in verbaler Form enthält. Eine Funktion kann Ein- und Ausgänge aufweisen (Bild 3-1). Diese werden über Flüsse verbunden. Die Art dieser Flüsse ist nicht eingeschränkt. So werden beispielsweise das Signal *Tür offen* und die Energieversorgung einer Funktion als Fluss abgebildet. Bei einem Eingang eines Flusses in eine Funktion wird definiert, ob dieser eine Funktion startet oder stoppt. In dem abgebildeten Beispiel stoppt das Signal *Tür offen* die Funktion *Scheibenwischer über Windschutzscheibe bewegen* [PD08], [PB09].

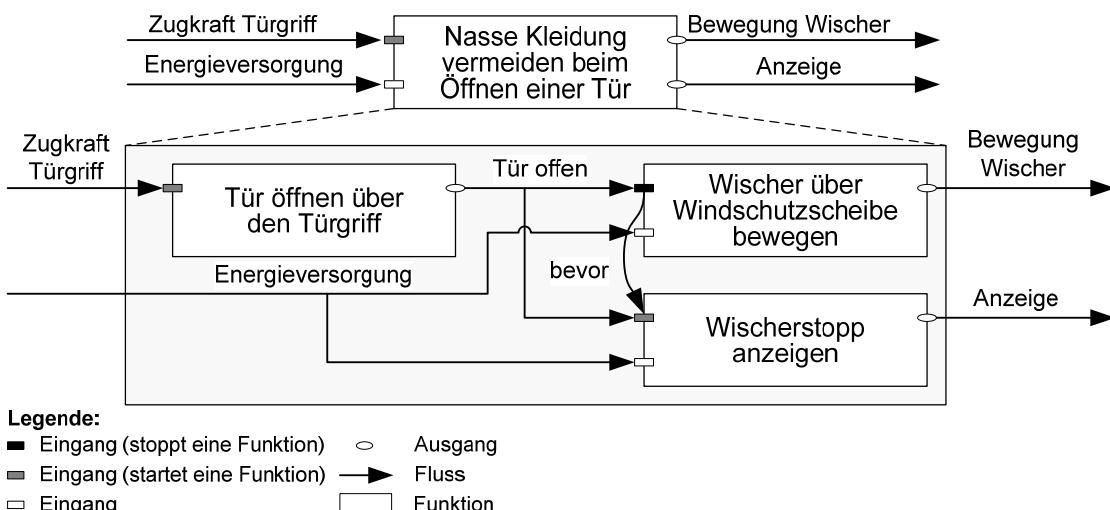


Bild 3-1: Modellierung von Funktionen bei FOPD (in Anlehnung an [PD08])

¹³ Function Oriented Product Description

Zusätzlich können zeitliche Abhängigkeiten zwischen Funktionen definiert werden, indem beispielsweise ausgedrückt wird, dass beim Vorliegen des Signals *Tür offen* zuerst die Funktion *Wischer über Windschutzscheibe bewegen* gestoppt wird und dann die Funktion *Wischerstopp anzeigen* gestartet wird. Außerdem können Voraussetzungen als Attribute bei Funktionen und bei Ein- und Ausgängen angegeben werden. Damit wird ausgedrückt, was erfüllt sein muss, bevor eine Funktion gestartet wird. Beispielsweise kann der Stillstand eines Fahrzeugs eine Voraussetzung für das Starten einer Funktion darstellen [PD08], [PB09].

Einordnung und Bewertung

Dieser Ansatz legt den Fokus auf die Modellierung von Funktionen auf der anwenderorientierten Ebene und bietet eine Formalisierung der Funktionsmodellierung auf dieser Ebene. Mit den exemplarisch aufgeführten Informationsflüssen wird deutlich, dass auch Aspekte der logischen Ebene in die Modellierung einfließen. Die Abbildung der technischen Ebene wird nicht unterstützt.

Der vorgestellte Ansatz adressiert die frühen Phasen der Produktentwicklung. Eine systematische Untersuchung von potentiellen Anwendungsfällen in den nachgelagerten Phasen wird nicht durchgeführt. Auch ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Modells wird nicht adressiert.

3.1.2 Daimler-Modell für E/E-Systeme in einer frühen Konzeptphase

Zur Beschreibung und Optimierung von E/E-Systemen in einer frühen Entwicklungsphase wurde bei der Daimler AG ein Modell entwickelt, das im Folgenden dargestellt werden soll. Auf Basis dieses Modells können Konzepte für E/E-Systeme frühzeitig erstellt und verbessert werden. Die Optimierung erfolgt dabei auf Basis einer Grobbe Bewertung der Konzepte mit Hilfe definierter Metriken. Beispielsweise kann eine Auswertung nach Kosten und Gewicht des Leistungssatzes sowie der Datenlast auf einem Bus- system erfolgen [BFM05], [RSB07]. Der Aufbau des Modells wird im Folgenden anhand der eingeführten Ebenen beschrieben.

Anwenderorientierte Ebene

Die Aspekte der anwenderorientierten Ebene werden in der *Funktionsstruktur* abgebildet. Diese ist das Ergebnis einer Anforderungsanalyse und beschreibt die Funktionen von E/E-Systemen aus Anwendersicht mitsamt Ereignissen und Subfunktionen.

Logische Ebene

In der zweiten Ebene, dem *Funktionsnetz*, werden technische Funktionen abgebildet. Diese werden mit logischen Ein- und Ausgängen modelliert und miteinander verbunden.

Technische Ebene

Die Aspekte der technischen Ebene werden insbesondere in der *Hardwarearchitektur* abgebildet. Hier werden Steuergeräte, Aktoren, Sensoren und deren Vernetzung über den Kabelsatz abgebildet. Diese Komponenten werden zusätzlich in der *Topologie*, einem zweidimensionalen Abbild eines Fahrzeugs, Einbauorten zugeordnet.

Einordnung und Bewertung

Der vorgestellte Ansatz berücksichtigt die drei Ebenen: die anwenderorientierte, die logische und die technische Ebene. Zusätzlich erfolgt die Einordnung der Komponenten in die Bauräume. Damit liegt eine geeignete Grundlage für diese Arbeit vor.

Der Ansatz fokussiert auf die frühe Entwicklungsphase. Ein Verfahren zur Bestimmung von relevanten Bestandteilen des Produktmodells für die späten Phasen des Produktlebenszyklus ist nicht Gegenstand des Ansatzes.

3.1.3 MOSES

Im Rahmen des Projekts MOSES¹⁴ wurde eine Modellierungsmethodik zur Beschreibung von E/E-Systemen in der Entwicklung konzipiert. Zur Spezifikation werden drei Betrachtungsebenen definiert [FRA06].

Anwenderorientierte Ebene

Die Aspekte der anwenderorientierten Ebene werden über *Anforderungen* verbal beschrieben. Für eine übersichtliche Darstellung wird aus Oberbegriffen ein Baum definiert. Die Anforderungen werden als Blätter des Baums aufgeführt. Tabelle 3-1 zeigt dies an einem Beispiel. Fahrtrichtungsanzeige, Richtungsblitzen und Warnblitzen stellen hierbei die Oberbegriffe und die in der Hierarchie tiefer angesiedelten Elemente die Anforderungen dar. Es sind sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen vorgesehen.

Bei den Anforderungen erfolgt eine Unterscheidung in Kunden- und Systemanforderungen, die mit n:m Relationen verbunden werden. Kundenanforderungen beschreiben Merkmale, die ein Kunde von einem Fahrzeug erwartet. Systemanforderungen spezifizieren, was das Fahrzeug leisten muss. Ein Beispiel für eine Kundenanforderung stellt eine Komfortblinkfunktion für Kurzblitzen dar. Ein Beispiel für eine Systemanforderung ist die Erwartung, die Ausführung der Fahrtrichtungsanzeiger dem Fahrer optisch und akustisch darzustellen.

¹⁴ MOdellbaSierte Systementwicklung

Tabelle 3-1: Anforderungen in MOSES [FRA06]

1	Fahrtrichtungsanzeige
1.1	Richtungsblitzen
1.1.1	Die Fahrtrichtungsanzeiger [links/rechts] werden durch Betätigen des Lenkstockhebels nach [oben/unten] aktiviert.
1.2	Warnblitzen
1.2.1	Das Warnblitzen wird durch Betätigung der Warnblinktaste aktiviert.

Logische Ebene

Die Aspekte der logischen Ebene werden in der *Logischen Architektur* abgebildet. Diese wird bei MOSES alternativ auch als *Funktionsnetz* bezeichnet. Hier werden technische Funktionen definiert und zu einer Hierarchie verknüpft. Bei den Funktionen auf den tiefsten Ebenen der Hierarchie muss eine Beschreibung des Verhaltens erfolgen. Als Beschreibungsmittel sind hierbei Zustandsdiagramme vorgesehen. Funktionen werden über Ein- und Ausgangsports miteinander verbunden. Über einen Eingangsport können Signale an eine Funktion gesendet werden. Über einen Ausgangsport kann eine Funktion Signale versenden. Die Zuordnung von Signalen zu Ports erfolgt mittelbar über so genannte Interfaces. Ein Interface, das mit einem Port verknüpft ist, gibt an, welche Signale an diesen Port gesendet bzw. von diesem empfangen werden können. Bei Signalen wird zwischen permanenten und transienten Signalen unterschieden. Bei permanenten Signalen liegt der Wert des Signals jederzeit vor. Mit permanenten Signalen wird hauptsächlich der Datenfluss eines Systems beschrieben. Transiente Signale sind im Gegensatz dazu flüchtig und lösen bestimmte Reaktionen in der empfangenden Funktion aus. Beispielsweise kann über ein transientes Signal eine Eingabe vom Fahrer wiedergegeben werden.

Technische Ebene

Die Aspekte der technischen Ebene werden in der *Technischen Architektur* beschrieben. Es werden technische Details unterteilt nach Software und Hardware spezifiziert. Die Software wird über Softwareelemente, Routinen und Tasks spezifiziert. Auf der Hardwareseite werden Steuergeräte, Aktoren und Sensoren sowie die Verbindungen beschrieben. Bei Bedarf können die Komponenten in sogenannte innere Hardwareelemente weiter unterteilt werden. Dies sind Prozessoren, Speicher und sonstige Elemente. Elemente der Software und der Hardware werden in MOSES verknüpft: Softwareelemente werden mit den Hardwarekomponenten verbunden, auf denen sie ausgeführt werden sollen. Zusätzlich können Tasks auf Prozessoren verteilt werden.

Realisierungsbeziehungen

Bei der *Partitionierung* wird die logische Architektur mit der technischen Architektur verknüpft. Somit werden technische Funktionen auf Hardwareelemente mit einer n:m

Beziehung verteilt. Zusätzlich können Informationsflüsse aus der logischen Ebene mit Verbindungen zwischen Hardwareelementen verknüpft werden. Auf Seiten der Software werden technische Funktionen auf Routinen verteilt.

Einordnung und Bewertung

In MOSES werden alle drei Ebenen abgebildet: die anwenderorientierte, die logische und die technische Ebene. Damit stellt MOSES eine Grundlage für ein funktionsorientiertes Produktmodell dar. Allerdings ist die anwenderorientierte Ebene kaum formalisiert.

Die adressierte Phase im Produktlebenszyklus ist die Entwicklung. Die späten Phasen im Produktlebenszyklus stehen hingegen nicht im Fokus. Auch ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Modells wird nicht adressiert.

3.1.4 Architecture Description Language – ADL

Im Rahmen des Projekts EAST-EEA¹⁵ wurde mit der Architecture Description Language (ADL) ein Ansatz zur Beschreibung von E/E-Systemen konzipiert [TEF+03], [LFO+04]. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Softwarekomponenten. Zur Beschreibung werden sieben Partialmodelle eingesetzt, deren Abstraktionsgrad von oben nach unten abnimmt.

Anwenderorientierte Ebene

Teilaspekte der anwenderorientierten Ebene werden im *Fahrzeug Projekt* abgebildet. Auf dieser Ebene werden Merkmale und Merkmalsausprägungen spezifiziert, die einen Einfluss auf E/E-Systeme haben. Dies können sowohl allgemeine Merkmale wie die Ausstattungslinie oder das Zielland als auch E/E-spezifische, direkt vom Kunden wählbare Funktionen sein (z.B. Abstandsregelung ja oder nein). Eine detailliertere Abbildung von Funktionen, beispielsweise durch Angabe von Auslösern, ist nicht vorgesehen.

Logische Ebene

Die Abbildung der logischen Ebene erfolgt mit der *funktionalen Analyse Architektur*. Hier wird ein Funktionsnetz aufgespannt, indem technische Funktionen miteinander verbunden werden. Über diese Verbindung werden Informationen in Form von abstrakten Signalen übertragen. Zusätzlich können Funktionen weiter unterteilt werden.

¹⁵ EAST-EEA steht für *Electronic Architecture and Software Technology – Embedded Electronic Architecture*. Das Ziel des Projektes war eine standardisierte Software-Architektur in Form einer Middleware für eingebettete Elektroniksysteme in Fahrzeugen [TEF+03].

Technische Ebene

Die Abbildung der Aspekte der technischen Ebene erfolgt bei der ADL in mehreren Artefakten, die im Nachfolgenden beschrieben werden. In der *funktionalen Design Architektur* wird die Realisierung der *funktionalen Analyse Architektur* beschrieben. Dies erfolgt durch die Spezifikation der statischen Struktur von Softwarefunktionen, deren Beziehungen untereinander und des jeweiligen Verhaltens. Auf dieser Ebene wird zwischen zusammengesetzten und elementaren Softwarefunktionen unterschieden. Zusammengesetzte Softwarefunktionen fungieren nur als Container für untergeordnete Softwarefunktionen und ermöglichen dadurch eine hierarchische Strukturierung. Elementare Softwarefunktionen sind auf der untersten Ebene dieser Hierarchie angeordnet. Bei diesen Softwarefunktionen erfolgt eine Beschreibung des Verhaltens über Datenflussdiagramme.

Auf der Ebene der *Logischen Architektur* werden Funktionsinstanzen definiert, indem die Hierarchien aus der funktionalen Design Architektur aufgelöst und die Softwarefunktionen in Softwarecode umgesetzt werden. Hierbei werden auch konkrete Datentypen definiert und Funktionsinstanzen identifiziert, die unter anderem aus Effizienzgründen zusammengehören und aus diesem Grund später nur als Gruppe auf ein Steuergerät platziert werden sollten.

Die Ebene der *Hardware Architektur* enthält die physischen Komponenten von E/E-Systemen. Dies umfasst Steuergeräte, Sensoren, Aktoren sowie die jeweiligen physischen Verbindungen. Die Steuergeräte werden weiter aufgeteilt in Prozessor, Speicher und Pins.

Die *technische Architektur* umfasst Basis-Softwarekomponenten, die zur Nutzung der Hardware notwendig sind. Dies umfasst beispielsweise Betriebssysteme und Netzwerktreiber.

In der *Ausführungsarchitektur* werden Betriebssystemtasks definiert und mit Funktionsinstanzen aus der logischen Architektur verknüpft. Zudem werden Signale definiert und zu Botschaften gebündelt, die über Bussysteme zwischen Steuergeräten ausgetauscht werden. Auf diese Weise wird die Kommunikation zwischen Steuergeräten abgebildet. Diese Abbildung wird auch als Kommunikations-Matrix (K-Matrix) bezeichnet.

Einordnung und Bewertung

ADL ist insbesondere für die Implementierung von Software für E/E-Systeme im Automobilbereich konzipiert. Dadurch erfolgt die Abbildung der entsprechenden Aspekte in der logischen und insbesondere in der technischen Ebene sehr detailliert. Die Aktualisierung der enthaltenen Informationsmenge über den ganzen Produktlebenszyklus würde zu einem hohen Aufwand führen. Die Modellierung der anwenderorientierten Ebene erfolgt hingegen nur rudimentär.

Der Ansatz fokussiert auf die Entwicklungsphase von E/E-Systemen. Eine systematische Untersuchung der Erfordernisse von nachgelagerten Phasen ist offenbar nicht erfolgt. Eine Methode zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Modells ist kein Bestandteil des Ansatzes.

3.1.5 AUTOSAR

AUTOSAR¹⁶ ist ein Verbund von Automobilherstellern, Automobilzulieferern und IT-Werkzeugherstellern mit dem Ziel, einen offenen Standard für eine Softwarearchitektur in der Fahrzeugentwicklung zu etablieren. Die Motivation für den Standard ist in dem Umstand begründet, dass die Erstellung von Software im Automobilbereich meist unter Nutzung von fahrzeugspezifischen Lösungen erfolgt. Eine Wiederverwendung der Software wird dadurch erschwert. Mit AUTOSAR soll die Wiederverwendung deutlich vereinfacht werden [Rei07], [AUT08a].

Das Grundprinzip von AUTOSAR ist die Entkoppelung der Software von der Hardware. Dadurch können die zur Funktionserfüllung eingesetzten Softwarekomponenten unabhängig voneinander und von der im Fahrzeug eingesetzten Hardware entwickelt werden. Anschließend können diese dann in einem weitgehend automatisierten Konfigurationsprozess zu konkretem Softwarecode für die einzelnen Steuergeräte integriert werden [ZS07]. Somit soll mit AUTOSAR in der Softwareentwicklung im Automobilbereich ein Paradigmenwechsel herbeigeführt werden: weg von einem steuergerätezentrierten, hin zu einem funktionsorientierten Ansatz [KF09].

Die Entkoppelung der Software von der Hardware wird durch ein Schichtenmodell ermöglicht. Die Anwendungsschicht enthält die Softwarekomponenten (*AUTOSAR Software Components*), welche die eigentlichen Funktionen eines Fahrzeugs realisieren. Die *AUTOSAR Laufzeitumgebung* und die darunterliegende Basissoftware ist für die Entkoppelung der Anwendungsschicht von der Steuergeräte-Hardware wie dem Mikrocontroller zuständig [SR08], [AUT08a].

Im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem die in AUTOSAR definierten Beschreibungsvorlagen (Templates) von Interesse. Die wesentlichen Beschreibungsvorlagen werden im Bild 3-2 anhand des in AUTOSAR angestrebten Entwicklungsprozesses für die Software eines einzelnen Steuergeräts dargestellt. Die Beschreibungsvorlagen spiegeln Aspekte der logischen und der technischen Ebene wider, die im Folgenden beschrieben werden.

¹⁶ AUTomotive Open System ARchitecture

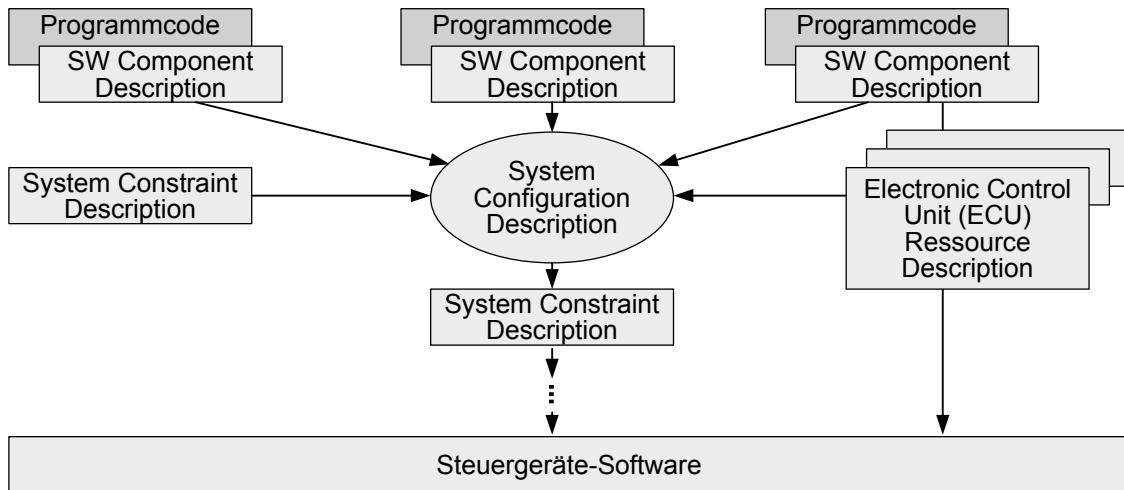


Bild 3-2: AUTOSAR-Beschreibungsvorlagen im Entwicklungsprozess (in Anlehnung an [ZS07])

Logische Ebene

Die Softwarekomponenten aus der Anwendungsschicht werden neben dem eigentlichen Programmcode über eine Beschreibungsdatei (*SW Component Description*) definiert. Diese Beschreibungsdateien spezifizieren die technischen Funktionen, die durch Software realisiert werden, weitgehend unabhängig von der konkreten Implementierung. Damit werden die Aspekte der logischen Ebene abgebildet, soweit die abgebildeten Funktionen durch Software realisiert werden. Die Beschreibungsdateien beschreiben die Schnittstellen und damit die Informationsflüsse zwischen Softwarekomponenten. Darüber hinaus werden die Anforderungen einer Softwarekomponente an ein Steuergerät wie der Speicherbedarf oder die Rechenleistung beschrieben [AUT08a], [AUT08b].

Technische Ebene

Zu den Steuergeräten werden in einer Beschreibungsdatei (*ECU Resource Description*) Eigenschaften wie Rechenleistung, Speichergröße sowie Ein- und Ausgänge spezifiziert. Zusätzlich werden in einer weiteren Beschreibungsdatei die in einem System enthaltenen Steuergeräte und deren Verbindungen definiert und Rahmenbedingungen angegeben (*System Constraint Description*). Auf der Basis der Beschreibung dieser Modellfragmente werden anschließend die Softwarekomponenten auf die Steuergeräte verteilt. Dies wird in einer weiteren Beschreibungsdatei dokumentiert (*System Configuration Description*), die auf der gleichen Beschreibungsvorlage (*System Template*) wie die System Constraint Description basiert. Abschließend wird in mehreren Stufen die konkrete Software für jeweils ein Steuergerät mit den Softwarekomponenten aus der Anwendungsschicht, der Laufzeitumgebung und der Basissoftware erzeugt [ZS07], [AUT08a].

Mit den Beschreibungsvorlagen für die System Constraint Description und die System Configuration Description werden Aspekte aus der technischen Ebene spezifiziert. Mit

der Topologie wird beschrieben, welche Steuergeräte in einem Fahrzeug bzw. einem System enthalten und wie diese physisch verbunden sind. Zusätzlich wird dokumentiert, welche Softwarekomponenten in einem System vorhanden sind und damit auf die Steuergeräte aufgeteilt werden müssen. Mit dem Mapping wird die Verteilung von Softwarekomponenten auf Steuergeräte sowie von Daten aus der Anwendungsschicht auf Signale beschrieben [AUT09].

Einordnung und Bewertung

Das Ziel von AUTOSAR ist die Entwicklung von standardisierter Software für Fahrzeuge. Mit den dargestellten Beschreibungsvorlagen werden Aspekte der logischen und insbesondere der technischen Ebene sehr detailliert abgebildet. Aspekte der anwenderorientierten Ebene sind kein Bestandteil von AUTOSAR. Ein Verfahren zur Definition von Bestandteilen, die nach der Entwicklung relevant sind, wird bei AUTOSAR nicht adressiert.

3.2 Handlungsbedarf aus der Ansatzbetrachtung

Nach der Darstellung der Ansätze zur funktionsorientierten Modellierung wird in diesem Abschnitt ein Fazit gezogen. Dabei wird der verbleibende Handlungsbedarf für die in Kapitel 2.4 definierten Anforderungen A 1 bis A 3 abgeleitet. Da ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells kein Bestandteil der identifizierten und analysierten Ansätze ist, werden die Anforderungen A 4 bis A 7 erst im nächsten Abschnitt betrachtet. Bild 3-3 zeigt die Bewertung der untersuchten Ansätze im Überblick.

A 1 – Berücksichtigung von anwenderorientierten, logischen und technischen Aspekten

Die analysierten Ansätze setzen unterschiedliche Schwerpunkte bei der Modellierung der verschiedenen Ebenen. Dies wird an der Bewertung der Anforderungen A 1.1 bis 1.3 deutlich, welche die drei definierten Ebenen widerspiegeln (Bild 3-3). Damit liefern die Ansätze eine gute Ausgangsbasis für ein funktionsorientiertes Produktmodell für E/E-Systeme. Es fehlt an einem Produktmodell, welches alle drei Ebenen gleichwertig in detaillierter Form umfasst.

A 2 – Durchgängigkeit

Die untersuchten Ansätze offerieren Möglichkeiten zur Verknüpfung der unterschiedlichen Ebenen. Da jedoch kein Ansatz alle drei Ebenen gleichwertig abbildet, bedarf es zusätzlich zu einem detaillierten Produktmodell mit den drei Ebenen einer Definition von Relationen zwischen diesen Ebenen.

A 3 – Bedarfsspezifisches Produktmodell mit Berücksichtigung vom Aufwand und Nutzen

Die beschriebenen Ansätze fokussieren auf die Entwicklungsphase. Es erfolgt keine Analyse, ob und in welcher Weise die Ansätze auch in den nachgelagerten Phasen genutzt werden können. Es fehlt also ein bedarfsspezifisches Produktmodell, das den resultierenden Nutzen sowie den Aufwand für die Modellierung und Aktualisierung des Modells berücksichtigt.

Untersuchte Ansätze	Anforderungen		Anwenderorientierte Ebene	Logische Ebene	Technische Ebene	Durchgängigkeit	Bedarfsspezifisches Produktmodell
	Berücksichtigung von anwenderorientierten, logischen und technischen Aspekten	A1					
FOPD	●	●	●	○	○	○	○
Daimler-Modell für E/E-Systeme	●	●	●	●	●	●	○
MOSES	●	●	●	●	●	●	○
ADL	●	●	●	●	●	●	○
AUTOSAR	●	○	●	●	●	●	○

Legende:

Anforderungen werden ● weitestgehend erfüllt ○ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt/ nicht adressiert

Bild 3-3: Bewertung der bestehenden Ansätze zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen

3.3 Verfahren mit Bezug zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

Im vorherigen Abschnitt wurden Ansätze zur funktionsorientierten Modellierung analysiert. Diese Ansätze fokussieren auf die Entwicklungsphase. Es fehlt ein Produktmodell, welches auch für die Phasen nach der Produktentwicklung geeignet ist. Bild 3-4 zeigt, wie ein solches bedarfsspezifisches Produktmodell bestimmt werden sollte. Unter Anwendung eines definierten Verfahrens wird auf Basis eines Ansatzes zur funktionsorientierten Modellierung ein bedarfsspezifisches Produktmodell abgeleitet.

Das Verfahren sieht mehrere Schritte vor. Zunächst werden Anwendungsfälle identifiziert, bei denen durch ein funktionsorientiertes Produktmodell eine Verbesserung erzielt werden kann. Anschließend werden Lösungsmethoden für jeden Anwendungsfall definiert. Eine Lösungsmethode repräsentiert hierbei eine mögliche Vorgehensweise zur

Lösung eines Anwendungsfalls. Danach werden der Nutzen und der Aufwand für jede Lösungsmethode bewertet. Auf Seiten des Produktmodells erfolgt eine Bewertung des Aufwands für die Datenmodellierung. Im letzten Schritt wird unter Zuhilfenahme der Informationen aus den vorherigen Schritten das bedarfsspezifische Produktmodell abgeleitet.

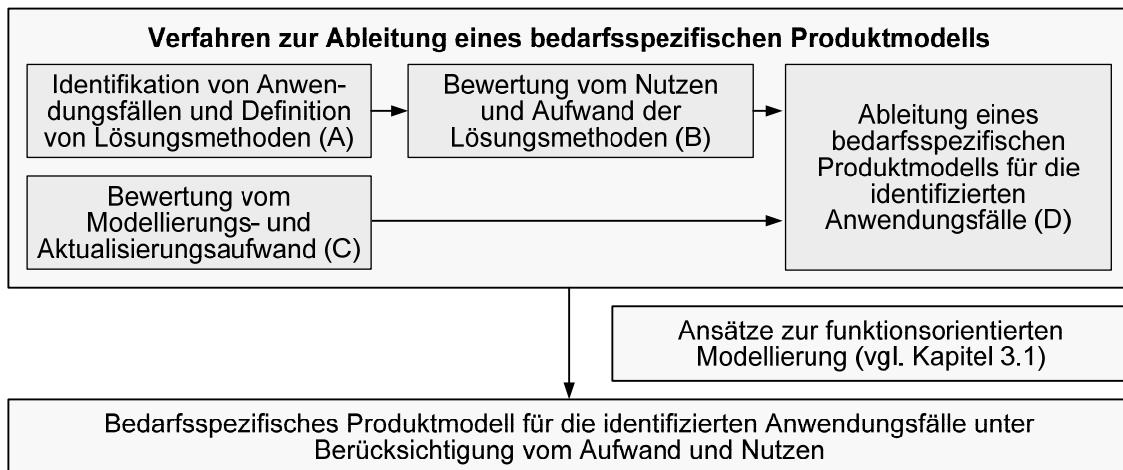


Bild 3-4: Vorgehen zur Definition eines bedarfsspezifischen Produktmodells

Ein solches Verfahren existiert bislang nicht. Daher werden in diesem Abschnitt bestehende Methoden beschrieben, die zwar nicht zum Ziel haben, ein bedarfsspezifisches Produktmodell zu definieren, jedoch Teilespekte des zu entwickelnden Verfahrens berühren.

Im Folgenden werden im Abschnitt 3.3.1 zunächst monetäre Verfahren für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen beschrieben. Anschließend wird die Nutzwertanalyse im Abschnitt 3.3.2 skizziert. Im Abschnitt 3.3.3 wird ein Verfahren von BURGER zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Investitionen im IT-Bereich dargestellt. Danach wird im Abschnitt 3.3.4 eine Methode von WEHLITZ zur optimierten Einführung von Produktdatenmanagement-Systemen beschrieben. Abschließend erfolgt im Abschnitt 3.3.5 eine Darstellung und Bewertung von Prozessmodellierungsansätzen im Rahmen des Business Process Reengineering.

3.3.1 Monetäre Verfahren für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen

Verfahren mit monetären Zielgrößen werden für die Beurteilung einer absoluten oder relativen Vorteilhaftigkeit von Investitionen eingesetzt. Absolute Vorteilhaftigkeit liegt vor, wenn eine Investition dem Unterlassen dieser Investition vorzuziehen ist. Eine Investition ist relativ vorteilhaft, wenn sie von mehreren sich ausschließenden Investitionsalternativen zu bevorzugen ist. Voraussetzung für die Anwendung von monetären Ansätzen ist, dass alle relevanten Wirkungen der Investitionsalternativen sich diesen isoliert zuordnen und in Form von Erlösen und Kosten oder Ein- und Auszahlungen in

spezifischer Höhe bestimmen lassen [Göt06]. Eine Klassifikation von monetären Verfahren wird in Bild 3-5 dargestellt.

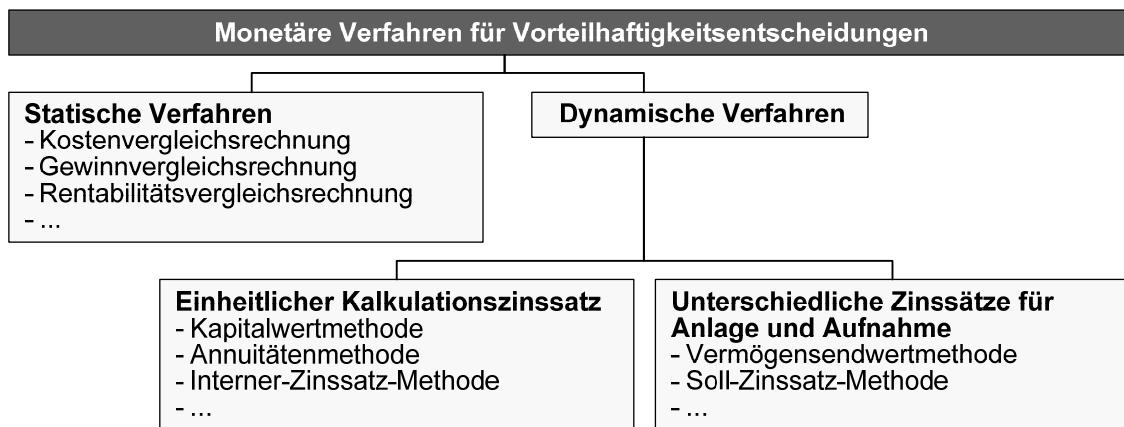


Bild 3-5: Monetäre Verfahren für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen von Investitionen (in Anlehnung an [Göt06])

Einordnung und Bewertung

Monetäre Verfahren werden für Vorteilhaftigkeitsentscheidungen bei Investitionen eingesetzt. Damit werden die Schritte B und C in Bild 3-4 berührt. Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass sie bezüglich der erforderlichen Berechnungen einfach durchzuführen sind. Alle Auswirkungen von Investitionen müssen in Form von Erlösen und Kosten oder Ein- und Auszahlungen messbar sein. Die Ermittlung dieser Daten ist häufig mit hohem Aufwand und Unsicherheit verbunden [Göt06]. Im Rahmen dieser Arbeit muss die Abschätzung des Aufwands und des Nutzens in einer frühen, konzeptionellen Phase erfolgen. Die Auswirkungen lassen sich somit nicht in monetären Größen vorhersagen. Die Voraussetzung für die Anwendung von monetären Verfahren ist damit nicht gegeben. Daher ist der Einsatz der Verfahren im Rahmen dieser Arbeit nicht sinnvoll.

3.3.2 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse¹⁷ ist ein allgemeiner, weit verbreiteter Ansatz zur Entscheidungsfindung bei Alternativen unter Berücksichtigung mehrerer Bewertungskriterien. Einige weitere Verfahren mit Berücksichtigung von mehreren Bewertungskriterien wie beispielsweise der Analytische Hierarchie Prozess (AHP) oder die Multi-Attributive Nutzentheorie (Multi Attribute Utility Theory bzw. MAUT) sind in Bezug auf das Vorge-

¹⁷ Die Nutzwertanalyse wurde durch ZANGEMEISTER im deutschen Sprachraum bekannt [Zan76].

hen sehr ähnlich zur Nutzwertanalyse¹⁸ [Göt06]. Daher soll im Folgenden die Nutzwertanalyse detaillierter analysiert werden.

Das Vorgehen in der Nutzwertanalyse erfolgt in mehreren Schritten. Im ersten Schritt werden die Alternativen definiert, von denen eine auszuwählen ist. Nachfolgend werden die Bewertungskriterien festgelegt, die zur Beurteilung herangezogen werden. Diese sollten möglichst unabhängig voneinander sein. Im dritten Schritt werden für die Kriterien Gewichtungsfaktoren bestimmt. Damit wird berücksichtigt, dass die Bewertungskriterien eine unterschiedliche Bedeutung haben. Die Gewichtungsfaktoren spiegeln den Anteil wieder, den ein bestimmtes Bewertungskriterium an der Gesamtentscheidung haben wird. Die Bestimmung der Faktoren kann beispielsweise mittels eines paarweisen Vergleichs erfolgen. Im vierten Schritt wird über eine Skala definiert, welche Ausprägungen ein Bewertungskriterium annehmen kann und welchem Punktewert diese Ausprägungen entsprechen. Im letzten Schritt wird die eigentliche Bewertung durchgeführt, indem die einzelnen Kriterien für die Alternativen eingeschätzt werden. Die Bewertung eines Kriteriums ergibt zusammen mit dem Gewichtungsfaktor den Nutzwert. Die einzelnen Nutzwerte werden für jede Alternative addiert und führen somit zum Gesamtnutzwert der Alternative. Diese Gesamtnutzwerte werden abschließend untereinander verglichen [Nik02].

Einordnung und Bewertung

Die Nutzwertanalyse ist eine Methode zur Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung mehrerer Bewertungskriterien. Vor dem Hintergrund dieser Arbeit ist die Nutzwertanalyse für die Bewertung von Lösungsmethoden interessant (Schritt B in Bild 3-4). Der Vorteil dieser Methode liegt in der Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Entscheidungsprozesses [GPW09], [Göt06], [GAB05]. Zudem ist die Nutzwertanalyse nicht auf monetäre Größen beschränkt. Schwer oder nicht quantifizierbare Kriterien können auf einfache Art in die Entscheidungsfindung einfließen. Damit ist die Nutzwertanalyse prinzipiell geeignet, die Bewertung von Lösungsmethoden in dieser Arbeit zu unterstützen.

3.3.3 Nachweis der Wirtschaftlichkeit von IT-Investitionen nach BURGER

BURGER definiert eine Methode zur ganzheitlichen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen im Umfeld von IT-Systemen [Bur97]. Beispielsweise kann mit der Methode beantwortet werden, ob bei einem Unternehmen ein 3D-CAD-System eingeführt werden soll. Die Methode umfasst die Schritte Kostenerfassung, Nutzenerfassung und Wirtschaftlichkeitsanalyse (Bild 3-6).

¹⁸ SCHNEEWEß sieht den AHP nicht als ein neues Verfahren, sondern als eine Variante der Nutzwertanalyse an [Sch91].

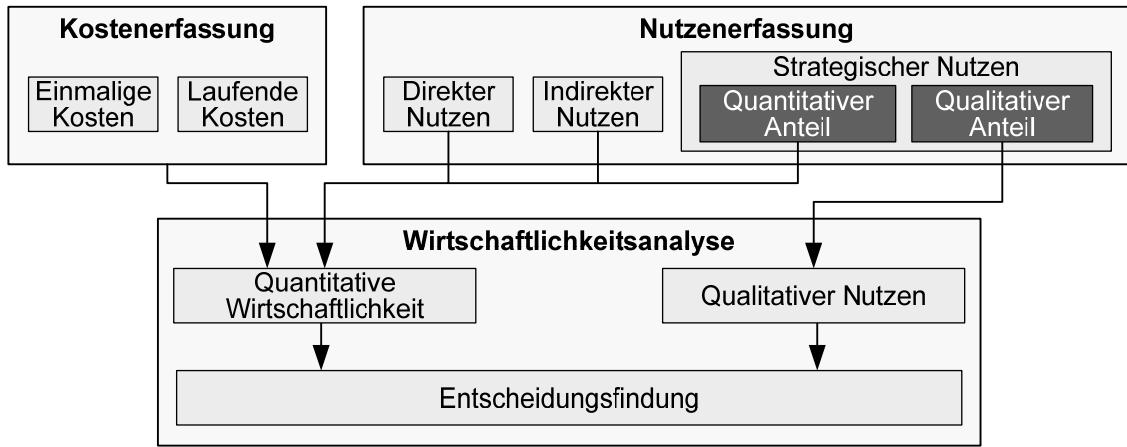


Bild 3-6: *Verfahren zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von IT-Investitionen*

Bei der Kostenerfassung wird ein Gliederungskatalog definiert, der Kostenarten für eine IT-Investition enthält – unterteilt in einmalige und laufende Kosten. Ein Bestandteil dieses Gliederungskatalogs sind Kosten für die Konzeption eines semantischen Datenmodells. Eine weitere Vertiefung dieses Aspekts erfolgt nicht. Anhand des Gliederungskatalogs werden die Kosten für eine Investition unterteilt nach Jahren prognostiziert. BURGER geht davon aus, dass sich Kosten leicht quantifizieren lassen, da sie aus den Daten der Finanzbuchhaltung sowie dem Angebot des Herstellers der IT-Investition ermittelt werden können.

Bei der Nutzenerfassung wird zwischen direktem, indirektem und strategischem Nutzen unterschieden. Der direkte und indirekte Nutzen wird nach Kosteneinsparungen und Produktivitätssteigerungen unterteilt in monetären Einheiten geschätzt. Zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei der Schätzung können Eintrittswahrscheinlichkeiten bei den einzelnen Werten einbezogen werden. Ebenso wird beim monetär quantifizierbaren Anteil des strategischen Nutzens verfahren. Der qualitative Anteil des strategischen Nutzens wird bei der Nutzenerfassung zunächst in verbaler Form festgehalten.

In der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden zunächst mit Hilfe der Endwertmethode die Kosten und der monetär bewertete Nutzen aus den vorherigen Schritten zu einer monetären Wirtschaftlichkeitsgröße pro Jahr zusammengefasst. Der qualitative Anteil des strategischen Nutzens wird mit der Nutzwertanalyse zu einer Kennzahl für den qualitativen Nutzen verdichtet. Hier werden die einzelnen Nutzenkriterien gewichtet und der Erfüllungsgrad für jeden betrachteten Geschäftsprozess bestimmt¹⁹. Im abschließenden Schritt werden die Werte für die quantitative bzw. monetäre Wirtschaftlichkeit und den qualitativen Nutzen in einem Nutzenportfolio zusammengeführt und für die Entscheidungsfindung herangezogen (Bild 3-7). Dieses stellt für jede Investitionsalternative die

¹⁹ In [GPW09] wird der Ansatz erweitert, indem zusätzlich die Geschäftsprozesse entsprechend ihrer Bedeutung untereinander gewichtet werden.

monetäre Wirtschaftlichkeit in Form des Endwerts und den qualitativen Nutzen aus der Nutzwertanalyse dar.

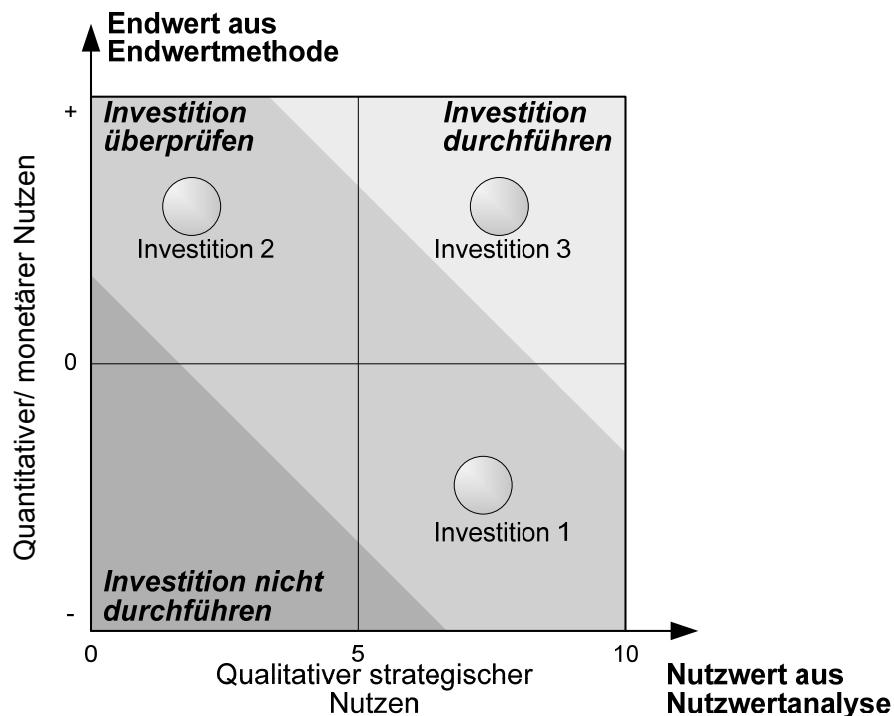


Bild 3-7: Nutzenportfolio der Wirtschaftlichkeitsanalyse (in Anlehnung an [Bur97], [GPW09])

Einordnung und Bewertung

Mit der dargestellten Methode wird ein ganzheitlicher Ansatz für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen im IT-Umfeld realisiert. Eine detaillierte Betrachtung der Produktmodellierung findet nicht statt. Im Hinblick auf die aufgestellten Anforderungen in dieser Arbeit würde diese Methode helfen, den Nutzen eines Produktmodells in den nachgelagerten Phasen zu ermitteln (Schritt B in Bild 3-4). Allerdings werden innerhalb von Geschäftsprozessen keine unterschiedlichen Problemlösungsmöglichkeiten betrachtet. Zudem wird davon ausgegangen, dass sich die Kosten in der Analyse leicht quantifizieren lassen. Dies trifft für das Umfeld dieser Arbeit jedoch nicht zu, da hier die Untersuchung in einer frühen konzeptionellen Phase stattfindet und damit zu einem Zeitpunkt, in dem relevante Kosten noch nicht in der Finanzbuchhaltung erfasst sind. Somit ist dieser Ansatz im Rahmen dieser Arbeit nicht anwendbar.

3.3.4 Nutzenorientierte Einführung von Produktdatenmanagement-Systemen nach WEHLITZ

WEHLITZ definiert ein allgemeines Vorgehensmodell zur Auswahl und Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems (PDM-Systems) in Grossunternehmen. In diesem

Rahmen wird zusätzlich vertiefend eine Methode zur Optimierung der Einführung aus Anwendersicht entwickelt [Weh00].

Die Definition eines Produktmodells ist Bestandteil des allgemeinen Vorgehensmodells. Diese Definition wird durch zu unterstützende Anwendungsfälle mitbestimmt. Zusätzlich wird zur Harmonisierung ein Basis-Produktmodell vorgegeben. Es wird jedoch nicht näher erläutert, wie das Basis-Produktmodell definiert wird und wie die Harmonisierung erfolgt.

Die Methode zur Optimierung der Einführung eines PDM-Systems aus Anwendersicht wird durch die Erkenntnis motiviert, dass die Anwenderakzeptanz einer der entscheidenden Erfolgsfaktoren bei der Einführung von PDM-Systemen ist. Die Akzeptanz bzw. der Nutzen aus Anwendersicht wiederum wird maßgeblich durch den Datenbefüllungsgrad im PDM-System bestimmt. Die Bestimmung des Nutzens aus Anwendersicht erfolgt über die Addition vom Nutzen aus den Informationsobjekten und aus den Vernetzungen zwischen den Informationsobjekten (Bild 3-8).

$$\text{Relativer Nutzen}_{\text{Gesamt}} = \text{Relativer Nutzen}_{\text{Objekte}} + \text{Relativer Nutzen}_{\text{Vernetzungen}}$$

$$\text{Relativer Nutzen}_{\text{Objekte}} = f \left(\frac{\text{Anzahl abgebildeter Informationsobjekte}}{\text{Gesamtanzahl Informationsobjekte}}, \text{Gewichtungsfaktoren} \right)$$

$$\text{Relativer Nutzen}_{\text{Vernetzungen}} = f \left(\frac{\text{Anzahl abgebildeter Vernetzungen}}{\text{Gesamtanzahl Vernetzungen}}, \text{Gewichtungsfaktoren} \right)$$

Bild 3-8: Bestimmung des Nutzens aus Anwendersicht bei der Einführung von PDM-Systemen [Weh00]

Der Nutzen aus den Informationsobjekten ergibt sich aus dem Verhältnis der modellierten Informationsobjekte zur Gesamtanzahl der vorhandenen Informationsobjekte. Der Nutzen aus den Vernetzungen folgt aus dem Verhältnis der modellierten Vernetzungen zwischen den Informationsobjekten zur Gesamtanzahl der vorhandenen Vernetzungen. Damit wird deutlich, dass der Nutzen aus Anwendersicht sich aus dem Datenbefüllungsgrad ergibt. Zusätzlich werden Gewichtungsfaktoren berücksichtigt. Die Gewichtungsfaktoren für Informationsobjekte und Vernetzungen werden durch eine Befragung von ausgewählten Mitarbeitern bestimmt.

Mit Hilfe der Bestimmung des Nutzens von Informationsobjekten und den entsprechenden Vernetzungen wird die optimale Reihenfolge der Modellierung von Daten bei der Einführung eines PDM-Systems bestimmt. Hierfür wird die Modellierungsreihenfolge variiert und der resultierende Nutzen in Abhängigkeit vom Datenbefüllungsgrad betrachtet. Die Reihenfolge mit dem höchsten Nutzen bei allen Datenbefüllungsgraden bildet das Optimum. Bei einer vollständigen Modellierung (Datenbefüllungsgrad = 1) ist der Nutzen bei allen Reihenfolge-Strategien identisch.

Einordnung und Bewertung

Der Ansatz fokussiert auf die Einführung von PDM-Systemen. Es wird jedoch nicht detailliert aufgeführt, wie ein Produktmodell im Rahmen der Einführung definiert werden sollte. Die Methode zur Berücksichtigung des Anwendernutzens geht von einem gegebenen Produktmodell aus und gibt Hilfestellung bei der Bestimmung der optimalen Modellierungsreihenfolge. Mit den Gewichtungsfaktoren wird ansatzweise eine Unterscheidung des Nutzens von unterschiedlichen Produktmodellelementen ermöglicht. Insgesamt liefert der Ansatz jedoch keine Entscheidungshilfe für die Bestimmung eines bedarfsspezifischen Produktmodells. Der Ansatz ist nur nach einer abgeschlossen Bestimmung eines passenden Produktmodells hilfreich. Sobald dieses definiert ist, kann mit dem Ansatz nach WEHLITZ festgelegt werden, in welcher Reihenfolge einzelne Informationen innerhalb eines Produktmodells modelliert werden sollten. Damit ist dieser Ansatz für die vorliegende Arbeit nicht relevant.

3.3.5 Prozessmodellierung im Business Process Reengineering

In den letzten Jahrzehnten sind eine Reihe von neuen, prozessorientierten Managementansätzen zur Restrukturierung von Unternehmen eingeführt worden. Einer der bekanntesten Ansätze ist das von HAMMER und CHAMPY propagierte Business Process Reengineering (BPR) [HC93]. Hier sollen die gewachsenen Strukturen und Prozesse in Unternehmen ignoriert und stattdessen ein Neubeginn durch Neuplanung der gesamten Prozesslandschaft angestrebt werden. Ein ähnlicher, jedoch weniger radikaler Ansatz wird mit dem Begriff evolutionäres Reengineering umschrieben. Die Aufbau- und Prozessorganisation eines Unternehmens werden dabei analysiert und bei Bedarf optimiert. Der Status quo wird also im Gegensatz zum BPR mit einbezogen. In der Praxis wird jedoch auch dieser Ansatz als BPR bezeichnet [GPW09]. Im Rahmen dieser Arbeit sind im evolutionären Reengineering bzw. im BPR die Schritte Prozessdetaillierung und Prozessmodellierung von Interesse.

Bei der Prozessdetaillierung wird bestimmt, wie die definierten Ziele der Hauptgeschäftsprozesse erreicht werden können. Zusätzlich wird definiert, durch welche Methoden eine Unterstützung der einzelnen Prozesse erfolgen kann. Auf Basis der detaillierten Prozesse wird der Bedarf an benötigten Ressourcen abgeleitet [GPW09]. Ressourcen können aus dem Blickwinkel dieser Arbeit vor allem Daten aus einem Produktmodell sein. Daten stellen generell einen integralen Bestandteil von Prozessen dar [Wes07].

Ziele des Arbeitsschritts Prozessmodellierung sind ein vollständiges Prozessmodell des jeweiligen Hauptgeschäftsprozesses und eine Detaillierung der unterstützenden Ressourcen und damit auch des Informationsbedarfs [GPW09]. Dabei wird auch deutlich, welche Informationen, beispielsweise eine Produktstruktur, im jeweiligen Prozessschritt genutzt oder erzeugt werden.

Einordnung und Bewertung

Im Rahmen von BPR werden Prozesse in einem Unternehmen definiert und modelliert. Hierbei werden auch die jeweils genutzten Informationen angegeben. Damit könnte der Ansatz im Schritt A aus Bild 3-4 hilfreich sein. Eine Differenzierung hinsichtlich unterschiedlicher Lösungsmethoden innerhalb eines Prozesses in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Informationen eines Produktmodells findet nicht statt (vgl. Abschnitt 2.3.5). Damit wird die Wechselwirkung zwischen anzustrebenden Methoden innerhalb eines Prozesses und dem benötigten Produktmodell nicht ausreichend berücksichtigt. Insgesamt ist der Ansatz damit für die vorliegende Arbeit nicht anwendbar.

3.4 Handlungsbedarf aus der Verfahrensbetrachtung

In diesem Abschnitt wird ein Fazit zu den dargestellten Verfahren mit Bezug zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells gezogen. Dabei wird der verbleibende Handlungsbedarf für die in Kapitel 2.4 definierten Anforderungen A 4 bis A 7 erläutert. Bild 3-9 zeigt die Bewertung der untersuchten Verfahren im Überblick.

A 4 – Berücksichtigung von potentiellen Anwendungsmöglichkeiten in den späten Phasen des Produktlebenszyklus

Eine systematische Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten eines funktionsorientierten Produktmodells in den nachgelagerten Phasen ist bislang nicht erfolgt. Bei WEHLITZ wird erwähnt, dass Anwendungsfälle eine Rolle bei der Bestimmung des Produktmodells spielen. Diese Thematik wird jedoch nicht weiter detailliert. Durch die Prozessmodellierung im Rahmen des Business Process Reengineering kann nach erfolgter Prozessdefinition lediglich visualisiert werden, an welchen Stellen Produktinformationen verwendet werden. Es fehlt an einem Vorgehen zur Identifikation von Nutzungsmöglichkeiten eines funktionsorientierten Produktmodells und an der entsprechenden Durchführung dieses Vorgehens.

A 5 – Berücksichtigung unterschiedlicher Problemlösungsmöglichkeiten

Die untersuchten Ansätze arbeiten auf der Grundlage von festgelegten Prozessen. Eine Varianz in den Prozessen wird nicht berücksichtigt. Damit werden unterschiedliche Problemlösungsmöglichkeiten innerhalb von Prozessen in Abhängigkeit von den in einem Produktmodell enthaltenen Informationen nicht betrachtet. Es bedarf also eines Instruments zur Abbildung der Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Problemlösungsmöglichkeiten und den im Produktmodell enthaltenen Informationen.

A 6 – Transparenz in Bezug auf den entstehenden Nutzen

Eine Ermittlung des resultierenden Nutzens aus der Verwendung eines (funktionsorientierten) Produktmodells wird von den untersuchten Ansätzen nicht direkt unterstützt. Allerdings liegt mit der Nutzwertanalyse ein pragmatisches Mittel vor, um in einer

nachvollziehbaren Weise einen Nutzen auch in einer frühen Phase eines Vorhabens zu bestimmen.

A 7 – Berücksichtigung vom Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand

Eine Bestimmung des Modellierungs- und Aktualisierungsaufwands eines Produktmodells wird in den untersuchten Ansätzen nicht adressiert. Bei BURGER werden lediglich Kosten für die Konzeption eines semantischen Datenmodells erwähnt. Der Aufwand für eine Modellierung von Produkten unter Anwendung des Datenmodells sowie eine entsprechende Datenaktualisierung wird nicht berücksichtigt. Es bedarf also eines Vorgehens zur Bestimmung und Berücksichtigung des Modellierungs- und Aktualisierungsaufwands.

Zusammenfassend bedarf es also einer Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen von Fahrzeugen mit einem Verfahren zur Definition eines bedarfsspezifischen funktionsorientierten Produktmodells. Dieses muss unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten und den resultierenden Nutzen sowie den Modellierungsaufwand berücksichtigen. Es fehlt ebenso ein konkretes funktionsorientiertes Produktmodell für E/E-Systeme zur Nutzung in der Produktions- und Nutzungsphase eines Automobilherstellers.

Untersuchte Verfahren	Anforderungen				
	Berücksichtigung von potentiellen Anwendungsmöglichkeiten	Berücksichtigung unterschiedlicher Problemlösungsmöglichkeiten	Transparenz in Bezug auf den entstehenden Nutzen	Berücksichtigung vom Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand	
Monetäre Verfahren	○	○	●	●	
Nutzwertanalyse	○	○	●	○	
Wirtschaftlichkeit von IT-Investitionen nach BURGER	●	○	●	●	
Nutzenorientierte Einführung von PDM-Systemen nach WEHLITZ	●	○	●	○	
Prozessmodellierung im Business Process Reengineering	●	○	○	○	

Legende:

Anforderungen werden ● adressiert ● teilweise adressiert ○ nicht adressiert

Bild 3-9: Bewertung der Verfahren mit Bezug zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

4 Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen

In diesem Kapitel wird die Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen dargestellt. Der Fokus der Systematik liegt auf den späten Phasen des Produktlebenszyklus. Der Aufbau des Kapitels ist in Bild 4-1 dargestellt. Zunächst wird in Kapitel 4.1 ein funktionsorientiertes Produktmodell für E/E-Systeme beschrieben. Dieses dient als Ausgangsmodell für die nachfolgenden Abschnitte. In Kapitel 4.2 wird ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells vorgestellt. Dieses Verfahren beschreibt, wie aus dem Produktmodell ein bedarfsspezifisches Produktmodell bestimmt werden kann. Dies erfolgt unter Berücksichtigung vom Nutzen aus dem Produktmodell sowie dem Aufwand für die Modellierung und Aktualisierung des Produktmodells. Anschließend wird aus dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Produktmodell unter Anwendung des in Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens ein bedarfsspezifisches funktionsorientiertes Produktmodell abgeleitet. Diese Ableitung wird in einem konkreten Unternehmensumfeld durchgeführt.

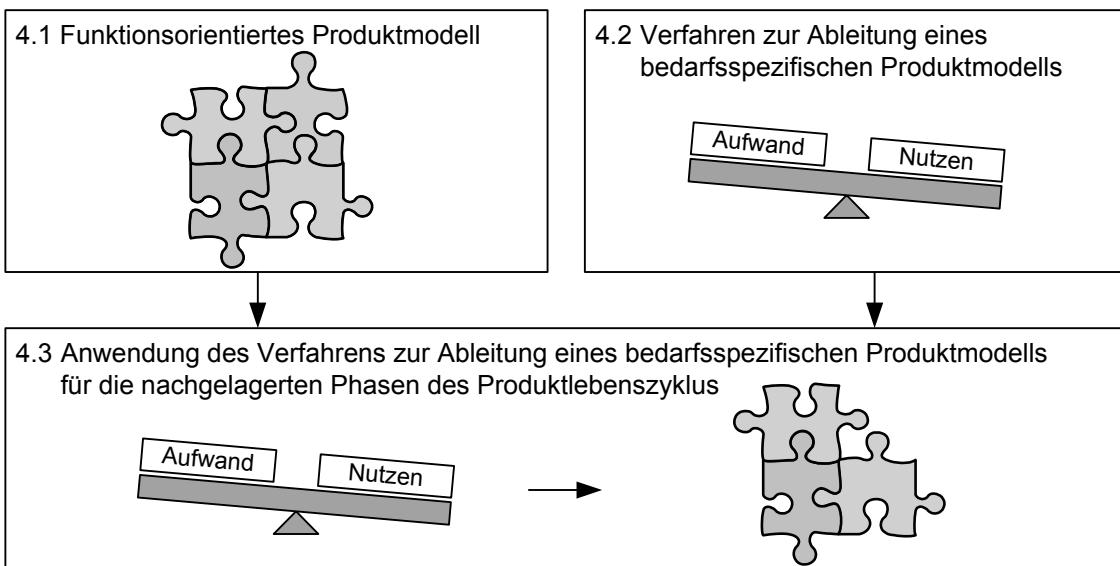


Bild 4-1: Aufbau von Kapitel 4

4.1 Funktionsorientiertes Produktmodell

Im Folgenden wird das funktionsorientierte Produktmodell dargestellt. Es dient der Beschreibung von E/E-Systemen. Dieses Produktmodell bildet die Grundlage für das abzuleitende bedarfsspezifische Produktmodell.

Das funktionsorientierte Produktmodell basiert auf den im Abschnitt 3.1 dargestellten Ansätzen und Erfahrungen im betrachteten Unternehmen. Diese Arbeit fokussiert auf die Phasen nach der Entwicklung eines Produkts. Daher wurden die einzelnen Bestand-

teile der Ansätze im Hinblick auf einen potentiellen Nutzen in diesen Phasen beleuchtet. Es erfolgte keine weitere Betrachtung von Bestandteilen, die nur während der Entwicklung von Bedeutung sind. Ein Beispiel ist die Dokumentation von Anforderungen einer Softwarekomponente an ein Steuergerät, wie der Speicherbedarf oder die Rechenleistung. Diese Informationen dienen in der Entwicklung der sinnvollen Verteilung von Software auf Hardware. In den späten Phasen sind diese Angaben nicht relevant. Wenn hingegen Bestandteile aus den Ansätzen im Abschnitt 3.1 zur Verbesserung der Prozesse in den späten Phasen beitragen können, flossen diese in das funktionsorientierte Produktmodell ein. Ein Beispiel sind Funktionen auf der anwenderorientierten Ebene, da diese unter anderem in der Prüfplanung zur Sicherstellung von Kundenwünschen herangezogen werden können.

Die Modellfragmente des funktionsorientierten Produktmodells werden zur besseren Übersicht gedanklich auf mehrere Abstraktionsebenen aufgeteilt. Die **anwenderorientierte Ebene** bildet Funktionen aus der Anwenderperspektive ab. In der **logischen Ebene** erfolgt die Dokumentation von Funktionen aus Entwicklersicht²⁰. Auf der **technischen Ebene** werden schließlich die realisierenden Komponenten, die entsprechenden physischen Verbindungen und die Buskommunikation spezifiziert. Zwischen den Elementen der drei Ebenen werden Relationen abgebildet. Diese stellen Realisierungsbeziehungen dar: Funktionen der anwenderorientierten Ebene werden durch technische Funktionen auf der logischen Ebene realisiert und diese wiederum von den Elementen der technischen Ebene.

In den folgenden Abschnitten werden die drei Ebenen detaillierter beschrieben. Dabei werden bei jeder Ebene auch die Relationen zur nächsthöheren Ebene dargestellt. Die Beschreibung jeder Ebene wird mit einem Beispiel abgeschlossen.

4.1.1 Anwenderorientierte Ebene

In der anwenderorientierten Ebene werden Funktionen aus der Anwenderperspektive abgebildet. Mit dem Anwender ist hier der Endanwender gemeint. Der Aufbau der anwenderorientierten Ebene basiert auf den korrespondierenden Modellfragmenten von FOPD, MOSES und auf Erfahrungen im Unternehmensumfeld (vgl. Abschnitt 3.1).

Die Modellierung der anwenderorientierten Ebene soll vor allem die Definition, Realisierung und Absicherung von Funktionen aus der Anwenderperspektive sicherstellen. Die Ebene beschreibt allgemeinverständlich, wie Funktionen initiiert und gestoppt werden können und wie diese sich gegenseitig beeinflussen.

²⁰ Ein Funktionsmodell ist eine Beschreibung und Abbildung der Funktionen eines Systems und deren Zusammenhängen in einem Modell [PL08]. Daher können die anwender- und die logische Ebene zusammenfassend auch als Funktionsmodell bezeichnet werden.

Die Abbildung der Anwenderperspektive erfolgt weitgehend realisierungsunabhängig. Zudem enthält die anwenderorientierte Ebene nur Funktionen, die vom Anwender erwünscht sind. Funktionen, die nicht erwünscht sind, werden nicht modelliert. Beispielsweise ist die Funktion *Geräusch erzeugen* eines Elektromotors in den meisten Fällen unerwünscht und wird somit nicht abgebildet. Die Funktion *Warngeräusch erzeugen bei Gefahr* ist hingegen erwünscht und wird aus diesem Grund in die anwenderorientierte Ebene mit aufgenommen. Anders ausgedrückt: Nur diejenigen Funktionen, die explizit entwickelt werden müssen, werden modelliert.

Bild 4-2 zeigt vereinfacht den Aufbau der anwenderorientierten Ebene. Das Element **Funktion** ist das Kernelement. Zur Reduktion der Komplexität kann für einzelne Funktionen eine hierarchische Untergliederung erfolgen. Funktionen können also in Teilfunktionen unterteilt werden.

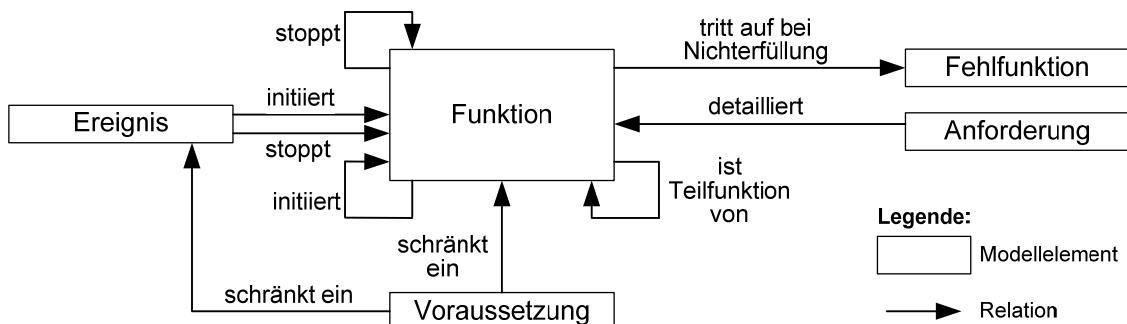


Bild 4-2: Elemente und Beziehungen innerhalb der anwenderorientierten Ebene

Eine Funktion wird über Relationen zu **Ereignissen** weiter detailliert. Die Wirkung eines Ereignisses auf eine Funktion wird über die Art der Relation ausgedrückt. Eine Funktion kann durch ein Ereignis initiiert oder gestoppt werden. Ereignisse können unterschieden werden in Bedienereignisse und Fahrzeug- bzw. Umweltbereignisse. Bedienereignisse werden vom Anwender herbeigeführt. Das Öffnen einer Tür stellt hierfür ein Beispiel dar. Fahrzeug- bzw. Umweltbereignisse werden vom Fahrzeug respektive der Umwelt verursacht und vom Fahrzeug detektiert. Beispielsweise stellt das Erkennen eines Hindernisses beim Einparkvorgang ein Fahrzeug- bzw. Umweltbereignis dar.

Die Wirkung von Ereignissen kann durch **Voraussetzungen** eingeschränkt werden. So verhindert beispielsweise die Voraussetzung *Geschlossene Türen* die Initiierung der Funktion *Scheibenwischer über Windschutzscheibe bewegen* wenn die Türen geöffnet sind. Es können Anfangsvoraussetzungen und Dauervoraussetzungen unterschieden werden. Anfangsvoraussetzungen müssen zur Ausführung einer Funktion nur bei Eintreten eines Ereignisses vorliegen. Dauervoraussetzungen müssen hingegen auch nach dem Eintreten des Ereignisses während der gesamten Ausführungszeit einer Funktion erfüllt sein.

Fehlerhafte Ausführungen einer Funktion werden über **Fehlfunktionen** beschrieben. Grundsätzlich kann sich eine fehlerhafte Ausführung auf zweierlei Arten äußern: Ent-

weder wird eine Funktion nicht ausgeführt oder sie wird nicht korrekt ausgeführt. Beispielsweise wird eine automatische Heckklappe vom Fahrzeug nicht geöffnet oder das Öffnen erfolgt zu langsam.

Zur detaillierteren Beschreibung von Funktionen werden **Anforderungen** modelliert. Eine Anforderung spezifiziert Details, die eine geforderte Ausführung einer Funktion näher kennzeichnen. Beispielsweise kann mit einer Anforderung die zulässige Ausführungszeit einer Funktion definiert werden. Nicht-funktionale Anforderungen bzw. Anforderungen ohne Bezug zu einer Funktion werden innerhalb der anwenderorientierten Ebene nicht abgebildet.

Bild 4-3 zeigt exemplarisch einen vereinfachten Ausschnitt für die Modellierung der anwenderorientierten Ebene für die Funktion *Reifendruck kontrollieren*. Diese Funktion besteht unter anderem aus den Funktionen *Weiche Warnung bei kleinem Druckverlust ausgeben* und *Harte Warnung bei großem Druckverlust ausgeben*. Zu diesen Funktionen wird angegeben wie diese initiiert werden, welche Teilfunktionen existieren sowie welche Voraussetzungen zur Ausführung erfüllt sein müssen.

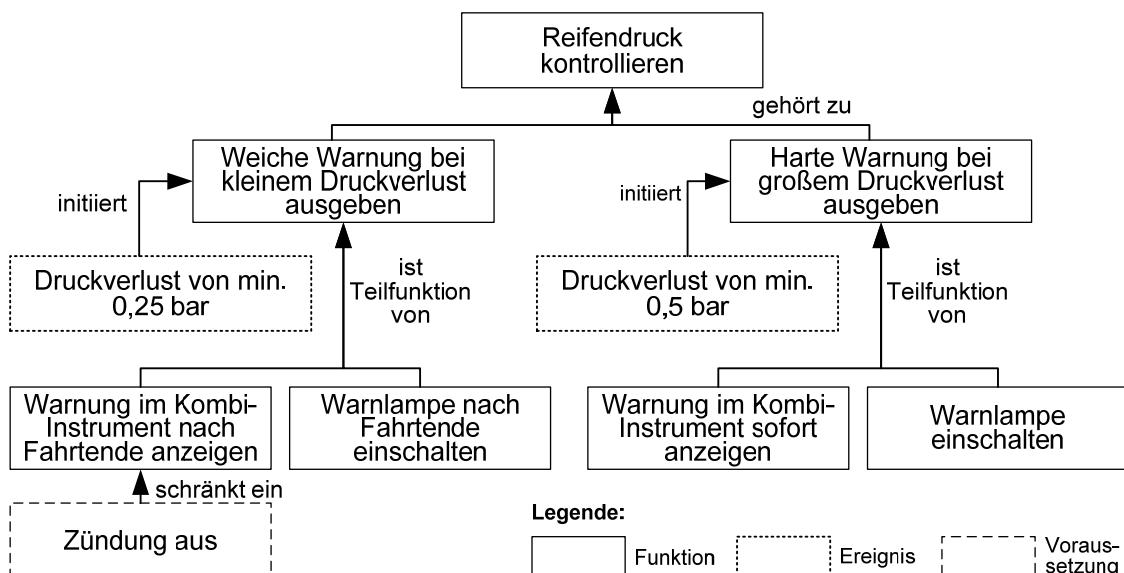


Bild 4-3: Anwenderorientierte Ebene am Beispiel der Funktion „Reifendruck kontrollieren“ (Ausschnitt)

4.1.2 Logische Ebene

In der logischen Ebene erfolgt die Abbildung von technischen Funktionen aus Entwicklersicht. Eine Entsprechung dieser Ebene findet sich auch bei MOSES, ADL und AUTOSAR (vgl. Abschnitt 3.1)

Mit dieser Ebene wird in der Entwicklung die Realisierung der Funktionen aus der anwenderorientierten Ebene unterstützt. Damit enthält die logische Ebene im Gegensatz zur anwenderorientierten Ebene Informationen bezüglich der technischen Realisierung

von Funktionen. Dies wird am Beispiel in Bild 4-4 schematisch aufgezeigt. Die Funktion *Warnung bei Reifendruckverlust ausgeben* auf der anwenderorientierten Ebene kann auf zwei Arten realisiert werden: Die Realisierung kann durch den Vergleich von Radumdrehungsfrequenzen oder durch eine direkte Erfassung von Reifendrücken erfolgen (vgl. Abschnitt 2.2.3.2). Diese unterschiedlichen Konzepte spiegeln sich in der Modellierung der beiden dargestellten Varianten wider. Die Abbildung der beispielhaften Funktion auf der anwenderorientierten Ebene ist unabhängig von der gewählten Realisierung, während auf der logischen Ebene zwei Realisierungsvarianten existieren.

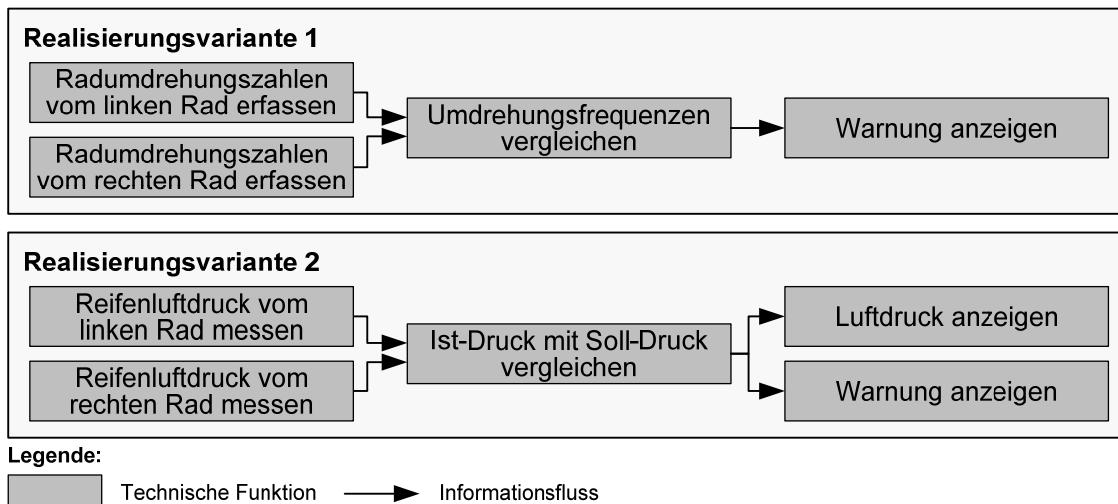


Bild 4-4: Schematische Darstellung der Modellierung von Realisierungsvarianten in der logischen Ebene

Das Kernelement der logischen Ebene ist die **technische Funktion** (Bild 4-5). Diese beschreibt abstrakt die Realisierung einer Funktion aus der anwenderorientierten Ebene. Mit Hilfe einer technischen Funktion kann zusätzlich spezifiziert werden, wie ein Ereignis oder eine Voraussetzung erfasst werden. Ein weiteres Element ist die **Information**. Diese ist eine logische Größe, die von einer technischen Funktion ausgegeben oder verwendet wird. Auf diese Weise können mehrere technische Funktionen miteinander verbunden und damit die Kommunikation zwischen Funktionen abgebildet werden.

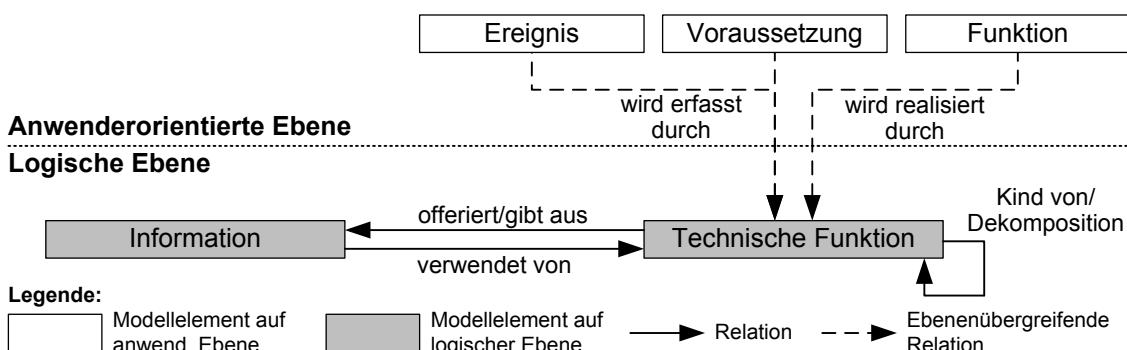


Bild 4-5: Elemente und Beziehungen der logischen Ebene mit Relationen zur anwenderorientierten Ebene

In Bild 4-5 sind die Relationen zwischen Elementen der logischen und der anwenderorientierten Ebene dargestellt. Eine Funktion wird mit einer technischen Funktion verknüpft, wenn die technische Funktion zur Realisierung der Funktion beiträgt. Zusätzlich werden Ereignisse und Voraussetzungen mit denjenigen technischen Funktionen verbunden, von denen sie erfasst werden.

Bild 4-6 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der logischen Ebene mit technischen Funktionen, welche die Funktion *Reifendruck kontrollieren* realisieren. Den Kern bildet die technische Funktion *Ist-Druck mit Soll-Druck vergleichen*. Diese entscheidet, ob der Reifenluftdruck korrekt ist und damit eine Warnung angezeigt werden soll oder nicht. Die Funktion verwendet Informationen über den gemessenen Druck, den Status des Zündschlosses sowie über die gemessene Geschwindigkeit, da diese Angaben zur korrekten Ausführung benötigt werden.

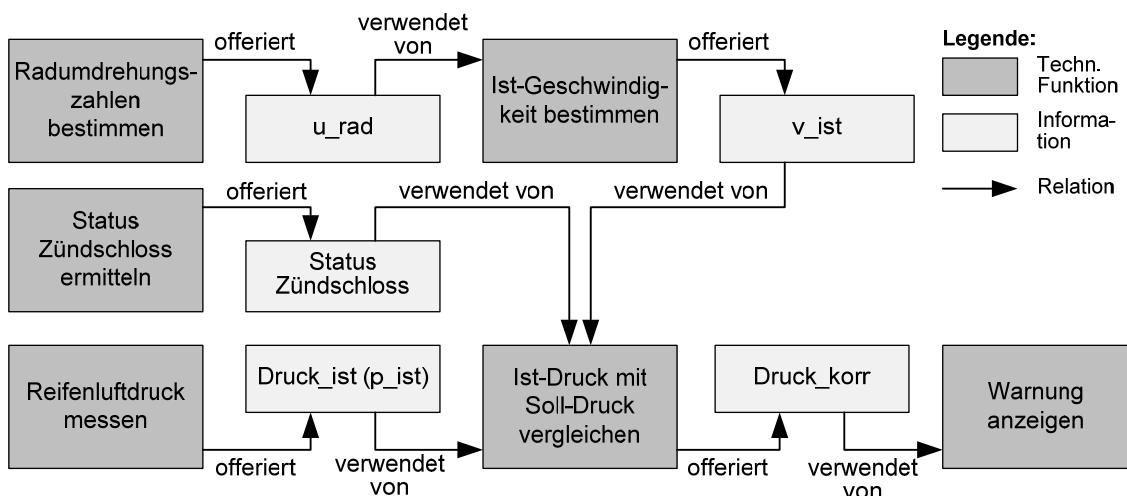


Bild 4-6: Logische Ebene am Beispiel der Funktion „Reifendruck kontrollieren“ (Ausschnitt)

4.1.3 Technische Ebene

Auf der technischen Ebene werden die Komponenten dokumentiert, auf denen die technischen Funktionen aus der logischen Ebene ausgeführt werden. Einzelne Komponenten werden über physische Verbindungen miteinander vernetzt. Zusätzlich wird die Buskommunikation zwischen Komponenten modelliert. Damit wird die Umsetzung des Informationsaustauschs aus der logischen Ebene abgebildet. Entsprechende Modellfragmente sind auch Bestandteil von MOSES, ADL und AUTOSAR (vgl. Abschnitt 3.1).

Komponenten und Vernetzung

Die Elemente und Beziehungen innerhalb der technischen Ebene werden in Bild 4-7 gezeigt. Das übergeordnete Element ist die **Komponente**. Diese besteht aus **Hardware**

und optional auch **Software**. Hardware kann in Form von Ein- und Ausgabeeinheiten (Sensoren/Bedieneinheiten und Aktoren) sowie Steuergeräten auftreten. Eine Hardware hat **Pins**, die in **Steckern** zusammengefasst werden. Die Pins sind mit **Leitungen** verbunden und ermöglichen somit die Vernetzung von Komponenten. Eine Leitung kann dabei jeweils analoge oder digitale Informationen übertragen.

Die Relationen der Komponenten zur logischen Ebene sind in Bild 4-7 dargestellt. Zu einer technischen Funktion wird jeweils angegeben, durch welche Komponenten diese realisiert wird. Zudem wird festgehalten über welche Leitung eine Information zwischen technischen Funktionen übertragen wird.

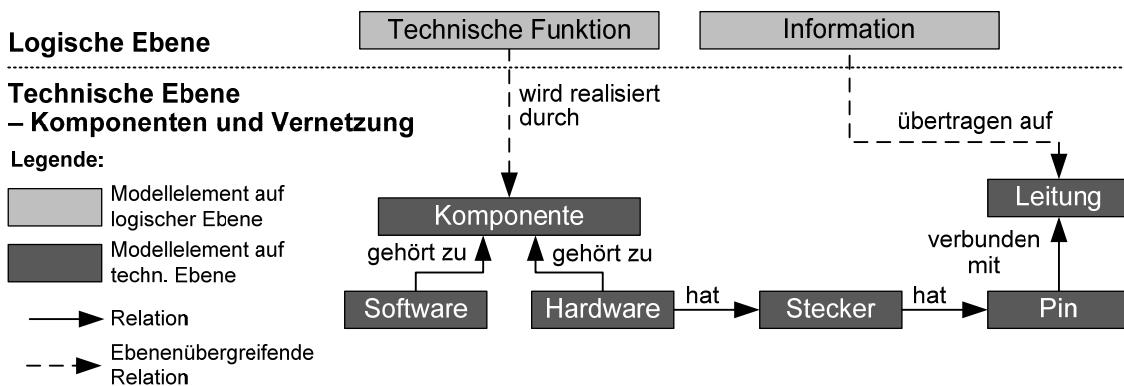


Bild 4-7: Technische Ebene – Komponenten und deren Vernetzung

Bild 4-8 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt mit einigen Komponenten, welche die Funktion *Reifendruck kontrollieren* und die entsprechenden technischen Funktionen realisieren. Es wird deutlich, wie die Komponenten miteinander verbunden sind.

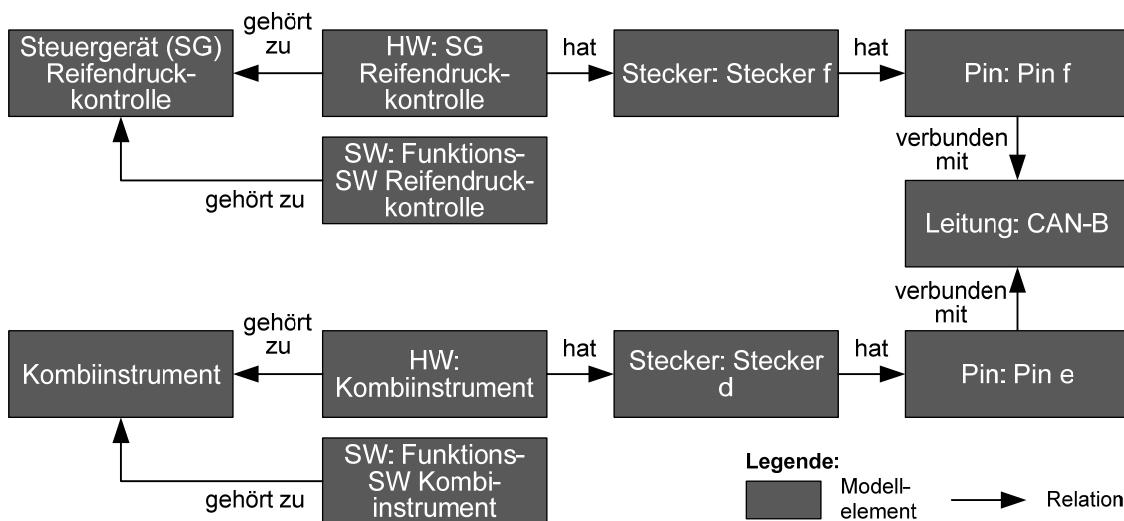


Bild 4-8: Komponenten und deren Vernetzung für die Funktion „Reifendruck kontrollieren“ (Ausschnitt)

Buskommunikation

Neben Komponenten und deren Vernetzung wird auf der technischen Ebene die Buskommunikation abgebildet. Mit der Buskommunikation wird der Informationsaustausch zwischen Komponenten zur Erfüllung von technischen Funktionen spezifiziert. Die entsprechenden Elemente und Beziehungen werden in Bild 4-9 dargestellt. Von Komponenten werden **Signale** gesendet und wieder empfangen. Die einzelnen Signale werden mit Wertebereichen und physikalischen Einheiten detailliert. Mehrere Signale lassen sich zu einem **Signalpaket** bündeln. Einzelne Elemente aus der Buskommunikation werden mit Elementen aus der anwenderorientierten und der logischen Ebene verknüpft. Funktionen werden mit denjenigen Signalen verbunden, die das Ausführen dieser Funktionen anzeigen. Die zwischen technischen Funktionen ausgetauschten Informationen werden mit den korrespondierenden Signalen in der Buskommunikation verknüpft.

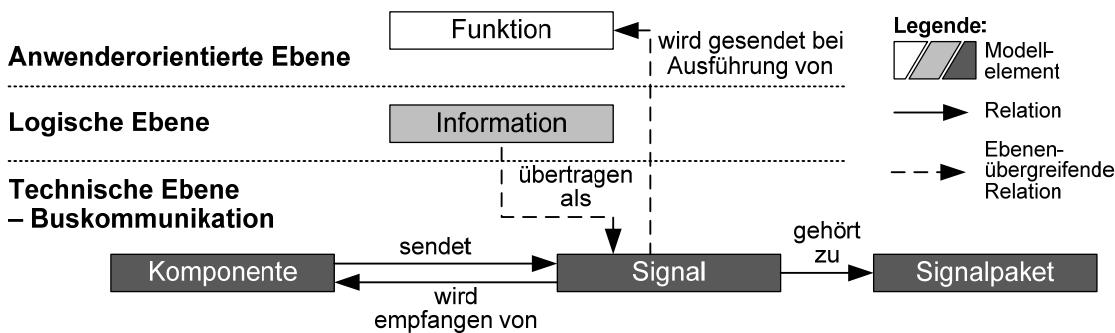


Bild 4-9: Technische Ebene – Elemente der Buskommunikation

Bild 4-10 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt der Buskommunikation, die zur Umsetzung der technischen Funktionen für die Funktion *Reifendruck kontrollieren* beiträgt. Es werden Raddrehzahlen vom Kombiinstrument an das Getriebesteuergerät zur weiteren Verarbeitung gesendet.

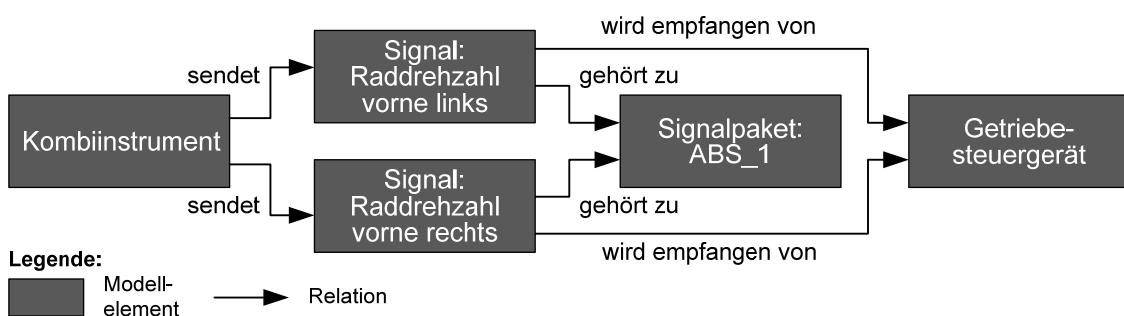


Bild 4-10: Buskommunikation bei der Funktion „Reifendruck kontrollieren“ (Ausschnitt)

In der Praxis erfolgt die Darstellung der Buskommunikation häufig mit Hilfe einer so genannten Kommunikationsmatrix (Bild 4-11). In der linken Spalte sind alle vernetzten Komponenten aufgelistet. In den beiden folgenden Spalten werden Signalpakete und die

darin enthaltenen Signale aufgeführt, die von diesen Komponenten gesendet werden. In den weiteren Spalten werden die empfangenden Komponenten gekennzeichnet [SZ06]. Beispielsweise wird in der abgebildeten Matrix vom Kombiinstrument das Signal *Raddrehzahl vorne links* gesendet und vom Getriebesteuergerät empfangen.

Sender	Signalpakete	Signale	Empfänger		
Kombiinstrument	ABS_1 ABS_2	Raddrehzahl vorne links Raddrehzahl vorne rechts Raddrehzahl hinten links Raddrehzahl hinten rechts			X X X X
Motorsteuergerät	MS_1	Fahrpedalwert Motordrehzahl Motortemperatur	X		X X X
Getriebesteuergerät	GS_1	Motorsollmoment		X	
...					

Bild 4-11: Abbildung der Buskommunikation mit Hilfe einer Kommunikationsmatrix (in Anlehnung an [SZ06])

4.2 Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

In diesem Abschnitt wird ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen funktionsorientierten Produktmodells beschrieben. Dieses Verfahren berücksichtigt den resultierenden Nutzen aus dem Produktmodell und den Aufwand für die Produktmodellierung. Das bedarfsspezifische Produktmodell ist eine Variante des gesamten Produktmodells aus dem vorherigen Abschnitt mit dem besten Verhältnis aus Aufwand und Nutzen. Eine Variante wird durch das Kombinieren der Elemente und Relationen des funktionsorientierten Produktmodells gebildet. Somit stellt das bedarfsspezifische Produktmodell eine Untergruppe aus den Elementen und Relationen des gesamten funktionsorientierten Produktmodells dar. Die einzelnen Schritte des Verfahrens werden in Bild 4-12 durch ein Phasen-Meilenstein-Diagramm dargestellt.

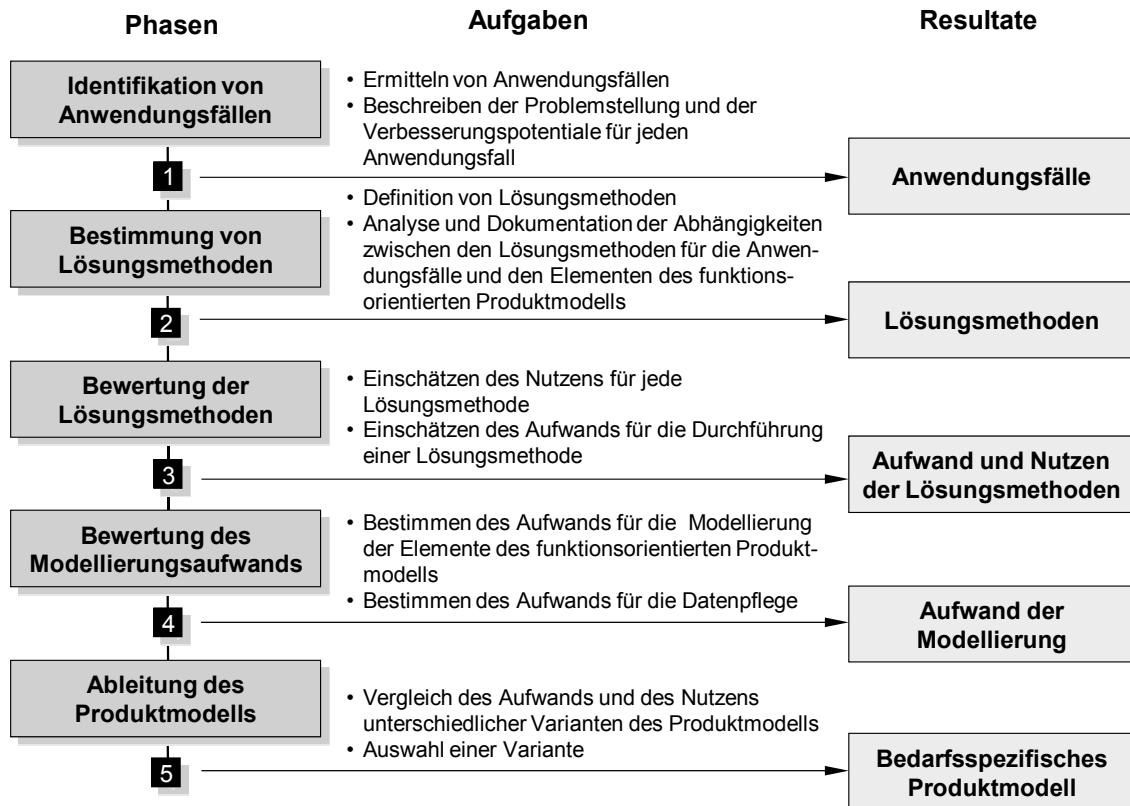


Bild 4-12: Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

Zunächst werden Anwendungsfälle identifiziert, bei denen durch die Nutzung eines funktionsorientierten Produktmodells eine Verbesserung erzielt werden kann. Anschließend werden Lösungsmethoden für jeden Anwendungsfall bestimmt. Eine Lösungsmethode repräsentiert eine mögliche Vorgehensweise zur Lösung von Problemen innerhalb eines Anwendungsfalls. Zu jeder Lösungsmethode werden die Abhängigkeiten zu den einzelnen Elementen des funktionsorientierten Produktmodells bestimmt. Mit diesen Abhängigkeiten wird definiert, welche Elemente des Produktmodells für eine Lösungsmethode benötigt werden. Der dritte Schritt umfasst eine Bewertung vom Nutzen und Aufwand für jede Lösungsmethode. Auf der Seite des Produktmodells wird anschließend der Aufwand für die Datenmodellierung eingeschätzt. Im letzten Schritt wird unter Zuhilfenahme der Informationen aus den vorherigen Schritten das bedarfsspezifische Produktmodell und damit eine Variante des gesamten Produktmodells abgeleitet.

4.2.1 Identifikation von Anwendungsfällen

Im ersten Schritt des Verfahrens werden Anwendungsfälle identifiziert, in denen der Gebrauch einer Produktdokumentation auf Basis des funktionsorientierten Produktmodells potentiell einen Nutzen stiftet. Zunächst werden die relevanten Phasen des Produktlebenszyklus detailliert. Auf dieser Basis wird bestimmt, ob bei den einzelnen Aktivitäten innerhalb der Phasen eine funktionsorientierte Modellierung von Bedeutung ist. Zu den entsprechenden Aktivitäten mit Bezug zur Funktionsorientierung werden

Mitarbeiter befragt, die in den zugeordneten Unternehmensbereichen tätig sind. Bei diesen Interviews wird diskutiert, welche Probleme bei den einzelnen Aktivitäten bestehen und inwieweit ein funktionsorientiertes Produktmodell zur Verbesserung beitragen könnte. Im Wechselspiel mit den Ergebnissen aus den Interviews werden Ideen zur potentiellen Nutzung eines funktionsorientierten Produktmodells generiert und zu Anwendungsfällen verdichtet.

Zu jedem Anwendungsfall wird anschließend das Problem beschrieben, welches durch den Einsatz eines funktionsorientierten Produktmodells behoben werden kann. Die Problembeschreibung kann in Prosa oder mittels Handskizzen erfolgen und dient als Basis zur Bestimmung von Lösungsmethoden im folgenden Schritt.

4.2.2 Bestimmung von Lösungsmethoden

Für jeden identifizierten Anwendungsfall werden Lösungsmethoden definiert. Diese repräsentieren unterschiedliche Problemlösungsmöglichkeiten in den Anwendungsfällen. Das Ziel der zu definierenden Lösungsmethoden innerhalb eines Anwendungsfalls ist gleich, während die Vorgehensweise in jeder Lösungsmethode im Hinblick auf die Arbeitsschritte und die eingesetzten Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell unterschiedlich ist.

Zur einfacheren Veranschaulichung der vorhandenen Lösungsmethoden in einem Anwendungsfall wird im Rahmen dieser Arbeit eine graphische Darstellung in Anlehnung an sogenannte Feature-Diagramme verwendet (Bild 4-13). Feature-Diagramme werden eingesetzt, um die Variabilität auf einer abstrakten Ebene darzustellen [Cza98]²¹.

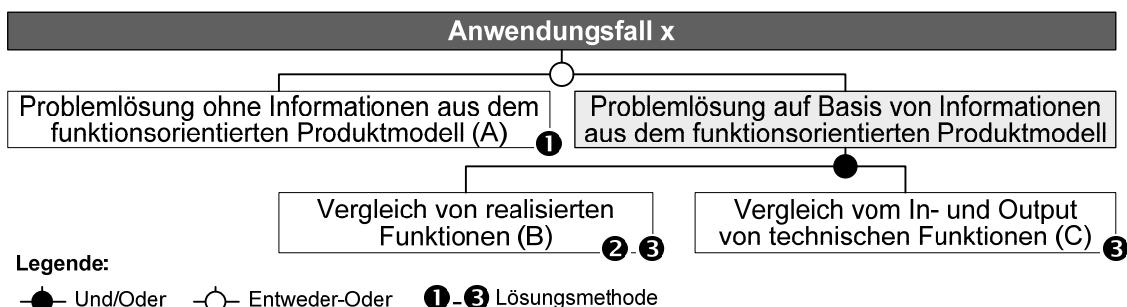


Bild 4-13: Abbildung von Lösungsmethoden eines Anwendungsfalls

Hierzu werden Knoten eingesetzt, die mit verschiedenen Verknüpfungen verbunden werden. Es gibt Und-, Entweder-Oder- sowie Und/Oder-Verknüpfungen. Die über eine Und-Verknüpfung verbundenen Knoten sind im übergeordneten Knoten zwingend ent-

²¹ Ein einfaches Beispiel zur Notation in Feature-Diagrammen ist im Abschnitt A3 im Anhang aufgeführt.

halten. Aus den mit einer Entweder-Oder-Verknüpfung verbundenen und damit alternativen Knoten muss jeweils ein Knoten ausgewählt werden. Bei einer Und/Oder-Verknüpfung können ein oder mehrere Knoten ausgewählt werden [KCH+90], [Bat05].

Bei den Anwendungsfällen kann eine hohe Anzahl von Problemlösungsmöglichkeiten entstehen. Dies ist jedoch mit einem hohen Durchführungsaufwand in den weiteren Schritten der Gesamtmethode verbunden. Daher werden in einem solchen Fall Bündel von Lösungsmethoden gebildet. So basiert im abgebildeten Beispiel bei Lösungsmethode 3 die Problemlösung auf dem Vergleich von realisierten Funktionen und dem Vergleich vom In- und Output von technischen Funktionen (B und C in Bild 4-13).

Im nächsten Schritt werden Abhängigkeiten zwischen den Lösungsmethoden und den einzelnen Elementen des funktionsorientierten Produktmodells analysiert und dokumentiert. Eine solche Abhängigkeit drückt aus, welche Ebenen und Relationen des Produktmodells für eine gewünschte Lösungsmethode eines Anwendungsfalls benötigt werden. Die Dokumentation dieser Abhängigkeiten erfolgt in Form einer Matrix (Bild 4-14). Die beiden linken Spalten enthalten die betrachteten Anwendungsfälle sowie die dazugehörigen Lösungsmethoden. Die restlichen Spalten beinhalten die einzelnen Ebenen des funktionsorientierten Produktmodells sowie die Relationen zwischen diesen Ebenen. Zu jeder Lösungsmethode wird definiert, welche Bestandteile des Produktmodells zur Anwendung der Lösungsmethode benötigt werden. So bedarf es beispielsweise für die Durchführung der Lösungsmethode 2 des Anwendungsfalls x unter anderem einer Dokumentation der anwenderorientierten und der logischen Ebene.

		Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
		■	■	■	■	■	■	■	■
Anwendungsfall x	Lösungs-methode 1								
	Lösungs-methode 2	x	x	x		x	x		
	Lösungs-methode 3	x	x	x	x	x	x	x	
							

Legende:

- Anwenderorientierte Ebene
- Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
- Logische Ebene
- Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
- Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung
- Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
- Technische Ebene: Buskommunikation
- Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-14: Matrix zur Abbildung der Abhängigkeiten zwischen Lösungsmethoden und dem funktionsorientierten Produktmodell

Eine vollständig ausgefüllte Matrix macht transparent, welche Bestandteile eines Produktmodells für die Anwendungsfälle im Unternehmensumfeld wichtig sind. Damit wird für jede Lösungsmethode definiert, welche Variante des Produktmodells für diese Lösungsmethode benötigt wird. Mit der Matrix wird eine wichtige Grundlage für die Etablierung eines funktionsorientierten Produktmodells gelegt: Es wird der Beitrag der einzelnen Bestandteile für die Anwendungsfälle im Unternehmen veranschaulicht (vgl. Abschnitt 2.3.3).

4.2.3 Bewertung der Lösungsmethoden

Nach dem Bestimmen der Lösungsmethoden erfolgt im dritten Schritt des Verfahrens eine Bewertung dieser Lösungsmethoden. Die Bewertung beinhaltet eine Einschätzung des Aufwands und des Nutzens für jede Lösungsmethode. Diese beiden Größen sind für die Auswahl der passenden Variante des Produktmodells relevant. Jede Lösungsmethode nutzt eine bestimmte Variante des Produktmodells. Umgekehrt wird jede Variante des Produktmodells von einer oder mehreren Lösungsmethoden verwendet. Damit ergibt sich der Nutzen für eine Variante des Produktmodells aus den Lösungsmethoden, die diese Variante nutzen.

Für jede Lösungsmethode entsteht auf Seiten der Anwendungsfälle ein bestimmter Nutzen. Demgegenüber steht der Aufwand für die Durchführung der Lösungsmethode. Der Aufwand für die Durchführung einer Lösungsmethode besteht aus einem laufenden und einem einmaligen, initialen Aufwand. Der laufende Aufwand entsteht bei jeder Durchführung der Lösungsmethode. Der einmalige Aufwand resultiert aus der Vorbereitung zum Ermöglichen der Durchführung. Ein Beispiel für einen einmaligen Aufwand stellt die Implementierung von Abfragen für eine Lösungsmethode dar.

Zur Ermittlung des Aufwands und des Nutzens wird ähnlich vorgegangen wie bei einer Nutzwertanalyse. Das Vorgehen ist in Bild 4-15 dargestellt.

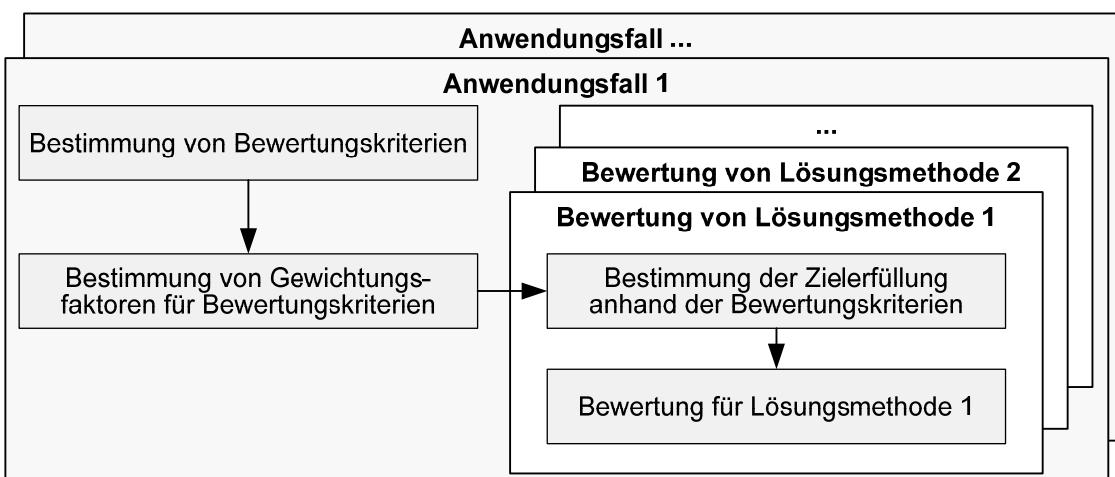


Bild 4-15: Vorgehen bei der Bewertung von Lösungsmethoden

Zuerst werden Bewertungskriterien für jeden Anwendungsfall definiert. Eine Bestimmung von Gewichtungsfaktoren für diese Kriterien erfolgt beispielsweise über einen paarweisen Vergleich. Anschließend werden Zielerfüllungsgrade für die Bewertungskriterien für jede Lösungsmethode ermittelt. Zusammen mit den Gewichtungsfaktoren ergibt sich so eine Bewertung des Aufwands und des Nutzens für jede Lösungsmethode. Im Folgenden werden diese Schritte zur Ermittlung des Aufwands und des Nutzens detailliert beschrieben.

Im ersten Schritt werden Kriterien für die Bewertung des Aufwands und des Nutzens definiert. Diese Kriterien sind für jeden Anwendungsfall unterschiedlich. Bei der Definition der Kriterien sind allgemeine Leitfragen hilfreich. Beispielsweise ist für die Bestimmung des Nutzens von Interesse, ob und wie durch den Einsatz von Lösungsmethoden die Kundenzufriedenheit erhöht oder eine Effizienzsteigerung innerhalb eines Anwendungsfalls erzielt werden kann. Tabelle 4-1 zeigt exemplarisch Kriterien für die Bewertung des Nutzens von unterschiedlichen Lösungsmethoden bei einem Anwendungsfall.

Im zweiten Schritt werden die definierten Bewertungskriterien über einen paarweisen Vergleich gewichtet. Damit wird die relative Relevanz der einzelnen Kriterien bei der Bewertung bestimmt. Tabelle 4-1 zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Gewichtung. Jeweils zwei Kriterien werden bzgl. ihrer Relevanz verglichen. Bei einer höheren Bedeutung bekommt ein Kriterium den Wert 2, bei einer niedrigeren Bedeutung den Wert 0 und bei der gleichen Bedeutung den Wert 1. Im abgebildeten Beispiel ist das Kriterium K1 somit weniger wichtig als Kriterium K2. Abschließend werden die Werte für ein Kriterium aufsummiert und mit der Gesamtsumme in Beziehung gesetzt. Alternativ kann die Gewichtung direkt vollzogen werden, indem jedem Kriterium ein Gewichtungsfaktor zugeordnet wird.

Tabelle 4-1: Bewertungskriterien zur Bewertung von Lösungsmethoden (Beispiel)

Kriterien	K1	K2	...	Summe	Faktor
K1 Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit		0	...	7	7/42
K2 Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Funktionen	2			12	12/42
K3 Transparenz bezüglich betroffener Funktionen bei nicht prüfbaren Verbindungen	1	0		8	8/42
...					
				42	1

Bewertung: 0=weniger wichtig, 1=gleich wichtig, 2=wichtiger

Im abschließenden Schritt werden die einzelnen Lösungsmethoden bewertet. Hierzu werden für die Bewertungskriterien Zielerfüllungsfaktoren bestimmt. Diese werden wiederum mit den Gewichtungsfaktoren zu jeweils einem Wert für den Nutzen, den laufenden und den einmaligen Aufwand einer jeden Lösungsmethode zusammengefasst.

Tabelle 4-2 zeigt diese Vorgehensweise beispielhaft für den Nutzen von Lösungsmethoden.

Tabelle 4-2: Bestimmung von Zielerfüllungsfaktoren und Zusammenfassung der Werte

Kriterien	Gewichtungs-faktor	Anwendungsfall x				
		Lösungsmethode 1		...	Lösungsmethode y	
		Zielerf.-faktor	Nutzen		Zielerf.-faktor	Nutzen
K1 Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit	7/42	1	0,167		2	0,334
K2 Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Funktionen	12/42	2	0,572		2	0,572
K3 Transparenz bezüglich betroffener Funktionen bei nicht prüfbaren Verbindungen	8/42	2	0,380		3	0,570
....						
				2,78		3,34

Die Bewertung der Lösungsmethoden eines Anwendungsfalls wird in einem Diagramm zusammengefasst. Bild 4-16 zeigt dies an einem Beispiel.

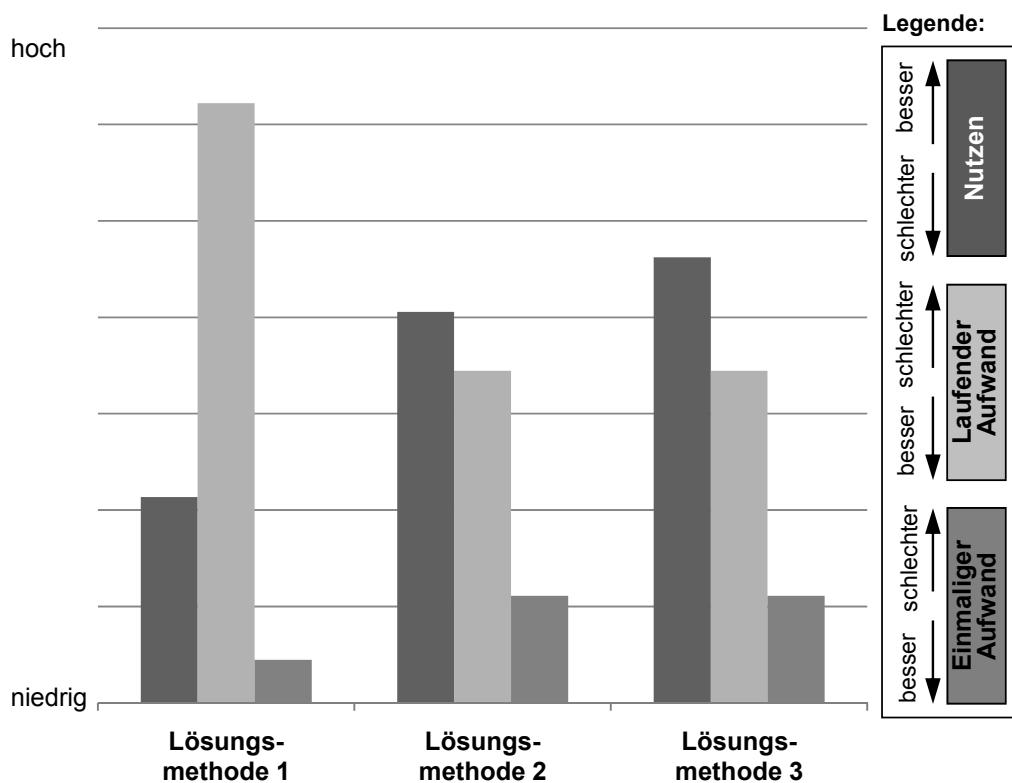


Bild 4-16: Bewertung der Lösungsmethoden eines Anwendungsfalls

Mit einem solchen Diagramm können die Lösungsmethoden bezüglich der Vorteilhaftigkeit unter Vernachlässigung des Modellierungsaufwands direkt untereinander verglichen werden. Im abgebildeten Beispiel ist das Verhältnis aus Nutzen und Aufwand bei Lösungsmethode 3 am günstigsten. Bei einer isolierten Betrachtung des Anwendungsfalls sollte also diese Lösungsmethode umgesetzt werden.

4.2.4 Bewertung des Modellierungsaufwands

Zur Bestimmung eines bedarfsspezifischen Produktmodells ist neben der Betrachtung der Anwendungsfälle eine Bewertung des Aufwands für die Datenmodellierung und -aktualisierung wichtig. Die Einschätzung muss für jede Ebene im Produktmodell und für die ebenenübergreifenden Relationen erfolgen (vgl. Spalten in Bild 4-14). Die Vorgehensweise bei dieser Einschätzung wird im Folgenden beschrieben.

Grundsätzlich kommen bei der Bestimmung des Aufwands für die Modellierung und Aktualisierung von Modellelementen zwei Möglichkeiten in Betracht: eine genaue, direkte Erfassung des Aufwands und eine näherungsweise, indirekte Bestimmung des Aufwands auf Basis der Eigenschaften von Modellelementen. Bei der näherungsweisen Bestimmung wird angenommen, dass die jeweiligen Eigenschaften eine nachvollziehbare Beziehung zum Aufwand aufweisen [Jan08].

Die Durchführung einer genauen, direkten Erfassung des Aufwands setzt voraus, dass eine Datenmodellierung und -aktualisierung für alle Elemente des Produktmodells und über den gesamten Produktlebenszyklus im Unternehmensumfeld schon erfolgt. Das Verfahren in dieser Arbeit trifft eine Aussage darüber, welche Modellelemente zukünftig modelliert bzw. aktualisiert werden sollten. Damit werden einige dieser Modellelemente zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht durchgängig modelliert. Daher ist die Voraussetzung zum Einsatz der genauen, direkten Erfassung nicht erfüllt und es kommt nur die indirekte Bestimmung des Aufwands in Betracht. Allerdings kann die genaue Erfassung des tatsächlichen Aufwands zur nachträglichen Kontrolle des indirekt eingeschätzten Aufwands verwendet werden, nachdem das vorgeschlagene Produktmodell ermittelt und durchgängig eingeführt wurde. Dies geht jedoch über den Fokus dieser Arbeit hinaus und wird nicht weiter betrachtet.

Bei der indirekten Bestimmung des Modellierungs- und Aktualisierungsaufwands von Modellelementen des funktionsorientierten Produktmodells werden drei Eigenschaften betrachtet: aktueller Status der Modellierung, Mengengerüst und Änderungshäufigkeit. Eine Bewertung dieser Eigenschaften führt zu einer Einschätzung des Modellierungs- und Aktualisierungsaufwands.

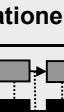
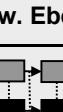
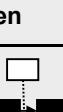
Unter **Status der Modellierung** wird die aktuelle Situation im Unternehmensumfeld verstanden. Es wird ermittelt, ob ein Modellelement bereits durchgängig modelliert wird. Ist dies der Fall, erübrigt sich die Betrachtung der weiteren Eigenschaften. Die

Verwendung der entsprechenden Modellelemente für neue Anwendungsfälle ist daher mit keinem zusätzlichen Modellierungsaufwand verbunden.

Das **Mengengerüst** umfasst die erwartete Anzahl der Objekte und der Beziehungen zwischen diesen Objekten innerhalb der betrachteten Ebene des Produktmodells bei einer Modellierung aller Produkte im betrachteten Unternehmen. Diese Anzahl korreliert positiv mit dem Modellierungsaufwand.

Die **Änderungshäufigkeit** beeinflusst den Aktualisierungsaufwand und variiert in Abhängigkeit von der Art eines Modellelements. Je häufiger ein Modellelement geändert wird, desto höher ist der entsprechende Aktualisierungsaufwand.

Die Bewertungen dieser drei Faktoren werden zu einer Gesamtgröße für jede Ebene und die ebenenübergreifenden Relationen zusammengefasst. Die Gesamtgröße wird in Aufwandspunkten angegeben (Bild 4-17). Sobald der Aufwand für die Ebenen und die ebenenübergreifenden Relationen des Produktmodells bestimmt ist, kann der Gesamtaufwand für jede beliebige Kombination dieser Elemente ermittelt werden. Die bei den Lösungsmethoden verwendeten Kombinationen werden als Varianten des Produktmodells bezeichnet. Für diese Varianten erfolgt die Ermittlung des gesamten Modellierungsaufwands durch Addition der einzelnen Aufwandspunkte.

Aufwands- punkte Varianten	Ebenen				Relationen zw. Ebenen				Aufwands- punkte pro Variante
									
...	3	8	1	1	6	7	10	2	
Variante E									Beispiel: $3 + 8 + 1 + 6 + 7 = 25$
Variante F									30
Variante G									25
...									36

Legende:

-  Anwenderorientierte Ebene
-  Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
-  Logische Ebene
-  Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
-  Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung
-  Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
-  Technische Ebene: Buskommunikation
-  Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-17: Bestimmung des Modellierungsaufwands für die Varianten des Produktmodells

Bei der Betrachtung der einzelnen Varianten des Produktmodells wird offensichtlich, dass diese teilweise logisch aufeinander aufbauen (Bild 4-17). Die Beziehungen zwischen den Varianten resultieren aus der Betrachtung der Bestandteile in den einzelnen Varianten. Beispielsweise sind die Bestandteile der Variante F und einige weitere Bestandteile in der Variante G enthalten. Damit bilden die Variante G eine Obermenge der Variante F. Aus Sicht der Variante F bildet diese eine Teilmenge der Variante G. Durch solche Beziehungen ergeben sich unterschiedliche konsistente Pfade, die bei der Einführung der Varianten eingeschlagen werden können. Die Berücksichtigung dieser Pfade stellt sicher, dass bei einer eventuellen schrittweisen Einführung der Varianten eine sinnvolle Reihenfolge gewählt wird. Wenn beispielsweise die Variante F angestrebt wird, kann ein späterer Übergang zu Variante G erfolgen. Nicht sinnvoll wäre hingegen ein Übergang von Variante F zu Variante E, da F keine Teilmenge von E darstellt.

4.2.5 Ableitung des bedarfsspezifischen Produktmodells

Im letzten Schritt des Verfahrens wird ein bedarfsspezifisches Produktmodell bestimmt. Dies erfolgt auf Basis der vorangegangenen Arbeitsschritte. Zu jeder Variante des Produktmodells werden die Bewertungen der zugeordneten Lösungsmethoden aus Schritt 3 des Verfahrens betrachtet (Bild 4-18). Jede Lösungsmethode nutzt bestimmte Ebenen und Relationen und damit eine definierte Variante des Produktmodells. Der Nutzen einer Variante ergibt sich aus dem Nutzen aller zugeordneten Lösungsmethoden. Beim laufenden Aufwand der Lösungsmethoden wird analog verfahren. Anschließend fließt die Bewertung des Modellierungsaufwands aus dem vierten Schritt ein: Für jede Variante des Produktmodells wird der Modellierungsaufwand aus den Aufwänden der einzelnen Gruppierungen ermittelt.

Die Angaben zum Nutzen und zum Aufwand werden zur einfacheren Übersicht in einem Diagramm eingetragen (Bild 4-18). Der Aufwand auf der x-Achse setzt sich dabei aus dem laufenden Aufwand für die Lösungsmethoden der Anwendungsfälle sowie dem Modellierungsaufwand der jeweiligen Variante zusammen. Die anzustrebende Variante weist einen hohen Nutzen bei einem niedrigen Aufwand auf.

Aus der beispielhaften Darstellung lässt sich die anzustrebende Variante des Produktmodells und damit das bedarfsspezifische Produktmodell bestimmen. So würden im dargestellten Beispiel die Varianten A, D und E nicht weiter verfolgt, da diese ein ungünstiges Verhältnis aus Nutzen und Aufwand aufweisen. Auch Variante B wäre nicht anstrebenswert, da Variante C bei ähnlichem Aufwand einen höheren Nutzen aufweist. Aus den restlichen Varianten könnte nun die anzustrebende Variante bestimmt werden. Ebenso könnten Zwischenvarianten zur Erreichung der gewünschten Variante definiert werden. Die Bestimmung von Zwischenvarianten muss unter Beachtung der konsistenten Pfade aus dem vorherigen Schritt erfolgen. Eine beliebige Reihenfolge bei der Einführung von Varianten des Produktmodells ist somit nicht sinnvoll.

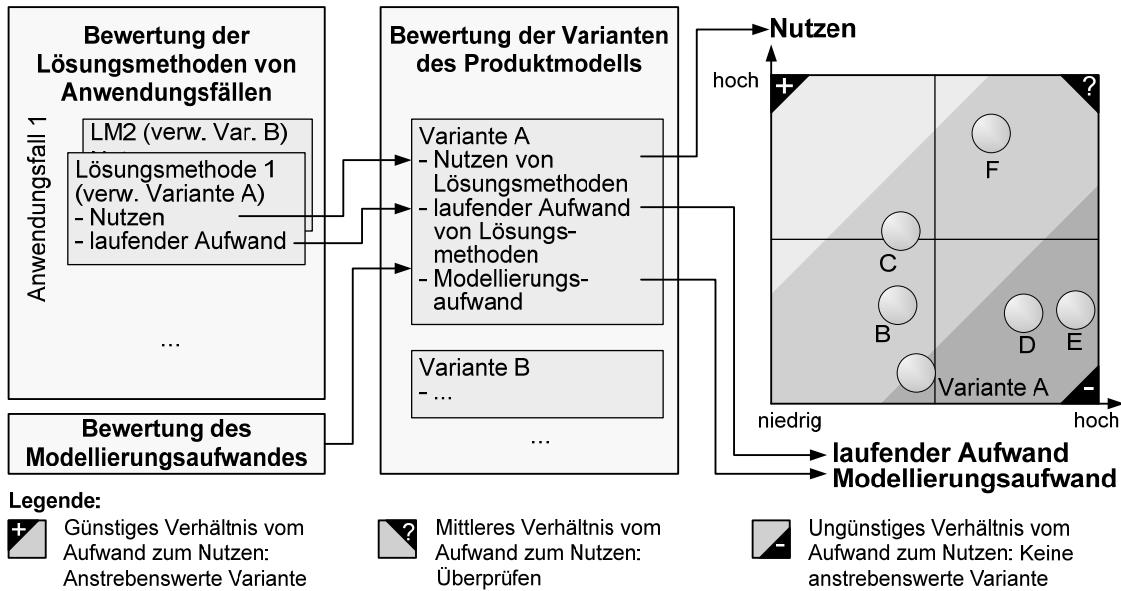


Bild 4-18: Integration der Ergebnisse zur Ableitung des bedarfsspezifischen Produktmodells

4.3 Anwendung des Verfahrens

In diesem Kapitel wird das in Abschnitt 4.2 beschriebene Verfahren im konkreten Unternehmensumfeld eines Automobilherstellers angewendet. Ziel ist ein bedarfsspezifisches Produktmodell für die Nutzung in den späten Phasen des Produktlebenszyklus.

Zunächst werden im Abschnitt 4.3.1 sieben Anwendungsfälle beschrieben, die im Rahmen der Anwendung des Verfahrens in einem Unternehmen der Automobilbranche identifiziert wurden. Nach der Analyse der Anwendungsfälle erfolgt im Abschnitt 4.3.2 eine Einschätzung des Modellierungsaufwands. Abschließend wird im Abschnitt 4.3.3 das bedarfsspezifische Produktmodell für das betrachtete Unternehmen abgeleitet.

4.3.1 Identifikation von Anwendungsfällen und Analyse von Lösungsmethoden

In diesem Abschnitt werden die identifizierten Anwendungsfälle beschrieben. Zu jedem Anwendungsfall erfolgt eine Problembeschreibung. Anschließend werden für jeden Anwendungsfall Lösungsmethoden aufgezeigt. Diese Lösungsmethoden werden abschließend bewertet. Damit werden in diesem Abschnitt die Schritte 1 bis 3 des Verfahrens durchlaufen.

4.3.1.1 Anwendungsfall 1 – Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen

Kraftfahrzeuge müssen aufgrund ihrer Komplexität nicht nur in der Entwicklung, sondern auch in der Serienproduktion geprüft werden. Ziel ist die Sicherstellung der Qualität des an den Kunden ausgelieferten Fahrzeugs. Im Kontext dieser Arbeit stehen aus

der Fülle der Qualitätsmerkmale vor allem die Funktionen im Fokus. Das Ziel des in diesem Abschnitt beschriebenen Anwendungsfalls ist die Bestimmung der Prüfungsrelevanz von Funktionen im Rahmen der Produktion.

Im betrachteten Unternehmen wird in der Serienproduktion heute vor allem die Korrektheit der physischen Verbindungen zwischen E/E- Komponenten geprüft (Kontaktierungsprüfung). Eine explizite Prüfung von Funktionen hat hingegen einen geringen Stellenwert: Der Anteil von Funktionsprüfungen liegt unter fünf Prozent. Es wird postuliert, dass bei vollständiger Prüfung der physischen Verbindungen und Einbau der richtigen und erfolgreich geprüften Komponenten implizit die Erfüllung der Funktionen eines Fahrzeugs sichergestellt ist. Diese Vorgehensweise wird aus folgendem Grund verfolgt: In den Entwicklungsabteilungen sollen der jeweils generierte Wertschöpfungsanteil und damit die entwickelten Systeme auf Fehlerfreiheit geprüft werden. In der Produktion wiederum soll nur der Anteil der Wertschöpfung geprüft werden, der während des Produktionsvorgangs geschaffen wird. Dieser Anteil umfasst die Montage und damit die Erzeugung der Verbindungen zwischen Komponenten [Kut05]. Auf diese Weise wird eine klare Trennung der Verantwortlichkeiten erzielt. Zudem ist der Aufwand bei der Durchführung von Kontaktierungsprüfungen gering, da diese bei dem überwiegenden Teil der Prüfungen automatisiert²² erfolgt. Diese Vorgehensweise weist jedoch Unzulänglichkeiten auf:

- **Eine Kontaktierungsprüfung ist nicht immer möglich:** In einigen Fällen ist eine automatisierte Prüfung der Korrektheit der physischen Verbindungen nicht durchführbar. Dies trifft beispielsweise beim Einsatz von Relais bei einer Heckscheibenheizung zu. In diesem Fall kann die beschriebene Vorgehensweise nicht zur Anwendung kommen und die Erfüllung der Funktionen kann durch eine Kontaktierungsprüfung auch implizit nicht sichergestellt werden.
- **Fehler in der Software oder Hardware einer Komponente werden unter Umständen nicht erkannt:** Komponenten werden sowohl in der Entwicklung als auch in der Produktion beim Zulieferer getestet. Dennoch können Fehler in den verbauten Komponenten auftreten. So gehen RUMPE und SCHIFFERS davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit der Fehlerfreiheit²³ von Software in Steuergerä-

²² Eine Kontaktierungsprüfung kann automatisch und manuell erfolgen. Bei einer automatischen Durchführung erfolgt die Prüfung von Verbindungen *on-board*. Bei dieser Variante muss nur noch der Fehlerspeicher ausgelesen werden. Bei einer manuell geführten Prüfung muss ein Mitarbeiter alle Schalter betätigen, für die diese Prüfung definiert wurde. Die Beobachtung einer erwünschten Reaktion findet nicht statt. Es wird lediglich automatisch registriert, ob die Verbindung zwischen einem Schalter und dem betreffenden Steuergerät gegeben ist. Somit werden auch hier keine Funktionen, sondern Verbindungen geprüft.

²³ Eine Untersuchung, die sich auf 130 Projekte im Umfeld von Softwareentwicklung stützt, verdeutlicht die Problematik. Diese Untersuchung gelangt zum Ergebnis, dass freigegebene Software-Produkte durchschnittlich 1,5 Fehlern pro tausend Quellcodezeilen aufweisen [LRR+98], [MIO87]. Moderne

ten weiter abnehmen wird [RS06]. Der Grund hierfür liegt unter anderem in der Variantenvielfalt moderner Fahrzeuge. In der Entwicklung kann nur ein begrenzter Prozentsatz der maximal möglichen Konfigurationen abgesichert werden [SD06]. Die Absicherung jeder möglichen Konfiguration würde einen unverhältnismäßigen Aufwand nach sich ziehen²⁴. Zudem würde dem Aufwand teilweise kein entsprechender Nutzen gegenüberstehen, denn nicht jede mögliche Konfiguration wird auch tatsächlich bestellt. Insgesamt können Kundenfahrzeuge also auch Konfigurationen aufweisen, die in der Entwicklung in der spezifischen Zusammensetzung nicht abgesichert wurden.

Diese Unzulänglichkeiten können durch eine explizite Prüfung von Funktionen überwunden werden, da eine Prüfung von Funktionen über eine reine Kontaktierungsprüfung hinaus geht. So können auch Funktionen geprüft werden, die durch Komponenten realisiert werden, welche durch eine nicht prüfbare Verbindung vernetzt sind. Zudem können Fehler innerhalb von Komponenten gefunden werden, die bei einer reinen Kontaktierungsprüfung nicht gefunden werden. Beispielsweise können Fehler entdeckt werden, die aus einer nicht abgesicherten Konfiguration resultieren: Funktionen werden in der Produktion am Kundenfahrzeug und damit – im Gegensatz zur Entwicklung – an der tatsächlichen Konfiguration getestet.

Eine Prüfung von Funktionen bedeutet jedoch einen zusätzlichen Aufwand. Eine vollständige Abdeckung ist angesichts von ungefähr 3000 funktionalen Qualitätsmerkmalen bei einem Fahrzeug nicht realisierbar [For09]. Es bedarf daher einer systematischen Vorgehensweise, um diejenigen Funktionen zu identifizieren, deren Prüfung den größten Nutzen stiftet. Die Prüfungsrelevanz von Funktionen muss systematisch hergeleitet werden können.

Die systematische Vorgehensweise zur Priorisierung von Funktionen ist nicht auf den Einsatz bei der Prüfplanung in der Produktion eingeschränkt. Denkbar ist die Anwendung der Vorgehensweise auch zur zusätzlichen Absicherung in der Nutzungsphase. Hier kann ein Komponententausch eine neue Konfiguration zur Folge haben [RS06]. Die daraus resultierenden potentiellen Fehler könnten über eine Funktionsprüfung erkannt werden.

Fahrzeuge haben einen Umfang von mehr als zehn Millionen Quellcodezeilen. Es wird erwartet, dass dieser Umfang bei der nächsten Fahrzeuggeneration um den Faktor zehn steigt [Bro06]. Somit kann die gesamte Software eines Fahrzeugs mehrere tausend Fehler enthalten.

²⁴ Folgende Zahlenbeispiele sollen dies verdeutlichen: Bei Audi wird von 10^{20} , bei DaimlerChrysler von 10^{27} und bei BMW von 10^{32} rechnerisch möglichen Fahrzeugvarianten ausgegangen [And06], [Kat03].

Bestimmung von Lösungsmethoden

Die Bestimmung der Prüfungsrelevanz von Funktionen erfordert eine systematische Vorgehensweise. Im Folgenden werden Lösungsmethoden definiert, die eine solche systematische Vorgehensweise auf Basis des funktionsorientierten Produktmodells umsetzen.

Eine Systematik zur Bestimmung der Prüfungsrelevanz beim Testen in der Entwicklung wird in der wissenschaftlichen Literatur adressiert. Beispielsweise wird in [CFS05] die sogenannte Klassifikationsbaum-Methode (CTM: Classification-Tree Method) angewendet, um verschiedene potentielle Randbedingungen beim Einsatz eines Systems zu visualisieren und hieraus Testfälle zu bestimmen.

Entsprechende Vorgehensweisen zur Bestimmung der Prüfungsrelevanz von Funktionen sind im Bereich des Prüfens in der Serienproduktion kaum bekannt und werden in der industriellen Praxis nicht angewendet [For09]. Sämtliche Entscheidungen werden von Personen subjektiv getroffen [Ber05]. Ansätze, welche die Problemstellung berühren, beziehen sich vor allem auf eine Risikobetrachtung unter Zuhilfenahme der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) (vgl. [Ber05], [For09]). Daher werden im Folgenden zur Bestimmung von Lösungsmethoden zur Priorisierung von Funktionen die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse sowie Ansätze im Bereich des Risikomanagements betrachtet. Bei den Ansätzen zum Risikomanagement erfolgt eine Priorisierung auf Basis der Wahrscheinlichkeit eines Fehlers und der Bedeutung von Fehlerfolgen [Aml00], [Pfl00]. Bei der FMEA wird zusätzlich zu diesen beiden Faktoren die Entdeckungswahrscheinlichkeit einbezogen [NN80]. Bei der Priorisierung von Funktionen müssen also folgende Faktoren berücksichtigt werden: Bedeutung der Folgen bei einem Fehler in einer Funktion (B), Auftrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers in einer Funktion (A) sowie die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers in der Serienproduktion (E). Diese drei Faktoren führen zur Risikoprioritätszahl (RPZ). Eine Prüfung ist notwendig, wenn eine hohe Risikoprioritätszahl vorliegt [Ber05].

Für die Berücksichtigung der drei Faktoren kommen jeweils mehrere Lösungsmöglichkeiten in Betracht (Bild 4-19). Die Faktoren können berücksichtigt werden, indem entsprechende Ausprägungen für die Faktoren für jede Funktion auf Basis von Expertenwissen subjektiv geschätzt werden. Weitergehend können die Faktoren auf der Basis von detaillierten Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell subjektiv berücksichtigt oder über eine Berechnungsvorschrift automatisiert einbezogen werden. Hierbei kann zu jedem Faktor (B, A, E) eine dieser drei Lösungsmöglichkeiten unabhängig von den Lösungsmöglichkeiten der anderen Faktoren gewählt werden. Insgesamt ergeben sich also $27 (3*3*3)$ Möglichkeiten zur Einschätzung der Prüfrelevanz.

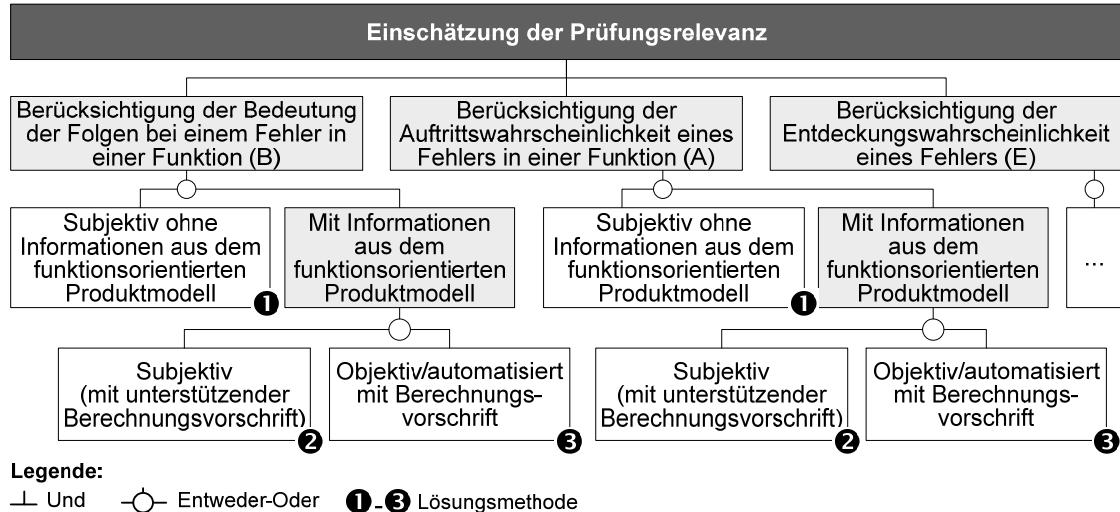


Bild 4-19: Lösungsmethoden für den Anwendungsfall „Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen“

Eine hohe Anzahl von Lösungsmethoden kann hinderlich sein, da dies mit einem hohen Durchführungsaufwand in den weiteren Schritten der Gesamtmethode verbunden ist (vgl. Abschnitt 4.2.2). Daher werden die ursprünglichen 27 Möglichkeiten zu drei Lösungsmethoden zusammengefasst, die dann die Basis für die nächsten Schritte bilden (Bild 4-19). Bei der ersten Lösungsmethode werden die zu prüfenden Funktionen subjektiv aufgrund von Expertenwissen bestimmt. In der zweiten Lösungsmethode erfolgt diese Bestimmung mit Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell. Auf Basis dieser Informationen wird mittels eines Algorithmus eine Priorisierung von Funktionen vorbereitet und von einem Experten bestätigt oder modifiziert. Bei der dritten Lösungsmethode wird die Priorisierung ausschließlich durch den Algorithmus durchgeführt. Bei der Berücksichtigung der drei Faktoren auf der Basis von Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell (Lösungsmethoden 2 und 3) sind vielfältige Einflussgrößen von Bedeutung. Bild 4-20 listet beispielhaft solche Einflussgrößen auf.

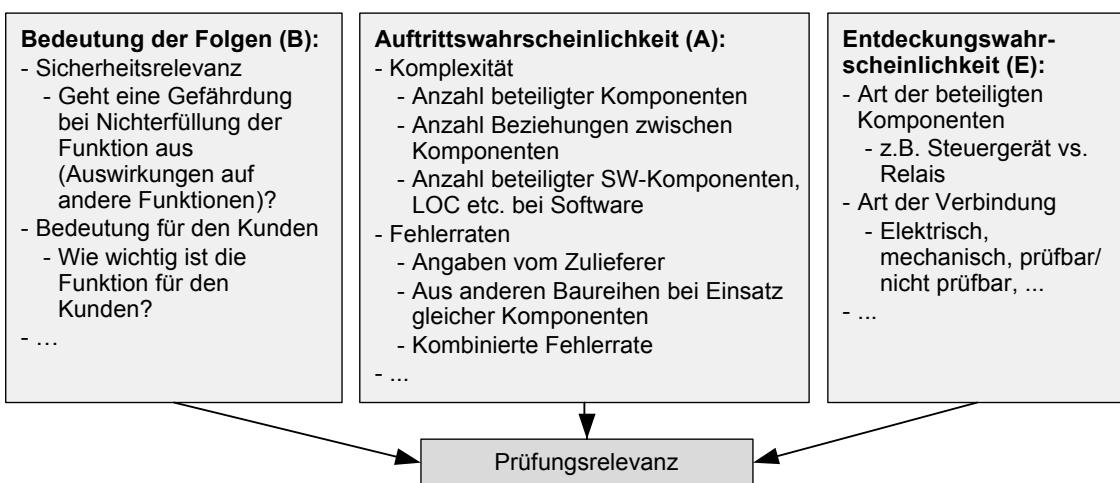


Bild 4-20: Einflussgrößen bei der Bestimmung der Prüfungsrelevanz von Funktionen

Aus den unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten ergeben sich verschiedene Anforderungen an das funktionsorientierte Produktmodell. Dieser Zusammenhang wird vereinfacht in Bild 4-21 dargestellt und im Folgenden näher erläutert.

Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
								
Lösungsmethode 1: Subjektive Einschätzung von B, A, E ohne Informationen aus Produktmodell								
Lösungsmethoden 2 + 3: Einschätzung mit Informationen aus Produktmodell	x	x	x		x	x		
(B) Einschätzung der Bedeutung der Folgen eines Fehlers	x	x						
(A) Einschätzung der Auftrittswahrscheinlichkeit	x	x	x		x	x		
(E) Einschätzung der Entdeckungswahrscheinlichkeit	x	x	x		x	x		

Legende:



Anwenderorientierte Ebene



Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene



Logische Ebene



Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung



Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung



Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation



Technische Ebene: Buskommunikation



Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-21: Elemente des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen“

Bei Lösungsmethode 1 erfolgt eine subjektive Einschätzung der drei beschriebenen Faktoren ohne die Nutzung von Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell. Es wird also ausschließlich das Wissen der bei der Einschätzung beteiligten Experten verwendet.

Bei den Lösungsmethoden 2 und 3 werden detaillierte Informationen aus dem Produktmodell für die Einschätzung von B, A und E genutzt. Bei der Einschätzung der Bedeutung der Folgen bei einem Fehler in einer Funktion (B in Bild 4-21) sind vor allem die Sicherheitsrelevanz und die Wichtigkeit einer Funktion für den Kunden sowie die Bedeutung einer Funktion aus Herstellersicht von Interesse. Hierbei kann eine Unterscheidung erfolgen: Entweder liegen Werte für diese Kriterien aus anderen Bereichen außerhalb der Prüfplanung bereits vor oder diese müssen zuvor geschätzt werden. Wenn Werte bereits vorliegen, ist eine Auflistung von Funktionen aus der anwenderorientierten Ebene als Dokumentationsgrundlage hilfreich: Die Werte für die beschriebenen Kriteri-

en können den Funktionen zugeordnet werden. Wenn die Werte erst geschätzt werden müssen, ist zusätzlich die logische Ebene zur Unterstützung einer Auswirkungsanalyse im Fehlerfall hilfreich: Aus der logischen Ebene wird ersichtlich, welche technischen Funktionen einen Input aus der jeweils betrachteten technischen Funktion bekommen. Diese sind somit bei einem Ausfall der betrachteten Funktion ebenfalls gefährdet. Dieses Wissen erleichtert die Einschätzung der Fehlerfolgen.

Bei einer detaillierten Einschätzung der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers (A in Bild 4-21) spielt die Komplexität der Realisierung einer Funktion eine Rolle. Zusätzlich sind die Fehlerraten der realisierenden Hardware- und Softwarekomponenten wichtig. Die Komplexität der Realisierung einer Funktion wird durch die Anzahl der beteiligten Hardware- und Softwarekomponenten bestimmt. Diese Betrachtung kann auf Seiten der Softwarekomponenten weiter detailliert werden. So kann beispielsweise die Anzahl der Quellcodezeilen die Komplexitätsbestimmung verbessern. Bezuglich des funktionsorientierten Produktmodells ist also für die Einschätzung der Komplexität die Modellierung der anwenderorientierten Ebene, der logischen Ebene sowie der Komponenten und der Vernetzung aus der technischen Ebene hilfreich. Auch die entsprechenden Relationen unterstützen die Einschätzung. Diese Bestandteile des Produktmodells sind bei der Einbeziehung von Fehlerraten zur Einschätzung der Komplexität ebenfalls nützlich. Auf diese Weise können zu jeder Funktion die Fehlerraten der beteiligten Komponenten berücksichtigt werden. Das Wissen über die Relationen, Fehlerraten der einzelnen Komponenten sowie Verbindungen zwischen den Komponenten kann weiterführend auch zum Aufbau von Zuverlässigkeitssblockschaltbildern zur jeweils betrachteten Funktion aggregiert werden. Auf diese Weise kann zu einer Funktion eine Gesamtfehlerate abgeschätzt werden. Eine weitere Einflussgröße der Eintrittswahrscheinlichkeit ist der Innovations- bzw. Neuheitsgrad von Funktionen und der jeweils realisierenden Komponenten.

Für die Einschätzung der Entdeckungswahrscheinlichkeit (E in Bild 4-21) ist die Modellierung der anwenderorientierten und der logischen Ebene nützlich. Eine Dokumentation der Komponenten und der Vernetzung aus der technischen Ebene erleichtert die Einschätzung. Bei der Prüfung in der Produktion dominiert die Kontrolle der Verbindungen zwischen einzelnen Komponenten (Kontaktierungsprüfung). Damit werden Funktionen implizit geprüft. Wenn eine Vernetzung zwischen Komponenten, die zu einer Funktionen beitragen, nicht prüfbar ist, wird diese Funktion auch implizit nicht geprüft. Solange die Funktion auch explizit nicht geprüft wird, ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit entsprechend gering. Dieser Sachverhalt kann bei einer Modellierung der beschriebenen Relationen leicht aufgedeckt werden.

Bewertung der Lösungsmethoden

Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Lösungsmethoden von Experten im Unternehmensumfeld bewertet. Die Bewertung einer Lösungsmethode umfasste den Nutzen und den Aufwand. Um eine einheitliche Bewertungsgrundlage zu schaffen, wurden sowohl

für die Bewertung des Nutzens als auch des Aufwands zuvor Bewertungskriterien definiert. Für die Einschätzung des Nutzens wurden sechs Kriterien definiert (Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Kriterien zur Bewertung des Nutzens beim Anwendungsfall „Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen“

Kriterien	Beschreibung
Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit bei der Ermittlung	Inwieweit ist der Entscheidungsweg für die Priorisierung von Funktionen nachvollziehbar? Sind die Einflussgrößen zur Entscheidungsfindung bekannt? Ist die Vergleichbarkeit gegeben oder ist diese abhängig von der durchführenden Person?
Sicherstellung der Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Funktionen	Inwieweit ist sichergestellt, dass sicherheitsrelevante Funktionen bei der Priorisierung berücksichtigt und nicht übersehen werden?
Transparenz bezüglich betroffener Funktionen bei nicht prüfbaren Verbindungen	Wie einfach ist es, einen Überblick über Funktionen zu bekommen bzw. zu berücksichtigen, die von nicht prüfbaren Verbindungen betroffen sind?
Transparenz bezüglich wichtiger Funktionen aus Kunden- und Unternehmenssicht	Inwieweit sind Informationen zur Wichtigkeit von Funktionen aus Kunden- und Unternehmenssicht vorhanden?
Unterstützung bei Auswirkungsanalysen	Wie einfach ist es, die Auswirkungen eines Fehlers in einer Funktion auf andere Funktionen zu berücksichtigen?
Übersicht über die Komplexität von Funktionen	Wie einfach ist es, einen Überblick über die Komplexität der Realisierung von Funktionen zu bekommen (z.B. durch Anzahl der beteiligten Komponenten)?

Für die Bewertung des Aufwands wurden drei Kriterien vorgesehen (Tabelle 4-4). Neben der eigentlichen Aufwandsbetrachtung fließen das benötigte Expertenwissen sowie der Aufwand für die Definition und Optimierung der Berechnungsvorschrift mit ein.

Tabelle 4-4: Kriterien zur Bewertung des Aufwands beim Anwendungsfall „Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen“

Kriterien	Beschreibung
Aufwand für die Durchführung/Zeiteffizienz	Welcher Aufwand entsteht für die Durchführung einer Priorisierung?
Benötigtes Expertenwissen	Wie viel Expertenwissen ist für die Durchführung einer Priorisierung notwendig?
Einmaliger Aufwand für die Definition und Optimierung der Berechnungsvorschrift	Wie hoch ist der Initialaufwand für die Definition und Optimierung einer Berechnungsvorschrift?

Die Kriterien zur Bewertung des Aufwands und des Nutzens wurden in Expertenrunden gewichtet. Hierfür wurde eine vierstufige Skala vorgegeben (von unwichtig bis sehr

wichtig). Anschließend wurde der Zielerfüllungsgrad für jedes Kriterium pro Lösungsmethode bestimmt (ebenfalls eine vierstufige Skala). Der Nutzen bzw. Aufwand für eine Lösungsmethode wurde aus der Summe der gewichteten Zielerfüllungsgrade ermittelt (vgl. Abschnitt 4.2.3).

Das Ergebnis der Expertenbewertung ist in Bild 4-22 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Nutzen von Lösungsmethode 1 im Vergleich zu den anderen Lösungsmethoden als deutlich kleiner eingeschätzt wird. Gleichzeitig ist der Aufwand für die Durchführung höher als bei den restlichen Lösungsmethoden. Dies liegt vor allem daran, dass bei dieser Lösungsmethode jede einzelne Funktion bewertet werden muss und hierfür ausgeprägtes Expertenwissen vorausgesetzt ist. Bei isolierter Betrachtung des Anwendungsfalls, ohne Berücksichtigung des Modellierungsaufwands für das Produktmodell, wäre der Einsatz von Lösungsmethode 1 damit nicht sinnvoll.

Lösungsmethode 2 und 3 zeigen ähnliche Werte beim Nutzen. Dem etwas höheren Nutzen von Lösungsmethode 2 im Vergleich zu Lösungsmethode 3 steht ein höherer laufender Aufwand entgegen. Allerdings baut Lösungsmethode 3 auf der Lösungsmethode 2 auf. Daher sollte vor dem Einsatz von Lösungsmethode 3 die Lösungsmethode 2 eingesetzt und im praktischen Einsatz bewertet werden.

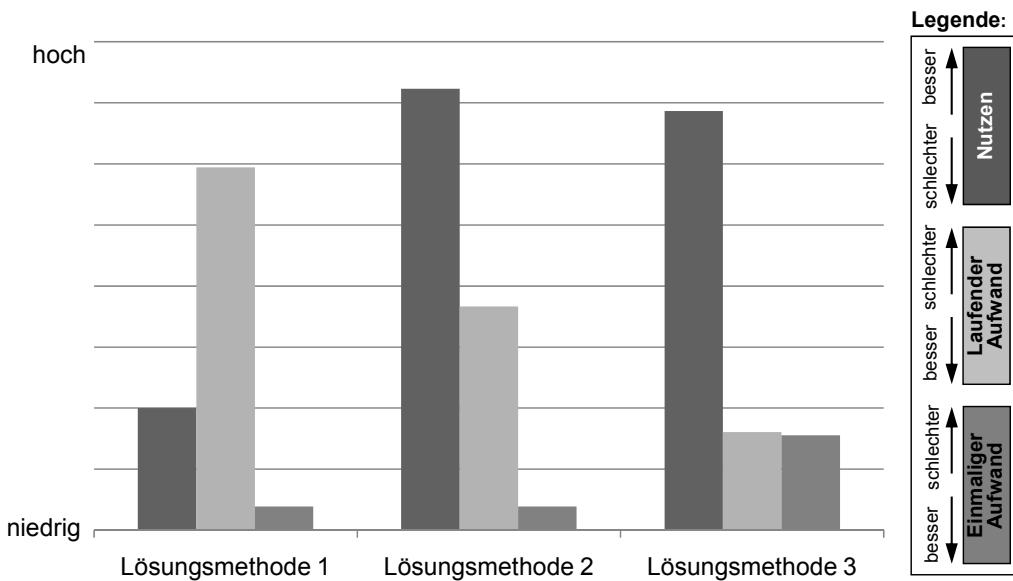


Bild 4-22: *Bewertete Lösungsmethoden zur Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen*

4.3.1.2 Anwendungsfall 2 – Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung in der Prüfplanung

Ziel des Anwendungsfalls *Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen* ist sicherzustellen, dass die wichtigsten Funktionen geprüft werden. Der Anwendungsfall *Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung* adressiert hingegen die restlichen Funktionen.

Der Fokus liegt auf dem Zielkonflikt zwischen dem Prüfaufwand auf der einen Seite und dem Anteil der geprüften Umfänge eines Fahrzeugs auf der anderen Seite. Der Anteil der geprüften Umfänge wird als Abdeckungsgrad bezeichnet.

Der **Abdeckungsgrad** entspricht dem Quotienten aus direkt oder indirekt geprüften Elementen zur Gesamtheit der Elemente. Der Prüfaufwand soll möglichst minimiert werden. Der Abdeckungsgrad sollte hingegen möglichst hoch sein, um eventuell vorhandene Fehler aufdecken und beheben zu können. Die Maximierung des Abdeckungsgrads und die Minimierung des Prüfaufwands stehen im Zielkonflikt. Ein hoher Abdeckungsgrad geht mit einem hohen Prüfaufwand einher. Ein niedriger Prüfaufwand wiederum verhindert einen hohen Abdeckungsgrad.

Im Rahmen des Anwendungsfalls wird der Abdeckungsgrad auf der anwenderorientierten sowie auf der technischen Ebene betrachtet. Somit sind drei Bewertungsgrößen relevant (Bild 4-23):

- **Abdeckungsgrad Funktionen:** Diese Bewertungsgröße fokussiert auf die anwenderorientierte Ebene und entspricht dem Verhältnis der direkt oder indirekt geprüften Funktionen zu der Gesamtheit der Funktionen.
- **Abdeckungsgrad Verbindungen:** Diese Bewertungsgröße entspricht dem Quotienten aus direkt oder indirekt geprüften Verbindungen zwischen Komponenten und der Gesamtheit der Verbindungen. Damit wird die technische Ebene berücksichtigt.
- **Prüfaufwand:** Der Prüfaufwand umfasst den Gesamtaufwand für die Prüfungen von Funktionen und den Verbindungen zwischen den Komponenten.

Die Abdeckungsgrade auf den einzelnen Ebenen beeinflussen sich gegenseitig (Bild 4-23). Damit kann eine Unterteilung von Abdeckungsgraden in einen direkten und einen indirekten Anteil erfolgen.

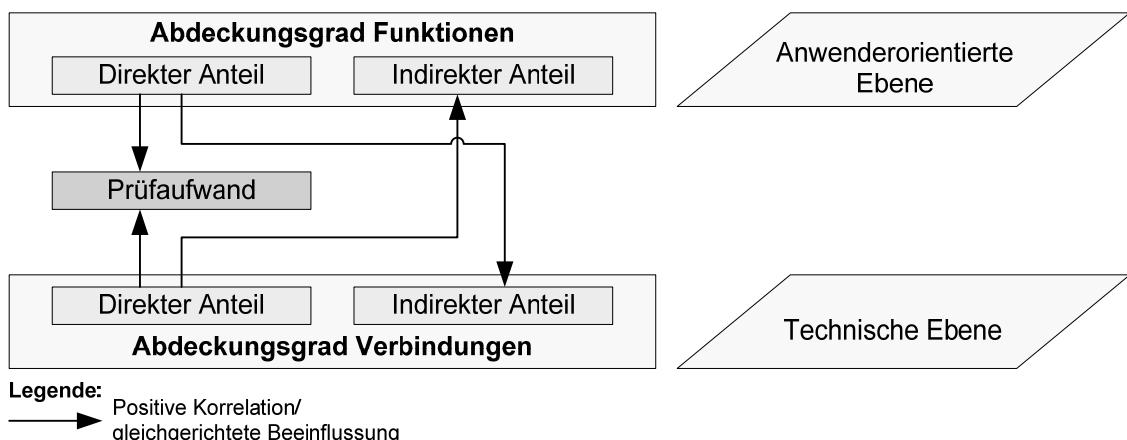


Bild 4-23: Zusammenhang zwischen den Abdeckungsgraden und dem Prüfaufwand

Der **direkte Anteil** resultiert aus einer expliziten Prüfung von Elementen der jeweils betrachteten Ebene. Der **indirekte Anteil** folgt aus einer Prüfung von Elementen aus der jeweils anderen Ebene. Eine Erhöhung des direkten Anteils auf einer Ebene vergrößert den indirekten Anteil auf anderen Ebenen und umgekehrt. Gleichzeitig erhöht eine Steigerung der direkten Anteile den Prüfaufwand.

Die Abhängigkeiten zwischen den beiden Abdeckungsgraden werden in Bild 4-24 an einem abstrakten Beispiel veranschaulicht. Wenn Funktionen geprüft werden und damit der direkte Anteil des Abdeckungsgrads auf der anwenderorientierten Ebene erhöht wird, erhöht sich auch der indirekte Anteil des Abdeckungsgrads auf der technischen Ebene, da die zur Funktionserfüllung notwendigen Verbindungen und Komponenten damit indirekt geprüft werden²⁵. Dies gilt auch umgekehrt: Wenn Komponenten und Verbindungen geprüft werden, wird der indirekte Anteil des Abdeckungsgrads auf der anwenderorientierten Ebene erhöht.

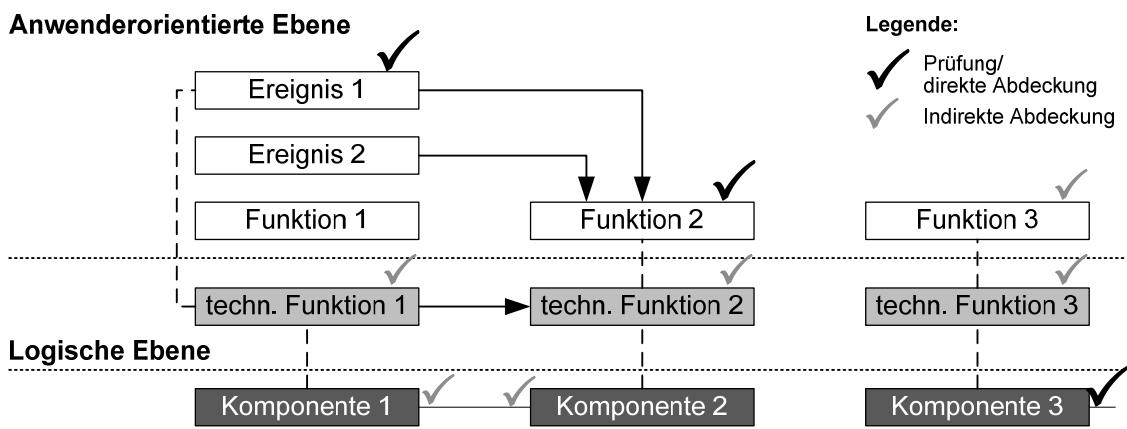


Bild 4-24: Abhängigkeiten zwischen Abdeckungsgraden auf unterschiedlichen Ebenen

Die Aussagekraft des indirekten Anteils des Abdeckungsgrads ist abhängig davon, ob die anwenderorientierte oder die technische Ebene betrachtet wird. Für die technische Ebene gilt: Bei einer korrekt ausgeführten Funktion kann sicher davon ausgegangen werden, dass alle beteiligten Komponenten richtig verbunden wurden. Die Aussagekraft des ermittelten indirekten Anteils des Abdeckungsgrads innerhalb der technischen Ebene ist also hoch. Für die anwenderorientierte Ebene gilt: Erst wenn alle zu einer Funktion beitragenden Verbindungen zwischen den Komponenten als korrekt geprüft wur-

²⁵ Durch die hohe Vernetzung in modernen Fahrzeugen (vgl. Abschnitt 2.2) können bei einer Prüfung von Funktionen nennenswerte indirekte Abdeckungsgrade erzielt werden. Beispielsweise sind bei der vergleichsweise einfachen Funktion *automatisches Einschalten des Abblendlichtes bei Dunkelheit* neben dem Lichtsensor und dem Abblendlicht bei einem exemplarisch betrachteten Mittelklassefahrzeug vier weitere Komponenten involviert. Bei einer Prüfung dieser Funktion werden also schon sechs Komponenten und fünf Verbindungen indirekt abgedeckt.

den, resultiert daraus, dass die Funktion aus Sicht der Produktion korrekt ausgeführt werden sollte. Wenn nur eine beteiligte Verbindung nicht in die Prüfung einbezogen wird, kann eine Aussage zur Abdeckung der entsprechenden Funktion nicht mehr getroffen werden. Auch eine fehlerhafte Implementierung der Funktion in der Entwicklungsphase kann auf diese Weise nicht aufgedeckt werden. Die Aussagekraft des indirekten Anteils des Abdeckungsgrads innerhalb der anwenderorientierten Ebene ist dadurch vergleichsweise gering.

Die zu prüfenden Elemente der anwenderorientierten und der technischen Ebene können variiert werden. Durch die Betrachtung der daraus resultierenden Abdeckungsgrade und des gesamten Prüfaufwands wird eine Grundlage zur iterativen Optimierung geschaffen. Das Ziel in diesem Anwendungsfall ist eine systematische Vorbereitung zur Herleitung des Optimums mit Hilfe des funktionsorientierten Produktmodells.

Bestimmung von Lösungsmethoden

Eine systematische Methode zur Herleitung des Optimums unter Berücksichtigung der Abdeckungsgrade auf der anwenderorientierten und der technischen Ebene existiert bislang nicht. Eine entsprechende Methode muss zumindest zwei Schritte beinhalten (Bild 4-25).

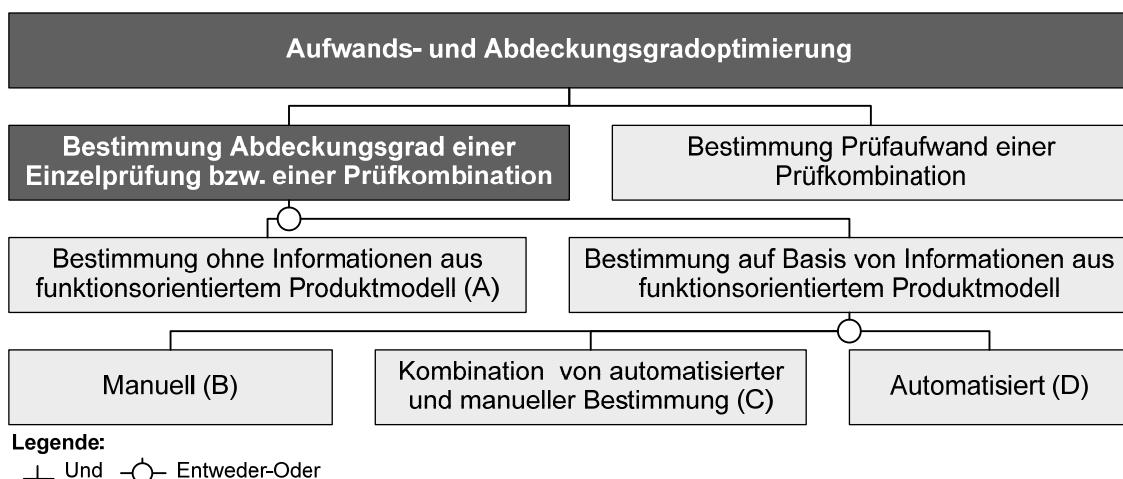


Bild 4-25: Möglichkeiten zur Bestimmung von Abdeckungsgraden

Zunächst muss der Abdeckungsgrad für eine Prüfkombination auf der logischen und der technischen Ebene ermittelt werden. Eine **Prüfkombination** stellt eine Auswahl von Funktionen und Verbindungen dar, die für eine Prüfung vorgesehen sind. Für eine solche Prüfkombination muss zusätzlich der resultierende Prüfaufwand bestimmt werden.

Aus diesen Angaben kann anschließend das Gesamtoptimum und damit die zu prüfende Kombination iterativ bestimmt werden²⁶.

Für die einzelnen Schritte in Bild 4-25 existieren jeweils mehrere mögliche Vorgehensweisen. Diese werden im Folgenden näher beschrieben. Dabei wird deutlich, dass einige dieser Vorgehensweisen nicht praktikabel sind und daher bei der anschließenden Bildung von Lösungsmethoden nicht berücksichtigt werden.

Die Bestimmung des Abdeckungsgrads kann ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell erfolgen (A in Bild 4-25). Hier wird nur das implizit vorhandene Wissen der jeweils durchführenden Person eingesetzt.

Bei Verwendung von Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell kann die Bestimmung des Abdeckungsgrads zunächst rein manuell erfolgen (B in Bild 4-25). Hier wertet die durchführende Person die Relationen zwischen den Elementen auf den unterschiedlichen Ebenen aus und bestimmt so den Abdeckungsgrad der jeweiligen Ebenen. Diese Möglichkeit ist im Vergleich zu den Möglichkeiten C und D nicht sinnvoll, da eine rein manuelle Auswertung angesichts des Umfangs der zu berücksichtigenden Funktionen, Verbindungen und Relationen sehr aufwändig und fehleranfällig wäre. Da ein Produktmodell vorliegt bzw. genutzt wird, kann zudem über automatisierte Auswertungsunterstützungen (entspricht C und D) die Aufgabe mit geringem Aufwand deutlich vereinfacht werden. Daher wird die Möglichkeit B nicht weiter betrachtet.

Bei einer automatisierten Unterstützung (C in Bild 4-25) oder einer rein automatisierten Bestimmung (D in Bild 4-25) des Abdeckungsgrads bedarf es eines entsprechenden Algorithmus. Bild 4-26 zeigt die prinzipiellen Schritte des Algorithmus zur Bestimmung des indirekten Anteils vom Abdeckungsgrad auf der technischen Ebene. Die Basis für die Ermittlung bildet eine bestimmte Prüfkombination. Diese beschreibt, welche Funktionen über welches Ereignis geprüft werden. Ausgehend von dieser Angabe wird in mehreren Schritten über die Auswertung der Relationen zwischen den Elementen von der anwenderorientierten über die logische bis zur technischen Ebene des Produktmodells der entsprechende Abdeckungsgrad ermittelt. Beim Algorithmus werden zwei Varianten betrachtet: Eine pessimistische und eine optimistische Bestimmung des Abdeckungsgrads. Die pessimistische Bestimmung ergibt einen geringeren Abdeckungsgrad als die optimistische, da Unsicherheiten anders behandelt werden.

²⁶ Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf Vorgehensweisen zur Bestimmung von Abdeckungsgraden auf den einzelnen Ebenen und von Prüfaufwänden. Diese Aufgaben können durch eine Dokumentation auf Basis des funktionsorientierten Produktmodells sinnvoll unterstützt werden. Eine Vorgehensweise zur Bestimmung des Optimums nach der Ermittlung von Abdeckungsgraden und von Prüfaufwänden als Eingangsgrößen wird in dieser Arbeit nicht behandelt, da hier ein allgemeines, nicht-triviales Optimierungsproblem vorliegt. Die Lösung von Optimierungsproblemen ist Gegenstand intensiver Forschung (vgl. z.B. [Fle87], [JS04], [AL07]).

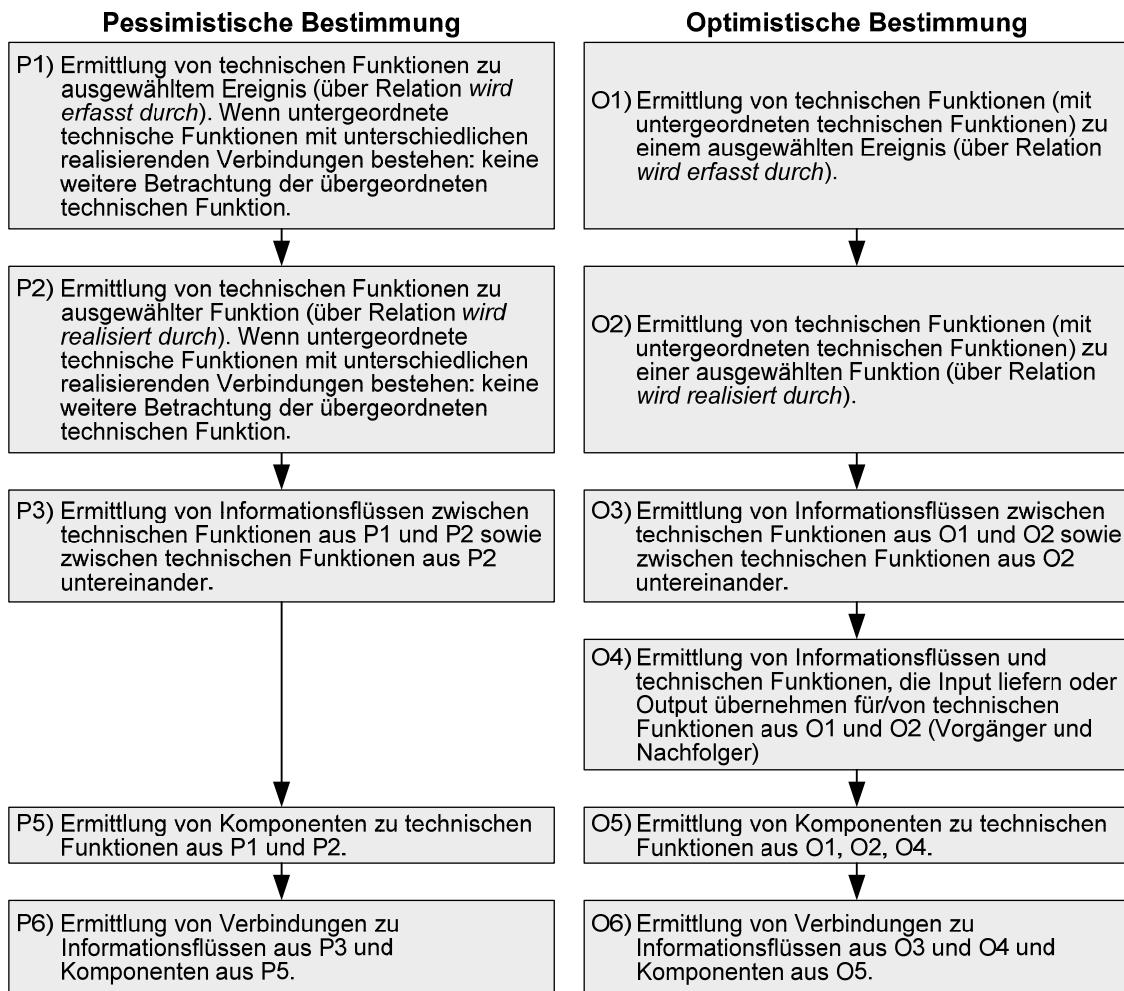


Bild 4-26: Vorgehen zur Bestimmung des indirekten Anteils vom Abdeckungsgrad auf der technischen Ebene

Unsicherheiten können aus zwei Gründen auftreten: Vollständigkeit des zugrundeliegenden Modells und Eigenschaften der modellierten Systeme. Die resultierenden Unsicherheiten aus der Vollständigkeit des Modells eines Systems werden in Bild 4-27 exemplarisch gezeigt. Hier wird zunächst Funktion x mit dem Ereignis zur Prüfung ausgewählt. Anschließend muss die Frage beantwortet werden, welche Elemente auf der technischen Ebene durch diese Prüfung indirekt abgedeckt sind. Wenn die Relation *wird erfasst durch* (a) nicht modelliert wurde, besteht eine Unsicherheit in Bezug auf die Abdeckung der markierten Elemente. Falls die Relation unbeabsichtigt nicht modelliert wurde, kommt der optimistische Algorithmus zum korrekten Ergebnis, da in Schritt O4 (Bild 4-26) mit der technischen Funktion a ein Vorgänger und damit auch die entsprechende Komponente u und die Verbindung uv als abgedeckt erkannt werden. Der pessimistische Algorithmus ermittelt in diesem Falle ein inkorrektetes Ergebnis, da die markierten Elemente nicht als abgedeckt erkannt werden. Falls die Relation *wird realisiert durch* (a) mit Absicht nicht modelliert wurde, verhält es sich umgekehrt: Der optimistische Algorithmus gelangt zum falschen und der pessimistische Algorithmus zum korrekten Ergebnis.

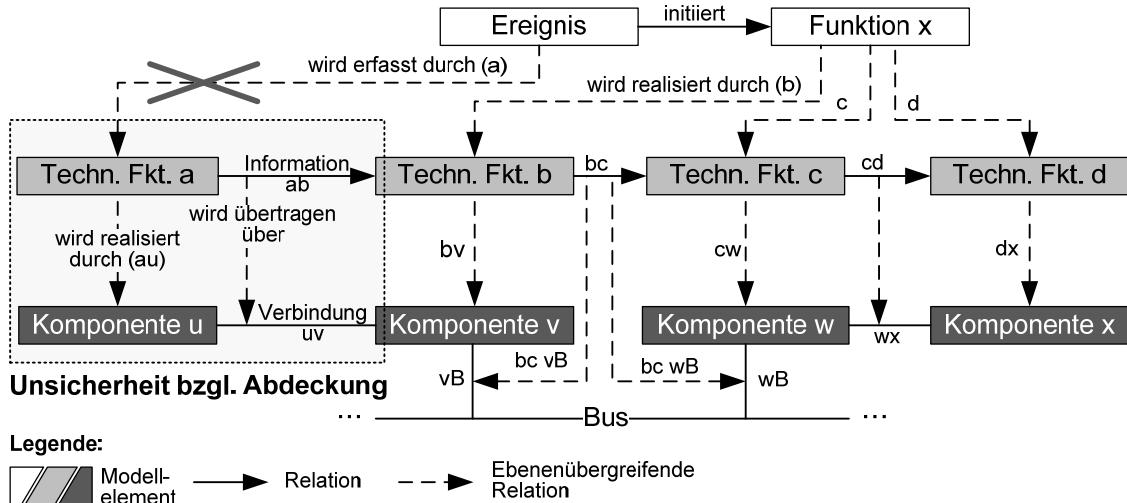


Bild 4-27: Unsicherheit in Bezug auf den Abdeckungsgrad bei unvollständiger Modellierung

Es wird deutlich, dass in Abhängigkeit von der Modellierung entweder der pessimistische oder der optimistische Algorithmus angemessen ist. Wie groß der Gesamtfehler beim praktischen Einsatz eines dieser Algorithmen für die Bestimmung des Abdeckungsgrads ist, lässt sich nur über eine empirische Untersuchung bestimmen. Die Durchführung einer solchen Untersuchung ist im Rahmen dieser Arbeit, die frühzeitig eine Aussage über ein bedarfsspezifisches Produktmodell liefern soll, nicht sinnvoll. Eine Aussage über die praktische Anwendbarkeit einer rein automatisierten Bestimmung des Abdeckungsgrads (D in Bild 4-25) ist deshalb a priori nicht möglich. Daher wird diese nicht weiter betrachtet. Stattdessen wird eine Möglichkeit weiter verfolgt, die es erlaubt, den Konflikt zwischen dem pessimistischen und dem optimistischen Algorithmus zu lösen. Dies erfolgt über eine Kombination von automatisierter und manueller Bestimmung des Abdeckungsgrads (C in Bild 4-25). Es wird jeweils der pessimistische und der optimistische Algorithmus automatisiert angewendet. Bei einer Differenz zwischen den beiden Verfahren im Ergebnis eines Schritts (vgl. Bild 4-26) muss ein Experte entscheiden, welches Ergebnis für diesen Schritt korrekt ist. Mit diesem Ergebnis werden dann die beiden Algorithmen weiter ausgeführt.

Neben der Betrachtung des indirekten Anteils vom Abdeckungsgrad auf der technischen Ebene ist auch die Betrachtung des indirekten Anteils auf der anwenderorientierten Ebene wichtig (vgl. Bild 4-23). Hier erfolgt die Bestimmung des Abdeckungsgrads in umgekehrter Richtung: von der technischen Ebene über die logische Ebene zur anwenderorientierten Ebene.

Bild 4-28 zeigt die prinzipiellen Schritte des Algorithmus zur Bestimmung des indirekten Anteils vom Abdeckungsgrad auf der anwenderorientierten Ebene. Hier werden analog zur vorherigen Betrachtung die Möglichkeiten zur pessimistischen und zur optimistischen Bestimmung des Abdeckungsgrads betrachtet. Auch in diesem Fall lässt sich

eine Aussage über die praktische Anwendbarkeit einer rein automatisierten Auswertung in Bezug auf die Güte der Ergebnisse nur empirisch ermitteln.

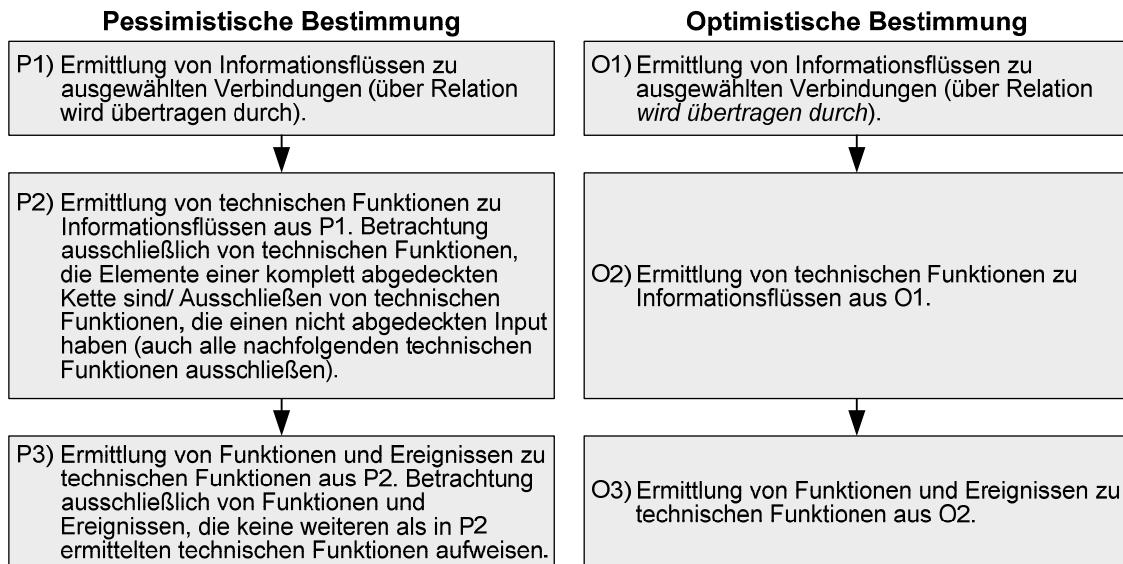


Bild 4-28: Bestimmung des indirekten Anteils vom Abdeckungsgrad auf der anwenderorientierten Ebene

Zur Bestimmung des Prüfaufwands für eine Prüfkombination werden die in Bild 4-29 dargestellten Möglichkeiten betrachtet²⁷. Analog zur Bestimmung des Abdeckungsgrads sind nicht alle dieser Möglichkeiten praktikabel.



Bild 4-29: Möglichkeiten zur Bestimmung des Prüfaufwands einer Prüfkombination

²⁷ Zusätzlich können die Lösungsmethoden durch die Erkenntnisse aus dem nachfolgenden Anwendungsfall *Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen* (s. Abschnitt 4.3.1.3) unterstützt werden: Der Umfang der generierten Prüfspezifikationen erleichtert die Einschätzung der zu erwartenden Prüfaufwände.

Der Prüfaufwand kann für jede Prüfkombination neu bestimmt werden (E in Bild 4-29). Diese Möglichkeit ist mit einem hohen Aufwand verbunden und kommt daher nur in Frage, wenn kein funktionsorientiertes Produktmodell genutzt wird, mit dessen Elementen der jeweilige Prüfaufwand verknüpft werden kann.

Die Bestimmung des Prüfaufwands kann vereinfacht werden, wenn vorhandene Angaben zu Prüfaufwänden aus vorherigen oder parallelen Baureihen genutzt werden (F in Bild 4-29). Allerdings können diese Angaben für eine Prüfkombination unvollständig sein, da beispielsweise bestimmte Funktionen bei einer vorangegangenen Baureihe nicht vorhanden waren. Zudem müssen die Angaben aus einer anderen Baureihe für die jeweils betrachtete Baureihe nicht zwangsläufig korrekt sein. Damit ist diese Möglichkeit zur Bestimmung des Prüfaufwands insgesamt nicht praktikabel.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Bestimmung des Prüfaufwands mit Hilfe einer sukzessive aufgebauten Informationsbasis dar (G in Bild 4-29). Prüfaufwände zu einzelnen Elementen werden aus der Informationsbasis entnommen. Falls zu einem in einer Prüfkombination gewählten Element der Prüfaufwand nicht hinterlegt ist, wird dieser von einem Experten bestimmt und in der Informationsbasis gespeichert.

Die beiden Möglichkeiten F und G können sinnvoll kombiniert werden (H in Bild 4-29) und führen zur in Bild 4-30 dargestellten Vorgehensweise. In der Informationsbasis werden Angaben zu Prüfaufwänden aus anderen Baureihen gespeichert und bei der Bestimmung des Prüfaufwands für eine Kombination übernommen und gegebenenfalls modifiziert. Falls ein Prüfaufwand für ein gewähltes Element fehlt, wird dieser bestimmt und eingetragen. Die Möglichkeit G wird von dieser Vorgehensweise subsu- miert und wird daher nicht weiter betrachtet.

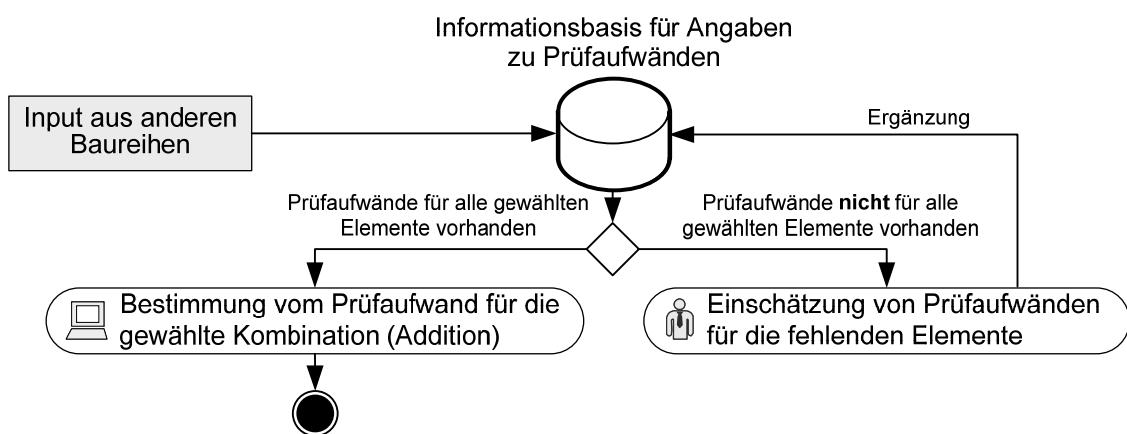


Bild 4-30: Bestimmung des Prüfaufwands mit Hilfe einer Informationsbasis und Angaben aus anderen Baureihen

Bei der letzten Möglichkeit werden die Prüfaufwände für jedes Element schon vor der Bildung von Prüfkombinationen bestimmt (I in Bild 4-29). Aus diesen Angaben wird der Prüfaufwand für eine konkrete Prüfkombination bestimmt. Diese Vorgehensweise geht mit einem hohen Aufwand einher, da Prüfaufwände auch für Elemente bestimmt

werden, die bei der Bildung einer Kombination nicht ausgewählt werden. Daher wird diese Vorgehensweise nicht weiter betrachtet.

Auf Basis der vorherigen Betrachtungen ergeben sich folgende Lösungsmethoden (Bild 4-31). Bei der ersten Lösungsmethode erfolgt die Bestimmung des Abdeckungsgrads für eine Prüfkombination ohne Informationen aus dem Produktmodell. Der Prüfaufwand wird für jede Kombination neu ermittelt. Bei der zweiten Lösungsmethode wird der Abdeckungsgrad über die Kombination einer manuellen und automatisierten Vorgehensweise mit Informationen aus den drei Ebenen des Produktmodells bestimmt. Der Prüfaufwand für eine Prüfkombination wird auf der Grundlage von Prüfaufwänden aus anderen Baureihen und einer sukzessive aufgebauten Informationsbasis kalkuliert.

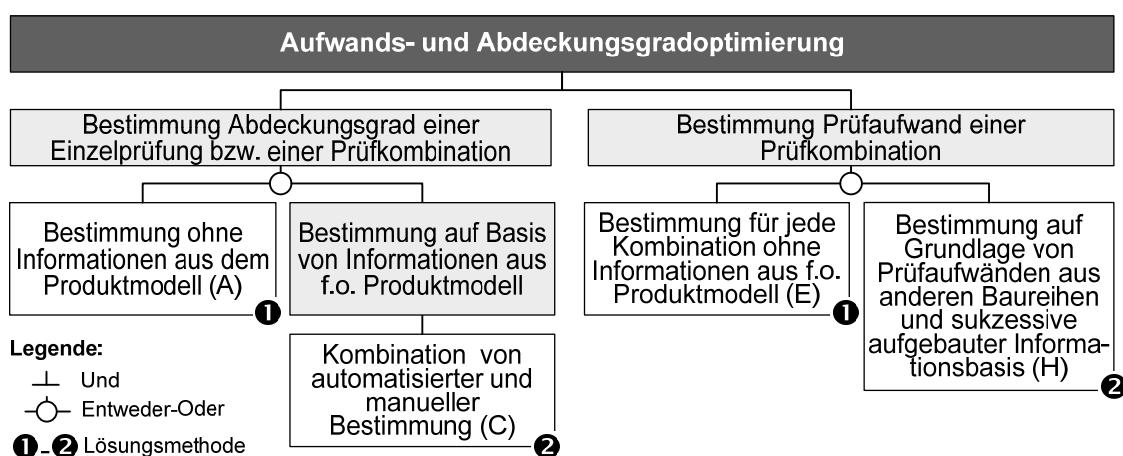


Bild 4-31: Lösungsmethoden für den Anwendungsfall „Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung in der Prüfplanung“

In Bild 4-32 werden abschließend die für die beschriebenen Lösungsmethoden benötigten Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells dargestellt. Für die erste Lösungsmethode werden keine Informationen aus dem Modell verwendet. Für die zweite Lösungsmethode hingegen werden alle Ebenen des Modells und die entsprechenden Relationen zwischen den Ebenen benötigt, die Buskommunikation jedoch nicht.

Bewertung der Lösungsmethoden

Bei isolierter Betrachtung des Anwendungsfalls ohne die Berücksichtigung des Modellierungsaufwands ist das Ergebnis bei der Expertenbewertung der Lösungsmethoden eindeutig: Lösungsmethode 2 sollte im Vergleich zu Lösungsmethode 1 bevorzugt eingesetzt werden, da auf der einen Seite der Nutzen höher und der laufende Aufwand niedriger ist. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Anhang.

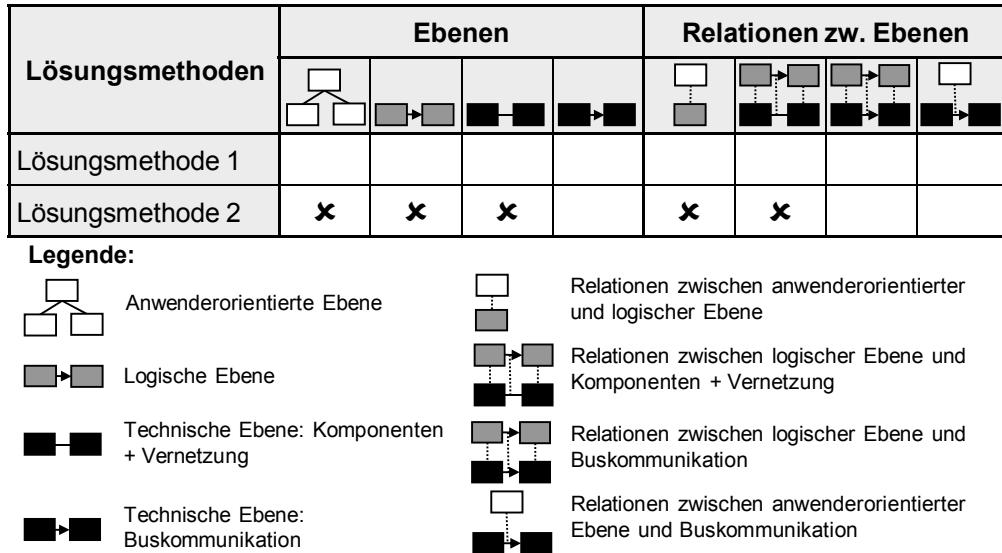


Bild 4-32: Elemente des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung in der Prüfplanung“

4.3.1.3 Anwendungsfall 3 – Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen

Funktionen von Fahrzeugen müssen während der Entwicklung, aber auch während der Serienproduktion geprüft werden (vgl. Abschnitt 4.3.1.1). Hierzu bedarf es einer genauen Beschreibung der Funktionsprüfungen. Eine Beschreibung einer Funktionsprüfung umfasst alle Schritte, die zur Durchführung der Prüfung erfolgen müssen. Im Folgenden wird hierfür der Begriff **Prüfspezifikation** verwendet. Die Basis für diese Beschreibung kann ein funktionsorientiertes Produktmodell bilden. Das Ziel ist ein Beitrag zur Unterstützung der Spezifikation von Funktionsprüfungen. Dem Prüfplaner sollten die zu einer Spezifikation erforderlichen Informationen zur Verfügung gestellt werden.

In der Entwicklungsphase wird die Überprüfung von Funktionen als funktionales Testen²⁸ bezeichnet. Es werden Eingaben als Stimuli auf ein Testobjekt gegeben und das resultierende Verhalten beobachtet. Das resultierende Verhalten wird mit dem gewünschten Verhalten verglichen [WR06]. Aus dieser Vorgehensweise resultieren die in Bild 4-33 dargestellten notwendigen Informationen zur Beschreibung einer Funktionsprüfung. Die Ausführung einer Funktion wird durch einen Auslöser initiiert. Die Korrektheit der Ausführung wird durch einen Vergleich der tatsächlichen mit der erwarteten Reaktion bestimmt. Darüber hinaus müssen die Voraussetzungen bekannt sein, die bei der Ausführung einer Funktion erfüllt sein müssen.

²⁸ Funktionales Testen wird auch als Black-Box-Testen oder als Verhaltenstest bezeichnet [Har01], [Gud03], [WR06].

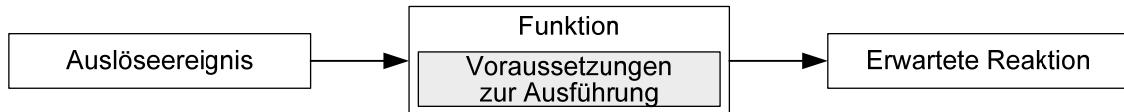


Bild 4-33: Notwendige Informationen zur Spezifikation einer Funktionsprüfung

Funktionsprüfungen können analog zum Testen in der Entwicklung grundsätzlich auf zweierlei Arten durchgeführt werden: manuell und automatisiert. Bei der manuellen Durchführung erfolgt die Initiierung und Kontrolle auf korrekte Ausführung durch einen Werker. Für diese Art der Prüfung spricht unter anderem die Realitätsnähe der Prüfung. Bei der automatisierten Durchführung werden die Arbeitsschritte bei einer Prüfung durch ein technisches Hilfsmittel ohne Mitwirkung eines Werkers ausgeführt. Die Vorteile sind unter anderem der geringe laufende Aufwand und die Reproduzierbarkeit²⁹. Neben den ausschließlich manuellen oder ausschließlich automatisierten Funktionsprüfungen existieren auch Mischformen. Ein Beispiel stellen Prüfungen dar, bei denen Werker einen Bedienschritt ausführen und die resultierende Reaktion automatisiert erfasst und kontrolliert wird. Die nachfolgend definierten Lösungsmethoden berücksichtigen alle beschriebenen Arten von Funktionsprüfungen.

Bestimmung von Lösungsmethoden

Zur Spezifikation von Prüfungen können die in Bild 4-34 dargestellten Lösungsmethoden eingesetzt werden. Bei der ersten Lösungsmethode wird die Spezifikation ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell erstellt. Es muss also auf das Wissen der Entwickler zurückgegriffen werden. Bei den restlichen Lösungsmethoden werden unterschiedliche Elemente aus dem Produktmodell verwendet, um die Erstellung der Spezifikation zu vereinfachen.

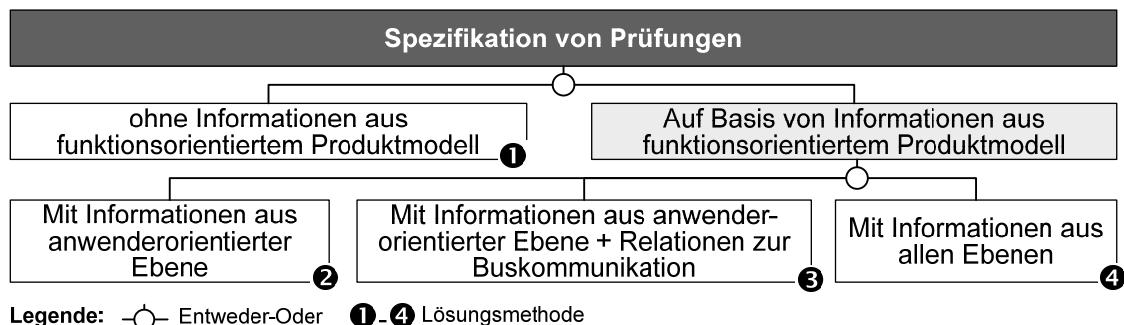


Bild 4-34: Lösungsmethoden zur Spezifikation von Prüfungen

Bei der Spezifikation von Prüfungen mit Hilfe der Lösungsmethoden 2, 3 und 4 werden die in Bild 4-35 dargestellten Schritte durchlaufen. Die meisten Schritte werden bei die-

²⁹ Zur ausführlicheren Darstellung der jeweiligen Vor- und Nachteilen siehe z.B. [Har01], [Gud03].

sen Lösungsmethoden identisch durchgeführt. Die Schritte 5 und 8 werden jedoch in unterschiedlichem Umfang unterstützt. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

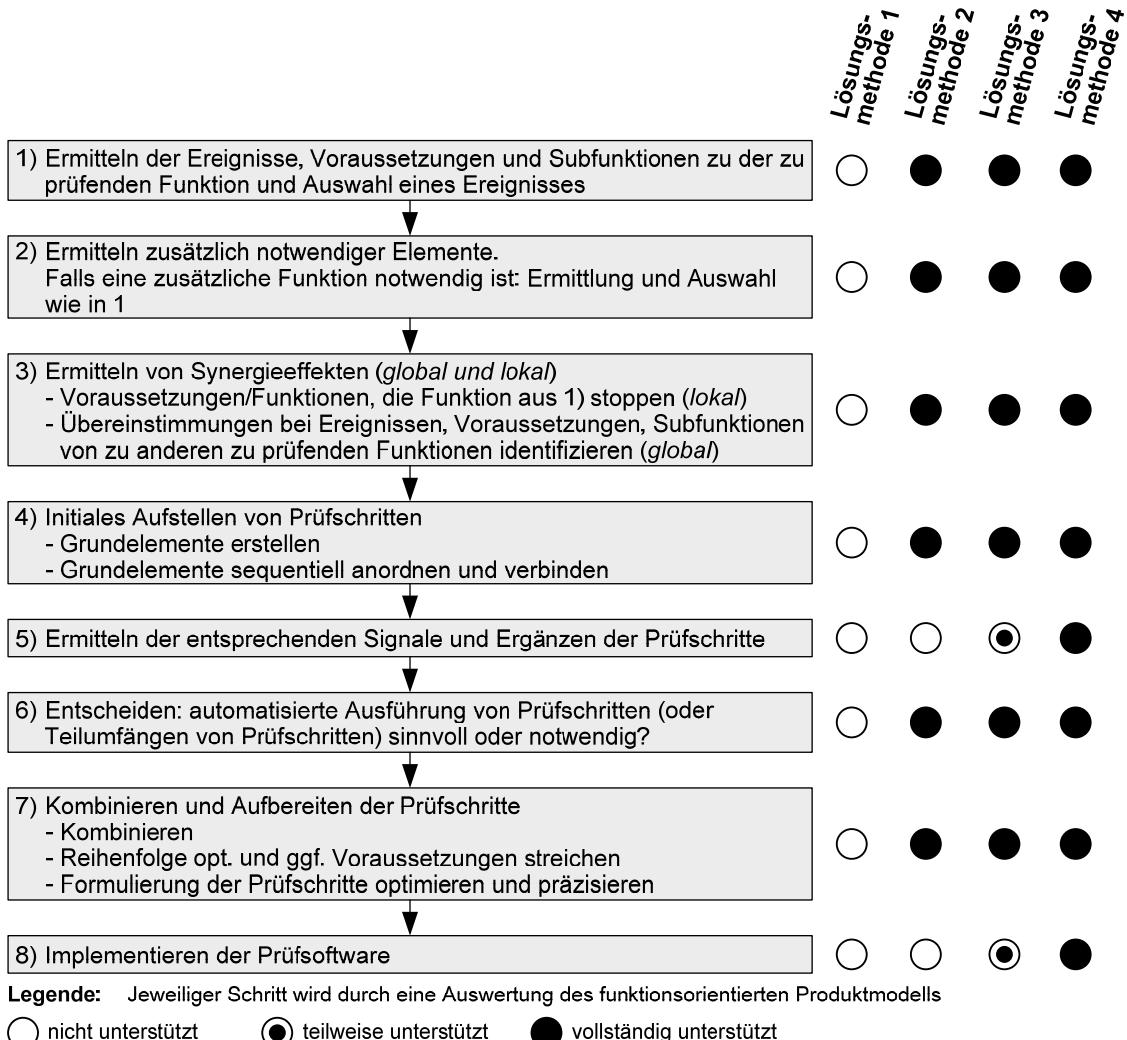


Bild 4-35: Schritte zur Spezifikation von Prüfungen

Im ersten Schritt werden zu der zu prüfenden Funktion die zugehörigen Ereignisse, Voraussetzungen und Subfunktionen ausgegeben. Wenn mehrere Ereignisse vorliegen, muss ein Ereignis ausgesucht werden, da bei einer Prüfung eine Funktion nur über ein Ereignis ausgelöst werden kann. Im Bild 4-36 wird dieser Schritt am Beispiel der Funktion *Heckdeckel öffnen* dargestellt. Das markierte Ereignis wird zur weiteren Detaillierung der Spezifikation ausgesucht.

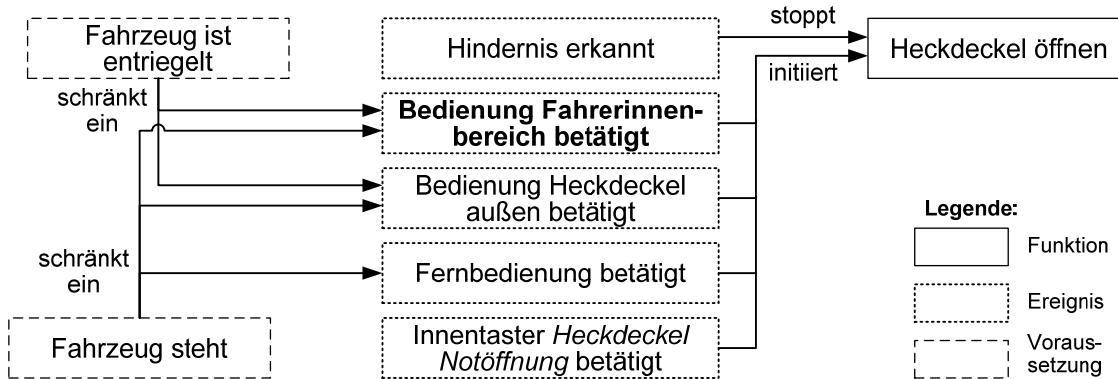


Bild 4-36: Elemente zur Spezifikation einer Prüfung am Beispiel der Funktion „Heckdeckel öffnen“

Im nächsten Schritt werden weitere für die Spezifikation notwendige Elemente bestimmt (Schritt 2 in Bild 4-35). Wenn im ersten Schritt ein Ereignis ausgesucht wurde, das die zu prüfende Funktion stoppt, muss in diesem Schritt ein Ereignis bestimmt werden, welches die Funktion initiiert. Nur wenn die Funktion ausgeführt wird, kann das Stoppen dieser Funktion geprüft werden. In dem in Bild 4-36 dargestellten Beispiel sind in diesem Schritt keine weiteren Elemente vonnöten.

Anschließend werden Synergieeffekte zur Aufwandsreduzierung beim Prüfablauf identifiziert (Schritt 3 in Bild 4-35). Zunächst wird ausschließlich auf die im ersten Schritt ermittelten Elemente der zu prüfenden Funktion fokussiert. Wenn hier entschieden wurde, mit einem Ereignis eine Funktion zu initiieren, kann bei der Prüfung zusätzlich durch ein Ereignis die Ausführung der Funktion gestoppt werden. In dem in Bild 4-36 dargestellten Beispiel kann also zusätzlich das Ereignis *Hindernis erkannt* ausgesucht werden, um nach der Initiierung auch das Stoppen der Funktion zu prüfen. Anschließend werden die im ersten Schritt ermittelten Ereignisse, Voraussetzungen und Subfunktionen der zu prüfenden Funktion mit den entsprechenden Elementen von anderen Funktionen verglichen. Bei Übereinstimmungen kann es sinnvoll sein, die entsprechenden Funktionen gemeinsam zu prüfen, um bei einem verminderten Prüfaufwand eine hohe Abdeckung zu erreichen.

Im vierten Schritt werden die Informationen aus den vorherigen Schritten verwendet, um eine erste Prüfspezifikation zu erstellen (Schritt 4 in Bild 4-35). Hierzu werden zunächst zu den Voraussetzungen und Ereignissen sowie der Funktion aus den vorherigen Schritten nach einem standardisierten Muster Grundelemente erzeugt (Bild 4-37). Diese Grundelemente bilden einen Teil der zu erstellenden Prüfspezifikation.

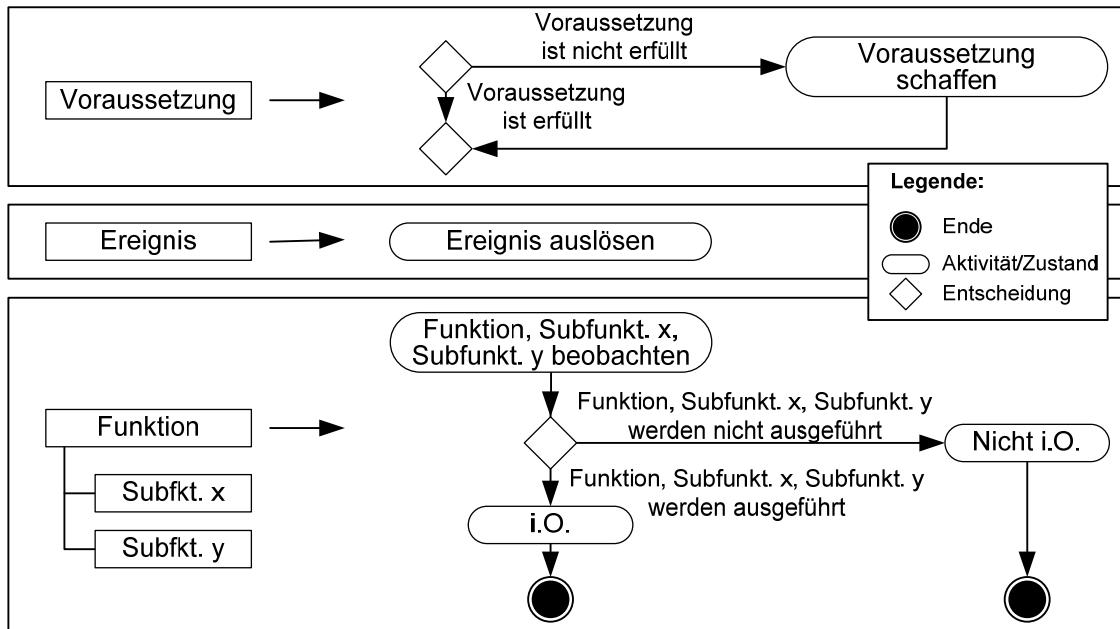


Bild 4-37: Muster zur Erstellung von Grundelementen für die Prüfspezifikation

Nach der Erzeugung der Grundelemente werden diese zu einem Gesamtlauf angeordnet und verbunden. In diesem Schritt erfolgt die Anordnung standardisiert: Die Grundelemente werden nach der Reihenfolge Voraussetzungen, Ereignis und Funktion bzw. Subfunktionen angeordnet. Dies wird in Bild 4-38 am Beispiel der Funktion *Heckdeckel öffnen* dargestellt. Damit liegt eine erste, noch nicht optimierte Spezifikation der Prüfung vor.

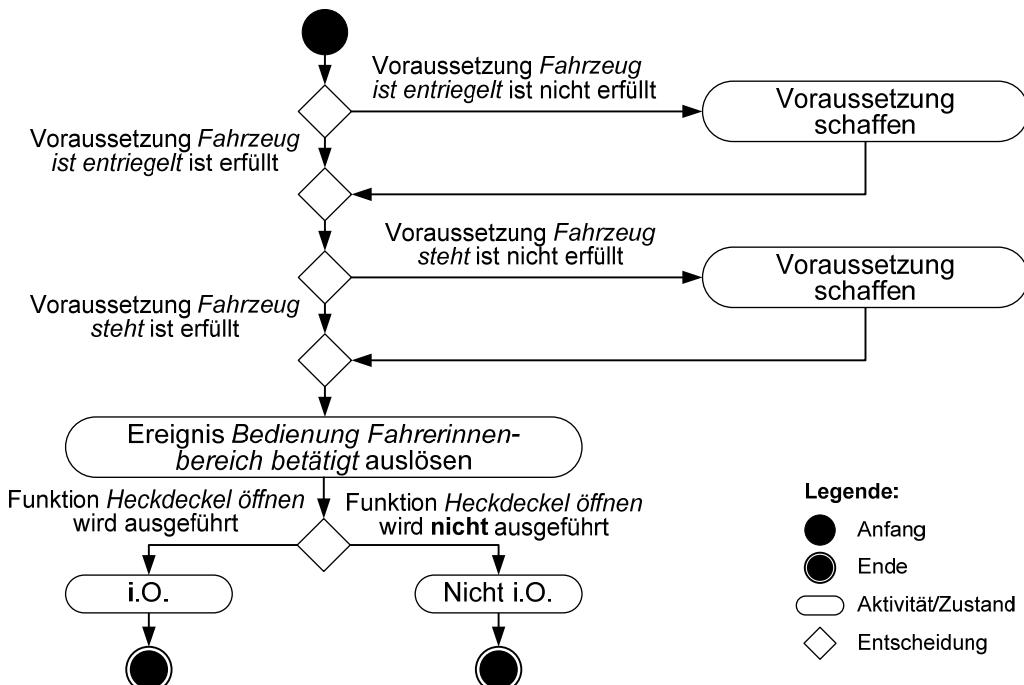


Bild 4-38: Initiale Prüfspezifikation für die Funktion „Heckdeckel öffnen“

Im nächsten Schritt werden Signale und Signalausprägungen zu den Ereignissen, Voraussetzungen, Funktionen und Subfunktionen zur Spezifikation von automatisiert ausgeführten Prüfungen ermittelt (Schritt 5 in Bild 4-35). Bei den Signalen können zwei Gruppen unterschieden werden: einzustellende Signale und zu kontrollierende Signale. Einzustellende Signale repräsentieren Ereignisse und Voraussetzungen und müssen bei einer automatisiert ausgeführten Prüfung in das Fahrzeug eingespielt werden. Die zu kontrollierenden Signale zeigen die Ausführung von Funktionen und Subfunktionen an. Bei der Ausführung einer Prüfung wird überwacht, ob diese Signale im Fahrzeug übertragen werden, um die ordnungsgemäße Ausführung bestätigen zu können. Bei Lösungsmethode 2 erfolgt die Ermittlung der Signale aus beiden Gruppen ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell. Bei Lösungsmethode 3 wird die Ermittlung von zu kontrollierenden Signalen durch das Produktmodell unterstützt. Hierzu werden die Relationen zwischen Funktionen und Signalen mit entsprechenden Ausprägungen aus der Buskommunikation ausgewertet. Damit ergeben sich die zu kontrollierenden Signale für die Spezifikation der Prüfung. Bei Lösungsmethode 4 wird zusätzlich dazu die Ermittlung der einzustellenden Signale durch das Produktmodell unterstützt. Hierzu werden Relationen von Ereignissen und Voraussetzungen zu technischen Funktionen und von diesen wiederum zu Signalen und entsprechenden Ausprägungen der Signale ausgewertet. Somit wird durch die Lösungsmethode 4 eine vollständige Vorbereitung der Spezifikation von automatisiert durchgeführten Prüfungen ermöglicht.

Anschließend wird für jedes zur Funktion gehörige Element entschieden, ob dieses bei der Prüfung manuell oder automatisiert ausgeführt bzw. kontrolliert werden soll. An dieser Stelle werden die Realisierbarkeit und die dargestellten Vor- und Nachteile dieser beiden Prüfarten betrachtet. Wird für ein Element die automatisierte Durchführung ausgewählt, erfolgt analog zu Bild 4-37 die Erstellung eines Grundelements für die Gesamtspezifikation.

Im siebten Schritt werden die initiale Prüfspezifikation aus Schritt vier und die Prüfschritte aus Schritt sechs kombiniert und aufbereitet. Die Aufbereitung umfasst das Weglassen unnötiger Prüfschritte sowie das Optimieren der Reihenfolge und der Formulierung von Prüfschritten. Damit wird der Prüfvorgang für die praktische Durchführung in der Produktion angepasst. Bild 4-39 zeigt das Ergebnis einer Aufbereitung am Beispiel der in Bild 4-38 dargestellten Spezifikation der Funktion *Heckdeckel öffnen*. Hier ist beispielsweise die Voraussetzung *Fahrzeug steht* weggelassen worden, da die Prüfung an einer Station durchgeführt wird, an der die zu prüfenden Fahrzeuge stehen.

Im letzten Schritt wird für die Grundelemente, die in Schritt sechs zur automatisierten Ausführung bestimmt wurden, die passende Prüfsoftware programmiert. Hierbei fließen Signale in die Prüfsoftware ein, die in Schritt fünf mitsamt der Ausprägungen identifiziert wurden.

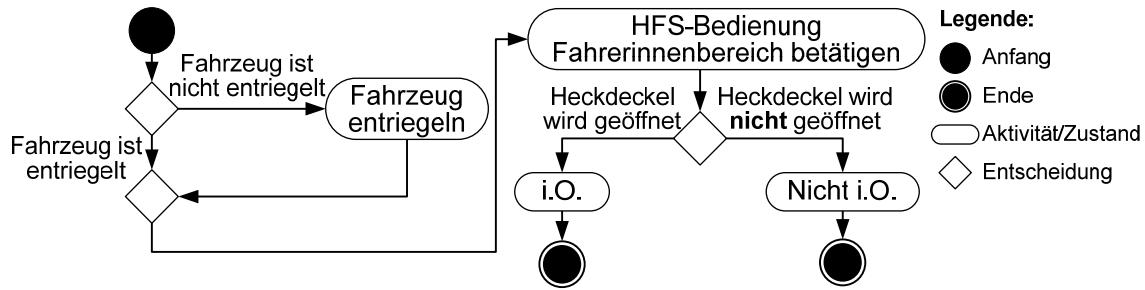


Bild 4-39: Verbesserte Prüfspezifikation für die Funktion „Heckdeckel öffnen“

In Bild 4-40 werden abschließend die für die beschriebenen Lösungsmethoden benötigten Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells dargestellt.

Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
Lösungsmethode 1								
Lösungsmethode 2		x						
Lösungsmethode 3	x				x			x
Lösungsmethode 4	x	x			x	x		x

Legende:

- Anwenderorientierte Ebene
- Logische Ebene
- Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung
- Technische Ebene: Buskommunikation
- Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
- Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
- Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
- Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-40: Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen“

Bewertung der Lösungsmethoden

Ohne die Berücksichtigung des Modellierungsaufwandes verbessert sich das Verhältnis vom Nutzen zum Aufwand von Lösungsmethode zu Lösungsmethode. Insbesondere die Nutzung der anwenderorientierten Ebene in Lösungsmethode 2 stellt eine deutliche Verbesserung zu Lösungsmethode 1 dar. Auch eine teilweise Einbeziehung von Angaben zur Buskommunikation in Lösungsmethode 3 erhöht den Nutzen bei gleichzeitiger Minderung des Aufwandes im Vergleich zur Lösungsmethode 2. Eine detaillierte Be- trachtung erfolgt im Anhang.

4.3.1.4 Anwendungsfall 4 – Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen

Bei der Vielzahl der in einem Fahrzeug verbauten Komponenten muss gewährleistet werden, dass diese in ihrer Gesamtheit das korrekte Zusammenspiel der realisierten Funktionen ermöglichen. Dies wird als **Kompatibilität** bezeichnet [SD06]. Das Wissen über die Kompatibilität muss also vorhanden sein.

Ein Beispiel für die Nutzung von Kompatibilitätsinformationen stellt die Aufbrauchsteuerung in der Produktion dar: Beim Eintreffen einer neuen Version einer Komponente muss mit Hilfe des Wissens über Kompatibilitäten definiert werden, bei welchen Fahrzeugen die alte Version zum Abbau der Restbestände eingesetzt werden kann und bei welchen Fahrzeugen die neue Version eingebaut werden muss.

Ein weiteres Beispiel ist der Fehlerfall in der Nutzungsphase. Wenn eine oder mehrere defekte Komponenten durch neuere Versionen ausgetauscht oder neue Softwarestände eingespielt werden müssen, ergibt sich dadurch eine neue Konfiguration. Bei der neuen Konfiguration muss auf Basis des Wissens über Kompatibilitäten sichergestellt werden, dass nach der Fehlerbehebung die Gesamtheit der Komponenten wieder kompatibel zueinander ist [Bro06], [PBK+07]. Dieses erfordert unter Umständen weitere sogenannte Sekundärmaßnahmen, beispielsweise den Austausch weiterer, nicht defekter Komponenten oder das Einspielen eines neuen Softwarestands.

Für die Bestimmung notwendiger Sekundärmaßnahmen muss das Wissen über die Kompatibilität zwischen Komponenten vorliegen. Die Herleitung dieses Wissens erzeugt einen Aufwand, der nach Möglichkeit gering ausfallen sollte. Die Kompatibilität wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Neben nichtfunktionalen Aspekten wie beispielsweise der Einbausituation und den physikalischen Eigenschaften von Komponenten spielen auch funktionale Gesichtspunkte und damit die Betrachtung der von den Komponenten realisierten Funktionen eine wichtige Rolle. Somit kann ein funktionsorientiertes Produktmodell bei der Bestimmung der Kompatibilität von Komponenten eine Hilfestellung liefern. Dieses Potential wird bislang nicht genutzt.

Bei Kompatibilitätsbetrachtungen sind zwei Betrachtungsweisen von Bedeutung: Die Vernetzungskompatibilität und die Austauschkompatibilität [SD06].

Als **Vernetzungskompatibilität** wird das einwandfreie Zusammenspiel unterschiedlicher Komponenten bezeichnet. Ist eine Vernetzungskompatibilität zwischen Komponenten gegeben, können diese problemlos zusammen in einem Fahrzeug eingesetzt werden.

Die **Austauschkompatibilität** beschreibt die Austauschbarkeit³⁰ zwischen unterschiedlichen Versionen der gleichen Komponente. Weiterführend kann auch die Austauschbarkeit zwischen unterschiedlichen Versionen von Bestandteilen einer Komponente wie der Soft- oder Hardware betrachtet werden. Die Austauschkompatibilität kann in Vorwärts- und Rückwärtsaustauschbarkeit unterschieden werden. Die **Vorwärtsaustauschbarkeit** bezeichnet im Allgemeinen die Eignung eines Gegenstands, einen bisherigen Gegenstand zu ersetzen [DIN6789], [ES09]. Dies gilt auch für die in einer Komponente enthaltene Soft- und Hardware. Die Umkehrung der Vorwärtsaustauschbarkeit wird als **Rückwärtsaustauschbarkeit** bezeichnet: Die Eignung einer Version einer Komponente, durch eine vorherige Version ersetzt werden zu können. Eine Kombination aus Vorwärts- und Rückwärtsaustauschbarkeit ist die Vollaustauschbarkeit: die Eignung eines Gegenstands, einen bisherigen Gegenstand zu ersetzen oder durch diesen ersetzt werden zu können [DIN6789], [ES09].

Die Austauschbarkeit kann uneingeschränkt und eingeschränkt ausgeprägt sein. Bei einer **eingeschränkten Austauschbarkeit** ist eine Version einer Komponente nicht in allen potentiellen Konfigurationen eines Fahrzeugs austauschbar. Die Austauschbarkeit ist somit abhängig von den restlichen Komponenten in einem Gesamtfahrzeug. Bei einer **uneingeschränkten Austauschbarkeit** ist dies nicht der Fall: Eine Version einer Komponente kann die entsprechende zu ersetzende Version in allen möglichen Konfigurationen eines Fahrzeugs ersetzen. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf Aussagen zur uneingeschränkten Austauschbarkeit.

Die Austauschbarkeit zwischen verschiedenen Versionen einer Komponente wird über Austauschbarkeits- bzw. Kompatibilitätsbeziehungen ausgedrückt. Die Beachtung der definierten Beziehungen sorgt dafür, dass die realisierten Funktionen einwandfrei ausgeführt werden. Bei Funktionen, die durch das Zusammenspiel mehrerer Komponenten realisiert werden, wird der Zusammenhang zwischen Austausch- und Vernetzungskompatibilität deutlich: Die Beachtung der Austauschbarkeitsbeziehungen sichert die Vernetzungskompatibilität und damit das einwandfreie Zusammenspiel von mehreren Komponenten bei der Erfüllung von Funktionen nach einem Komponententausch.

Hier kommt eine weitere Art von Kompatibilitätsbeziehungen ins Spiel: die **Einzelabhängigkeit**. Diese stellt eine gerichtete Beziehung zwischen Versionen von zwei verschiedenen Komponenten dar: Eine Version einer Komponente braucht eine bestimmte Version einer anderen Komponente. Bild 4-41 veranschaulicht dies an einem Beispiel.

³⁰ Allgemeiner gefasst beschreibt die Austauschbarkeit die Eignung eines Gegenstands, einen anderen Gegenstand zu ersetzen [DIN6789], [ES09].

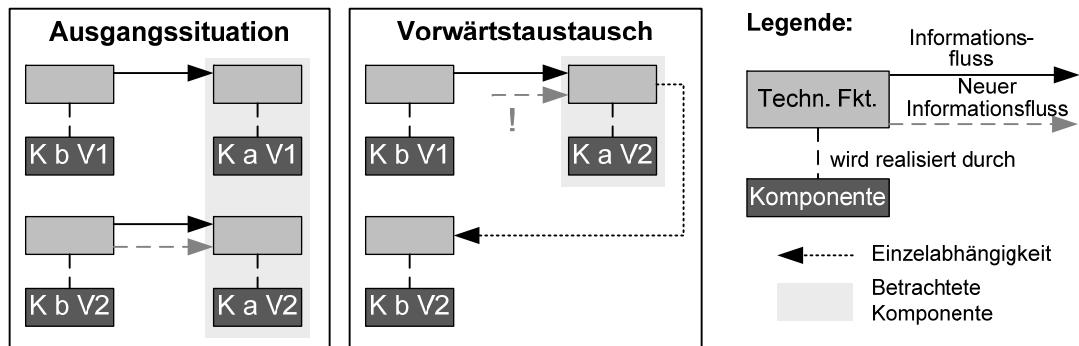


Bild 4-41: Einzelabhängigkeit zwischen Versionen verschiedener Komponenten

Die Komponente a bekommt im Zuge einer Weiterentwicklung zur Version 2 einen zusätzlichen Informationsfluss als Input. Wird nun bei einem älteren Fahrzeug die Komponente a in der Version 1 durch die Version 2 ausgetauscht (Vorwärtstaustausch), kann die entsprechende Funktion nicht mehr erfüllt werden, da der benötigte, neue Informationsfluss von der Komponente b in der Version 1 nicht geliefert wird. Somit muss eine Einzelabhängigkeit zwischen der Komponente a in der Version 2 und der Komponente b in der Version 2 definiert werden. Mit dieser Einzelabhängigkeit wird ausgedrückt, dass die Komponente a in der Version 2 die Komponente b in der Version 2 erfordert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein fehlerhafter Austausch nicht stattfindet.

Das Ziel in diesem Anwendungsfall ist die Nutzung des funktionsorientierten Produktmodells zur Bestimmung der Kompatibilität von Komponenten aus funktionalen Gesichtspunkten. Bild 4-42 zeigt die Einordnung dieser Nutzung in das Gesamtbild bei der Betrachtung von Kompatibilität. Informationen zu Funktionen sowie weitere kompatibilitätsrelevante Faktoren werden ausgewertet und zu Aussagen über die Kompatibilität von Komponenten verdichtet. Die hieraus resultierende Dokumentation kann anschließend entlang des Produktlebenszyklus genutzt werden.

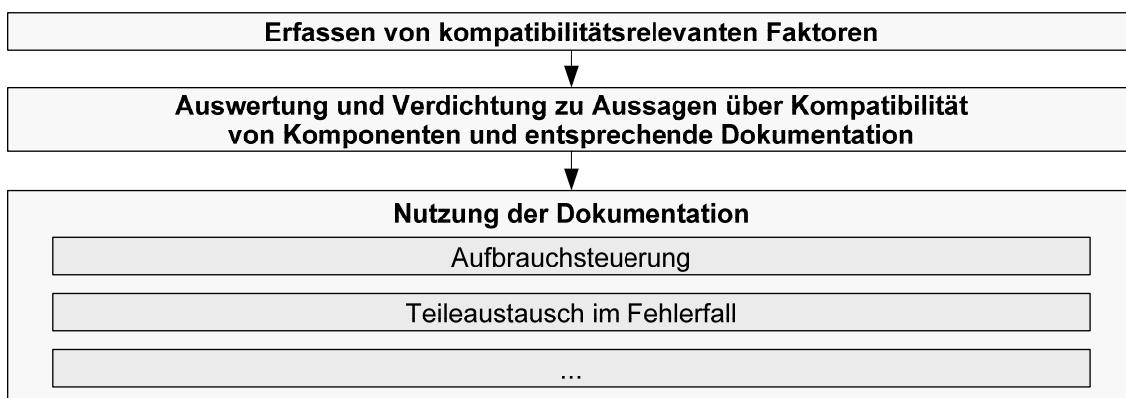


Bild 4-42: Erfassung und Nutzung von Kompatibilitätsinformationen

Bestimmung von Lösungsmethoden

Zur Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen mit Fokus auf realisierten Funktionen werden die in Bild 4-43 dargestellten Möglichkeiten betrachtet. Bei einer manuellen Identifikation ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell (A in Bild 4-43) erfolgt die Analyse und Bestimmung von Kompatibilitätsbeziehungen auf der Grundlage von Expertenwissen. Bei der nächsten Möglichkeit erfolgt die Identifikation auf Basis der Informationen aus dem Produktmodell. Hierzu kann ein Vergleich von realisierten Funktionen und technischen Funktionen einer Komponente erfolgen (B in Bild 4-43) und/oder der In- und Output der entsprechenden technischen Funktionen gegenübergestellt werden (C in Bild 4-43).

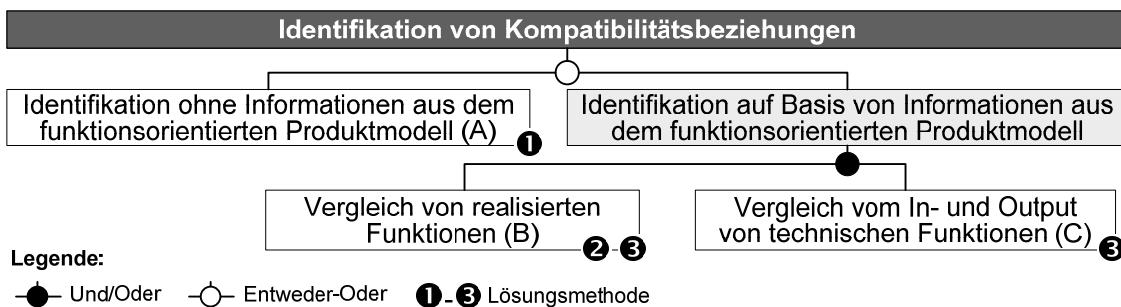


Bild 4-43: Möglichkeiten zur Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen

In Bild 4-43 sind auch die resultierenden Lösungsmethoden eingezeichnet. Lösungsmethode 1 umfasst die Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell (A in Bild 4-43). Bei Lösungsmethode 2 wird der Vergleich von realisierten Funktionen zwischen verschiedenen Versionen genutzt (B in Bild 4-43). Da dies den Vergleich vom In- und Output von technischen Funktionen gut ergänzt, bildet Lösungsmethode 3 die Kombination dieser beiden Vorgehensweisen (B und C in Bild 4-43).

Die Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen durch einen Vergleich von realisierten Funktionen wird in Bild 4-44 exemplarisch dargestellt. Bei der Komponente A kommt bei der Weiterentwicklung von Version 1 zu Version 2 eine Funktion hinzu. Damit ist die uneingeschränkte Rückwärtsaustauschbarkeit nicht gegeben, da der vollständige Funktionsumfang bei einem Rückwärtsaustausch nicht vorhanden wäre. Die Vorwärtsaustauschbarkeit ist im Gegenzug – vorbehaltlich anderer Kriterien zur Kompatibilitätsbestimmung – potentiell erfüllt. Die zusätzliche Funktion der neueren Version in einer Einbausituation wird zwar nicht genutzt, ist aber zumindest nicht schädlich.

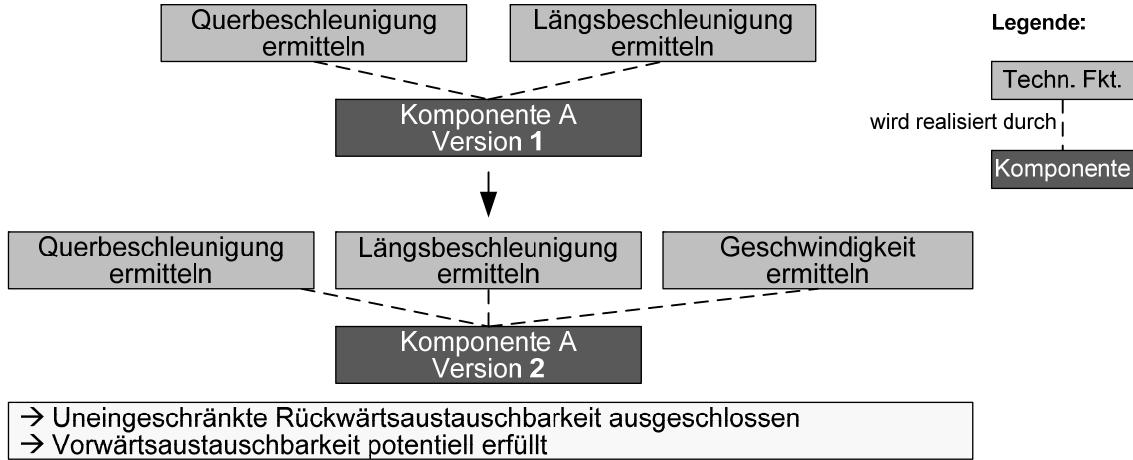


Bild 4-44: Beispielhafte Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen bei einer Erweiterung von Funktionen

Bild 4-44 zeigt ein konkretes Beispiel zur Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen. Diese Betrachtung kann verallgemeinert und systematisiert werden (Bild 4-45). Alle Fälle, die bei der Weiterentwicklung zu einer neuen Version einer Komponente auftreten können, werden hier aufgeführt. Beispielsweise ist die uneingeschränkte Vorwärtsaustauschbarkeit bei einer entfernten Funktion in der Weiterentwicklung ausgeschlossen. Die Rückwärtsaustauschbarkeit ist in diesem Fall potentiell vorhanden.

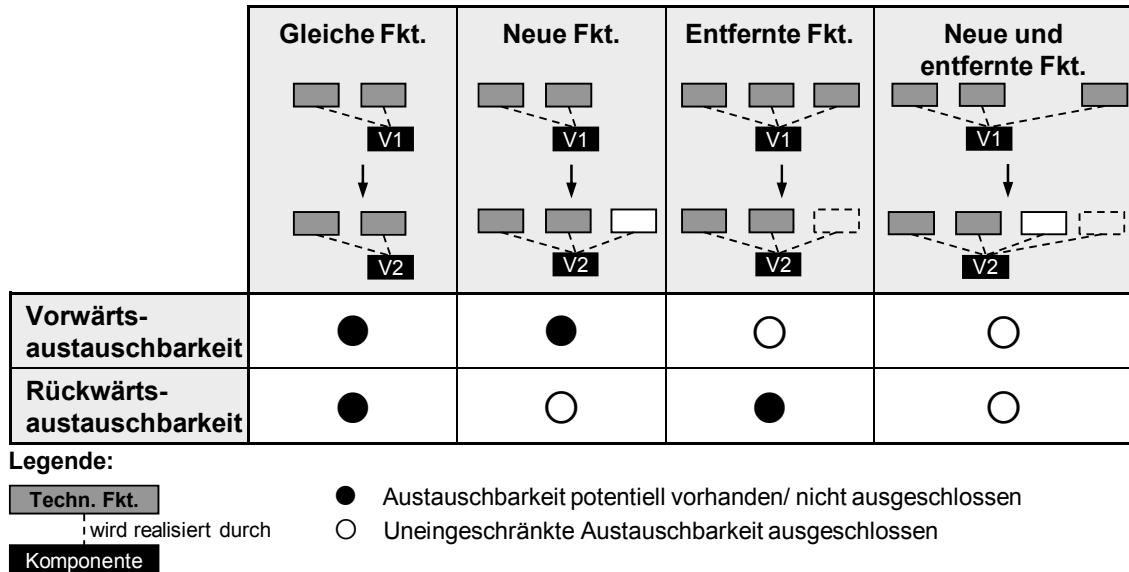


Bild 4-45: Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen anhand des Vergleichs von realisierten Funktionen

Neben dem Vergleich von realisierten Funktionen (B in Bild 4-43) lassen sich auch aus dem Vergleich der In- und Outputs von technischen Funktionen Aussagen über Kompatibilitätsbeziehungen gewinnen (C in Bild 4-43). Drei Aspekte spielen hier eine Rolle: erstens das Hinzufügen bzw. Entfernen von In- und Outputs, zweitens die Änderungen

des Wertebereichs sowie drittens die Änderungen der Einheit von In- und Outputs in der Buskommunikation. Diese Aspekte werden im Folgenden weiter vertieft.

Die Auswirkungen des Hinzufügens oder Entfernen von In- oder Outputs auf Kompatibilitätsbeziehungen werden in Bild 4-46 anhand eines Beispiels gezeigt. Die Komponente A benötigt im Zuge einer Weiterentwicklung von Version 1 zu Version 2 einen zusätzlichen Input. Bei einem Vorwärtsaustausch dieser Komponente würde der benötigte Input nicht bedient. Somit ist ein Vorwärtsaustausch nicht zulässig. Bei einem Rückwärtsaustausch braucht die Komponente A in der Version 1 den zusätzlichen Output von Komponente B nicht. Somit ist die Rückwärtsaustauschbarkeit gegeben.

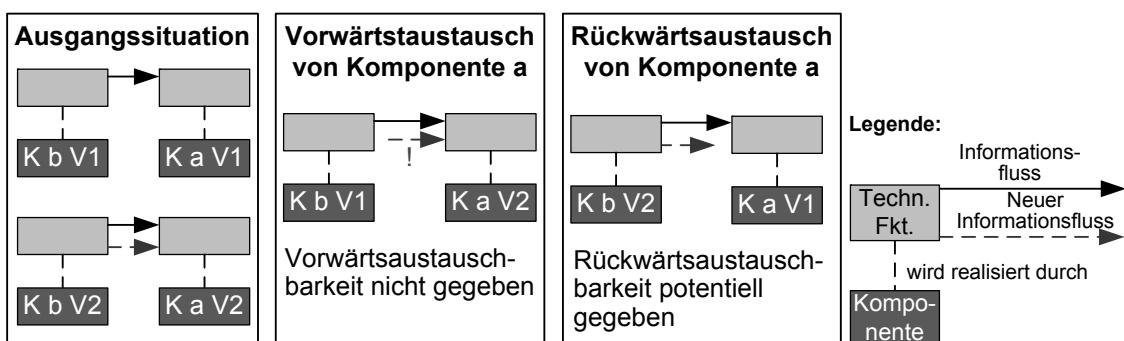


Bild 4-46: Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen bei einem zusätzlichen Informationsfluss (Beispiel)

Die Betrachtung der Auswirkungen des Hinzufügens bzw. Entfernen lässt sich verallgemeinern (Bild 4-47). Aus jeder Änderung von einer Version zur nächsten lässt sich eine Aussage über die resultierende Vorwärts- und Rückwärtsaustauschbarkeit ableiten.

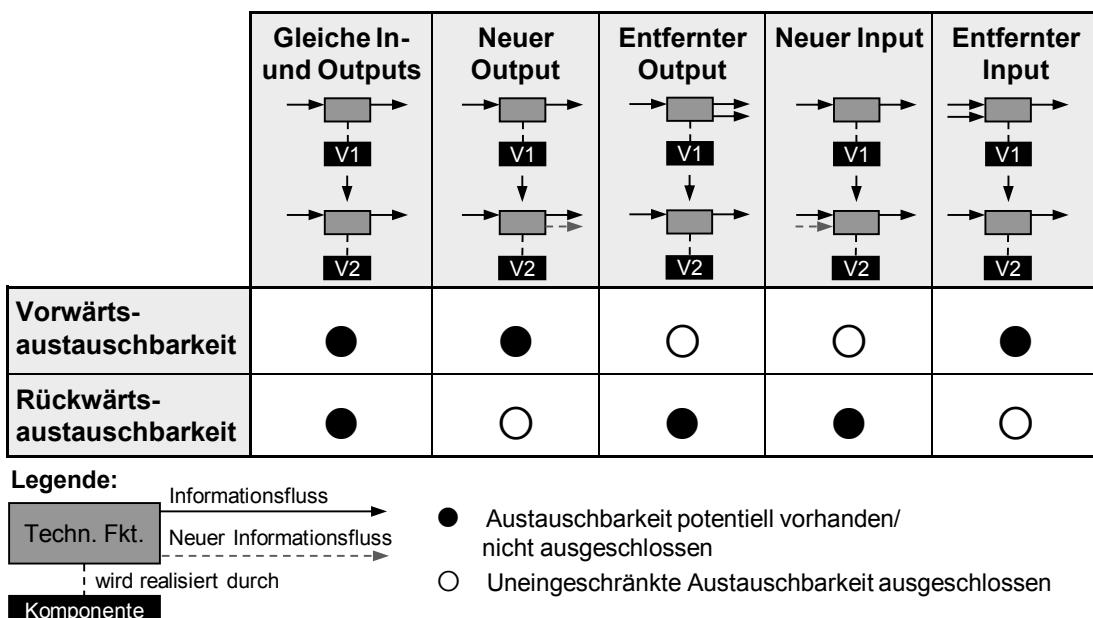


Bild 4-47: Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen anhand des Vergleichs von Informationsflüssen

Einen weiteren Aspekt bei der Ableitung von Kompatibilitätsinformationen aus der Be- trachtung von Informationsflüssen stellt die Analyse von Änderungen im Wertebereich der entsprechenden Elemente in der Buskommunikation dar. Dabei werden die Wertebereiche der In- und Outputs von nachfolgenden Versionen betrachtet. Bild 4-48 stellt mögliche Änderungen im Wertebereich und die resultierenden Schlussfolgerungen für Kompatibilitätsbeziehungen schematisch dar. Das Beispiel einer Erweiterung des Wertebereichs im Input veranschaulicht die abgebildete Schlussfolgerung. Ein Vorwärts- austausch, also ein Austausch einer älteren Version durch eine neuere, ist möglich: Der Wertebereich der neueren Version geht über den der älteren Version hinaus und stellt somit eine Obermenge im Vergleich zum Wertebereich der älteren Version dar. Ein Rückwärtsaustausch, also ein Tausch einer neueren Version gegen eine ältere Version, sollte hingegen nicht vorgenommen werden: Die ältere Version kann ankommende Werte nicht verarbeiten, die innerhalb des neuen, aber außerhalb des alten Wertebereichs liegen.

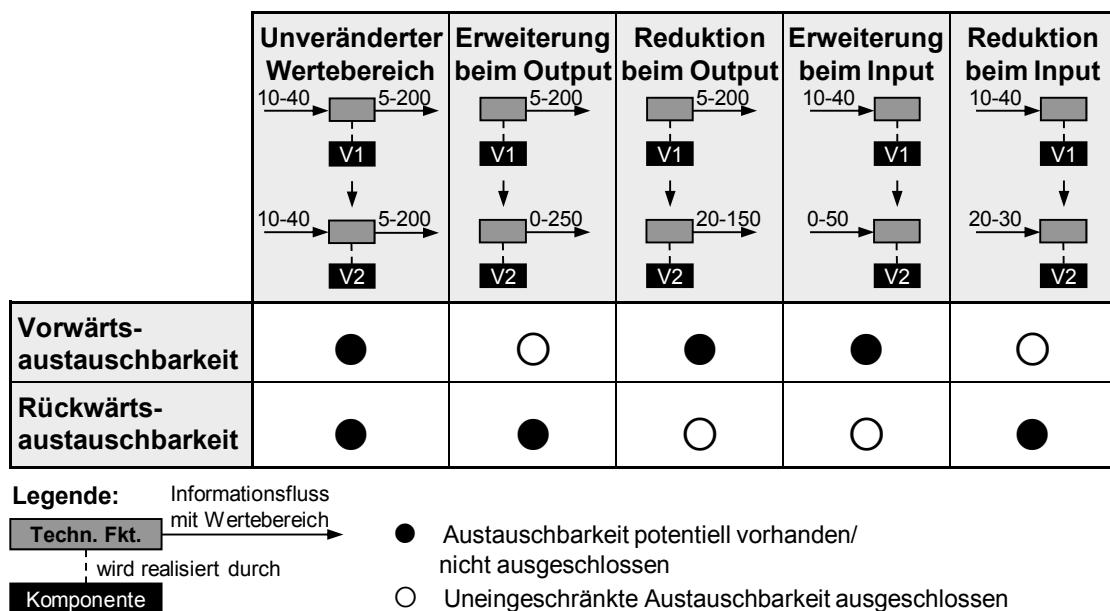


Bild 4-48: Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen anhand des Vergleichs von Wertebereichen

Neben den Änderungen von Wertebereichen im Entwicklungsverlauf sind auch die Einheiten von Informationsflüssen, wie die Geschwindigkeit in Kilometern pro Stunde, von Bedeutung. Die Schlussfolgerungen sind in diesem Fall einfacher als bei den vorherigen Betrachtungen. Wenn die Einheit eines Informationsflusses von einer Version zur nächsten Version geändert wird, ist eine uneingeschränkte Austauschbarkeit ausgeschlossen, da die Informationsflüsse mit geänderten Einheiten nicht verarbeitet werden können.

In Bild 4-49 werden abschließend die für die beschriebenen Lösungsmethoden benötigten Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells dargestellt.

Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
Lösungsmethode 1								
Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x		
Lösungsmethode 3	x	x	x	x	x	x	x	

Legende:

	Anwenderorientierte Ebene		Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
	Logische Ebene		Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
	Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung		Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
	Technische Ebene: Buskommunikation		Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-49: Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen“

Bewertung der Lösungsmethoden

Lösungsmethode 1 hat durch die fehlende Unterstützung seitens eines passenden Produktmodells ein ungünstiges Verhältnis aus laufendem Aufwand und resultierendem Nutzen. Bei Lösungsmethode 2 ist dieses Verhältnis günstiger, da hier durch eine Auswertung der entsprechenden Relationen im Produktmodell eine Hilfestellung bei der Ausleitung von Kompatibilitätsinformationen vorliegt. Der Nutzen wird bei Lösungsmethode 3 noch erhöht, da durch die zusätzliche Analyse der Informationsflüsse die Aussagengenauigkeit der Ausleitung gesteigert wird. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Anhang.

4.3.1.5 Anwendungsfall 5 – Bewertung vom Funktionsumfang bei Feedbackartikulation durch Kunden

Der Funktionsumfang von Kraftfahrzeugen nimmt immer weiter zu. Diese Entwicklung geht mit einer Zunahme des Entwicklungsaufwands und der Komplexität sowie mit den damit verbundenen Nachteilen wie dem Zuwachs an potentiellen Fehlerquellen einher. Eine Folge dieser Entwicklung ist eine erhöhte Notwendigkeit der Integration von Kundenfeedback in die Produktentwicklung. Diese Notwendigkeit steigt mit der zunehmenden Produktkomplexität, da in Bezug auf die Produktqualität mit der hohen Komplexität eine Unsicherheit einhergeht [Sch06]. Daher sollte der Fokus der Entwicklung auf Funktionen liegen, die vom Kunden tatsächlich gebraucht werden, um den Funktionsumfang nicht unnötig zu steigern [Bur07], [Mor04]. Eine aktuelle Untersuchung zeigte beispielsweise, dass ein Großteil der Probanden nur einen kleinen Teil der Funktionen

kannte, die im Fahrzeug vorhanden waren [Sac09]. Es bedarf also der Betrachtung des Kundenfeedbacks in Bezug auf die Funktionen in Fahrzeugen.

Ein weiterer Motivationsfaktor für die Berücksichtigung von Kundenfeedback stellt die Tatsache dar, dass im Automobilbau der Schwerpunkt auf der Verbesserung existierender Lösungen liegt. Komplette Neuentwicklungen sind eher selten. In einer solchen Situation ist es naheliegend bzw. zwingend notwendig, Erfahrungen aus der Nutzung im Einsatz befindlicher Produkte in die Entwicklung einfließen zu lassen. Damit kann eine Verbesserung künftiger Produkte erreicht werden [Edl01].

Im Allgemeinen kann bei Kundenfeedback nach dem Zeitpunkt der Informationsgewinnung differenziert werden. Dies führt zur Unterscheidung in prospektive und retrospektive Akquisition des Feedbacks (Bild 4-50):

- Die **prospektive Akquisition** von Feedback erfolgt während der Produktentwicklung und damit vor der eigentlichen Nutzung des Produkts durch den Endkunden. Daher spricht SCHULTE bei Kundenzufriedenheit im Rahmen von prospektiver Akquisition von Feedback von *virtueller Kundenzufriedenheit* [Sch06]. Durch die Bewertung des künftigen Produkts seitens des Kunden können Verbesserungsvorschläge in der Entwicklung berücksichtigt werden.
- Die **retrospektive Akquisition** von Feedback zielt auf die Gewinnung von Informationen aus der Nutzungsphase eines Produkts aus Sicht des Endkunden. Daher spricht SCHULTE in diesem Fall in Abgrenzung zur *virtuellen Kundenzufriedenheit* von *realer Kundenzufriedenheit* [Sch06]. Die retrospektive Akquisition steht im Automobilbereich bislang nicht im Fokus von Untersuchungen. Die Nutzung von Funktionen im Alltag ist damit weitgehend unerforscht [Sac09].

Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf den Phasen nach der Produktentwicklung. Daher wird im Weiteren nur die retrospektive Akquisition von Kundenfeedback betrachtet.

Kundenfeedback kann viele Aspekte der Fahrzeugnutzung abdecken. In Bezug auf die Funktionen von Fahrzeugen setzt sich das Feedback aus folgenden Informationen zusammen:

- **Zufriedenheit:** Damit wird beschrieben, inwieweit die Erwartungen von Kunden an eine Funktion erfüllt werden.
- **Wichtigkeit:** Der Stellenwert einer Funktion aus Sicht eines Kunden wird über die Wichtigkeit ausgedrückt.
- **Häufigkeit der Nutzung:** Damit wird die Frequenz der Nutzung im Alltagsbetrieb beschrieben. Die Häufigkeit kann einen Hinweis auf die Wichtigkeit einer Funktion geben. Allerdings ist diese Korrelation nicht bei allen Funktionen signifikant. Beispielsweise werden Funktionen zur Sicherstellung der aktiven oder

passiven Sicherheit typischerweise selten genutzt, sind aber dennoch von hoher Bedeutung. Zudem kann eine niedrige Häufigkeit auf einen geringen Wahrnehmungsgrad einer Funktion von Kunden hindeuten.

- **Auftretende Probleme:** Damit werden alle bei einer Benutzung von Funktionen auftretenden Schwierigkeiten beschrieben. Dies können beispielsweise Probleme bei der Bedienung und Fehler wie die Nichtausführung von Funktionen sein. Auftretende Probleme können die Zufriedenheit beeinflussen.
- **Neue Funktionen:** Kundenfeedback kann auch aus der Nennung von gewünschten, bislang in einem Produkt nicht enthaltenen Funktionen bestehen.

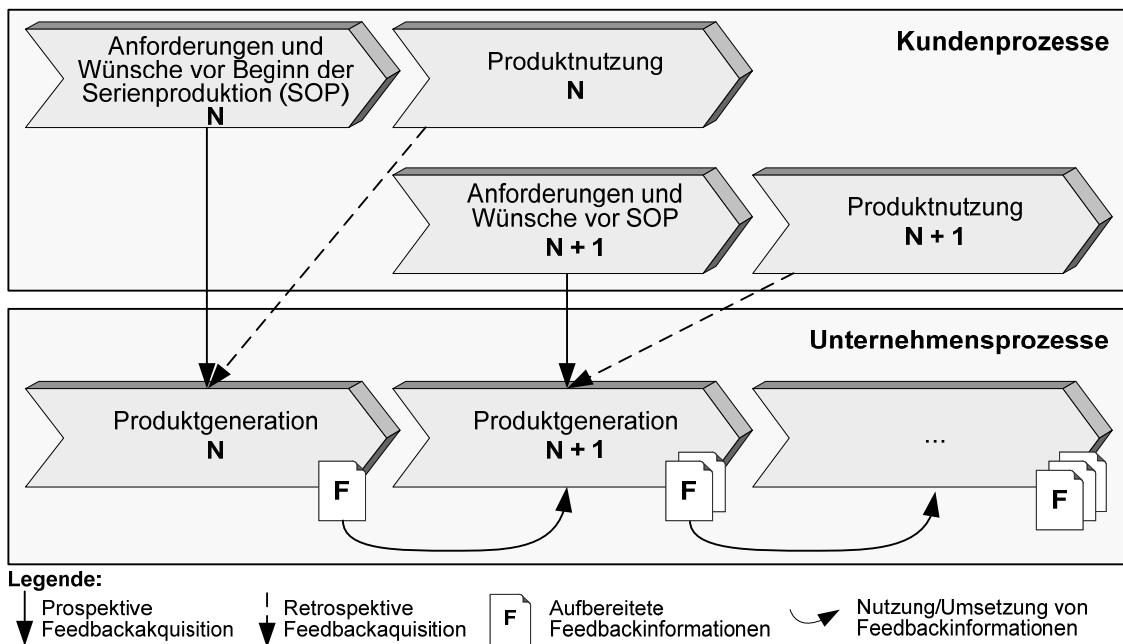


Bild 4-50: Prospektive und retrospektive Akquisition von Kundenfeedback³¹ (in Anlehnung an [Sch06])

Für die retrospektive Akquisition dieser Feedbackinformationen kommen mehrere Möglichkeiten in Betracht. Die Gewinnung des Feedbacks kann durch eine Artikulation seitens der Kunden oder mittels eines automatisierten Produktnutzungsmonitoring erfolgen. Bei einer Akquisition von Feedback durch ein automatisiertes Produktnutzungsmonitoring nimmt der Kunde eine passive Rolle ein [Sch06]. Diese Form der Akquisition wird im Anwendungsfall 6 betrachtet (Kapitel 4.3.1.6).

³¹ Aus Vereinfachungsgründen ist im Bild die Verwendung der Feedbackinformationen für eine Produktart innerhalb mehrerer Produktgenerationen dargestellt. Ebenso können die Feedbackinformationen produktreihen- bzw. baureihenübergreifend genutzt werden.

Bei der Artikulation durch Kunden kann diese direkt erfolgen, indem der Kunde seine Produkterfahrungen beispielsweise in Fragebögen oder Interviews äußert. Weiterhin kann die Artikulation durch Kunden auch indirekt über die Auswertung von unternehmensinternen Bereichen gewonnen werden [Sch06]. Die Gewinnung des Feedbacks durch eine Artikulation seitens der Kunden wird in diesem Anwendungsfall behandelt und läuft in den in Bild 4-51 dargestellten Phasen ab. Zunächst werden durch die Vorbereitung die Voraussetzungen zur Erfassung des Feedbacks geschaffen, indem beispielsweise Fragebögen definiert werden. Anschließend werden die Rückmeldungen erfasst, indem beispielsweise die vorbereiteten Fragebögen ausgefüllt werden. In der letzten Phase erfolgt eine Zusammenführung der unterschiedlichen Feedbackquellen. Das Potential zur Unterstützung durch ein funktionsorientiertes Produktmodell liegt in der ersten Phase, der Vorbereitung zur Erfassung des Feedbacks. Daher konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf diese Phase.

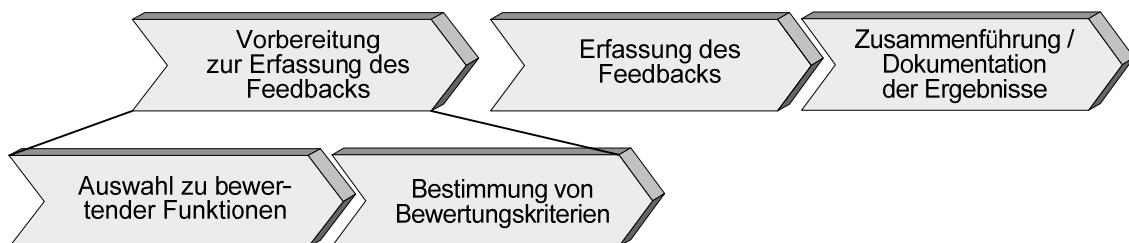


Bild 4-51: Phasen in der Gewinnung von Feedbackinformationen bei Feedbackartikulation durch Kunden

Bei der Vorbereitung zur Erfassung des Feedbacks erfolgt eine Auswahl der zu bewertenden Funktionen und anschließend die Bestimmung der Bewertungskriterien bzw. der Bewertungsfragen (Bild 4-51). Bei der Auswahl der zu bewertenden Funktionen werden anhand von bestimmten Angaben diejenigen Funktionen aus der Gesamtheit ausgesucht, bei denen ein Feedback hilfreich erscheint. Die Notwendigkeit der Auswahl resultiert aus der hohen Anzahl von Funktionen moderner Fahrzeuge. Zu den ausgewählten Funktionen werden dann die zu erfassenden Bewertungskriterien bestimmt. Diese bestehen einerseits aus den beschriebenen Standardkriterien wie der Zufriedenheit oder der Wichtigkeit von Funktionen und andererseits aus funktionsspezifischen Bewertungsfragen.

Bestimmung von Lösungsmethoden

Die Möglichkeiten zur Unterstützung der beschriebenen Schritte durch das funktionsorientierte Produktmodell werden in Bild 4-52 dargestellt. Die Auswahl der zu bewertenden Funktionen kann ohne Informationen aus dem Produktmodell oder mit Angaben aus der anwenderorientierten Ebene erfolgen. Auch die Bestimmung von Bewertungskriterien kann ohne weitere Informationen oder mit Hilfe der anwenderorientierten Ebene durchgeführt werden. Diese Möglichkeiten werden nachfolgend näher beschrieben.

Die gleichartigen Möglichkeiten A und C werden zur Lösungsmethode 1 und die Möglichkeiten B und D zur Lösungsmethode 2 zusammengefasst.

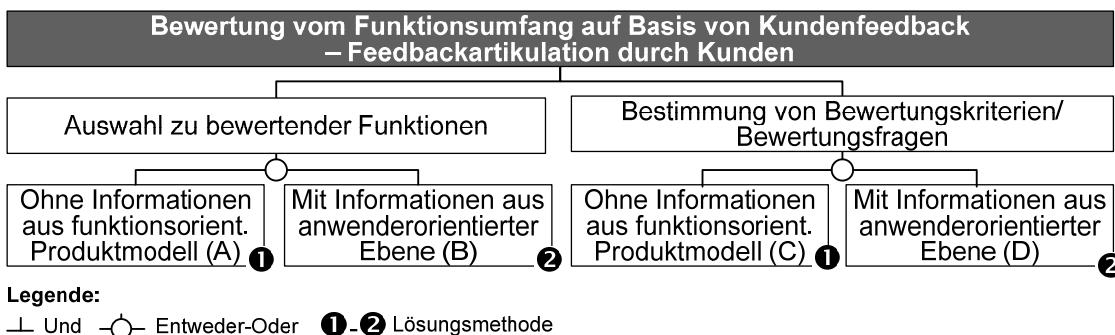


Bild 4-52: Lösungsmethoden zur Bewertung vom Funktionsumfang mittels Feedbackartikulation durch Kunden

Die Auswahl der zu bewertenden Funktionen ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell (A in Bild 4-52) stützt sich auf das Wissen geeigneter Experten. Diese müssen daher einen Überblick über die potentiell zu bewertenden Funktionen und entscheidungsrelevante Informationen haben.

Die Auswahl der zu bewertenden Funktionen kann durch die Hinzunahme von Informationen aus der anwenderorientierten Ebene erleichtert werden (B in Bild 4-52). Es können zwei Arten von Informationen zu Funktionen verwendet werden: Eigenschaften von Funktionen und Feedbackinformationen aus früheren Analysen. Zu den relevanten Eigenschaften einer Funktion bei der Auswahl zählen beispielsweise der Neuheitsgrad, der Status als Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb sowie eine Klassifizierung als Komfort- oder Sicherheitsfunktion. Neben diesen Eigenschaften können vorhandene Feedbackinformationen hilfreich sein. Wenn beispielsweise eine Funktion in einer früheren Bewertung von Kunden als unwichtig eingestuft wurde ist es sinnvoll, diese nochmals bewerten zu lassen, um bei einer ähnlichen Bewertung die Funktion bei zukünftigen Produktgenerationen wegzulassen. Neben den Funktionen können auch Informationen zu weiteren Elementen aus der anwenderorientierten Ebene verwendet werden. Beispielsweise kann die Beschreibung eines Bedienereignisses zur Einschätzung der Komplexität der Bedienung herangezogen werden, um daraus die Notwendigkeit der Bewertung durch Kunden abzuleiten.

Die Bestimmung von Bewertungskriterien ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell (C in Bild 4-52) erfolgt auf Basis von Expertenwissen. Es werden die zu bewertenden Standard- und funktionsspezifischen Bewertungskriterien für jede Funktion aus dem vorherigen Schritt ausgewählt. Anschließend erfolgt die Zusammenstellung zu einem Fragebogen.

Bei der Hinzunahme der anwenderorientierten Ebene zur Bestimmung von Bewertungskriterien (D in Bild 4-52) für die ausgewählten Funktionen werden die gleichen Informationen wie bei der Auswahl der Funktionen genutzt: Eigenschaften von Funkti-

onen, Feedbackinformationen aus früheren Analysen sowie Informationen über weitere Elemente aus der anwenderorientierten Ebene. Wenn beispielsweise eine Funktion einen hohen Neuheitsgrad aufweist ist es sinnvoll, diese Funktion von Kunden möglichst umfassend bewerten zu lassen bzw. alle Standardbewertungskriterien zur Bewertung auszuwählen. Auch aus Feedbackinformationen von früheren Analysen können Rückschlüsse gezogen werden. Wenn beispielsweise eine Funktion als wichtig erachtet wurde, aber die Zufriedenheit niedrig war, sollte nach einer Weiterentwicklung die Zufriedenheit aus Kundensicht erneut bewertet werden. Die Wichtigkeit hat sich wahrscheinlich nicht verändert und muss damit auch nicht erneut abgefragt werden. Informationen über weitere Elemente können vor allem zur Bestimmung von funktionsspezifischen Bewertungskriterien herangezogen werden. Wenn beispielsweise ein Bedienereignis für eine Funktion ein längeres Drücken einer bestimmten Taste bildet, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass dieses Bedienereignis von einem hohen Anteil von Kunden nicht wahrgenommen wird. Hier bietet es sich an, diese Vermutung durch eine entsprechende Rückfrage bestätigen oder widerlegen zu lassen.

In Bild 4-53 werden abschließend die für die beschriebenen Lösungsmethoden benötigten Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells in der Übersicht dargestellt.

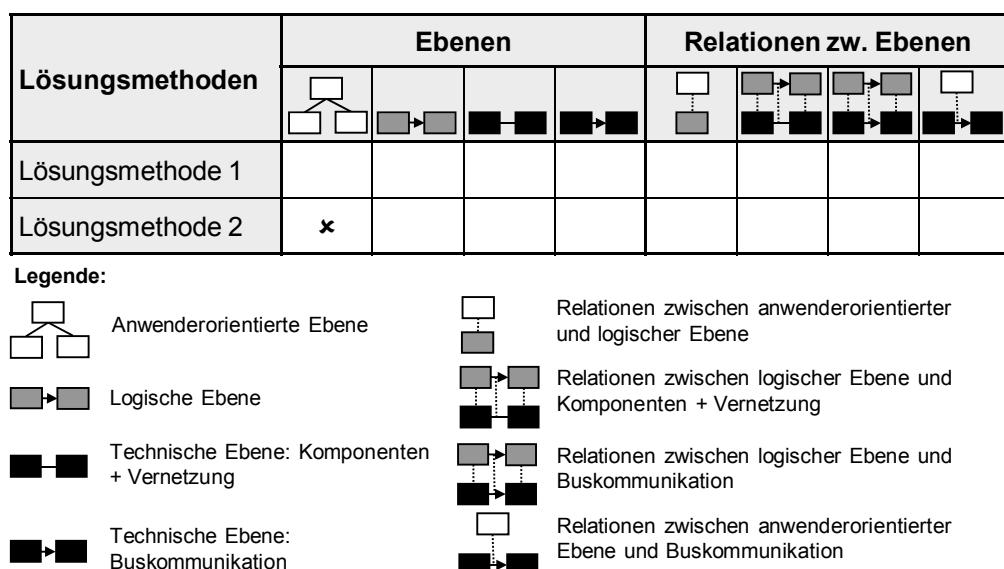


Bild 4-53: Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Bewertung vom Funktionsumfang bei Feedbackartikulation durch Kunden“

Bewertung der Lösungsmethoden

Ohne die Berücksichtigung des Modellierungsaufwands verbessert sich das Verhältnis aus Nutzen und laufendem Aufwand von Lösungsmethode 1 zu Lösungsmethode 2, da die Informationen aus der anwenderorientierten Ebene die Auswahl von Funktionen und Bewertungskriterien erleichtern. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Anhang.

4.3.1.6 Anwendungsfall 6 – Bewertung vom Funktionsumfang mit automatisiertem Produktnutzungsmonitoring

Im vorherigen Anwendungsfall wurde die Akquisition von Kundenfeedback durch eine Feedbackkartikulation seitens der Kunden analysiert (vgl. Abschnitt 4.3.1.5). Diese ist vor dem Hintergrund des hohen Funktionsumfangs in heutigen Fahrzeugen als alleinige Form der Akquisition von Feedback nicht praktikabel. Zudem läuft ein Teil der Interaktionen des Fahrers mit dem Fahrzeug automatisiert ab, so dass dieser nicht in der Lage ist, genau über diese Interaktionen zu berichten. Eine reine Befragung ist dadurch nicht zielführend [Sac09]. Eine sinnvolle Ergänzung stellt die Akquisition von Feedback durch ein automatisiertes Produktnutzungsmonitoring dar. Durch die automatisierte Erfassung des Nutzungsverhaltens können die beschriebenen Nachteile der Feedbackkartikulation durch den Kunden umgangen werden.

Bei dem automatisierten Produktnutzungsmonitoring werden zwei Möglichkeiten betrachtet. Die Feedbackinformationen können durch im Produkt eingebettete Funktionen (*Embedded Feedback Functions*) erfasst werden. Diese überwachen und analysieren die Nutzung verschiedener Produktfunktionen [Sch06]. Alternativ kann während der Nutzung eines Fahrzeugs die Kommunikation von Steuergeräten gespeichert und ausgewertet werden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist der geringe Änderungsbedarf bei Fahrzeugen. Es bedarf keiner Modifikationen außer der Unterbringung einer Box zur Aufzeichnung der Datenströme auf den Bussystemen. Daher wird in dieser Arbeit nur diese Möglichkeit weiter betrachtet und nicht die Variante durch die in einem Produkt eingebetteten Funktionen zur Feedbackerfassung. Die dargestellten Lösungsmethoden lassen sich jedoch prinzipiell auch bei den eingebetteten Funktionen zur Feedbackerfassung umsetzen.

Die Speicherung und Auswertung der Kommunikation auf Bussystemen wird heute vorwiegend zur Fehlersuche und -analyse in der Entwicklungsphase eingesetzt. Zunächst werden die auf einem Bus übertragenen Botschaften mit Zeitstempeln aufgezeichnet. Anschließend wird diese Aufzeichnung der Botschaften als zeitliche Auflistung analysiert. Wenn hierbei die Botschaften nur als Rohdaten in hexadezimaler Form angezeigt werden, wird die Aufzeichnung unübersichtlich. Daher werden die Rohdaten über hinterlegte Informationen in eine lesbare Form überführt, so dass beispielsweise in der Aufzeichnung der Lenkradwinkel als Signal innerhalb einer Botschaft mit der dazugehörigen Ausprägung eines physikalischen Werts (beispielsweise ein Lenkradwinkel von 5 °) aufgeführt wird. Allerdings ist die Analyse der gesamten Kommunikation anhand der Auswertung der Aufzeichnung in lesbbarer Form angesichts der Anzahl der Botschaften in modernen Fahrzeugen sehr schwierig [Tra09]. Ein Beispiel für ein Werkzeug und einen de facto Standard für eine solche Aufzeichnung und Auswertung von Botschaften stellt CANalyzer dar [ZS07]. Eine weitergehende Möglichkeit zur Fehleranalyse wird durch eine Kombination der aufgezeichneten Steuergerätekommunikation mit einer Dokumentation von Fehlereinträgen realisiert. Fehlereinträge werden von Steuergeräten gespeichert, wenn durch eine Eigendiagnose von Steuergeräten diese ei-

nen Fehler detektieren. Werden diese Fehlereinträge mit der Aufzeichnung der Steuergerätekommunikation kombiniert, erhält der Diagnosespezialist wichtige Hinweise zu den Randbedingungen zum Zeitpunkt des Fehlereintritts. Damit kann er die Fehlerursache einfacher und schneller bestimmen [KT07].

Die Nutzung einer Aufzeichnung und Auswertung der Steuergerätekommunikation ist neben der Fehleranalyse in der Entwicklungsphase auch zur Untersuchung des Nutzungsverhaltens von Funktionen bei Endkunden in alltäglichen Situationen vorstellbar. Die Realisierbarkeit dieses Ansatzes ist von SACHER gezeigt worden [SAC09]. Im Rahmen einer Untersuchung des Bedien- bzw. Nutzungsverhaltens von Fahrzeugen wurden zwei Fahrzeuge als Versuchsträger eingesetzt. Dabei wurde die Nutzung von Funktionen über die Bedienelemente erfasst. Technisch ist dies durch die Aufzeichnung der Informationen auf den Bus-Systemen über einen Datenlogger erfolgt. Neben den Bedienelementen wurden fahrdynamische Daten aufgenommen, die auf dem CAN-Bus der Fahrzeuge übermittelt wurden. Bei Elementen, die nicht an Bus-Systeme angebunden waren, wurden Potentiometer eingebaut und die entsprechenden Signale nachträglich auf den CAN-Bus gelegt³².

Bestimmung von Lösungsmethoden

Zur Nutzung eines automatisierten Produktnutzungsmonitoring für die Gewinnung von Feedbackinformationen muss zunächst die Buskommunikation des jeweiligen Fahrzeugs aufgezeichnet werden. Anschließend wird diese Aufzeichnung ausgewertet. Eine solche Auswertung ist aufgrund des Umfangs einer Aufzeichnung sehr komplex. Daher ist an dieser Stelle die Unterstützung durch ein funktionsorientiertes Produktmodell sinnvoll und wird nachfolgend näher analysiert.

Die Möglichkeiten zur Auswertung der Buskommunikation werden in Bild 4-52 dargestellt. Theoretisch könnte die Auswertung durch eine direkte, manuelle Analyse der Buskommunikation erfolgen. Dies ist aufgrund des Umfangs jedoch nicht realistisch und wird deshalb nicht weiter betrachtet. Sinnvoller ist eine Auswertung über passende Algorithmen. Mittels dieser Algorithmen wird die aufgezeichnete Buskommunikation analysiert und beispielsweise die Nutzungshäufigkeit pro Funktion bestimmt. Die Auswertungsalgorithmen können mittels der fünf alternativen Lösungsmethoden definiert werden. Im Folgenden werden diese Lösungsmethoden näher beschrieben.

³² Ein weiteres Beispiel für die Untersuchung des Kundenverhaltens mittels einer Datenaufzeichnung findet sich in [RZH+08]. Hier liegt der Fokus auf Untersuchungen zu Treibstoffverbräuchen im realen Alltag von Kunden. Hierzu wurden Daten wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Beschleunigung und Klimaanlagenutzung von den Bussystemen der Versuchsfahrzeuge über Datenlogger abgegriffen und gespeichert.

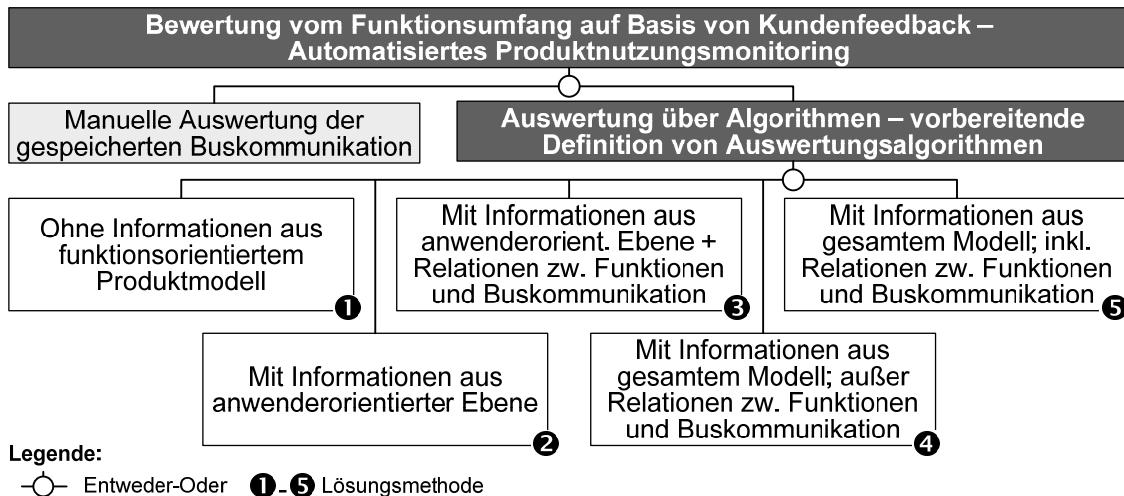


Bild 4-54: Lösungsmethoden zur Bewertung vom Funktionsumfang mittels automatisiertem Produktnutzungsmonitoring

Bei der ersten Lösungsmethode werden Algorithmen zur Auswertung ohne die Nutzung von Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell definiert. Daher müssen die entsprechenden Mitarbeiter Kenntnisse über die realisierten Funktionen einer Baureihe sowie über die korrespondierenden Signale innerhalb der Buskommunikation aufweisen.

Bei Lösungsmethode 2 wird die Definition von Auswertungsalgorithmen durch Informationen aus der anwenderorientierten Ebene erleichtert. Die Wertschöpfung der für die Definition zuständigen Mitarbeiter besteht daher aus der Bestimmung der zugehörigen Signale und einer Zusammenstellung zu Auswertungsalgorithmen.

Eine weitere Erleichterung bei der Definition von Auswertungsalgorithmen wird bei Lösungsmethode 3 durch die Einbeziehung von Relationen zwischen Funktionen und Signalen erreicht (Bild 4-55). Hier wird auf Basis des funktionsorientierten Produktmodells zu jeder Funktion auf der anwenderorientierten Ebene bestimmt, ob ein entsprechendes Signal in der Buskommunikation zugeordnet ist. Wenn dies zutrifft, wird der Auswertungsalgorithmus für diese Funktion zusammengestellt. Falls einer Funktion kein Signal zugeordnet ist, die Analyse der Nutzung dieser Funktion aber trotzdem erwünscht ist, werden die passenden Signale und Auswertungsalgorithmen wie bei Lösungsmethode 2 auf Basis von Expertenwissen bestimmt.

Auch bei Lösungsmethode 4 werden die passenden Signale für die Definition von Auswertungsalgorithmen mit Hilfe des funktionsorientierten Produktmodells ermittelt. Im Gegensatz zu Lösungsmethode 3 liegt hier ein Produktmodell zugrunde, bei dem die Relationen von Funktionen zu Signalen nicht direkt, sondern mittelbar über technische Funktionen aus der logischen Ebene verlaufen.

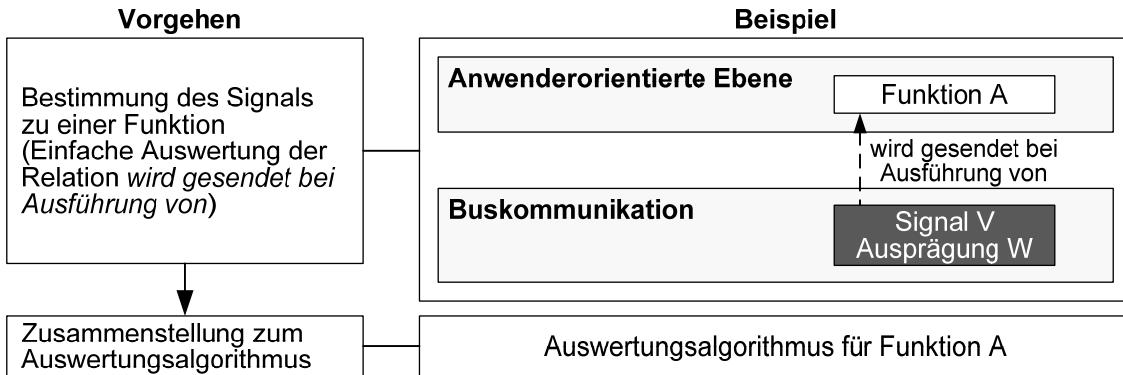


Bild 4-55: *Definition von Auswertungsalgorithmen bei Lösungsmethode 3*

Je nach technischer Realisierung einer Funktion kommen bei Lösungsmethode 4 für die Erfassung der Funktionsnutzung zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zum Zuge: eine direkte sowie eine indirekte Erfassung. Daraus resultieren zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zur Bestimmung von Auswertungsalgorithmen.

Das Vorgehen zur Bestimmung von Auswertungsalgorithmen bei direkter Erfassung der Funktionsnutzung wird in Bild 4-56 an einem schematischen Beispiel dargestellt. Für die zu erfassenden Funktion werden die technischen Funktionen und die übertragenen Informationen ermittelt. Aus diesen Objekten wird die letzte Information ausgesucht, die auf einem Bussystem übertragen wird. Ein Informationsfluss, der nicht auf einem Bus übertragen wird, würde durch eine Aufzeichnung der Buskommunikation nicht erfasst. Für diese Information wird dann das entsprechende Signal ermittelt und der Auswertungsalgorithmus erstellt. Im abgebildeten Beispiel wird beispielsweise das *Signal V* als relevantes Signal für die Erfassung der *Funktion A* bestimmt. Sobald in einer aufgezeichneten Buskommunikation dieses Signal durch den Auswertungsalgorithmus identifiziert wird, ist damit eine Nutzung der Funktion erfasst worden.

Die direkte, eindeutige Erfassung der Nutzung einer Funktion ist nicht immer möglich. Dies tritt beispielsweise auf, wenn die Information bzw. das Signal, das die Nutzung einer bestimmten Funktion anzeigt, nicht über einen Bus übertragen wird. In diesem Fall muss die Nutzung von Funktionen indirekt über Ereignisse und Voraussetzungen erfasst werden. Die Nutzung einer Funktion ist gegeben, wenn alle Voraussetzungen einer Funktion zu einem bestimmten Zeitpunkt der Buskommunikation vorliegen und das Eintreten eines Ereignisses detektiert wird. Damit wird die Implementierung einer technischen Funktion nachgebildet.

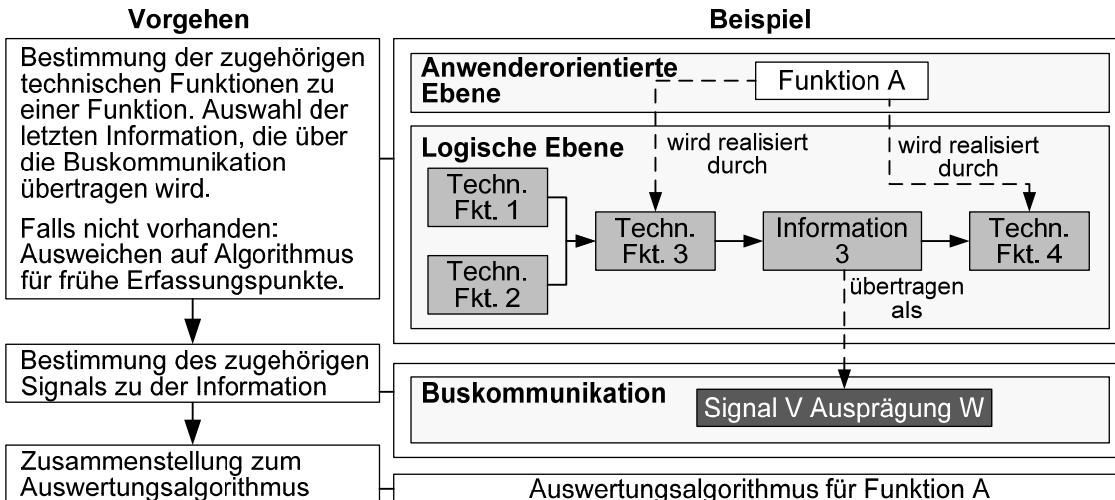


Bild 4-56: Definition von Auswertungsalgorithmen bei Lösungsmethode 4 und direkter Erfassung der Funktionsnutzung³³

Die Vorgehensweise innerhalb der Lösungsmethode 4 für die Definition von Algorithmen mit der indirekten Erfassung wird in Bild 4-57 an einem schematischen Beispiel dargestellt. Hier werden zu den Ereignissen und Voraussetzungen einer Funktion die entsprechenden technischen Funktionen ermittelt. Zu den Informationen dieser technischen Funktionen werden wiederum die Signale mit den passenden Ausprägungen bestimmt. Diese bilden die Basis für die Definition des Auswertungsalgoritmus. Im abgebildeten Beispiel durchsucht der aufgestellte Auswertungsalgoritmus zur Erfassung der *Funktion b* eine aufgezeichnete Buskommunikation auf das Auftreten von *Signal x* und *Signal y*. Die Nutzung der *Funktion b* liegt in diesem Fall vor, wenn bei einer Aufzeichnung der Buskommunikation beim Vorliegen von *Signal v* das *Signal x* dazukommt.

Mit der Nachbildung der Implementierung von technischen Funktionen kann die Umsetzung von Lösungsmethode 4 komplex werden. Beispielsweise müssen zur korrekten Erfassung einer Funktionsausführung auch zeitliche Abhängigkeiten beim Auswertungsalgoritmus berücksichtigt werden.

Lösungsmethode 5 stellt eine Kombination der Lösungsmethoden 3 und 4 dar. Bei der Definition von Auswertungsalgorithmen wird zunächst gemäß der Lösungsmethode 3 vorgegangen. Im Produktmodell werden somit Funktionen ausgewählt, die direkt mit korrespondierenden Signalen verknüpft sind. Diese Signale werden dann für die Algo-

³³ Mit der abgebildeten Vorgehensweise wird erfasst, wann und wie oft eine Funktion genutzt wird. Falls daneben bestimmt werden soll, über welche Ereignisse eine Funktion initiiert werden, muss das abgebildete Vorgehen parallel auch für die Ereignisse einer Funktion durchlaufen werden. Für jedes Ereignis müssen somit die technischen Funktionen, die entsprechenden Informationen und die korrespondierenden Signale bestimmt werden und in den Auswertungsalgoritmus einfließen.

rithmen verwendet. Für die Funktionen, die im Produktmodell keine direkten Relationen zu Signalen aufweisen, wird danach Lösungsmethode 4 eingesetzt. Hier werden die passenden Signale mittelbar über die logische Ebene identifiziert. Somit bietet Lösungsmethode 5 das Potential, die Vorteile der beiden vorherigen Lösungsmethoden nutzen zu können. Dies geht jedoch mit der Notwendigkeit eines umfangreicheren Produktmodells einher.

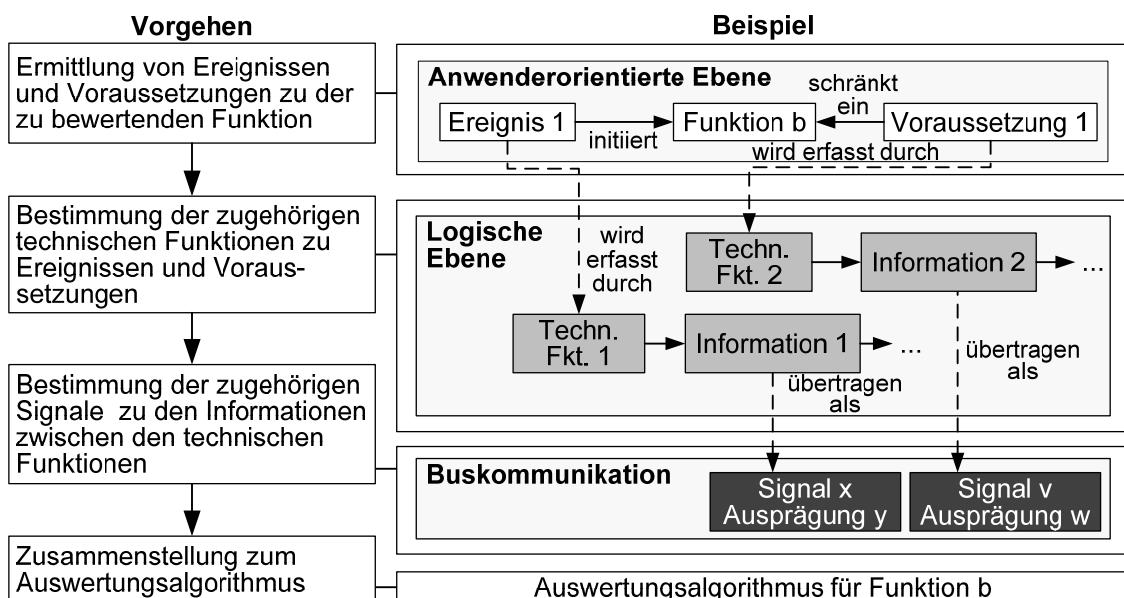


Bild 4-57: Definition von Auswertungsalgorithmen bei Lösungsmethode 4 und indirekter Erfassung der Funktionsnutzung

In Bild 4-60 werden abschließend die für die beschriebenen Lösungsmethoden benötigten Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells dargestellt.

Bewertung der Lösungsmethoden

Das Verhältnis von Nutzen und laufendem Aufwand verbessert sich erwartungsgemäß mit einer zunehmenden Nutzung des Produktmodells von Lösungsmethode 1 zu 3. Bei Lösungsmethode 4 ist der Nutzen gegenüber Lösungsmethode 3 niedriger. Der Aufwand ist höher, da neben den Informationen aus dem Produktmodell ein hoher Anteil von Expertenwissen für die Erstellung von zuverlässigen Auswertungsalgorithmen notwendig ist. Da die Lösungsmethode 5 die Lösungsmethoden 3 und 4 geschickt kombiniert, ist hier der Nutzen am höchsten und gleichzeitig der laufende Aufwand am niedrigsten. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Anhang.

Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
								
Lösungsmethode 1								
Lösungsmethode 2	x							
Lösungsmethode 3	x			x				x
Lösungsmethode 4	x	x		x	x		x	
Lösungsmethode 5	x	x		x	x		x	x

Legende:

	Anwenderorientierte Ebene		Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
	Logische Ebene		Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
	Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung		Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
	Technische Ebene: Buskommunikation		Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-58: Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Bewertung vom Funktionsumfang mit automatisiertem Produktnutzungsmonitoring“

4.3.1.7 Anwendungsfall 7 – Nachträgliche Erweiterung des Funktionsumfangs im Aftersales

Im betrachteten Unternehmen werden Baureihen auch nach Beginn der Serienproduktion weiterentwickelt. Neue Funktionen fließen während der Produktionszeit einer Baureihe im Rahmen von Modellpflegemaßnahmen in Fahrzeuge ein. Der steigende Anteil von Elektronik- und vor allem Softwareumfängen bietet dabei das Potential, mit relativ geringem Aufwand auch nachträglich ein schon produziertes Fahrzeug um neue Funktionen zu erweitern [WR06]. Somit kann die Kundenzufriedenheit und -bindung erhöht sowie zusätzliche Einnahmen generiert werden.

Bei der Betrachtung einer Erweiterung eines konkreten Fahrzeugs existieren die in Bild 4-59 dargestellten Gruppen von Funktionen. Zunächst können Funktionen, die im Fahrzeug schon vorhanden, aber nicht freigeschaltet waren, durch Freischaltung erweitert werden. Weitergehend können Funktionen erweitert werden, die zum Produktionszeitpunkt des konkreten Fahrzeugs verfügbar waren aber nicht verbaut wurden. Eine weitere Gruppe stellen Funktionen dar, die erst nach dem Produktionszeitpunkt des betrachteten Fahrzeugs verfügbar wurden.

In Baureihe zum Erweiterungszeitpunkt vorhandene Funktionen		
In Baureihe zum Produktionszeitpunkt vorhandene Funktionen		
Im Fahrzeug vorhandene Funktionen		
Im Fahrzeug vorhandene, freigeschaltete Funktionen	zusätzlich nicht freigeschaltete Funktionen	zusätzlich Funktionen, für die im betrachteten Fahrzeug die erforderliche Hardware und/ oder Software fehlt
		zusätzlich Funktionen, die nach Produktion des betrachteten Fahrzeugs entwickelt wurden

Bild 4-59: Abstufung von Funktionen zur nachträglichen Erweiterung

Für die Erweiterung des Funktionsumfangs eines Fahrzeugs sind die in Bild 4-60 dargestellten Maßnahmen notwendig. Bei einer Erweiterung von Funktionen, die im Fahrzeug vorhanden, aber nicht freigeschaltet sind, genügt eine Codierung³⁴ der vorhandenen Software. Bei einer weitergehenden Erweiterung von Funktionen werden zusätzliche Maßnahmen notwendig. Diese umfassen das Flashen neuer Software sowie die Ergänzung oder den Austausch von Komponenten. Hierbei können unter Umständen analog zum Fehlerfall auch Sekundärmaßnahmen zur Erzielung einer konsistenten Konfiguration notwendig werden.

Eventuell notwendige Maßnamen			
SW		HW	
Codierung/Parametrierung	Flashen	Ergänzung	Austausch
Im Fahrzeug vorhandene, freigeschaltete Funktionen			
+ nicht freigeschaltete Funktionen			
Im Fahrzeug vorhandene Funktionen			
+ Funktionen, für welche die erforderliche HW und/oder SW fehlt			
In Baureihe zum Produktionszeitpunkt vorhandene Funktionen			
+ Funktionen, die nach der Produktion des betrachteten Fahrzeugs entwickelt wurden			
In Baureihe zum Erweiterungszeitpunkt vorhandene Funktionen			

Bild 4-60: Maßnahmen zur Erweiterung des Funktionsumfangs eines Fahrzeugs

Um die Erweiterung des Funktionsumfangs zu ermöglichen, sind zwei Alternativen möglich (Bild 4-61). Die notwendigen Maßnahmen können ausschließlich in der Werkstatt bei Vorliegen eines Erweiterungswunschs für den vorliegenden Fall jeweils neu

³⁴ Unter Codierung wird die Anpassung der Software eines Steuergerätes an die spezifische Konfiguration bzw. Ausstattung eines Fahrzeugs verstanden [WR06].

ermittelt werden (a in Bild 4-61). Diese Alternative ist wenig effizient, da die gewonnenen Informationen bei weiteren Fahrzeugen nicht wiederverwendet werden. Zudem ist die fehlerfreie Ermittlung der notwendigen Maßnahmen nicht gewährleistet, da die Mitarbeiter der Werkstatt über ein eingeschränktes Produktwissen verfügen. Daher ist es zielführender, für jede Funktion, bei der erwartet wird, dass diese häufig zur Erweiterung ausgewählt wird, im Vorfeld die notwendigen Maßnahmen zu definieren und im Konfigurationsmanagementsystem einzupflegen (b in Bild 4-61). Diese Informationen werden dann bei jeder Erweiterung eines Kundenfahrzeugs abgerufen und die aufgeführten Maßnahmen zur Erweiterung durchgeführt.

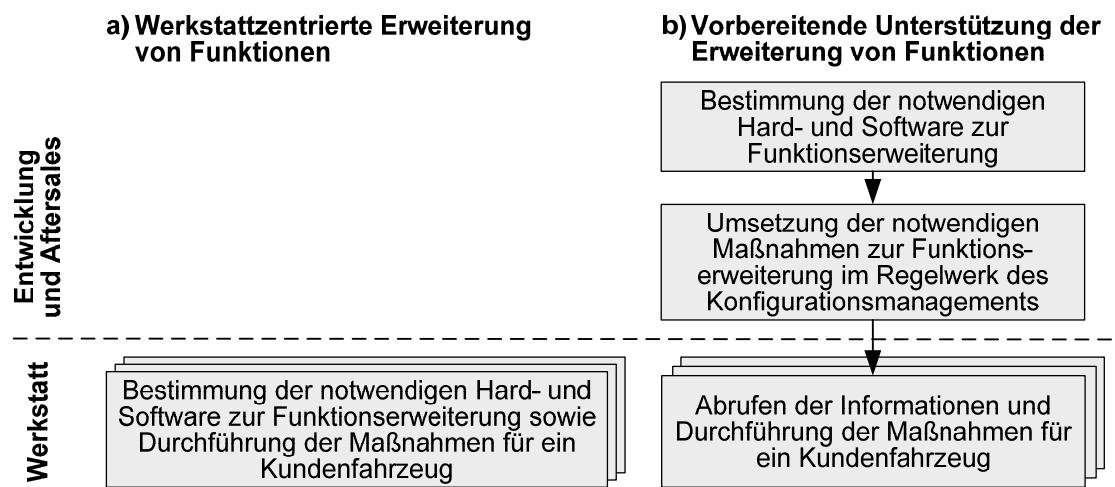


Bild 4-61: Alternativen zur Erweiterung des Funktionsumfangs

Aufgrund der Vorteilhaftigkeit der letztgenannten Alternative (b in Bild 4-61) wird bei der Bestimmung von Lösungsmethoden für diesen Anwendungsfall nur diese weiter detailliert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Bestimmung der notwendigen Hard- und Software zur Erweiterung von Funktionen, da in diesem Schritt ein Zusatznutzen durch ein funktionsorientiertes Produktmodell besteht.

Bestimmung von Lösungsmethoden

Zur Unterstützung der Erweiterung des Funktionsumfangs im Aftersales werden die in Bild 4-62 dargestellten Lösungsmethoden betrachtet. Bei der ersten Lösungsmethode wird die Bestimmung der für eine Erweiterung notwendigen Maßnahmen ohne Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell durchgeführt. Stattdessen wird das vorhandene Wissen von Entwicklern über die Realisierung der jeweils betrachteten Funktion genutzt.

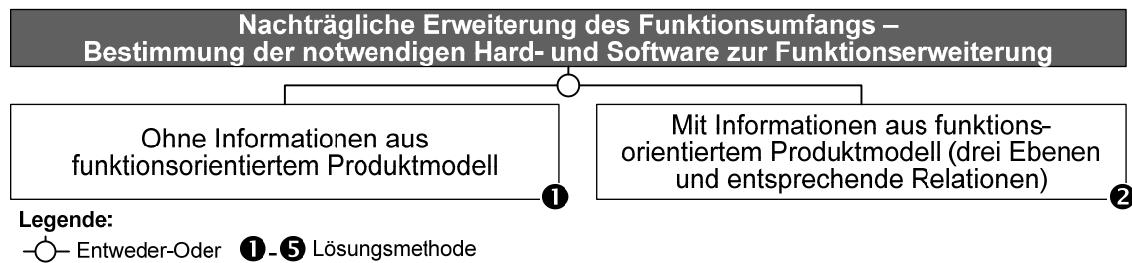


Bild 4-62: Lösungsmethoden zur Unterstützung der Erweiterung des Funktionsumfangs

Bei der zweiten Lösungsmethode werden Informationen aus dem funktionsorientierten Produktmodell verwendet. Hierzu werden die notwendige Hard- und Software zu einer Funktion über die Auswertung der Relationen zwischen den einzelnen Ebenen des Produktmodells ermittelt (Bild 4-63). Das Ergebnis dieses Vorgehens wird anschließend zur Modifikation des Regelwerks im Konfigurationsmanagement verwendet. Bei diesem Vorgehen sind eventuell notwendige Änderungen an einem Fahrzeug, die außerhalb des E/E-Umfangs sind, nicht enthalten. Solche Änderungen am mechanischen Grundsystem müssen separat ermittelt und im Konfigurationsmanagement umgesetzt werden.

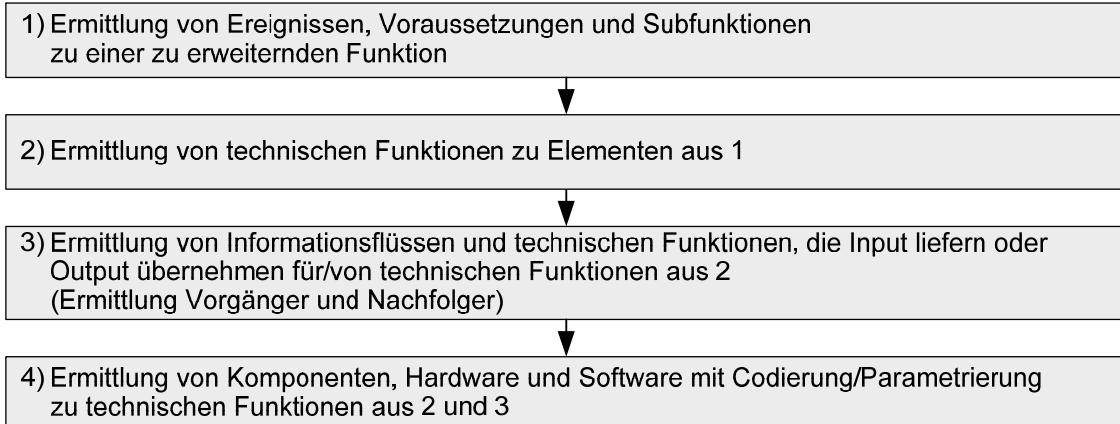


Bild 4-63: Vorgehen zur Unterstützung der Erweiterung des Funktionsumfangs

Aus der Beschreibung der Lösungsmethoden ergeben sich die in Bild 4-64 dargestellten Elemente, die jeweils zur Durchführung der Lösungsmethoden benötigt werden. Die erste Lösungsmethode verzichtet auf Informationen aus dem Produktmodell. Bei der zweiten Lösungsmethode werden die anwenderorientierte und die logische Ebene sowie die Komponenten und Vernetzungen aus der technischen Ebene verwendet und die entsprechenden Relationen ausgewertet.

Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen			
Lösungsmethode 1								
Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x		

Legende:

	Anwenderorientierte Ebene		Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
	Logische Ebene		Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
	Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung		Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
	Technische Ebene: Buskommunikation		Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-64: Bestandteile des funktionsorientierten Produktmodells für den Anwendungsfall „Nachträgliche Erweiterung des Funktionsumfangs im Aftersales“

Bewertung der Lösungsmethoden

Aus den betrachteten Lösungsmethoden sollte Lösungsmethode 2 aufgrund des günstigeren Verhältnisses aus Nutzen und Aufwand bevorzugt eingesetzt werden. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Anhang.

4.3.2 Bewertung des Modellierungsaufwands

Mit der Bewertung des Modellierungsaufwands wird in diesem Abschnitt der vierte Schritt des Verfahrens durchlaufen. Es wird der Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand für die einzelnen Ebenen sowie die Relationen des funktionsorientierten Produktmodells aus Kapitel 4.1 im betrachteten Unternehmen eingeschätzt.

Die bewerteten Aufwände für die einzelnen Ebenen und Relationen werden in Bild 4-65 dargestellt. Die Aufwände basieren auf Expertenschätzungen im Unternehmensumfeld. Hierzu werden folgende Faktoren berücksichtigt: aktueller Status der Modellierung, Mengengerüst und Änderungshäufigkeit (vgl. Abschnitt 4.2.4). Die Bewertung dieser Faktoren wird jeweils zu einer Gesamtgröße zusammengefasst, die in Aufwandpunkten angegeben wird. Es wird deutlich, dass beispielsweise der Aufwand für die Komponenten und deren Vernetzung mit einem Aufwandpunkt gering ist. Dies liegt daran, dass die Modellierung dieser Elemente im betrachteten Unternehmen heute schon weitgehend durchgängig erfolgt. Im Gegensatz dazu ist beispielsweise der Aufwand für die Modellierung und Aktualisierung von Relationen zwischen den Elementen der logischen Ebene und der Buskommunikation mit 10 Aufwandpunkten sehr hoch. Der Grund ist, dass bislang keine durchgängige Modellierung dieser Relationen erfolgt und die Anzahl dieser Relationen hoch ist.

Ebenen				Relationen zw. Ebenen				
Aufwandpunkte	3	8	1	1	6	7	10	2
Anwenderorientierte Ebene								
Logische Ebene								
Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung								
Technische Ebene: Buskommunikation								

Legende:

- Anwenderorientierte Ebene
- Logische Ebene
- Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung
- Technische Ebene: Buskommunikation
- Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
- Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
- Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
- Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

0 = kein Aufwand, 10 = hoher Aufwand

Bild 4-65: Ergebnisse der Bewertung des Modellierungs- und Aktualisierungsaufwands

Für die einzelnen Lösungsmethoden innerhalb der Anwendungsfälle wurde in den vorangegangenen Abschnitten definiert, welche Bestandteile des Produktmodells benötigt werden. Die dadurch entstehenden Kombinationen der Bestandteile werden in dieser Arbeit als Varianten bezeichnet. Diese Varianten werden in Bild 4-66 dargestellt. Die Markierungen geben an, ob eine Ebene bzw. die angegebenen Relationen Bestandteil der jeweiligen Variante sind. Mit den Aufwandpunkten der einzelnen Bestandteile können somit die Aufwände für die Varianten durch Addition errechnet werden.

Die Betrachtung der einzelnen Varianten des Produktmodells ermöglicht eine Definition der Beziehungen zwischen den Varianten. Die Beziehungen zwischen den Varianten des Produktmodells sind:

- Variante A ist eine Teilmenge der Varianten B, C, D, E, F, G und des vollständigen Produktmodells
- Variante B ist eine Teilmenge von C, D, E, F, G und vom vollständigen Produktmodell
- Variante C ist eine Teilmenge von E und vom vollständigen Produktmodell
- Variante D ist eine Teilmenge von E und G und vom vollständigen Produktmodell
- Variante E ist eine Teilmenge des vollständigen Produktmodells
- Variante F ist eine Teilmenge von G und vom vollständigen Produktmodell
- Variante G ist eine Teilmenge des vollständigen Produktmodells

Aufwands-punkte Varianten	Ebenen				Relationen zw. Ebenen				Aufwands-punkte pro Variante
									
Variante A									0
Variante B	x								3
Variante C	x			x				x	6
Variante D	x	x			x	x		x	28
Variante E	x	x			x	x		x	30
Variante F	x	x	x			x	x		25
Variante G	x	x	36						
Vollständiges Produktmodell	x	x	38						

Beispiel:
 $3 + 1 + 2$

Legende:

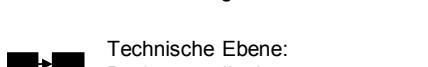
-  Anwenderorientierte Ebene
-  Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene
-  Logische Ebene
-  Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung
-  Technische Ebene: Komponenten + Vernetzung
-  Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation
-  Technische Ebene: Buskommunikation
-  Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation

Bild 4-66: Modellierungsaufwand für die Varianten des funktionsorientierten Produktmodells

Durch diese Beziehungen ergeben sich unterschiedliche konsistente Pfade, die bei der Einführung der Varianten eingeschlagen werden können (Bild 4-67). Die Berücksichtigung dieser Pfade stellt sicher, dass bei einer schrittweisen Einführung der Varianten eine sinnvolle Reihenfolge gewählt wird. Wenn beispielsweise die Variante C angestrebt wird, ist ein späterer Übergang zur Variante G nicht sinnvoll.

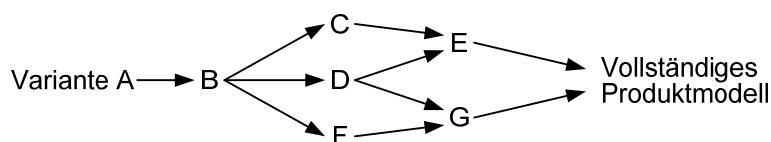


Bild 4-67: Pfade bei der Einführung des funktionsorientierten Produktmodells

4.3.3 Ableitung des bedarfsspezifischen Produktmodells

Im letzten Schritt werden die Ergebnisse der vorherigen Schritte synthetisiert. Das Ziel ist die Bestimmung einer geeigneten Variante des Produktmodells unter Berücksichtigung des damit verbundenen Aufwands und Nutzens.

Zunächst wird die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Varianten unter Berücksichtigung des resultierenden Nutzens und des laufenden Aufwands für die Durchführung der jeweiligen Lösungsmethoden veranschaulicht (Bild 4-68). Hierzu werden für jede Variante der Nutzen der zugeordneten Lösungsmethoden auf der einen Seite und die entsprechenden Aufwände auf der anderen Seite addiert³⁵. Der einmalige Aufwand für das Ermöglichen der Durchführung der Anwendungsfälle wird im Diagramm ebenfalls dargestellt. Ein Beispiel stellt eine Implementierung von benötigten Abfragen dar. Allerdings kann der einmalige Aufwand bei längerfristiger Nutzung der Lösungsmethoden vernachlässigt werden. Der Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand ist in dem Diagramm nicht eingearbeitet. Damit wird zunächst die Vorteilhaftigkeit der Varianten unabhängig vom Modellierungsaufwand betrachtet.

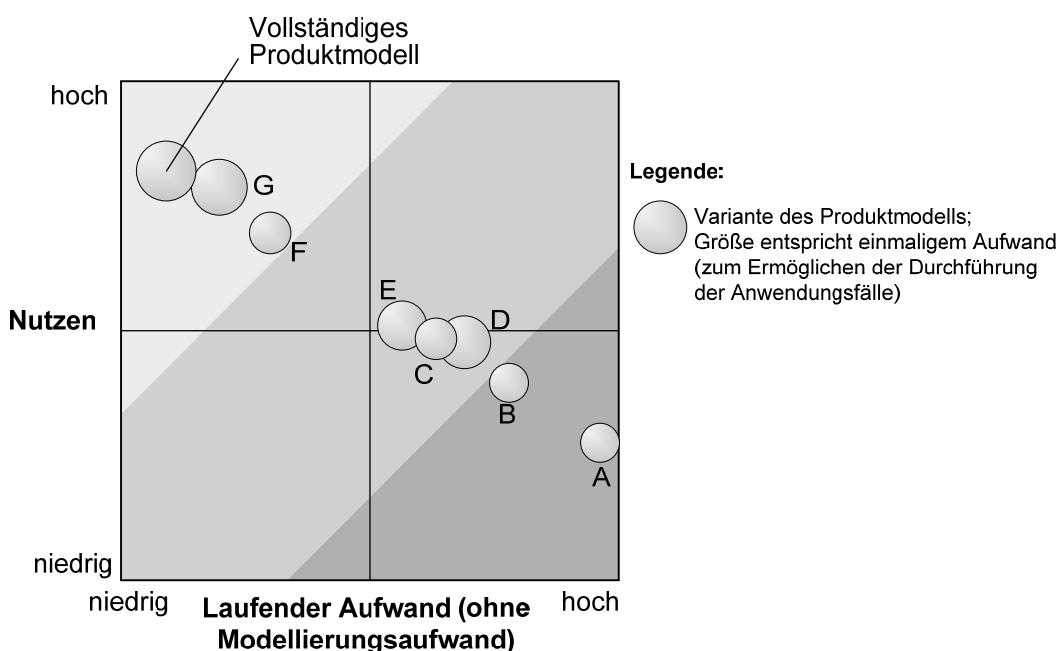


Bild 4-68: Ermittlung der Vorteilhaftigkeit der Varianten des Produktmodells unter Vernachlässigung des Modellierungsaufwands

Die Betrachtung des Diagramms macht deutlich, dass aus diesem isolierten Blickwinkel heraus das vollständige Produktmodell angestrebt werden sollte. Dieses hat den höchsten Nutzen bei gleichzeitig geringstem laufenden Aufwand. Damit wird deutlich, dass

³⁵ Die Zuordnung der Lösungsmethoden zu den Varianten ist in Bild A-1 dargestellt.

die Vorteilhaftigkeit der im funktionsorientierten Produktmodell definierten Ebenen und Relationen bei den betrachteten Anwendungsfällen bei Vernachlässigung des Modellierungsaufwands gegeben ist. Nachfolgend wird nun zusätzlich der Modellierungsaufwand mitberücksichtigt, um eine ganzheitliche Ermittlung des anzustrebenden Produktmodells durchführen zu können.

Mit dem Wissen über konsistente Pfade aus dem vorherigen Schritt können eine anzustrebende Variante des Produktmodells und eine Strategie zur potentiellen Erweiterung bestimmt werden. Bild 4-69 zeigt das entsprechende Ergebnis. Der auf der y-Achse aufgetragene Nutzen stellt die Summe aus dem Nutzen der zu einer Variante zugeordneten Lösungsmethoden dar. Auf der x-Achse wird die Summe der Aufwände der zu einer Variante zugeordneten Lösungsmethoden zusammen mit dem Modellierungsaufwand für diese Variante dargestellt (vgl. Bild 4-18). Zwischen die eingeordneten Varianten sind zusätzlich die konsistenten direkten Pfade eingezeichnet.

Gemäß Bild 4-69 können die Varianten A und B aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden, da sie bei ähnlichem Aufwand wie Variante C einen geringeren Nutzen aufweisen. Auch die Varianten D und E sind nicht empfehlenswert, da sie bei einem ähnlichen Nutzen wie Variante C mit einem höheren Aufwand einhergehen. Die Varianten F und G sowie das vollständige Produktmodell weisen zwar einen hohen Nutzen auf, sind aber gleichzeitig mit einem hohen Aufwand verbunden. Eine Einführung des Produktmodells mit einer dieser Varianten ist daher nicht empfehlenswert. Somit bietet sich die Variante C als geeigneter Einstieg in die Etablierung eines funktionsorientierten Produktmodells an³⁶. Hier wird im Vergleich zu einem nicht existenten funktionsorientierten Produktmodell (entspricht Variante A) ohne Zusatzaufwand ein Nutzen geschaffen, der die Akzeptanz für den durchgängigen Einsatz eines funktionsorientierten Produktmodells im Unternehmensumfeld schafft. Auf Basis einer erfolgreichen Einführung der Variante C kann die Erweiterung zum vollständigen Produktmodell erwogen werden, wenn positiv geänderte Rahmenbedingungen wie beispielsweise neue Anwendungsfälle auftreten.

³⁶ Variante C entspricht der anwenderorientierten Ebene und der Buskommunikation sowie den entsprechenden Relationen zwischen Funktionen aus der anwenderorientierten Ebene und Signalen aus der Buskommunikation (vgl. Bild 4-66).

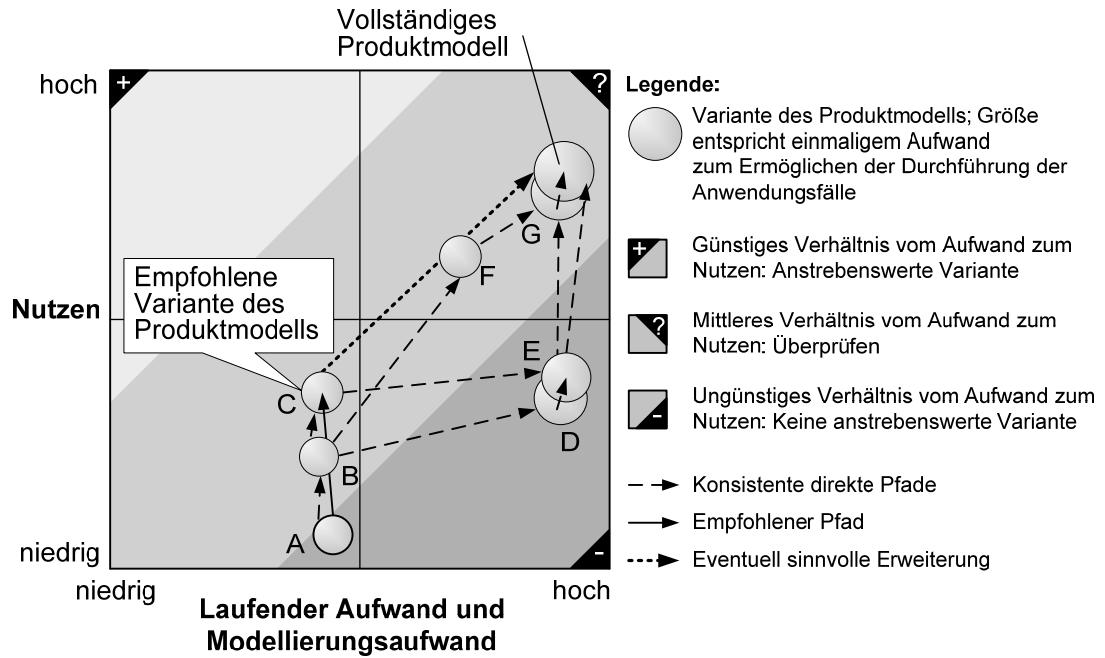


Bild 4-69: Ermittlung der Vorteilhaftigkeit von Varianten des Produktmodells mit Einbeziehung des Modellierungsaufwands

5 Bewertung der Systematik

Im Folgenden wird die erarbeitete Systematik anhand der im Kapitel 2 definierten Anforderungen bewertet. Hierzu wird für jede Anforderung knapp erläutert, inwiefern sie durch die Systematik erfüllt wird.

Anforderungen an das Produktmodell

A 1 – Berücksichtigung von anwenderorientierten, logischen und technischen Aspekten

In Kapitel 4.1 wird das funktionsorientierte Produktmodell mit den enthaltenen Elementen beschrieben. Zur Abdeckung der vielfältigen Aspekte von E/E-Systemen setzt sich das funktionsorientierte Produktmodell aus mehreren Abstraktionsebenen zusammen, die miteinander verknüpft sind. In der anwenderorientierten Ebene werden Funktionen aus der Anwenderperspektive heraus abgebildet. In der logischen Ebene erfolgt die Dokumentation von Funktionen aus Entwicklersicht. Auf der technischen Ebene werden schließlich Komponenten, entsprechende physische Verbindungen und die Buskommunikation dokumentiert.

A 2 – Durchgängigkeit

In Kapitel 4.1 werden neben den einzelnen Ebenen auch die Relationen zwischen den Ebenen definiert. Durch diese Beziehungen wird die Möglichkeit einer ganzheitlichen Auswertung des Produktmodells sichergestellt.

A 3 – Bedarfsspezifisches Produktmodell mit Berücksichtigung vom Aufwand und Nutzen

In Kapitel 4.3 wird ein bedarfsspezifisches Produktmodell aufgezeigt. Dieses weist bei Anwendung in den späten Phasen des Produktlebenszyklus ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem aus Anwendungsfällen resultierenden Nutzen und dem Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand auf. Grundlage für die Bestimmung des bedarfsspezifischen Produktmodells ist eine detaillierte Anwendung des in Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens (vgl. A 4 bis A 7).

Anforderungen an ein Verfahren zur Ableitung eines bedarfsspezifischen Produktmodells

A 4 – Berücksichtigung von potentiellen Anwendungsmöglichkeiten in den späten Phasen des Produktlebenszyklus

Das in Kapitel 4.2 vorgestellte Verfahren sieht vor, dass mit den Anwendungsfällen relevante Nutzungsmöglichkeiten im Produktlebenszyklus berücksichtigt werden. Durch wird sichergestellt, dass einerseits Verbesserungspotentiale durch die Verwen-

dung der im Produktmodell enthaltenen Informationen genutzt werden und andererseits keine Modellierung von Produktinformationen ohne echten Bedarf erfolgt.

A 5 – Berücksichtigung unterschiedlicher Problemlösungsmöglichkeiten

Lösungsmethoden werden genutzt, um unterschiedliche Problemlösungsmöglichkeiten zu berücksichtigen und damit die Varianz in Prozessen bzw. Anwendungsfällen wiederzugeben (vgl. Kapitel 4.2.2). Zudem werden auch die Abhängigkeiten zwischen einzelnen Problemlösungsmöglichkeiten bzw. Lösungsmethoden und Bestandteilen des funktionsorientierten Produktmodells abgebildet.

A 6 – Transparenz in Bezug auf den entstehenden Nutzen

Mit der Bewertung von Lösungsmethoden wird eine Möglichkeit geschaffen, den Nutzen eines funktionsorientierten Produktmodells transparent zu machen (vgl. Kapitel 4.2.3). Insbesondere durch die Integration vom Nutzen aus unterschiedlichen Anwendungsfällen wird deutlich, inwiefern einzelne Varianten des Produktmodells zur Verbesserung im Unternehmensumfeld beitragen können (vgl. Kapitel 4.2.5).

A 7 – Berücksichtigung vom Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand

In Kapitel 4.2.4 wird beschrieben, wie vor der Einführung eines Produktmodells der erwartete Modellierungs- und Aktualisierungsaufwand abgeschätzt werden kann. Zudem wird in Kapitel 4.2.5 dargelegt, wie eine Gegenüberstellung mit dem Nutzen erfolgen sollte. Aus dieser Gegenüberstellung geht hervor, in welcher Variante ein funktionsorientiertes Produktmodell dokumentiert sein muss, um das Optimum zwischen Aufwand und Nutzen zu erzielen.

Die vorgestellte Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von Elektrik/Elektronik-Systemen erfüllt alle Anforderungen. Das dargestellte Produktmodell bildet durchgängig die wichtigen Aspekte von E/E-Systemen ab. Das Verfahren ist geeignet, aus dem Produktmodell ein bedarfsspezifisches Produktmodell abzuleiten. Das vorgestellte bedarfsspezifische Produktmodell stellt schließlich eine geeignete Grundlage zur Lösung von Anwendungsfällen unter Berücksichtigung vom Aufwand und Nutzen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wird die technische Evolution moderner Fahrzeuge vor allem durch den zunehmenden Einsatz von Elektrik/Elektronik-Systemen (E/E-Systeme) vorangetrieben. Diese ermöglichen eine Vielzahl von Funktionen durch das geschickte Zusammenspiel mechanischer und elektrischer/elektronischer Bauteile sowie Softwarekomponenten. Die damit einhergehende Komplexität kann durch die heute vorherrschende Arbeitsweise – die sich in erster Linie an den Bauteilen eines Fahrzeugs orientiert – nicht ausreichend beherrscht werden. Um dieser Herausforderung zu begegnen, rücken vermehrt die Funktionen eines Produkts in den Fokus. Dieser Paradigmenwechsel wird durch den Begriff Funktionsorientierung charakterisiert.

Voraussetzung für eine funktionsorientierte Arbeitsweise ist ein funktionsorientiertes Produktmodell. Eine implizite Modellierung von Funktionen in Gestalt von persönlichem Wissen der jeweiligen Entwickler reicht aufgrund des Umfangs der in einem modernen Fahrzeug realisierten Funktionen nicht mehr aus. Die resultierende zunehmende Etablierung der Dokumentation von Funktionen während der Entwicklung bietet auch für die Phasen nach der Entwicklung einen Zusatznutzen. Dieser potentielle Zusatznutzen ist bislang nicht systematisch untersucht worden. Existierende Ansätze zur Modellierung von E/E-Systemen mit Berücksichtigung der Funktionen des zu entwickelnden Produkts fokussieren auf die Entwicklungsphase (siehe beispielsweise [LFO+04], [FRA06], [GFD+08a], [GFD+08b]). Zudem erfolgt in den vorhandenen Ansätzen keine systematische Gegenüberstellung und Abwägung vom resultierenden Aufwand und Nutzen aus einer Dokumentation von Funktionen. Diese Gegenüberstellung ist jedoch bei einer Verwendung der Dokumentation über den gesamten Produktlebenszyklus eine notwendige Voraussetzung zur Vermeidung unnötiger Dokumentationsvorgänge.

Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Systematik zur funktionsorientierten Modellierung von E/E-Systemen für die Belange der Phasen nach der Entwicklung unter Berücksichtigung vom Nutzen und Aufwand definiert. Diese Systematik setzt sich im Kern aus folgenden zwei Teilen zusammen.

Den ersten Teil der Systematik bildet ein funktionsorientiertes Produktmodell, welches die unterschiedlichen funktionalen Aspekte moderner E/E-Systeme abdeckt. In der anwenderorientierten Ebene werden Funktionen aus der Kundenperspektive heraus abgebildet. In der logischen Ebene erfolgt die Spezifikation von technischen Funktionen aus der Entwicklersicht. Auf der technischen Ebene werden schließlich die realisierenden Komponenten, die entsprechenden physischen Verbindungen und die Buskommunikation dokumentiert. Zwischen den Elementen dieser drei Ebenen werden Relationen abgebildet.

Das funktionsorientierte Produktmodell dient als Ausgangsbasis für den zweiten Teil der Systematik: ein Verfahren zur Definition eines bedarfsspezifischen Produktmodells. Dieses Verfahren beschreibt, wie aus einem Produktmodell unter Berücksichtigung des Nutzens aus dem Produktmodell sowie des Aufwands für die Modellierung und Aktualisierung ein bedarfsspezifisches Produktmodell abgeleitet werden kann. Die Anwendung dieses Verfahrens stellt sicher, dass die mit einem funktionsorientierten Produktmodell einhergehenden Verbesserungspotentiale im Unternehmensumfeld erkannt und umgesetzt werden können. Gleichzeitig wird der Modellierungsaufwand und der Aktualisierungsaufwand minimiert. Das beschriebene Verfahren kann auf andere Produktmodellarten übertragen werden.

Im ersten Schritt des Verfahrens werden Anwendungsfälle identifiziert, bei denen durch die Nutzung einer funktionsorientierten Produktdokumentation eine Verbesserung erreicht werden kann. Anschließend werden Lösungsmethoden für jeden Anwendungsfall definiert. Eine Lösungsmethode repräsentiert hierbei eine mögliche Vorgehensweise zur Lösung eines Anwendungsfalls. Zu jeder Lösungsmethode werden die Abhängigkeiten zu den einzelnen Elementen des Produktmodells bestimmt. Im dritten Schritt werden der Nutzen und Aufwand für jede Lösungsmethode bewertet. Auf der Seite des Produktmodells erfolgt anschließend eine Einschätzung des Aufwands für die Datenmodellierung. Im letzten Schritt wird unter Zuhilfenahme der Informationen aus den vorangegangenen Schritten das bedarfsspezifische Produktmodell und damit eine Variante des gesamten Produktmodells abgeleitet.

Unter Anwendung des Verfahrens wird in der vorliegenden Arbeit ein konkretes, bedarfsspezifisches Produktmodell zur Verwendung in den nachgelagerten Phasen eines Automobilherstellers bestimmt. Hierzu werden die einzelnen Schritte des Verfahrens in einem realen Unternehmensumfeld detailliert ausgeführt. Es werden sieben Anwendungsfälle identifiziert und analysiert. Diese sind unter anderem im Bereich der Prüfplanung und des Kompatibilitätsmanagements angesiedelt. Auf Basis dieser Anwendungsfälle wird unter Berücksichtigung des resultierenden Nutzens und des Modellierungsaufwands eine definierte Variante des Produktmodells empfohlen. Diese Variante entspricht der anwenderorientierten Ebene und der Buskommunikation sowie den entsprechenden Relationen zwischen Funktionen aus der anwenderorientierten Ebene und Signalen aus der Buskommunikation. Ferner werden neben dieser Variante des Produktmodells weitere potentielle Varianten aufgezeigt.

Ausblick

Die Arbeit betrachtet das anzustrebende Produktmodell und die passenden Lösungsmethoden aus einem strategischen Blickwinkel. Im Rahmen der Arbeit erfolgt an einigen ausgewählten Beispielen eine Dokumentation von E/E-Systemen auf Basis des funktionsorientierten Produktmodells. Diese Beispiele werden prototypisch in den definierten Lösungsmethoden der identifizierten Anwendungsfälle eingesetzt. Die als Ergebnis entstandene Variante des Produktmodells sollte nun als Fortführung der Arbeit für alle

E/E-Systeme im Unternehmensumfeld operativ eingesetzt und die damit unterstützten Anwendungsfälle sollten vollständig umgesetzt werden. Im Laufe dieser operativen Umsetzung können naturgemäß Änderungen in Bezug auf den erwarteten Nutzen und Aufwand auftreten. Diese Größen können im Laufe der Umsetzung auch zunehmend genauer erfasst werden. Daher sollten diese während der Umsetzungsphase laufend aktualisiert und kontrolliert werden, um bei umfangreichen Abweichungen im Vergleich zur Planungssituation reagieren zu können. Außerdem sollte eine nutzenorientierte Einführung ermöglicht werden (vgl. hierzu [Weh00]).

Die Arbeit beschäftigt sich mit einer Momentaufnahme in Bezug auf die untersuchten Anwendungsfälle. Die Randbedingungen können sich jedoch im dynamischen Unternehmensumfeld auch nach abgeschlossener Umsetzung der Anwendungsfälle und des Produktmodells im Laufe der Zeit ändern. So kann beispielsweise die Bedeutung eines Anwendungsfalls ab- oder zunehmen oder ein neuer Anwendungsfall entstehen. Eine Änderung solcher Rahmenbedingungen kann das bedarfsorientierte Produktmodell beeinflussen. Es bedarf also einer systematischen Methode zur Analyse wichtiger Rahmenbedingungen und zum Erkennen von Änderungsbedarfen bezüglich der Gestaltung des eingesetzten funktionsorientierten Produktmodells sowie der angewandten Lösungsmethoden in den Anwendungsfällen.

7 Literaturverzeichnis

- [AL07] ANTONIOU, A.; LU, W.: Practical optimization – algorithms and engineering applications. Springer Verlag, New York, 2007
- [All07] ALLMANN, C.: Anforderungen auf Kundenfunktionsebene in der Automobilindustrie. SE 2007 – die Konferenz rund um Softwaretechnik. 27. - 30. März, Hamburg, 2007
- [Alt84] ALTSCHULLER, G. S.: Creativity as an Exact Science – The Theory of the Solution of Inventive Problems. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1984
- [Aml00] AMLAND, S.: Risk-based testing: Risk analysis fundamentals and metrics for software testing including a financial application case study. The Journal of Systems Software 3/2000, Elsevier, Amsterdam
- [And06] ANDRES, M.: Die optimale Varianz. brand eins 1/2006, brand eins Verlag, Hamburg
- [App08] APPEL, W.: Elektrik und Elektronik. In: HOEPKE, E.; BREUER, S. (Hrsg.): Nutzfahrzeugtechnik – Grundlagen, Systeme, Komponenten. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 5. Auflage, 2008
- [Ass00] ASSMANN, G.: Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. Dissertation, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München, 2000
- [AUT08a] AUTOSAR GbR: Technical Overview. Unter: http://www.autosar.org/download/specs_aktuell/AUTOSAR_TechnicalOverview.pdf, 15. August 2008
- [AUT08b] AUTOSAR GbR: Software Component Template. Unter: http://www.autosar.org/download/specs_aktuell/AUTOSAR_SoftwareComponentTemplate.pdf, 2. Juli 2008
- [AUT09] AUTOSAR GbR: Specification of the System Template. Unter: http://www.autosar.de/download/specs_aktuell/AUTOSAR_SystemTemplate.pdf, 26. Januar 2009
- [Bat05] BATORY, D.: Feature Models, Grammars, and Propositional Formulas. In: Obbink, H.; Pohl, K. (Ed.): Software product lines: 9th international conference, September 26-29 2005, Rennes. Springer Verlag, Berlin, 2005
- [Bat06] BATHELT, J.: Entwicklungsmethodik für SPS-gesteuerte mechatronische Systeme. Dissertation, Zentrum für Produkt-Entwicklung (ZPE), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2006
- [Ber05] BERNARDS, M.: Modulare Prüfplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Hochschule Aachen, 2005
- [BFM05] BELSCHNER, R.; FREESS, J.; MROBKO, M.: Gesamtheitlicher Entwicklungsansatz für Entwurf, Dokumentation und Bewertung von E/E-Architekturen. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug und Verkehrstechnik (Hrsg.): 12. Internationaler Kongress Elektronik im Kraftfahrzeug, 6.-7. Oktober 2005, Baden-Baden. VDI Verlag, Band Nr. 1907, Düsseldorf, 2005
- [BKB00] BIRKHOFER, H.; KLOBERDANZ, H.; BERGER, B.: Vorlesungsskript Produktentwicklung. Darmstadt, 2000
- [Bra06] BRAESS, H.: Paradigmenwechsel im Automobilbau – eine übergreifende Betrachtung. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift 1/2006, GWV Fachverlage, Wiesbaden
- [Bro06] BROY, M.: Challenges in automotive software engineering. ICSE '06: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering, May 20-28 2005, Shanghai. ACM, New York, 2006
- [Bru06] BRUHN, M.: Das Konzept der kundenorientierten Unternehmensführung. In: Hinterhuber, H. H.; Matzler, K. (Hrsg.): Kundenorientierte Unternehmensführung: Kundenorientierung – Kundenzufriedenheit – Kundenbindung. GWV Fachverlage, Wiesbaden, 5. Auflage, 2006

- [Bur07] BURGER, F.: Innere Werte – Mit innovativen elektronischen Steuerungseinheiten lassen sich Milliarden verdienen – aber nur, wenn die Industrie hochwertige System-Software entwickelt. McK Wissen 20/2007, brand eins Verlag, Hamburg
- [Bur97] BURGER, A.: Methode zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in die rechnerintegrierte Produktion. Dissertation, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 22, Paderborn, 1997
- [CFS05] CONRAD, M.; FEY, I.; SADEGHPOUR, S.: Systematic Model-Based Testing of Embedded Automotive Software. Electronic Notes in Theoretical Computer Science 12/2005, Elsevier, Amsterdam
- [Cza98] CZARNECKI, K.: Generative programming – Principles and techniques of software engineering based on automated configuration and fragment-based component models. Dissertation, Department of Computer Science and Automation, Technische Universität Ilmenau, 1998
- [Dan01] DANGELMAIER, W.: Fertigungsplanung – Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2001
- [DH02] DAENZER, W. F.; HUBER, F.: Systems Engineering – Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 11. Auflage, 2002
- [DIN6789] Dokumentationssystematik – Änderungen von Dokumenten und Gegenständen, 1990
- [Dre07] DREWINSKI, R.: Funktionsorientierung im PEP. eDM-REPORT 4/2007, Dressler Verlag, Darmstadt
- [Edl01] EDLER, A.: Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service. Dissertation, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, 2001
- [Ehr09] EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Carl Hanser Verlag, München, 4. Auflage, 2009
- [Eis99] EISENHUT, A.: Service Driven Design – Konzepte und Hilfsmittel zur informationstechnischen Kopplung von Service und Entwicklung auf der Basis moderner Kommunikations-Technologien. Dissertation, Zentrum für Produkte-Entwicklung, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1999
- [ES09] EIGNER, M.; STELZER, R. H.: Product Lifecycle Management – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2009
- [ESG96] EVERSHIME, W.; SCHERNIKAU, J.; GEOMAN,; Module und Systeme – Die Kunst liegt in der Strukturierung. VDI-Z 11/12/1996, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf
- [Eve02] EVERSHIME, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Arbeitsvorbereitung. Springer Verlag, Berlin, 4. Auflage, 2002
- [FG07] FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H.: Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer Verlag, Berlin, 22. Auflage, 2007
- [FGK+04] FRANK, U.; GIESE, H.; KLEIN, F.; OBERSCHELP, O.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; VÖCKING, H.; WITTING, K.: Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definitionen und Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 155, Paderborn, 2004
- [Fle87] FLETCHER, R.: Practical methods of optimization. Wiley, Chichester, 2 Edition, 1987
- [For09] FORCHERT, T.: Prüfplanung – Ein neues Prozessmanagement für Fahrzeugprüfungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe, 2009
- [FRA06] Fraunhofer Institut für Software- und Systemtechnik – Modellbasierte Systementwicklung in der Automobilindustrie – Das MOSES Projekt. Fraunhofer-Gesellschaft, Berlin, 2006
- [GAB05] Gabler: Gabler Wirtschaftslexikon. Gabler Verlag, Wiesbaden, 16. Auflage, 2005

- [GAP+93] GRABOWSKI, H.; ANDERL, R.; POLLY, A.; WARNECKE, H. J.: Integriertes Produktmodell. Beuth Verlag, Berlin, 1993
- [Geh05] GEHRKE, M.: Entwurf mechatronischer Systeme auf Basis von Funktionshierarchien und Systemstrukturen. Dissertation, Institut für Informatik, Universität Paderborn, 2005
- [Gei09] GEIGER, T.: Mercedes und die Airbags – Ein neues Experimentalfahrzeug zeigt, wie Autos bald noch sicherer werden können. Die Welt vom 13.6.2009, Axel Springer Verlag, Berlin
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von Morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2001
- [Ger02] GERST, M.: Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, 2002
- [GFD+08a] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHN, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 1). Konstruktion 7/8/2008, Springer-VDI, Düsseldorf
- [GFD+08b] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHN, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 2). Konstruktion 9/2008, Springer-VDI, Düsseldorf
- [GHK+06] GAUSEMEIER, J.; HAHN, A.; KESPOHL, H. D.; SEIFERT, L.: Vernetzte Produktentwicklung – Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. Carl Hanser Verlag, München, 2006
- [Göp98] GÖPFERT, J.: Modulare Produktentwicklung – Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. Dissertation, Institut für Innovationsforschung und Technologiemanagement, Universität München, 1998
- [Göt06] GÖTZE, U.: Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Springer Verlag, Berlin, 5. Auflage, 2006
- [GPW09] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.; WENZELMANN, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [Gud03] GUDDAT, U.: Automatisierte Tests von Telematiksystemen im Automobil. Dissertation, Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften, Universität Tübingen, 2003
- [Har01] HARTMANN, N.: Automation des Tests eingebetteter Systeme am Beispiel der Kraftfahrzeugelektronik. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Universität Karlsruhe, 2001
- [Hau09] HAUSMANN, K.: Permeter - Performanzmessung in der Produktentwicklung auf Basis semantisch integrierter Produktmodelle. Dissertation, Fakultät für Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, Universität Oldenburg, 2009
- [HC93] HAMMER, M.; CHAMPY, J.: Reengineering the corporation – a manifesto for business revolution. HarperBusiness, New York, 1993
- [HSM+02] HIRTZ, J.; STONE, R.; MCADAMS, D.; SZYKMAN, S.; WOOD, K.: A functional basis for engineering design – Reconciling and evolving previous efforts. Research in Engineering Design 2/2002, Springer Verlag, Berlin
- [Hua02] HUANG, M.: Funktionsmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Produkte. Dissertation, Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion, Universität Karlsruhe, 2002
- [Hüb79] HÜBNER, H.: Integration und Informationstechnologie im Unternehmen. Minerva-Publikation, München, 1979
- [Jan08] JANTZEN, K.: Verfahren der Aufwandsschätzung für komplexe Softwareprojekte von heute. Informatik-Spektrum 1/2008, Springer Verlag, Berlin

- [Jen02] JENDRITZA, J. D.: Mechatronik prägt die zukünftige KFZ-Elektronik. Auto&Elektronik 3/2002, Hüthig Fachverlag, Heidelberg
- [JS04] JARRE, F.; STOER, J.: Optimierung. Springer Verlag, Berlin, 2004
- [Juc09] JUCHEM, D.: Mercedes lernt das automatische Ausweichen. Die Welt vom 18.7.2009, Axel Springer Verlag, Berlin
- [Kat03] KATZENBACH, A.: Lösungsansätze zur Beherrschung der Komplexität in der Automobilindustrie. 12. AIK-Symposium – Herausforderung Komplexität – Komplexitätsmanagement und IT, Karlsruhe. 17. Oktober, 2003
- [KCH+90] KANG, K. C.; COHEN, S. G.; HESS, J. A.; NOVAK, W. E.; PETERSON, A. S.: Feature-oriented domain analysis (FODA) feasibility study. Technical Report. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1990
- [KF09] KINDEL, O.; FRIEDRICH, M.: Softwareentwicklung mit AUTOSAR – Grundlagen, Engineering, Management in der Praxis. dpunkt Verlag, Heidelberg, 1. Auflage, 2009
- [Köc04] KÖCKERLING, M.: Methodische Entwicklung und Optimierung der Wirkstruktur mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 143, Paderborn, 2004
- [Köl99] KÖLSCHEID, W.: Methodik zur lebenszyklusorientierten Produktgestaltung – Ein Beitrag zum Life Cycle Design. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1999
- [Kol85] KOLLER, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 1985
- [Kru74] KRUMHAUER, P.: Rechnerunterstützung für die Konzeptphase der Konstruktion – ein Beitrag zur Entwicklung eines Programmsystems für die Lösungsfindung konstruktiver Teilaufgaben. Dissertation, Technische Universität Berlin, 1974
- [KT07] KOCH, M.; THEISSLER, A.: Effiziente Analyse von Fehlern im Fahrzeug zwischen Entwicklung und Seriananlauf – Mit Tedradis dem Fehler auf der Spur. Automotive 9/2007, Carl Hanser Verlag, München
- [Kut05] KUTRITZ, T.: Umfassendes Qualitätsmanagement für den Bereich Elektronik im Versuchsbau der Automobilindustrie. Dissertation, Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, 2005
- [Lee05] LEEMHUIS, H.: Funktionsgetriebene Konstruktion als Grundlage verbesserter Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, 2005
- [LFO+04] LÖNN, H.; FREUND, U.; ORAZIO GURRIERI, L.; KÜSTER, J.; MIGGE, J.: EAST-EEA – Definition of language for automotive embedded electronic architecture. Report. The EAST-EEA Consortium, 2004
- [Lin07] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2007
- [Lin08] LINDE, F.: Ökonomie der Information. Universitätsverlag Göttingen, 2. Auflage, 2008
- [LRR+98] LIGGESMEYER, P.; ROTHFELDER, M.; RETTELBACH, M.; ACKERMANN, T.: Qualitätssicherung Software-basierter technischer Systeme – Problembereiche und Lösungsansätze. Informatik-Spektrum 5/1998, Springer Verlag, Berlin
- [Mat02] MATTHIESEN, S.: Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Karlsruhe, 2002

- [Mic06] MICHELS, J. S.: Integrative Spezifikation von Produkt- und Produktionssystemkonzeptionen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 196, Paderborn, 2006
- [MIO87] MUSA, J. D.; IANNINO, A.; OKUMOTO, K.: Software Reliability – Measurement, Prediction, Application. McGraw-Hill, New York, 1987
- [Mor04] MORAWIETZ, E.: Rolle rückwärts. Automobil Industrie 6/2004, Vogel Business Media, Würzburg
- [MT08] MEROTH, A. M.; TOLG, B.: Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug – Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2008
- [Nik02] NIKLAS, C.: NWA – Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe mit Beispielen. Projekt Magazin 23/2002, Berleb & Wolf-Berleb, München
- [NN06] NN: Brockhaus Enzyklopädie. Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus, Mannheim, 2006
- [NN80] Military Standard 1629 A. Procedures for Performing a FMECA, 1980
- [Nor05] NORTH, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung – Wertschöpfung durch Wissen. Gabler Verlag, Wiesbaden, 4. Auflage, 2005
- [PB09] POLITZE, D.; BATHELT, J.: Exploitation Method for Functional Product Requirements – An Integrated Function Oriented Approach. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics, April 14-17 2009, Málaga
- [PBF+05] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.: Konstruktionslehre. Springer Verlag, Berlin, 6. Auflage, 2005
- [PBK+07] PRETSCHNER, A.; BROY, M.; KRUGER, I. H.; STAUNER, T.: Software Engineering for Automotive Systems – A Roadmap. International Conference on Software Engineering, May 20-26 2007, Minneapolis. IEEE Computer Society Washington, 2007
- [PD08] POLITZE, D. P.; DIERSSEN, S.: A Functional Model for the Function Oriented Description of Customer-related Functions of High Variant Products. NordDesign 2008, August 21-23 2008, Tallinn
- [Pfl00] PFLEEGER, S. L.: Risky business: what we have yet to learn about risk management. The Journal of Systems Software 3/2000, Elsevier, Amsterdam
- [Pie03] PIETSCH, T.: Bewertung von Informations- und Kommunikationssystemen – Ein Vergleich betriebswirtschaftlicher Verfahren. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2. Auflage, 2003
- [PL08] PONN, J.; LINDEMANN, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – optimierte Produkte – systematisch von Anforderungen zu Konzepten. Springer Verlag, Berlin, 2008
- [Pol08] POLITZE, D. P.: Experiences on Including Variability Information in a Function Oriented Product Documentation. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W. (Ed.): 7th International Heinz Nixdorf Symposium Self-optimizing Mechatronic Systems, February 20-21 2008, Paderborn. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 223, Paderborn, 2008
- [Pul04] PULM, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, 2004
- [Rei07] REIF, K.: Automobilelektronik: Eine Einführung für Ingenieure. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage, 2007
- [Rod91] RODENACKER, W. G.: Methodisches Konstruieren. Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. Springer Verlag, Berlin, 1991
- [Rot00] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, 2000

- [RS06] RUMPE, B.; SCHIFFERS, J.: Herausforderungen an die Diagnose – Integration der Diagnose in die Steuergeräteentwicklung. *ZfAW. Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft* 1/2006, FAW-Verlag, Bamberg
- [RSB07] RINGLER, T.; SIMONS, M.; BECK, R.: Reifegradsteigerung durch methodischen Architekturentwurf mit dem E/E-Konzeptwerkzeug. 13. Internationaler Kongress Elektronik im Kraftfahrzeug, Baden-Baden. 10.-11. Oktober 2007, VDI Verlag, Düsseldorf, 2007
- [RZH+08] REISER, C.; ZELLBECK, H.; HÄRTLE, C.; REISEMANN, M.; KLAIB, T.: Incorporating customer's driving behaviour in vehicle development. 8. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorentechnik, 11. - 12. März 2008
- [Sac09] SACHER, H.: Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, 2009
- [Sch06] SCHULTE, S.: Integration von Kundenfeedback in die Produktentwicklung zur Optimierung der Kundenzufriedenheit. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Bochum, 2006
- [Sch91] SCHNEEWEIS, C.: Planung – Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Springer Verlag, Berlin, 1991
- [SD06] STÜTZEL, B.; DETTMERING, H.: Kompatibilitätsorientierte Entwicklung für softwareintensive mechatronische Systeme. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 4. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. 30./31. März 2006, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 189, Paderborn, 2006
- [SJ09] STEFFEN, D.; JILG, K.: Kundenorientierte Produktentwicklung. Automobil-Elektronik 3/2009, Hüthig Fachverlag, Heidelberg
- [SK97] SPUR, G.; KRAUSE, F.: Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik. Carl Hanser Verlag, München, 1997
- [SR08] SEIFFERT, U.; RAINER, G.: Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im KFZ. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2008
- [SS95] SIEGWART, H.; SENTI, S.: Product Life Cycle Management – Die Gestaltung eines integrierten Produktlebenszyklus. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995
- [SSR99] SZYKMAN, S.; SRIRAM, R.; RACZ, J.: The Representation of Function in Computer-Based Design. Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences (11th International Conference on Design Theory and Methodology), September 12-15 1999, Las Vegas
- [Ste07] STEFFEN, D.: Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 207, Paderborn, 2007
- [Suh90] SUH, N. P.: The Principles of Design. Oxford University Press, New York, 1990
- [SV09] SCHENK, J.; VOLLRATH, O.: Die Zukunft der Antriebselektronik. In: VDI-FVT-Jahrbuch 2009. VDI Verlag, Düsseldorf, 2009
- [SW06] STEININGER, G.; WENDENBURG, M.: Die Funktion steht im Mittelpunkt – Entwicklungsprozesse richtig organisieren. *Mechatronik F&M* 11/2006, Carl Hanser Verlag, München
- [SW99] STONE, R. B.; WOOD, L.: Development of a functional basis for design. Proceedings of DETC99, 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12- 15 1999, Las Vegas
- [SZ06] SCHÄUFFELE, J.; ZURAWKA, T.: Automotive Software-Engineering – Grundlagen, Prozesse, Methoden und Werkzeuge effizient einsetzen. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage, 2006

- [TEF+03] THURNER, T.; EISENMANN, J.; FREUND, U.; GEIGER, R.; HANEBERG, M.; VIRNICH, U.; VOGET, S.: Das Projekt EAST-EEA – Eine middlewarebasierte Softwarearchitektur für vernetzte Kfz-Steuergeräte. VDI-Tagung Elektronik im Fahrzeug, 25./26. September 2003, Baden-Baden, VDI Verlag, Düsseldorf, 2003
- [Tra09] TRAUTMANN, T.: Grundlagen der Fahrzeugmechatronik – eine praxisorientierte Einführung für Ingenieure, Physiker und Informatiker. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009
- [UT95] UMEDA, Y.; TOMIYAMA, T.: FBS modeling – modeling scheme of function for conceptual design. Proceedings of the 9 th Int. Workshop on Qualitative Reasoning. 1995
- [VDI2206] Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, 2004
- [VDI2221] Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, 1993
- [VDI2222] Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, 1997
- [VDI2803] Funktionenanalyse – Grundlagen und Methode, 1996
- [Weh00] WEHLITZ, P. A.: Nutzenorientierte Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, 2000
- [Wes07] WESKE, M.: Business Process Management – Concepts, Languages, Architectures. Springer Verlag, Berlin, 2007
- [WFO09] WALLENTOWITZ, H.; FREIALDENHOVEN, A.; OLSCHEWSKI, I.: Strategien in der Automobilindustrie – Technologietrends und Marktentwicklungen. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009
- [WGH09] WARKENTIN, A.; GAUSEMEIER, J.; HERBST, J.: Konzeption eines funktionsorientierten Produktmodells zur Nutzung in den nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. 2./3. April 2009, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 250, Paderborn, 2009
- [WR06] WALLENTOWITZ, H.; REIF, K.: Handbuch Kraftfahrzeugelektronik – Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2006
- [Zan76] ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Wittemann Verlag, München, 4. Auflage, 1976
- [Zen06] ZENNER, C.: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Dissertation, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Universität des Saarlandes, 2006
- [Zil01] ZILKER, M.: Automatisierung unscharfer Bewertungsverfahren – Modellierung und prototypische Umsetzung am Beispiel von Virtual Reality Projekten. Dissertation, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Dresden, 2001
- [ZS07] ZIMMERMANN, W.; SCHMIDGALL, R.: Bussysteme in der Fahrzeugtechnik – Protokolle und Standards. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage, 2007

Anhang

Inhaltsverzeichnis		Seite
A1	Abhängigkeitsmatrix	A-1
A2	Bewertung der Lösungsmethoden.....	A-3
A3	Notation von Feature-Diagrammen	A-9

A1 Abhängigkeitsmatrix

Im Folgenden werden die jeweiligen Elemente des funktionsorientierten Produktmodells für die einzelnen Lösungsmethoden der Anwendungsfälle im Überblick gezeigt.

Anwendungsfälle	Lösungsmethoden	Ebenen				Relationen zw. Ebenen				Variante des Produktmodells
										
Ermittlung der Prüfungsrelevanz von Funktionen	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x			F
	Lösungsmethode 3	x	x	x		x	x			F
Aufwands- und Abdeckungsgrad-opt. in der Prüfpl.	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x			F
Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x								B
	Lösungsmethode 3	x			x				x	C
	Lösungsmethode 4	x	x		x	x		x		D
Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x			F
	Lösungsmethode 3	x	x	x	x	x	x	x		G
Bewertung vom Funktionsumf. bei Feedb. d. Kunden	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x								B
Bewertung vom Funktionsumf. mit automatisiertem Produktnutzungsmonitoring	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x								B
	Lösungsmethode 3	x			x				x	C
	Lösungsmethode 4	x	x		x	x		x		D
	Lösungsmethode 5	x	x		x	x		x	x	E
Nachträgliche Erweiterung des Funktionsumf.	Lösungsmethode 1									A
	Lösungsmethode 2	x	x	x		x	x			F

Legende:

- | | | | |
|---|---|---|---|
|  | Anwenderorientierte Ebene |  | Relationen zwischen anwenderorientierter und logischer Ebene |
|  | Logische Ebene |  | Relationen zwischen logischer Ebene und Komponenten + Vernetzung |
|  | Technische Ebene:
Komponenten + Vernetzung |  | Relationen zwischen logischer Ebene und Buskommunikation |
|  | Technische Ebene:
Buskommunikation |  | Relationen zwischen anwenderorientierter Ebene und Buskommunikation |

Bild A-1: Abhängigkeiten zwischen Anwendungsfällen und dem Produktmodell im Gesamtüberblick

A2 Bewertung der Lösungsmethoden

Im Folgenden werden die Bewertungen der einzelnen Lösungsmethoden für die Anwendungsfälle aus Kapitel 4 dargestellt und erläutert. Die Bewertungen sind das Ergebnis aus Expertenrunden im betrachteten Unternehmen.

Bewertung der Lösungsmethoden des Anwendungsfalls: Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung in der Prüfplanung

Das Ergebnis der Bewertung des Aufwands und Nutzens wird in Bild A-2 dargestellt. Bei isolierter Betrachtung des Anwendungsfalls ist das Ergebnis eindeutig: Lösungsmethode 2 sollte im Vergleich zu Lösungsmethode 1 bevorzugt eingesetzt werden, da auf der einen Seite der Nutzen höher und der laufende Aufwand niedriger ist. Eine gesamtheitliche Aussage kann jedoch nur nach Betrachtung der restlichen Anwendungsfälle und des Modellierungsaufwands getroffen werden.

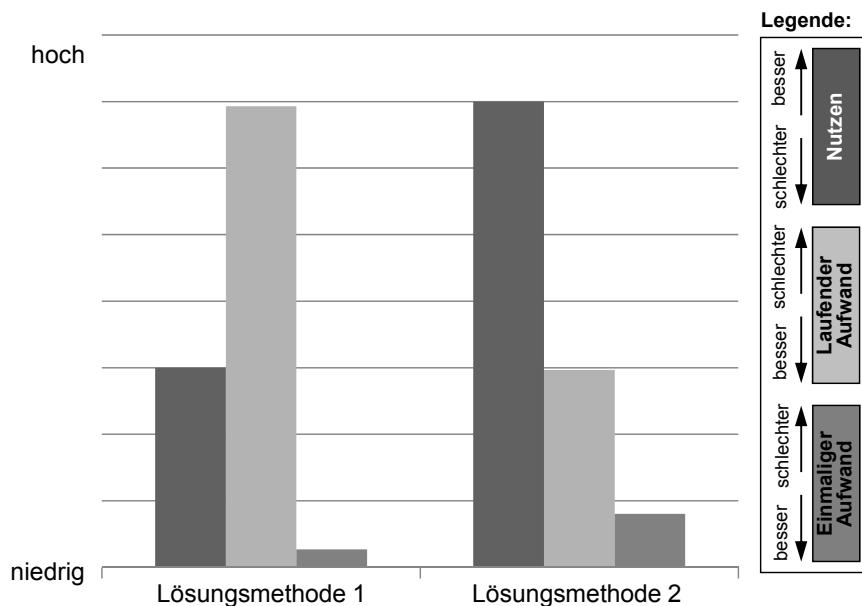


Bild A-2: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Aufwands- und Abdeckungsgradoptimierung

Bewertung der Lösungsmethoden des Anwendungsfalls: Spezifikation von funktionsorientierten Prüfungen

Das Ergebnis der Bewertung der Lösungsmethoden wird in Bild A-3 dargestellt. Ohne die Berücksichtigung des Modellierungsaufwands verbessert sich das Verhältnis vom Nutzen zum Aufwand von Lösungsmethode zu Lösungsmethode. Insbesondere die Nutzung der anwenderorientierten Ebene in Lösungsmethode 2 stellt eine deutliche Verbesserung zu Lösungsmethode 1 dar. Auch eine teilweise Einbeziehung von Informationen zu Signalen in Lösungsmethode 3 erhöht den Nutzen bei gleichzeitiger Minderung des Aufwands im Vergleich zur Lösungsmethode 2. Der Unterschied zu Lösungsmethode 4

ist vergleichsweise gering. Insgesamt kann durch diese isolierte Betrachtung keine der Lösungsmethoden ausgeschlossen werden. Es ist eine gesamtheitliche Betrachtung mit den restlichen Anwendungsfällen und dem Modellierungsaufwand notwendig.

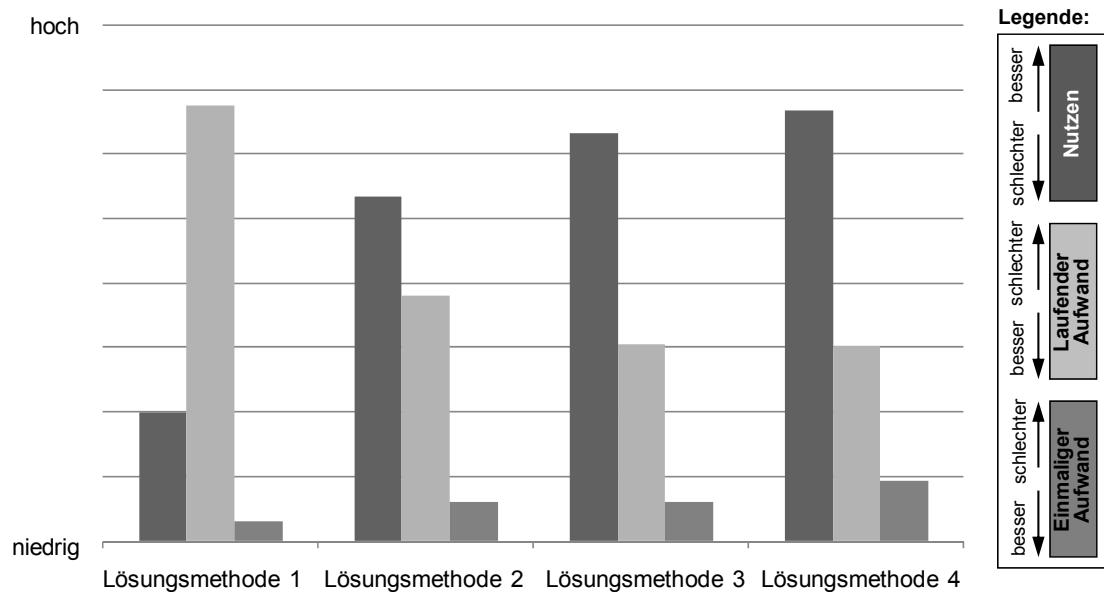


Bild A-3: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Spezifikation von Prüfungen

Bewertung der Lösungsmethoden des Anwendungsfalls: Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen

Die Bewertung der beschriebenen Lösungsmethoden wird in Bild A-4 dargestellt.

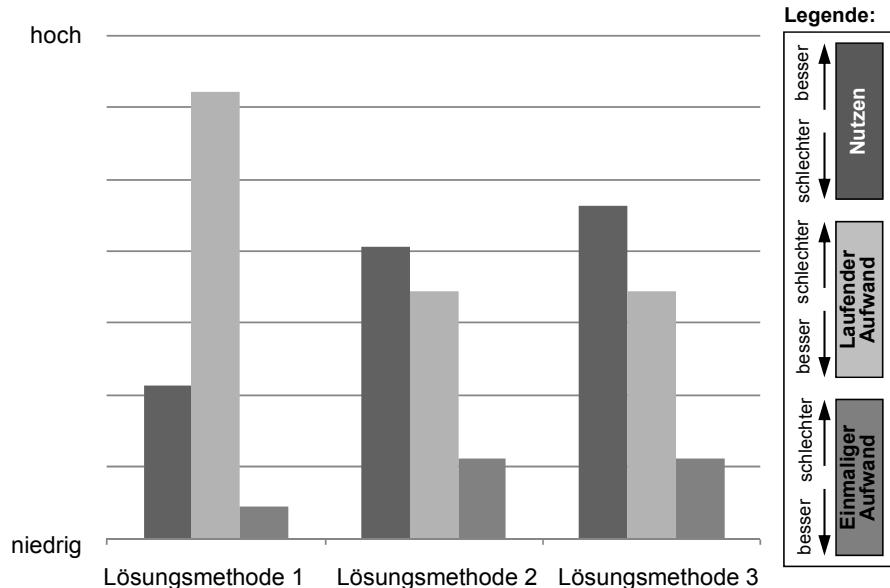


Bild A-4: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Identifikation von Kompatibilitätsbeziehungen

Lösungsmethode 1 hat durch die fehlende Unterstützung seitens eines passenden Produktmodells ein ungünstiges Verhältnis aus laufendem Aufwand und resultierendem Nutzen. Bei Lösungsmethode 2 ist dieses Verhältnis günstiger, da hier durch eine Auswertung der entsprechenden Relationen im Produktmodell eine Hilfestellung bei der Ausleitung von Kompatibilitätsinformationen vorliegt. Der Nutzen wird bei Lösungsmethode 3 noch erhöht, da durch die zusätzliche Analyse der Informationsflüsse die Aussagengenauigkeit der Ausleitung gesteigert wird. Allerdings zeigt der laufende Aufwand bei den Lösungsmethoden 2 und 3 auch, dass die Ausleitungsergebnisse nur einen Hinweischarakter haben und teilweise durch Experten bestätigt werden müssen.

Bewertung der Lösungsmethoden des Anwendungsfalls: Bewertung vom Funktionsumfang bei Feedbackartikulation durch Kunden

Das Ergebnis der Bewertung der Lösungsmethoden wird in Bild A-5 dargestellt. Ohne die Berücksichtigung des Modellierungsaufwands verbessert sich das Verhältnis aus Nutzen und laufendem Aufwand von Lösungsmethode 1 zu Lösungsmethode 2, da die Informationen aus der anwenderorientierten Ebene die Auswahl von Funktionen und Bewertungskriterien erleichtern. Der laufende Aufwand ist jedoch auch bei Lösungsmethode 2 nicht sehr niedrig. Dies ist dadurch begründet, dass hier die Informationen aus der anwenderorientierten Ebene eher einen Hinweischarakter haben und viele Entscheidungen durch Experten getroffen werden müssen.

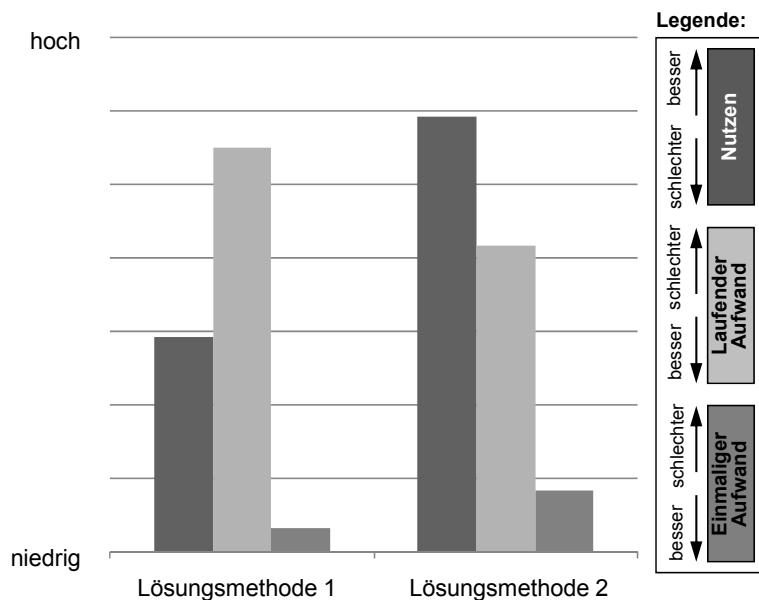


Bild A-5: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Gewinnung von Feedbackinformationen bei Feedbackartikulation durch Kunden

Bewertung der Lösungsmethoden für den Anwendungsfall: Bewertung vom Funktionsumfang bei automatisiertem Produktnutzungsmonitoring

Die Bewertung der dargestellten Lösungsmethoden wird in Bild A-6 dargestellt. Das Verhältnis von Nutzen und laufendem Aufwand verbessert sich erwartungsgemäß mit einer zunehmenden Nutzung des Produktmodells von Lösungsmethode 1 zu 3. Insbesondere Lösungsmethode 3 zeichnet sich durch einen hohen Nutzen bei gleichzeitig niedrigem Aufwand aus. Dies ist in der pragmatischen Vorgehensweise begründet, bei der mit einem hohen Automatisierungsgrad zuverlässige Auswertungsalgorithmen erstellt werden können. Bei Lösungsmethode 4 ist der Nutzen gegenüber Lösungsmethode 3 niedriger und der Aufwand höher, da neben den Informationen aus dem Produktmodell noch ein hoher Anteil von Expertenwissen für die Erstellung von zuverlässigen Auswertungsalgorithmen notwendig ist. Da die Lösungsmethode 5 die Lösungsmethoden 3 und 4 geschickt kombiniert, ist hier der Nutzen am höchsten und gleichzeitig der laufende Aufwand am niedrigsten.

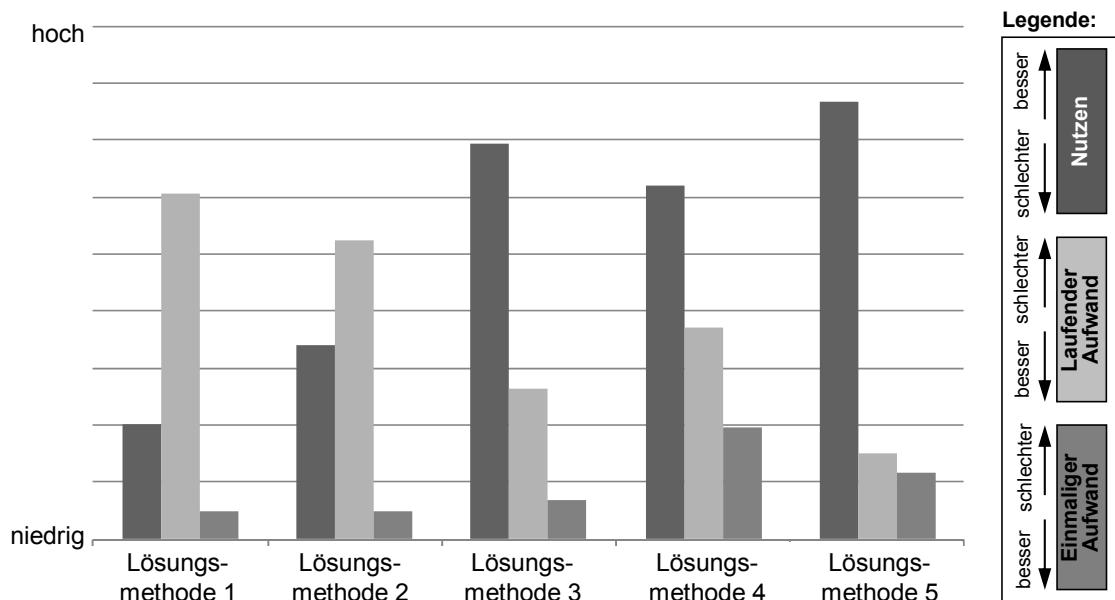


Bild A-6: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Gewinnung von Feedbackinformationen bei automatisiertem Produktnutzungsmonitoring

Bewertung der Lösungsmethoden für den Anwendungsfall: Erweiterung des Funktionsumfangs

In Bild A-7 ist die Bewertung des Aufwands und des Nutzens dargestellt. Die Lösungsmethode 2 ist im Vergleich zur Lösungsmethode 1 durch die Nutzung der Relationen zwischen der anwenderorientierten, der logischen und der technischen Ebene mit einem höheren Nutzen bei niedrigerem laufenden Aufwand verbunden. Der einmalige Aufwand ist bei beiden Lösungsmethoden niedrig. Bei isolierter Betrachtung des Anwendungsfalls sollte also die Lösungsmethode 2 bevorzugt eingesetzt werden. Eine ge-

gesamtheitliche Bewertung ist jedoch, wie auch bei den restlichen Anwendungsfällen, erst nach Betrachtung aller Anwendungsfälle und des Modellierungsaufwands möglich.

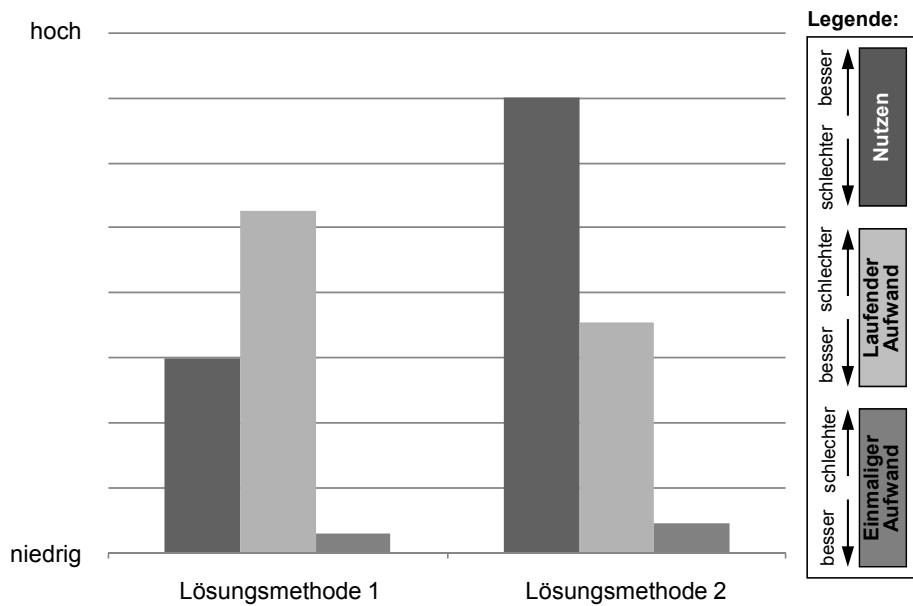


Bild A-7: Ergebnis der Bewertung von Lösungsmethoden zur Erweiterung des Funktionsumfangs

A3 Notation von Feature-Diagrammen

Im Rahmen dieser Arbeit wird für die Darstellung der Variabilität von Lösungsmethoden eine Notation verwendet, die an Feature-Diagrammen angelehnt ist. Bild A-8 veranschaulicht die Notation von Feature-Diagrammen an einem einfachen Beispiel. Ein Fahrzeug besteht aus einer Karosserie, einem Antriebsstrang, einem Fahrwerk und einem Motor. Das zum Antriebsstrang zugehörige Getriebe kann als ein Automatikgetriebe oder ein Schaltgetriebe ausgeführt sein. Die Antriebsquelle kann ein Verbrennungsmotor oder ein Elektromotor oder eine Kombination aus beiden Motoren sein (Hybridfahrzeug).

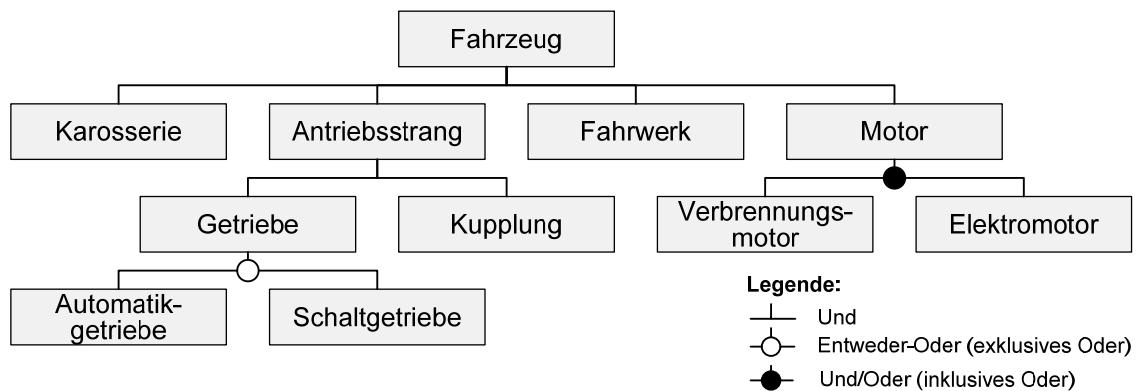


Bild A-8: Feature-Diagramm eines vereinfachten Fahrzeugs (in Anlehnung an [Cza98])

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenzuführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut sieben Professoren mit insgesamt 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Etwa ein Viertel der Forschungsprojekte der Universität Paderborn entfallen auf das Heinz Nixdorf Institut und pro Jahr promovieren hier etwa 30 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the University of Paderborn. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the University of Paderborn. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrow’s economy.

Today seven Professors and 200 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. The Heinz Nixdorf Institute accounts for approximately a quarter of the research projects of the University of Paderborn and per year approximately 30 young researchers receive a doctorate.

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|-------|---|--------|---|
| Bd. 1 | FAHRWINKEL, U.: Methoden zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 1, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-00-0 | Bd. 9 | HUMPERT, A.: Methodische Anforderungsverarbeitung auf Basis eines objektorientierten Anforderungsmodells. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 9, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-08-6 |
| Bd. 2 | HORNBOSTEL, D.: Methode zur Modellierung der Informationsverarbeitung in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 2, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-01-9 | Bd. 10 | AMEUR, F.: Space-Bounded Learning Algorithms. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 10, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-09-4 |
| Bd. 3 | STEMANN, V.: Contention Resolution in Hashing Based Shared Memory Simulations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 3, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-02-7 | Bd. 11 | PAUL, M.: Szenariobasiertes Konzipieren neuer Produkte des Maschinenbaus auf Grundlage möglicher zukünftiger Technologieentwicklungen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 11, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-10-8 |
| Bd. 4 | KETTERER, N.: Beschreibung von Datenaustausch eines verteilten Fertigungssteuerungssystems. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 4, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-03-5 | Bd. 12 | HOLL, F.: Ordnungsmäßigkeit von Informations- und Kommunikationssystemen. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 12, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-11-6 |
| Bd. 5 | HARTMANN, T.: Spezifikation und Klassifikation von Methoden zur Definition hierarchischer Abläufe. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 5, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-04-3 | Bd. 13 | GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): First European Workshop on Global Engineering Networking - organized by GLENnet e.V., HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 13, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-12-4 |
| Bd. 6 | WACHSMANN, A.: Eine Bibliothek von Basisdiensten für Parallelrechner: Routing, Synchronisation, gemeinsamer Speicher. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, Band 6, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-05-1 | Bd. 14 | PETRI, K.: Vergleichende Untersuchung von Berechnungsmodellen zur Simulation der Dynamik von Fahrleitung-Stromabnehmer-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 14, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-13-2 |
| Bd. 7 | GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Die Szenario-Technik – Werkzeug für den Umgang mit einer multiplen Zukunft. 1. Paderborner Szenario-Workshop, 14. November 1995, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 7, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-06-X | Bd. 15 | LESCHKA, S.: Fallbasiertes Störungsmanagement in flexiblen Fertigungssystemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 15, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-14-0 |
| Bd. 8 | CZUMAJ, A.: Parallel Algorithmic Techniques: PRAM Algorithms and PRAM Simulations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 8, Paderborn, 1995 – ISBN 3-931466-07-8 | Bd. 16 | SCHNEIDER, U.: Ein formales Modell und eine Klassifikation für die Fertigungssteuerung - Ein Beitrag zur Systematisierung der Fertigungssteuerung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 16, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-15-9 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|--------|---|--------|---|
| Bd. 17 | FELSER, W.: Eine Methode zur Erstellung von Fertigungssteuerungsverfahren aus Bausteinen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 17, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-16-7 | Bd. 25 | EBBESMEYER, P.: Dynamische Texturwände - Ein Verfahren zur echtzeitorientierten Bildgenerierung für Virtuelle Umgebungen technischer Objekte. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 25, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-24-8 |
| Bd. 18 | GAUSEMEIER, J.; ALEXANDER FINK, A.: Neue Wege zur Produktentwicklung – Erfolgspotentiale der Zukunft. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 18, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-17-5 | Bd. 26 | FRANK, G.: Ein digitales Hardwaresystem zur echtzeitfähigen Simulation biologienaher neuronaler Netze. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 26, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-25-6 |
| Bd. 19 | DANGELMAIER, W.; GAUSEMEIER, J.: Fortgeschrittene Informationstechnologie in der Produktentwicklung und Fertigung. 2. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 19, Paderborn, 1996 – ISBN 3-931466-18-3 | Bd. 27 | DITTRICH, W.: Communication and I/O Efficient Parallel Data Structures. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 27, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-26-4 |
| Bd. 20 | HÜLLERMEIER, E.: Reasoning about Systems based on Incomplete and Uncertain Models. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 20, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-19-1 | Bd. 28 | BÄUMKER, A.: Communication Efficient Parallel Searching. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 28 Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-27-2 |
| Bd. 21 | GAUSEMEIER, J.: International Symposium on Global Engineering Network - Antwerp, Belgium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 21, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-20-5 | Bd. 29 | PINTASKE, C.: System- und Schaltungstechnik neuronaler Assoziativspeicher. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 29, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-28-0 |
| Bd. 22 | BURGER, A.: Methode zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in die Rechnerintegrierte Produktion. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 22, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-21-3 | Bd. 30 | HENKEL, S.: Ein System von Software-Entwurfsmustern für die Propagation von Ereignissen in Werkzeugen zur kooperativen Fabrikmodellierung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 30, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-29-9 |
| Bd. 23 | GAUSEMEIER, J.: Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik - Paderborner Workshop TransMechatronik. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 23, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-22-1 | Bd. 31 | DANGELMAIER, W.: Vision Logistik – Logistik wandelbarer Produktionsnetze. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 31, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-30-2 |
| Bd. 24 | GERDES, K.-H.: Architekturkonzeption für Fertigungsleitsysteme der flexiblen automatischen Fertigung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 24, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-23-X | Bd. 32 | BREXEL, D.: Methodische Strukturmodellierung komplexer und variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 32, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-31-0 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|--------|---|--------|---|
| Bd. 33 | HAHN, A.: Integrationsumgebung für verteilte objektorientierte Ingenieursysteme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 33, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-32-9 | Bd. 41 | DANGELMAIER, W.: KOMNET – Kommunikationsplattform für KMU-Netzwerke. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 41, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-40-X |
| Bd. 34 | SABIN, A.: Semantisches Modell zum Aufbau von Hilfsorientierungsdiensten in einem globalen Engineering Netzwerk. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 34, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-33-7 | Bd. 42 | KALLMEYER, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-41-8 |
| Bd. 35 | STROTHMANN, W.-B.: Bounded Degree Spanning Trees. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 35, Paderborn, 1997 – ISBN 3-931466-34-5 | Bd. 43 | TRAPP, R.: Stereoskopische Korrespondenzbestimmung mit impliziter Detektion von Okklusionen. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 43, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-42-6 |
| Bd. 36 | MÜLLER, W.; RAMMIG, F.-J.: Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 36, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-35-3 | Bd. 44 | GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; SCHLAKE, O.: Grenzen überwinden - Zukünfte gestalten. 2. Paderborner Konferenz für Szenario-Management, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 44, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-43-4 |
| Bd. 37 | SCHNEIDER, W.: Anwenderorientierte Integration von CAE-Systemen. Ein Verfahren zur Realisierung eines durchgehenden Informationsflusses entlang des Produktentwicklungsprozesses. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 37, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-36-1 | Bd. 45 | nicht erschienen! |
| Bd. 38 | DEMEL, W.; SCHMITZ, G. (Hrsg.): Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik. Aachener Workshop TransMechatronik, 26. Juni 1998, Technologiezentrum am Europaplatz Aachen, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 38, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-37-X | Bd. 46 | VÖCKING, B.: Static and Dynamic Data Management in Networks. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 46, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-45-0 |
| Bd. 39 | GROBBEL, R.; LANGEMANN, T.: Leitfaden PPS-Systeme: Auswahl und Einführung in der Möbelindustrie. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 39, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-38-8 | Bd. 47 | SCHEKELMANN, A.: Materialflußsteuerung auf der Basis des Wissens mehrerer Experten. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 47, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-46-9 |
| Bd. 40 | REHBEIN, P.: Tribologische Untersuchung von hochfrequent schwingenden Gleitkontakten für den Einsatz in Reibkraftschlüssigen Antrieben. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 40, Paderborn, 1998 – ISBN 3-931466-39-6 | Bd. 48 | GECK-MÜGGE, K.: Herleitung und Spezifikation generischer Bausteine zur einheitlichen Modellierung von Fertigungsinformationen für die Fertigungssteuerung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 48, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-47-7 |
| | | Bd. 49 | WALLASCHEK, J.; LÜCKEL, J.; LITTMANN, W.: Heinz Nixdorf Symposium on Mechatronics and Advanced Motion Control. 3. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 49, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-48-5 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|--------|---|--------|---|
| Bd. 50 | FINK, A.: Szenariogestützte Führung industrieller Produktionsunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 50, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-49-3 | Bd. 58 | THIELEMANN, F.: Integrierte Methodik zur Gestaltung von Leistungserstellungsprozessen mittels Workflowmanagement. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 58, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-57-4 |
| Bd. 51 | HOLTKAMP, R.: Ein objektorientiertes Rahmenwerk zur Erstellung individueller, verteilter Fertigungslenkungssysteme. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 51, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-50-7 | Bd. 59 | KROME, J.: Modelle zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Statoren für piezoelektrische Ultraschall-Wanderwellen-Motoren. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 59, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-58-2 |
| Bd. 52 | KUHN, A.: Referenzmodelle für Produktionsprozesse zur Untersuchung und Gestaltung von PPS-Aufgaben. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 52, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-51-5 | Bd. 60 | DEMEL, W.; SCHMITZ, G. (Hrsg.): Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik. Krefelder Workshop TransMechatronik, 24. August 1999 Fachhochschule Niederrhein, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 60, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-59-0 |
| Bd. 53 | SIEBE, A.: Systematik der Umsetzung von IT-orientierten Veränderungsprojekten in dynamischen Umfeldern. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 53, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-52-3 | Bd. 61 | LANGEMANN, T.: Modellierung als Kernfunktion einer systemorientierten Analyse und Bewertung der diskreten Produktion. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 61, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-60-4 |
| Bd. 54 | KLAHOLD, R. F.: Dimensionierung komplexer Produktionsnetzwerke. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 54, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-53-1 | Bd. 62 | KÜMEL, M.: Integration von Methoden und Werkzeugen zur Entwicklung von mechatronischen Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 62, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-61-2 |
| Bd. 55 | SCHÜRHOLZ, A.: Synthese eines Modells zur simulationsgestützten Potentialanalyse der Distribution. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 55, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-54-X | Bd. 63 | LUKOVSKI, T.: New Results on Geometric Spanners and Their Applications. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 63, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-62-0 |
| Bd. 56 | GEHNEN, G.: Integriertes Netzwerk zur Fertigungssteuerung und –automatisierung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 56, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-55-8 | Bd. 64 | LÖFFLER, A.; MONDADA, F.; RÜCKERT, U. (Hrsg.): Experiments with the Mini-Robot Khepera, Proceedings of the 1st International Khepera Workshop. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 64, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-63-9 |
| Bd. 57 | KRESS, S.: Architektur eines workflow-basierten Planungsinstruments für die technische Auftragsbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes der Telearbeit. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 57, Paderborn, 1999 – ISBN 3-931466-56-6 | Bd. 65 | SCHÄFERMEIER, U.; BISCHOFF, C.: KMUnet - Ein Konzept zur ablauforganisatorischen Gestaltung der Lieferanteneinbindung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 65, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-64-7 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|--------|--|--------|---|
| Bd. 66 | HOLTHÖFER, N.: Regeln in einer Mengenplanung unter Ausbringungsgrenzen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 66, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-69-8 | Bd. 74 | WENSKI, R.: Eine objektorientierte Systemkomponente zur Workflow-Modellierung und -Ausführung unter besonderer Berücksichtigung der Telekooperation. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 74, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-73-6 |
| Bd. 67 | SCHLAKE, O.: Verfahren zur kooperativen Szenario-Erstellung in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, 67, Paderborn, Band 2000 – ISBN 3-931466-66-3 | Bd. 75 | GRASMANN, M.: Produktkonfiguration auf Basis von Engineering Data Management-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 75, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-74-4 |
| Bd. 68 | LEWANDOWSKI, A.: Methode zur Gestaltung von Leistungserstellungsprozessen in Industrieunternehmen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 68, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-67-1 | Bd. 76 | DITZE, C.: Towards Operating System Synthesis. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 76, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-75-2 |
| Bd. 69 | SCHMIDTMANN, A.: Eine SpezifikationsSprache für die Fertigungslenkung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 69, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-68-X | Bd. 77 | KÖRNER, T.: Analog VLSI Implementation of a Local Cluster Neural Network. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 77, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-76-0 |
| Bd. 70 | GROBBEL, R.: Eine Referenzarchitektur für Kooperationsbörsen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 70, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-69-8 | Bd. 78 | SCHEIDELER, C.: Probabilistic Methods for Coordination Problems. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 78, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-77-9 |
| Bd. 71 | WESSEL, R.: Modelocked Waveguide Lasers in Lithium Niobate. Dissertation, Fachbereich für Physik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 71, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-70-1 | Bd. 79 | GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.-P.: Kooperatives Produktengineering - Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 79, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-78-7 |
| Bd. 72 | LÖFFLER, A.: Energetische Modellierung neuronaler Signalverarbeitung. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 72, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931433-71-X | Bd. 80 | GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.: Entwicklungs-Umgebungen Mechatronik - Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 80, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-79-5 |
| Bd. 73 | LUDWIG, L. A.: Computational Intelligence in der Produktionswirtschaft. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 73, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-72-8 | Bd. 81 | RIEPING, I.: Communication in Parallel Systems-Models, Algorithms and Implementations. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 81, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-80-9 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|--------|--|--------|--|
| Bd. 82 | GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.: Auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen. 4. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 82, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-81-7 | Bd. 90 | WESTERMANN, M.: Caching in Networks: Non-Uniform Algorithms and Memory Capacity Constraints. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 90, Paderborn, 2001 – ISBN 3-931466-89-2 |
| Bd. 83 | DEL CASTILLO, G.: The ASM Workbench - A Tool Environment for Computer-Aided Analysis and Validation of Abstract State Machine Models. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 83, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-82-5 | Bd. 91 | LEMKE, J.: Nutzenorientierte Planung des Einsatzes von CAD- / CAE-Systemen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 91, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-00-X |
| Bd. 84 | SCHÄFERMEIER, U.: Eine Methode zur systemorientierten organisatorischen Gestaltung der Zweckaufgabenverrichtung in kooperativen Verbünden; Klassifikation, Aufgabenzuordnung. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 84, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-83-3 | Bd. 92 | VON BOHUSZEWICZ, O.: Eine Methode zur Visualisierung von Geschäftsprozessen in einer virtuellen Umgebung. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 92, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-01-8 |
| Bd. 85 | KRÜGER, J.: Ganzheitliche Beherrschung von Abläufen in und zwischen soziotechnischen Systemen: Ein Beitrag zur Modellbildung und zum paradigmatischen Verständnis von Industrieunternehmen zur Integration von Mensch und Maschine; Prozess und Struktur. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 85, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-84-1 | Bd. 93 | BÖRNCHEN, T.: Zur Entwicklung dynamischer Komponenten für variables Kraftfahrzeug-Scheinwerferlicht. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 93, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-02-6 |
| Bd. 86 | BARTSCHER, T.: Methoden des Integrierten Workflowmanagements (IWF). Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 86, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-85-X | Bd. 94 | WINDELER, I.: Auswahl von Restrukturierungsprojekten in Forschungs- und Entwicklungsorganisationen der Automobilindustrie. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 94, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-03-4 |
| Bd. 87 | QUINTANILLA, J.: Ein Verifikationsansatz für eine netzbasierte Modellierungs methode für Fertigungssteuerungssysteme. Dissertation, Fachbereich für Informatik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 87, Paderborn, 2000 – ISBN 3-931466-86-8 | Bd. 95 | WOLFF, C.: Parallele Simulation großer pulscodierter neuronaler Netze. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 95, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-04-2 |
| Bd. 88 | PREIS, R.: Analyses and Design of Efficient Graph Partitioning Methods. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 88, Paderborn, 2001 – ISBN 3-931466-87-6 | Bd. 96 | HENKE, A.: Modellierung, Simulation und Optimierung piezoelektrischer Stellsysteme. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 96, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-05-0 |
| Bd. 89 | nicht erschienen! | Bd. 97 | RÜCKERT, U.; SITTE, J.; WITKOWSKI, U. (Hrsg.): Autonomous Minirobots for Research and Edutainment AMiRE2001. 5. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 97, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-06-9 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 98 LI, P.: Datenkonversion für den Datenaustausch in verteilten Fertigungslenkungssystemen. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 98, Paderborn, 2001 – ISBN 9-935433-07-7
- Bd. 99 BRANDT, C.: Eine modellbasierte Methode zum strukturierten Entwurf virtueller Umgebungen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 99, Paderborn, 2001 – ISBN 9-935433-08-5
- Bd. 100 WLEKLINSKI, C.: Methode zur Effektivitäts- und Effizienzbewertung der Entwicklung maschinenbaulicher Anlagen. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 100, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-09-3
- Bd. 101 HEMSEL, T.: Untersuchung und Weiterentwicklung linearer piezoelektrischer Schwingungsantriebe. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 101, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-10-7
- Bd. 102 MAUERMANN, H.: Leitfaden zur Erhöhung der Logistikqualität durch Analyse und Neugestaltung der Versorgungsketten. Dissertation, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 102, Paderborn, 2001 – ISBN 3-935433-11-5
- Bd. 103 WAGENBLÄRT, D.: Eine Analysemethode zur Beurteilung der Funktionssicherheit von gemischt analog-digitalen Schaltungen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 103, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-12-3
- Bd. 104 PORRMANN, M.: Leistungsbewertung eingebetteter Neurocomputersysteme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 104, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-13-1
- Bd. 105 SEIFERT, L.: Methodik zum Aufbau von Informationsmodellen für Electronic Business in der Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 105, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-14-X
- Bd. 106 SOETEBEER, M.: Methode zur Modellierung, Kontrolle und Steuerung von Produktstrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 106, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-15-8
- Bd. 107 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 1. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 107, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-16-6
- Bd. 108 FLATH, M.: Methode zur Konzipierung mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 108, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-17-4
- Bd. 109 AVENARIUS, J.: Methoden zur Suche und Informationsbereitstellung von Lösungselementen für die Entwicklung mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 109, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-18-2
- Bd. 110 HELMKE, S.: Eine simulationsgegestützte Methode für Budgetentscheidungen im Kundenbindungsmanagement. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 110, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-19-0
- Bd. 111 CZUBAYKO, R.: Rechnerinterne Repräsentation von informationsverarbeitenden Lösungselementen für die verteilte kooperative Produktentwicklung in der Mechatronik. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 111, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-20-4
- Bd. 112 GOLDSCHMIDT, S.: Anwendung mengenorientierter numerischer Methoden zur Analyse nichtlinearer dynamischer Systeme am Beispiel der Spurführungs dynamik von Schienenfahrzeugen. Dissertation, Fakultät für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 112, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-21-2
- Bd. 113 LEHMANN, T.: Towards Device Driver Synthesis. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 113, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-22-0

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 114 HÄRTEL, W.: Issueorientierte Frühaufklärung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 114, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-23-9
- Bd. 115 ZIEGLER, M.: Zur Berechenbarkeit reeller geometrischer Probleme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 115, Paderborn, 2002 – ISBN 3-935433-24-7
- Bd. 116 SCHMIDT, M.: Neuronale Assoziativspeicher im Information Retrieval. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 116, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-25-5
- Bd. 117 EL-KEBBE, D. A.: Towards the MaSHReC Manufacturing System under Real-Time Constraints. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 117, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-26-3
- Bd. 118 PUSCH, R.: Personalplanung und -entwicklung in einem integrierten Vorgehensmodell zur Einführung von PDM-Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 118, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-27-1
- Bd. 119 SOHLER, C.: Property Testing and Geometry. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 119, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-28-X
- Bd. 120 KESPOHL, H.: Dynamisches Matching – Ein agentenbasiertes Verfahren zur Unterstützung des Kooperativen Produktengineering durch Wissens- und Technologietransfer. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 120, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-29-8
- Bd. 121 MOLT, T.: Eine domänenübergreifende Softwarespezifikationstechnik für automatisierte Fertigungsanlagen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 121, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-30-1
- Bd. 122 GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 1. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 122, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-31-X
- Bd. 123 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 2. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 123, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-32-8
- Bd. 124 LITTMANN, W.: Piezoelektrische resonant betriebene Ultraschall-Leistungswandler mit nichtlinearen mechanischen Randbedingungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 124, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-33-6
- Bd. 125 WICKORD, W.: Zur Anwendung probabilistischer Methoden in den frühen Phasen des Systementwurfs. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 125, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-34-4
- Bd. 126 HEITTMANN, A.: Ressourceneffiziente Architekturen neuronaler Assoziativspeicher. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 126, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-35-2
- Bd. 127 WITKOWSKI, U.: Einbettung selbst-organisierender Karten in autonome Miniroboter. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 127, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-36-0
- Bd. 128 BOBDA, C.: Synthesis of Dataflow Graphs for Reconfigurable Systems using Temporal Partitioning and Temporal Placement. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 128, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-37-9
- Bd. 129 HELLER, F.: Wissensbasiertes Online-Störungsmanagement flexibler, hoch automatisierter Montagesysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 129, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-38-7

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 130 KÜHN, A.: Systematik des Ideenmanagements im Produktentstehungsprozess. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 130, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-39-5
- Bd. 131 KEIL-SLAWIK, R.; BRENNECKE, A.; HOHENHAUS, M.: ISIS -Installationshandbuch für lernförderliche Infrastrukturen. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 131, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-40-9
- Bd. 132 OULD HAMADY, M.: Ein Ansatz zur Gestaltung des operativen Fertigungsmanagements innerhalb der Lieferkette. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 132, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-41-7
- Bd. 133 HOLTZ, C.: Theoretical Analysis of Unsupervised On-line Learning through Soft Competition. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 133, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-42-5
- Bd. 134 UEBEL, M.: Ein Modell zur Steuerung der Kundenbearbeitung im Rahmen des Vertriebsmanagements. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 134, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-43-3
- Bd. 135 BRINKMANN, A.: Verteilte Algorithmen zur Datenplazierung und zum Routing in gegnerischen Netzwerken. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 135, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-44-1
- Bd. 136 FRÜND, E.: Aktive Kompensation von periodischen Schwingungen an rotierenden Walzen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 136, Paderborn, 2003 – ISBN 3-935433-45-X
- Bd. 137 KEIL-SLAWIK, R. (Hrsg.): Digitale Medien in der Hochschule: Infrastrukturen im Wandel. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 137, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-46-8
- Bd. 138 STORCK, H.: Optimierung der Kontaktvorgänge bei Wanderwellenmotoren. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 138, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-47-6
- Bd. 139 KALTE, H.: Einbettung dynamisch rekonfigurerbarer Hardwarearchitekturen in eine Universalprozessorumgebung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 139, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-48-4
- Bd. 140 ISKE, B.: Modellierung und effiziente Nutzung aktiver Infrarotsensorik in autonomen Systemen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 140, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-49-2
- Bd. 141 BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 141, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-50-6
- Bd. 142 BÖKE, C.: Automatic Configuration of Real-Time Operating Systems and Real-Time Communication Systems for Distributed Embedded Applications. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 142, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-51-4
- Bd. 143 KÖCKERLING, M.: Methodische Entwicklung und Optimierung der Wirkstruktur mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 143, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-52-2
- Bd. 144 HENZLER, S.: Methodik zur Konzeption der Struktur und der Regelung leistungsverzweigter Getriebe mit Toroidvariator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 144, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-53-0
- Bd. 145 GAUSEMEIER, J.; LÜCKEL, J.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 2. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 145, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-54-9

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 146 LESSING, H.: Prozess zur multivariaten Prognose von Produktionsprogrammen für eine effiziente Kapazitätsplanung bei typisierten Dienstleistungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 146, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-55-7
- Bd. 147 HAMOUDIA, H.: Planerische Ablaufgestaltung bei prozessorientierten Dienstleistungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 147, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-56-5
- Bd. 148 BUSCH, A.: Kollaborative Änderungsplanung in Unternehmensnetzwerken der Serienfertigung – ein verhandlungsbasierter Ansatz zur interorganisationalen Koordination bei Störungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 148, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-57-3
- Bd. 149 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 3. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 149, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-58-1
- Bd. 150 MEYER, B.: Value-Adding Logistics for a World Assembly Line. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 150, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-59-X
- Bd. 151 GRIENITZ, V.: Methodik zur Erstellung von Technologieszenarien für die strategische Technologieplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 151, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-60-3
- Bd. 152 FRANKE, H.: Eine Methode zur unternehmensübergreifenden Transportdisposition durch synchron und asynchron kommunizierende Agenten. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 152, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-61-1
- Bd. 153 SALZWEDEL, K. A.: Data Distribution Algorithms for Storage Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 153, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-62-X
- Bd. 154 RÄCKE, H.: Data Management and Routing in General Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 154, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-63-8
- Bd. 155 FRANK, U.; GIESE, H.; KLEIN, F.; OBERSCHELP, O.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; VÖCKING, H.; WITTING, K.; GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definitionen und Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 155, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-64-6
- Bd. 156 MÖHRINGER, S.: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Habilitation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 156, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-65-4
- Bd. 157 FAHRENTHOLZ, M.: Konzeption eines Betriebskonzepts für ein bedarfsgesteuertes schienengebundenes Shuttle-System. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 157, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-66-2
- Bd. 158 GAJEWSKI, T.: Referenzmodell zur Beschreibung der Geschäftsprozesse von After-Sales-Dienstleistungen unter besonderer Berücksichtigung des Mobile Business. Dissertation Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 158, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-67-0
- Bd. 159 RÜTHER, M.: Ein Beitrag zur klassifizierenden Modularisierung von Verfahren für die Produktionsplanung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 159, Paderborn, 2004 – ISBN 3-935433-68-9
- Bd. 160 MUECK, B.: Eine Methode zur benutzerstimulierten detaillierungsvarianten Berechnung von diskreten Simulationen von Materialflüssen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 160, Paderborn 2004 – ISBN 3-935433-69-7

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 161 LANGEN, D.: Abschätzung des Ressourcenbedarfs von hochintegrierten mikroelektronischen Systemen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 161, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-70-0
- Bd. 162 ORLIK, L.: Wissensbasierte Entscheidungshilfe für die strategische Produktplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 162, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-71-9
- Bd. 163 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 3. Paderborner Workshop Intelligente mechatronische Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 163, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-72-7
- Bd. 164 FISCHER, M.: Design, Analysis, and Evaluation of a Data Structure for Distributed Virtual Environments. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 164, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-73-5
- Bd. 165 MATYSCZOK, C.: Dynamische Kantenextraktion - Ein Verfahren zur Generierung von Tracking-Informationen für Augmented Reality-Anwendungen auf Basis von 3D-Referenzmodellen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 165, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-74-3
- Bd. 166 JANIA, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 166, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-75-1
- Bd. 167 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 4. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-76-X
- Bd. 168 VOLBERT, K.: Geometric Spanners for Topology Control in Wireless Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 168, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-77-8
- Bd. 169 ROSLAK, J.: Entwicklung eines aktiven Scheinwerfersystems zur blendungsfreien Ausleuchtung des Verkehrsraumes. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 167, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-78-6
- Bd. 170 EMMRICH, A.: Ein Beitrag zur systematischen Entwicklung produktorientierter Dienstleistungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 170, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-79-4
- Bd. 171 NOWACZYK, O.: Explorationen: Ein Ansatz zur Entwicklung hochgradig interaktiver Lernbausteine. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 171, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-80-8
- Bd. 172 MAHMOUD, K.: Theoretical and experimental investigations on a new adaptive duo servo drum brake with high and constant brake shoe factor. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 172, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-81-6
- Bd. 173 KLIWER, G.: Optimierung in der Flugplanung: Netzwerkentwurf und Flottenzuweisung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 173, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-82-4
- Bd. 174 BALÁŽOVÁ, M.: Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 174, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-83-2
- Bd. 175 FRANK, U.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinzipiell Lösung selbst-optimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 175, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-84-0
- Bd. 176 BERGER, T.: Methode zur Entwicklung und Bewertung innovativer Technologiestrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 176, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-85-9

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 177 BERSSENBRÜGGE, J.: Virtual Nightdrive - Ein Verfahren zur Darstellung der komplexen Lichtverteilungen moderner Scheinwerfersysteme im Rahmen einer virtuellen Nachtfahrt. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 177, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-86-7
- Bd. 178 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 1. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 3. und 4. November 2005, Schloß Neuhausen, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 178, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-87-5
- Bd. 179 FU, B.: Piezoelectric actuator design via multiobjective optimization methods. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 179, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-88-3
- Bd. 180 WALLASCHEK, J.; HEMSEL, T.; MRACEK, M.: Proceedings of the 2nd International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 180, Paderborn, 2005 – ISBN 3-935433-89-1
- Bd. 181 MEYER AUF DER HEIDE, F.; MONIEN, B. (Hrsg.): New Trends in Parallel & Distributed Computing. 6. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, 17. und 18. Januar 2006, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 181, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-00-1
- Bd. 182 HEIDENREICH, J.: Adaptierbare Änderungsplanung der Mengen und Kapazitäten in Produktionsnetzwerken der Serienfertigung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 182, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-01-X
- Bd. 183 PAPE, U.: Umsetzung eines SCM-Konzeptes zum Liefermanagement in Liefernetzwerken der Serienfertigung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 183, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-02-8
- Bd. 184 BINGER, V.: Konzeption eines wissensbasierten Instruments für die strategische Vorausschau im Kontext der Szenario-technik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 184, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-03-6
- Bd. 185 KRIESEL, C.: Szenarioorientierte Unternehmensstrukturoptimierung – Strategische Standort- und Produktionsplanung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 185, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-04-4
- Bd. 186 KLEIN, J.: Efficient collision detection for point and polygon based models. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 186, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-05-2
- Bd. 187 WORTMANN, R.: Methodische Entwicklung von Echtzeit 3D-Anwendungen für Schulung und Präsentation. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 187, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-06-0
- Bd. 188 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 188, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-07-9
- Bd. 189 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 4. Paderborner Workshop Entwurf mechanischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 189, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-08-7
- Bd. 190 DAMEROW, V.: Average and Smoothed Complexity of Geometric Structures. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 190, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-09-5
- Bd. 191 GIESE, H.; NIGGEMANN, O. (Hrsg.): Postworkshop Proceedings of the 3rd Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems (OMER 3), HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 191, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-10-9
- Bd. 192 RADKOWSKI, R.: Anwendung evolutionärer Algorithmen zur Unterstützung des Entwurfs selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 192, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-11-7

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|---------|---|---------|---|
| Bd. 193 | SHEN, Q.: A Method for Composing Virtual Prototypes of Mechatronic Systems in Virtual Environments. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 193, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-12-5 | Bd. 201 | KÖSTERS, C.: Ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 201, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-20-0 |
| Bd. 194 | REDENIUS, A.: Verfahren zur Planung von Entwicklungsprozessen für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 194, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-13-3 | Bd. 202 | HALFMEIER, S.: Modellierung und Regelung von Halbtoroidvariationen in leistungsverzweigten Getriebestrukturen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 202, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-21-7 |
| Bd. 195 | KUHL, P.: Anpassung der Lichtverteilung des Abblendlichtes an den vertikalen Straßenverlauf. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 195, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-14-1 | Bd. 203 | RÜHRUP, S.: Position-based Routing Strategies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 203, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-22-4 |
| Bd. 196 | MICHELS, J. S.: Integrative Spezifikation von Produkt- und Produktionssystemkonzeptionen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 196, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-15-X | Bd. 204 | SCHMIDT, A.: Wirkmuster zur Selbstoptimierung – Konstrukte für den Entwurf selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 204, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-23-1 |
| Bd. 197 | RIPS, S.: Adaptive Steuerung der Lastverteilung datenparalleler Anwendungen in Grid-Umgebungen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 197, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-16-8 | Bd. 205 | IHMOR, S.: Modeling and Automated Synthesis of Reconfigurable Interfaces. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 205, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-24-8 |
| Bd. 198 | GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 2. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 9. und 10. November 2006, Schloß Neuhausenberg, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 198, Paderborn, 2006 – ISBN 3-939350-17-6 | Bd. 206 | ECKES, R.: Augmented Reality – basiertes Verfahren zur Unterstützung des Anlaufprozesses von automatisierten Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 206, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-25-5 |
| Bd. 199 | FRANKE, W.: Wiederverwendungsorientierte Herleitung von Inter-Fachkomponentenkonzepten für Lagerverwaltungssoftwaresysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 199, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-18-7 | Bd. 207 | STEFFEN, D.: Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 207, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-26-2 |
| Bd. 200 | SCHEIDELER, P.: Ein Beitrag zur erfahrungsbasierten Selbstoptimierung einer Menge technisch homogener fahrerloser Fahrzeuge. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 200, Paderborn, 2006 – ISBN 978-3-939350-19-4 | | |

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 208 LAROQUE, C.: Ein mehrbenutzerfähiges Werkzeug zur Modellierung und richtungsoffenen Simulation von wahlweise objekt- und funktionsorientiert gegliederten Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 208, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-27-9
- Bd. 209 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 209, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-28-6
- Bd. 210 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A.; WALLASCHEK, J. (Hrsg.): 5. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 210, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-29-3
- Bd. 211 KAUSCHKE, R.: Systematik zur lichttechnischen Gestaltung von aktiven Scheinwerfern. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 211, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-30-9
- Bd. 212 DU, J.: Zellen-basierte Dienst-Entdeckung für Roboternetzwerke. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 212, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-31-6
- Bd. 213 DANNE, K.: Real-Time Multitasking in Embedded Systems Based on Reconfigurable Hardware. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 213, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-32-3
- Bd. 214 EICKHOFF, R.: Fehlertolerante neuronale Netze zur Approximation von Funktionen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 214, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-33-0
- Bd. 215 KÖSTER, M.: Analyse und Entwurf von Methoden zur Ressourcenverwaltung partiell rekonfigurierbarer Architekturen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 215, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-34-7
- Bd. 216 RÜCKERT, U.; SITTE, J.; WITKOWSKI, U.: Proceedings of the 4th International Symposium on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment – AMiRE2007. Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 216, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-35-4
- Bd. 217 PHAM VAN, T.: Proactive Ad Hoc Devices for Relaying Real-Time Video Packets. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 217, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-36-1
- Bd. 218 VIENENKÖTTER, A.: Methodik zur Entwicklung von Innovations- und Technologie-Roadmaps. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 218, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-37-8
- Bd. 219 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 3. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 29. und 30. November 2007, Miele & Cie. KG Gütersloh, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 219, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-38-5
- Bd. 220 FRÜND, J.: Eine Architektonkonzeption für eine skalierbare mobile Augmented Reality Anwendung für die Produktpräsentation. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 220, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-39-2
- Bd. 221 PEITZ, T.: Methodik zur Produktoptimierung mechanisch elektronischer Baugruppen durch die Technologie MID (Molded Interconnect Devices). Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 221, Paderborn, 2007 – ISBN 978-3-939350-40-8
- Bd. 222 MEYER AUF DER HEIDE, F. (Hrsg.): The European Integrated Project “Dynamically Evolving, Large Scale Information Systems (DELIS)”, Proceedings of the Final Workshop, Barcelona, February 27-28, 2008, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 222, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-41-5

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 223 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W. (Hrsg.): Self-optimizing Mechatronic Systems: Design the Future. 7. Internationales Heinz Nixdorf Symposium, 20. und 21. Februar 2008, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 223, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-42-2
- Bd. 224 RATH, M.: Methode zur Entwicklung hybrider Technologie- und Innovationsstrategien – am Beispiel des Automobils. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 224, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-43-9
- Bd. 225 GRÜNEWALD, M.: Protokollverarbeitung mit integrierten Multiprozessoren in drahtlosen Ad-hoc-Netzwerken. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 225, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-44-6
- Bd. 226 STRAUSS, S.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz gepulster Halbleiterlichtquellen in der Kraftfahrzeugbeleuchtung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 226, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-45-3
- Bd. 227 ZEIDLER, C.: Systematik der Materialflussplanung in der frühen Phase der Produktionsystementwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 227, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-46-0
- Bd. 228 PARISI, S.: A Method for the intelligent Authoring of 3D Animations for Training and Maintenance. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 228, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-47-7
- Bd. 229 DITTMANN, F.: Methods to Exploit Reconfigurable Fabrics. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 229, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-48-4
- Bd. 230 TONIGOLD, C.: Programm-, Ressourcen- und Prozessoptimierung als Bestandteile der Anpassungsplanung von spanenden Fertigungssystemen in der Fließfertigung von Aggregaten. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 230, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-49-1
- Bd. 231 BRANDT, T.: A Predictive Potential Field Concept for Shared Vehicle Guidance. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 231, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-50-7
- Bd. 232 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 232, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-51-4
- Bd. 233 CHANG, H.: A Methodology for the Identification of Technology Indicators. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 233, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-52-1
- Bd. 234 ADELT, P.; DONOTH, J.; GAUSEMEIER, J.; GEISLER, J.; HENKLER, S.; KAHL, S.; KLÖPPER, B.; KRUPP, A.; MÜNCH, E.; OBERTHÜR, S.; PAIZ, C.; PORRMANN, M.; RADKOWSKI, R.; ROMAUS, C.; SCHMIDT, A.; SCHULZ, B.; TSCHUSCHNER, T.; VÖCKING, H.; WITKOWSKI, U.; WITTING, K.; ZNAMENSHCHYKOV, O.: Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus – Definitionen, Anwendungen, Konzepte. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 234, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-53-8
- Bd. 235 DELL'AERE, A.; HIRSCH, M.; KLÖPPER, B.; KOESTER, M.; KRÜGER, M.; KRUPP, A.; MÜLLER, T.; OBERTHÜR, S.; POOK, S.; PRIESTERJAHN, C.; ROMAUS, C.; SCHMIDT, A.; SONDERMANN-WÖLKE, C.; TICHY, M.; VÖCKING, H.; ZIMMER, D.: Verlässlichkeit selbstoptimierender Systeme – Potenziale nutzen und Risiken vermeiden. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 235, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-54-5
- Bd. 236 GEHRKE, M.; GIESE, H.; STROOP J.: Proceedings of the 4th Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems (OMER4), Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 236, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-55-2

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- | | | | |
|---------|--|---------|--|
| Bd. 237 | GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 4. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung Heinz Nixdorf Institut, 30. und 31. Oktober 2008, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 237, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-56-9 | Bd. 244 | BRÜSEKE, U.: Einsatz der Bibliometrie für das Technologiemanagement. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 244, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-63-7 |
| Bd. 238 | BRÖKELMANN, M.: Entwicklung einer Methodik zur Online-Qualitätsüberwachung des Ultraschall-Drahtbondprozesses mittels integrierter Mikrosensorik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 238, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-57-6 | Bd. 245 | TIMM, T.: Ein Verfahren zur hierarchischen Struktur-, Dimensions- und Materialbedarfsplanung von Fertigungssystemen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 245, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-64-4 |
| Bd. 239 | KETTELHOIT, B.: Architektur und Entwurf dynamisch rekonfigurierbarer FPGA-Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 239, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-58-3 | Bd. 246 | GRIESE, B.: Adaptive Echtzeitkommunikationsnetze. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 246, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-65-1 |
| Bd. 240 | ZAMBALDI, M.: Concepts for the development of a generic Multi-Level Test Bench covering different areas of applications. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 240, Paderborn, 2008 – ISBN 978-3-939350-59-0 | Bd. 247 | NIEMANN, J.-C.: Ressourceneffiziente Schaltungstechnik eingebetteter Parallelrechner. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 247, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-66-8 |
| Bd. 241 | OBERSCHELP, O.: Strukturierter Entwurf selbstoptimierender mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 241, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-60-6 | Bd. 248 | KAISSER, I.: Systematik zur Entwicklung mechatronischer Systeme in der Technologie MID. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 248, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-67-5 |
| Bd. 242 | STOLLT, G.: Verfahren zur strukturierten Vorausschau in globalen Umfeldern produzierender Unternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 242, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-61-3 | Bd. 249 | GANS, J. E.: Neu- und Anpassungsplanung der Struktur von getakteten Fließproduktionssystemen für variantenreiche Serienprodukte in der Montage. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 249, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-68-2 |
| Bd. 243 | WENZELMANN, C.: Methode zur zukunftsorientierten Entwicklung und Umsetzung von Strategieoptionen unter Berücksichtigung des antizipierten Wettbewerbsverhaltens. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 243, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-62-0 | Bd. 250 | GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 6. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 250, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-69-9 |
| | | Bd. 251 | LESSMANN, J.: Protocols for Telephone Communications in Wireless Multi-Hop Ad Hoc Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 251, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-70-5 |

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 252 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 8. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 252, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-71-2
- Bd. 253 KLÖPPER, B.: Ein Beitrag zur Verhaltensplanung für interagierende intelligente mechatronische Systeme in nicht-deterministischen Umgebungen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 253, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-72-9
- Bd. 254 Low, C. Y.: A Methodology to Manage the Transition from the Principle Solution towards the Controller Design of Advanced Mechatronic Systems. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 254, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-73-6
- Bd. 255 Xu, F.: Resource-Efficient Multi-Antenna Designs for Mobile Ad Hoc Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 255, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-74-3
- Bd. 256 MÜLLER, T.: Integration von Verlässlichkeitssanalysen und -konzepten innerhalb der Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 256, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-75-0
- Bd. 257 BONORDEN, O.: Versatility of Bulk Synchronous Parallel Computing: From the Heterogeneous Cluster to the System on Chip. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 257, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-76-7
- Bd. 258 KORTENJAN, M.: Size Equivalent Cluster Trees - Rendering CAD Models in Industrial Scenes. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 258, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-77-4
- Bd. 259 SCHOMAKER, G.: Distributed Resource Allocation and Management in Heterogeneous Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 259, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-78-1
- Bd. 260 MENSE, M.: On Fault-Tolerant Data Placement in Storage Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 260, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-79-8
- Bd. 261 LÜRWER-BRÜGGEMEIER, K.: Mächtigkeit und Komplexität von Berechnungen mit der ganzzahligen Division. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 261, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-80-4
- Bd. 262 ALTEMEIER, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie unter expliziter Berücksichtigung des Unterstützereinsatzes und unterschiedlicher Planungszeiträume. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 262, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-81-1
- Bd. 263 MAHAJAN, K.: A combined simulation and optimization based method for predictive-reactive scheduling of flexible production systems subject to execution exceptions. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 263, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-82-8
- Bd. 264 CHRISTIANSEN, S. K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 264, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-83-5
- Bd. 265 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 5. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 19. und 20. November 2009, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 265, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-84-2

Bände der HNI-Verlagsschriftenreihe

- Bd. 266 KAULMANN, T.: Ressourceneffiziente Realisierung Pulscodierter Neuronaler Netze. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 266, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-85-9
- Bd. 267 WEHRMEISTER, M. A.: An Aspect-Oriented Model-Driven Engineering Approach for Distributed Embedded Real-Time Systems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 267, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-86-6
- Bd. 268 DANNE, C.: Assessing the Cost of Assortment Complexity in Consumer Goods Supply Chains by Reconfiguration of Inventory and Production Planning Parameters in Response to Assortment Changes. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 268, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-87-3
- Bd. 269 AUFENANGER, M.: Situativ trainierte Regeln zur Ablaufsteuerung in Fertigungssystemen und ihre Integration in Simulationssysteme. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 269, Paderborn, 2009 – ISBN 978-3-939350-88-0
- Bd. 270 STOLL, K.: Planung und Konzipierung von Marktleistungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 270, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-89-7
- Bd. 271 IHMELS, S.: Verfahren zur integrierten informationstechnischen Unterstützung des Innovationsmanagements. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 271, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-90-3
- Bd. 272 GAUSEMEIER, J.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 7. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 272, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-91-0
- Bd. 273 PURNAPRAJNA, M.: Run-time Reconfigurable Multiprocessors. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 273, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-92-7
- Bd. 274 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 274, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-93-4
- Bd. 275 WEDMAN, S.: Lebensdauerüberwachung in mechatronischen Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 275, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-94-1
- Bd. 276 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 6. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 28. und 29. Oktober 2010, Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 276, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-95-8
- Bd. 277 HUBER, D.: Geregelte Vereinfachung hierarchischer Partitionen von Modellen in der Materialflusssimulation. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 277, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-96-5
- Bd. 278 DEGENER, B.: Local, distributed approximation algorithms for geometric assignment problems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 278, Paderborn, 2010 – ISBN 978-3-939350-97-2

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn