

**Methodik zur produktionsorientierten
Produktanalyse für die Wiederverwendung
von Produktionssystemen – 2REUSE**

*Konzept, Informationsmodell und Validierung am
besonderen Beispiel des Karosserierohbaus in der
Automobilindustrie*

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

Von der Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation
von

M. Sc. Stilian Stanev
geboren am 21. Februar 1979

Tag der mündlichen Prüfung:
Vorsitzende des Prüfungsausschusses:
Hauptreferent:
Korreferent:

16 März 2012
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova
Prof. Dr.-Ing. Michael Vielhaber

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

An dieser Stelle danke ich allen, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben. Frau Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova, die Leiterin des Instituts, danke ich besonders für die Übernahme des Hauptreferats und das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie die wissenschaftliche Betreuung bei der Erstellung der Dissertation.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Vielhaber für die Übernahme des Korreferates und die wertvollen Sachbeiträge. Der Vorsitzenden des Prüfungsausschusses, Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, gebührt ebenfalls mein Dank.

Bei meinen ehemaligen Kollegen des IMI bedanke ich mich für die allzeit fruchtbaren Diskussionen und die vielfältige Unterstützung und Hilfsbereitschaft. Insbesondere möchte ich die fordernde Teamarbeit mit meinen Kollegen Vitalis Bittel, Ramez Awad und Alexander Burger hervorheben. Weiterhin gilt mein Dank den Daimler AG Mitarbeitern Thomas Bär und Waldemar Walla für die intensiven Diskussionen und kooperative Zusammenarbeit im MyCar Projekt. Dank gebührt weiterhin meinen studentischen Hilfskräften und Studien- und Diplomarbeitern u.a. Stefan Pölz und Orlin Kolev für ihr Engagement und Ausdauer.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung für meine Ausbildung erst die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Mina, die mir während dieser Zeit den nötigen Rückhalt gab und durch ihre verständnisvolle Unterstützung einen wertvollen Anteil zum Entstehen dieser Arbeit geleistet hat.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einführung	1
1.1 Motivation und Einleitung	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
1.3 Gliederung der Arbeit	5
2 Klärung der Aufgabenstellung	7
2.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	7
2.1.1 Allgemeine Begriffsklärung	7
2.1.2 Flexibilität und Wiederverwendung aus Sicht der Produktion	10
2.1.3 Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie	12
2.2 Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen in der Praxis	14
2.2.1 Gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie	14
2.2.2 Schlussfolgerung	20
2.3 Anforderungen an eine methodische und informationstechnische Unterstützung	21
2.3.1 Anforderungen an methodische Unterstützung	22
2.3.2 Anforderungen an informationstechnische Unterstützung	24
2.4 Zusammenfassung	25
3 Stand in Industrie und Wissenschaft	27
3.1 Ansätze der Produktentwicklung	28
3.1.1 Grundlagen der Produktentwicklung	28
3.1.2 Design for Manufacturing	31
3.1.3 Design for Re-Tooling und Design for Re-Use	34
3.1.4 Stand der Industrie	38
3.2 Ansätze der Produktionsplanung	42
3.2.1 Grundlagen der Produktionsplanung	42
3.2.2 Digitale Fabrik	42
3.2.3 Lean Production	47
3.2.4 Stand der Industrie	50
3.3 Ansätze des Informationsmanagements	52
3.3.1 Product Lifecycle Management	53
3.3.2 Wissensmanagement	56
3.3.3 Stand der Industrie	61
3.4 Fazit – Analyse existierender Lösungsansätze	63
3.4.1 Defizite der Lösungsansätze	64

3.5	<i>Zusammenfassung</i>	66
4	Die Methodik 2REUSE	67
4.1	<i>Ziele der Methodik</i>	67
4.2	<i>Methodisches Vorgehen</i>	70
4.3	<i>Methodische Schritte</i>	72
4.3.1	Lösungsfindung.....	73
4.3.2	Analyse und Bewertung der Lösungsalternativen	81
4.3.3	Umsetzung der Lösung	86
4.3.4	Feedback	91
4.4	<i>Lebenszyklus-orientiertes Informationsmodell zur Unterstützung der Methodik</i>	94
4.4.1	Ziel und Umfang des Informationsmodells	94
4.4.2	Architektur des integrierten Informationsmodells	95
4.4.3	Integration der Lebenszyklusphasen	97
4.4.4	Informationsmodell der Lebenszyklusphasen.....	98
4.4.5	Informationsmodell für die produktionsorientierte Analyse.....	99
4.5	<i>Beitrag der Methodik</i>	100
4.5.1	Wissenschaftlicher Beitrag	100
4.5.2	Nutzen für die Industrie	101
4.6	<i>Zusammenfassung</i>	102
5	Validierung der Methodik	103
5.1	<i>Vorgehensweise und Rahmenbedingungen</i>	103
5.2	<i>Prototypische Implementierung der Methodik</i>	104
5.2.1	Architektur des Software-Prototyps.....	104
5.2.2	Implementierung des Software-Prototyps.....	107
5.2.3	Funktionsweise des Software-Prototyps	113
5.3	<i>Business Case</i>	118
5.3.1	Ausgangssituation beim Unternehmen	118
5.3.2	Rahmenbedingungen des Anwendungsbeispiels	119
5.4	<i>Anwendung der Methodik im Rahmen des Fallbeispiels</i>	123
5.4.1	Produktionsorientierte Produktuntersuchung.....	123
5.4.2	Identifikation geeigneter Handlungsalternativen	130
5.4.3	Analyse und Bewertung der Handlungsalternativen.....	132
5.4.4	Umsetzung der geeignetsten Handlungsalternative	135
5.5	<i>Zusammenfassung</i>	136
6	Zusammenfassung und Ausblick	139
6.1	<i>Zusammenfassung der Arbeit</i>	139
6.2	<i>Ausblick - Ansätze für weiterführende Forschung</i>	142
	Literatur	145
	Standards und Normen	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entscheidungsmöglichkeit und Kostenfestlegung in den Bereichen des Produktentwicklungsprozesses (in Anlehnung an [Vaj94] und [Ehrl03])..	2
Abbildung 2: Methodisches Vorgehen	6
Abbildung 3: Relationen zwischen Produkt, Prozess und Ressource [Stanev09a]	9
Abbildung 4: Hierarchien von Produkt, Prozess und Ressource (nach [Haa99])	10
Abbildung 5: Flexibilität eines Produktionssystems (in Anlehnung an [Schmit94])	11
Abbildung 6: Unterschiedliche Phasen der Produktentwicklung in der Automobilindustrie (Quelle: Daimler)	12
Abbildung 7: Entwicklung von Produktionskapazitäten [Mbt04].....	15
Abbildung 8: Entwicklung des Automobilmarktes [Kop08]	16
Abbildung 9: Entwicklung der globalen Produktion [Kop08]	16
Abbildung 10: Verkürzung des Modelllebenszyklus [Mbt04].....	17
Abbildung 11: Veränderung bei Entwicklung, Anlauf und Hochlauf [Mbt04]	18
Abbildung 12: Entwicklung der Modellanzahl im Zeitablauf [HüBa07]	19
Abbildung 13: Entwicklung der Neuzulassungen ausgewählter Hersteller [Kra07].....	20
Abbildung 14: Notwendigkeit zur Wiederverwendung in der Fertigung und Produktion	21
Abbildung 15: Anforderungen an die Methodik 2REUSE	22
Abbildung 16: Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-2221	29
Abbildung 17: DfX – Anforderungsstruktur [Bauer07]	30
Abbildung 18: Problemlösungszyklus nach VDI-2221 (in Anlehnung an [VDI-2221])	33
Abbildung 19: Prozessablauf beim Design for Re-Tooling (in Anlehnung an [Burr08])	35
Abbildung 20: Zeitliche Einordnung von ausgewählten Absicherungsmethoden in den Fahrzeugentwicklungsprozess [Müll07]	39
Abbildung 21: Digitale Fabrik als Schalen-Modell.....	44
Abbildung 22: Fokus der Digitalen Fabrik nach [VDI-4499].....	45
Abbildung 23: Digitale Absicherung im Kontext der digitalen Fabrik [WoSch05].....	46
Abbildung 24: Das Toyota-Produktionssystem, angelehnt an [Lik04]	48

Abbildung 25: Integration von Produkt-, Prozess- und Ressourceinformationen im Kontext der Digitalen Fabrik [WoSch05]	50
Abbildung 26: Prozess- und Systemintegration im Unternehmen [Ovtch05].....	52
Abbildung 27: Grundkonzept des heutigen Product-Lifecycle-Managementansatzes (in Anlehnung an [Abr06a])	54
Abbildung 28: PLM als Integration zwischen der produktzentrischen und der ressourcenorientierten Sicht [Kar06].....	55
Abbildung 29. Wissenstreppe nach North [North98]	57
Abbildung 30: Die Bausteine des Wissensmanagement-Prozesses (nach [Prob97])	59
Abbildung 31: Aufbau eines Expertensystems (in Anlehnung an [Gottlob1990])	60
Abbildung 32: Ergebnisse der Analyse existierender Ansätze.....	65
Abbildung 33: Grundaufbau der Methodik 2REUSE.....	71
Abbildung 34: Erste Phase der Methodik	73
Abbildung 35: Phase zwei der Methodik	81
Abbildung 36 Beispielhafte Kategorisierung	82
Abbildung 37: Lösungsvorlage	85
Abbildung 38: Phase drei der Methodik	87
Abbildung 39: Portfolio-Entscheidungsmatrix (Quelle: Boston Consulting Group)	88
Abbildung 40: Integration in den Entscheidungs- und Änderungsmanagementprozess	89
Abbildung 41: Integration in den Fahrzeugentwicklungsprozess (Quelle: Daimler).....	90
Abbildung 42: Phase vier der Methodik	92
Abbildung 43: Architektur des Lebenszyklus-orientierten Informationsmodells (in Anlehnung an [And07])	96
Abbildung 44: Modell zur Integration der Lebenszyklusphasen [Stanev09c].....	98
Abbildung 45: Abbildung von Produktdaten im Produktlebenszyklus [Stanev09c].....	99
Abbildung 46: Informationsmodell für die produktionsorientierte Analyse [Stanev09c]	100
Abbildung 47: Systemarchitektur des Software-Prototyps und die Einbindung in die IT-Landschaft der Anwenderunternehmen	105
Abbildung 48: Die Schichten des Frameworks mit eingesetzten Technologien [MyCar]	108
Abbildung 49: Assoziation von Entitäten mit Attributen und deren Werten [MyCar].	111

Abbildung 50: Komponenten zur hierarchischen Verwaltung von Daten [MyCar].....	112
Abbildung 51: Strukturen zur Berechnung von Bedingungen [MyCar].....	113
Abbildung 52: Die graphische Benutzeroberfläche des Software-Prototyps.....	114
Abbildung 53: Zusammenbau der Fronttürmodule von <i>Demo-1</i> bzw. <i>Demo-2</i> [MyCar]	120
Abbildung 54: Die Rohbaulinie für die Fertigung der Fronttür von <i>Demo-1</i> [MyCar]	121
Abbildung 55: Fügefolge der Fronttür von <i>Demo-1</i> auf <i>Rohbau-1</i> [MyCar].....	122
Abbildung 56: Fronttürmodul vom <i>Demo-2</i> im Software-Prototyp.....	123
Abbildung 57: <i>Rohbau-1</i> , abgebildet im Software-Prototyp.....	124
Abbildung 58: Fügefolge der Fronttür von <i>Demo-2</i> auf der Linie <i>Rohbau-1</i> [MyCar]	125
Abbildung 59: Aggregation und Visualisierung der Ergebnisse nach der Ausführung der produktionsorientierten Produktuntersuchung	128
Abbildung 60: Änderungen bei der Station 4 in der ersten Alternative [MyCar]	130
Abbildung 61: Layout der gesamten Rohbaulinie bei der Alternative B [MyCar]	132
Abbildung 62: Kosten-Nutzen-Verhältnis der beiden Änderungsalternativen	135
Abbildung 63: Lösungstemplate für die Änderungsalternative A.....	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fahrzeugplattformen mit den höchsten Stückzahlen (Quelle: PWC)	41
Tabelle 2: Ebenenmodell von Wissen [Seu98].....	58
Tabelle 3: Ausgewählte Kontrollstrategien für Expertensysteme [Oem91]	61
Tabelle 4: Produktionsorientierte Produktattribute.....	75
Tabelle 5: Produktionsorientierte Ressourcenattribute	75
Tabelle 6: Produktionsorientierte Prozessattribute	76
Tabelle 7: Prozesszusicherungen als logische Bedingungen	78
Tabelle 8: Beispielhafte Regeln für die produktionsorientierte Analyse	79
Tabelle 9: Strukturierung der Zielgrößen.....	83
Tabelle 10: Technologie- und prozessbezogene Anforderungskategorien	93
Tabelle 11 Bezugsobjekt und Bezugshierarchie bezogene Einordnung grundsätzlicher Validierungskategorien innerhalb des validierungstechnischen Bezugsrahmens.	127
Tabelle 12: Ermittelte Problembereiche durch die Anwendung der produktionsorientierten Produktanalyse der untersuchten Bezugsobjekte.....	129
Tabelle 13: Notwendige Änderungen bei der Alternative A.....	131
Tabelle 14 Nutzenpotenziale der Änderungsalternativen	133
Tabelle 15: Kostenvergleichsrechnung der Änderungsalternativen A und B sowie einer konventionellen Alternative innerhalb des kostenrechnerischen Bezugsrahmens	134

Abkürzungsverzeichnis

2REUSE	Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Wiederverwendung von Produktionssystemen
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
AutomationML	Automation Markup Language
BCG	Boston Consulting Group
BDE	Betriebsdatenerfassung
BL	Business Logik
BRIC	Brasilien, Russland, Indien und China
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality assurance
CE	Concurrent Engineering
CRM	Customer Relationships Management und
CSS	Cascading Style Sheets
DAL	Data Access Layer
DAO	Data Access Object
DBMS	Database Management System
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DfX	Design for X
DIN	Deutsches Institut für Normung
ERP	Enterprise Resource Planning
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Failure Modes Effects Analysis

GUI	Graphical User Interface
ISO	International Organization for Standardization
JDK	Java Development Kit
JRE	Java Runtime Environment
JS	Java Skript
JSP	Java Server Pages
MyCar	EU-Förderprojekt: Flexible Assembly Processes for the Car of the 3rd Millennium
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
POJO	Plain Old Java Object
PPA	Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung
PPRV-Modell	Produkt-, Prozess-, Ressource- und Validierungsmodell
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerung
SCM	Supply Chain Management
SQL	Structured Query Language
SVG	Scalable Vector Graphics
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
XML	Extensible Markup Language

Kapitel 1

1 Einführung

1.1 Motivation und Einleitung

Die heutigen Industrieunternehmen sehen sich als Folge des steigenden Wettbewerbs- und Innovationsdrucks zunehmend zum Handeln im Spannungsfeld von wirtschaftlichem Erfolg und sozialer Verantwortung aufgefordert. Die durch die weltweite Finanzkrise intensivierte schwankende Marktnachfrage und globale Überkapazitäten in der Produktion bei gleichzeitigem Wachstumsrückgang verstärken diesen Effekt. In Zeiten immer kürzer werdender Produktlebenszyklen, stetig steigender Produkt- und Variantenvielfalt und Beschleunigung des Produktentstehungsprozesses sind für den Unternehmenserfolg sowohl anspruchsvolle und qualitativ hochwertige als auch individuell auf den Kunden zugeschnittene Produkte entscheidend. Vor diesem Hintergrund haben Innovationen, in deren Rahmen akute Anpassungen der Produktion auf geänderte Umwelteinflüsse sowie eine nachhaltige kosten- und bedarfsgerechte Produktherstellung untersucht werden, für Produktionsunternehmen im internationalen Wettbewerb eine herausragende Bedeutung. Im Bestreben, den wachsenden Anforderungen gerecht zu werden, ergibt sich für produzierende Unternehmen die Notwendigkeit nach Wiederverwendung von Produktionssystemen bei gleichzeitiger Steigerung der zu produzierenden Produktvarietät.

Wiederverwendung und Optimierung in der Produktion reichen hierbei nicht mehr aus, um eine in diesem Zusammenhang angestrebte Steigerung der Kosten- und Ressourceneffizienz erfolgreich zu meistern. Vielmehr bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der Entwicklungsprozesse und somit einer einhergehenden integrierten Betrachtung des Produktes und des Prozesses. Neben der Prozess- und Strukturentwicklung in der Produktion leisten somit die Gestaltung des Produktes wie auch die Koordination und Synchronisation von Konstruktion und Produktionsplanung

im Sinne des Concurrent bzw. Simultaneous Engineering einen nennenswerten Beitrag. Abbildung 1 stellt die Kostenverteilung in den verschiedenen Projektphasen des Produktentwicklungsprozesses vor. Die Gestaltung des Produktes in der Entwicklung und Konstruktion bestimmt ca. 80 % der Gesamtprojektkosten. Dies bestätigt die generelle Tendenz zur Verlagerung von Entwicklungsaufgaben in den frühen Phasen der Produktentwicklung [Vaj94].

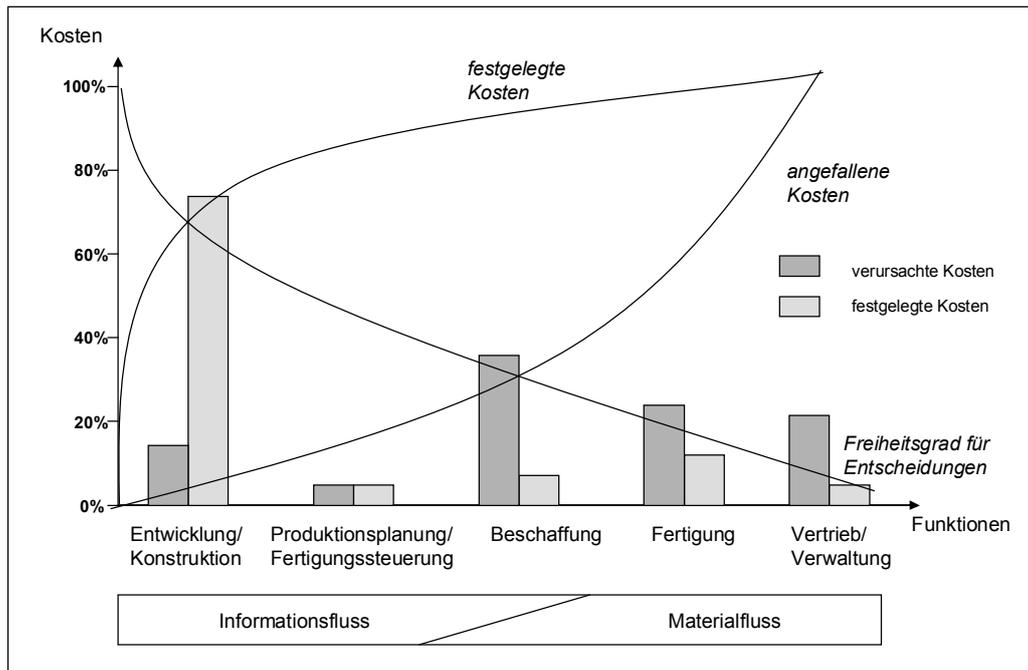


Abbildung 1: Entscheidungsmöglichkeit und Kostenfestlegung in den Bereichen des Produktentwicklungsprozesses (in Anlehnung an [Vaj94] und [Ehrl03])

In diesem Kontext ist die frühzeitige Untersuchung und Absicherung von produktionsbezogenen Anforderungsabstimmungen für die Wiederverwendung von Produktionssystemen ein signifikanter Faktor für hohe Endqualität und minimierten technischen Änderungsbedarf beim Produktionsanlauf, nach dem Motto „Do it right the first time“. Die Umsetzung und Verwaltung kontinuierlicher Produkt- und Prozessabsicherung tragen somit zur Gesamtkostenersparnis und Effizienzsteigerung bei.

Weiterhin gilt: Für die systematische und nachhaltige Umsetzung der Konzepte muss eine entsprechende informationstechnische IT-Umgebung zur Gewährleistung eines Lebenszyklusphasen-übergreifenden und medienbruchfreien Datenaustauschs bei gleichzeitiger Unterstützung der begleitenden Engineering-Prozesse sowie zur reibungslosen Integration in die Geschäftsprozesse geschaffen werden.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

In diesem Zusammenhang wird eine methodische und informationstechnische Unterstützung für die unterschiedlichen Disziplinen des Produktentwicklungsprozesses im Sinne des Concurrent Engineering benötigt, um bestehende Produktionssysteme für die Fertigung von neu zu entwickelnden Produkten anzupassen. Dabei gilt als Ziel, die Kosten-, Zeiten- und Flexibilitätsaspekte in ein optimales Verhältnis zueinander zu bringen. Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist daher die Erarbeitung entsprechender Konzepte zur zweckmäßigen methodischen Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses für die erfolgreiche Integration von neu zu entwickelnden Produkten in sich bereits in Betrieb befindliche Produktionssysteme. Die zu untersuchenden Fachdisziplinen, die sich aus dieser Zielsetzung ergeben, sind die Produktentwicklung, die Produktionsplanung sowie das Informationsmanagement. Vor diesem Hintergrund sind folgende Ziele zu erbringen:

Ziel 1.1 *Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Konzipierung einer Methodik zur Wiederverwendung von Produktionssystemen. Hierbei sind die besonderen Randbedingungen in Hinblick auf die Bewahrung bzw. Erweiterung des bisherigen Produktionsprogramms zu beachten.*

Infolge der veränderten Marktsituation ist die Industrie mit der Problematik konfrontiert, die Produktvarietät bei gleichzeitig sinkenden Stückzahlen zu erhöhen. Dazu müssen globale Überproduktionskapazitäten abgebaut werden. Um diesen Markt- und Wettbewerbsdruck in den Griff zu bekommen, sollen zur Produktion von neuen Produkten lediglich sich bereits in Betrieb befindliche Produktionskapazitäten umgebaut, umgerüstet oder umkonfiguriert werden, bei gleichzeitiger Bewahrung des bisherigen Produktionsprogramms.

Im Zuge dieser Entwicklung werden entsprechende Methoden zur systematischen Unterstützung der Entwicklung neuer Produkte und deren Integration in existierende Produktionseinrichtungen benötigt. Aus dieser Notwendigkeit heraus ergibt sich das zweite Ziel dieser Arbeit.

Ziel 1.2 *Die Entwicklung einer Methode zur produktionsorientierten Bewertung des Produktentwicklungsstandes hinsichtlich technischer Herstellbarkeit in einem vordefinierten Produktionssystem.*

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, werden in den frühen Phasen der Produktentstehung etwa 80 % der Gesamtprojektkosten festgelegt. Daher sind die Anwendung der zu entwickelnden Methode in den frühen Phasen der Produktentstehung und die Unterstützung des operativen Managements bei der Entscheidungsfindung weitere Aspekte, die es zu untersuchen gilt. Des Weiteren soll die Methode als Werkzeug zur Bewertung der Folgen von Designentscheidungen auf die Produktherstellung eingesetzt und somit auch zur Unterstützung der Wiederverwendung von Produktionssystemen und zur Steigerung der Produktvarietät angewandt werden.

Die Anwendbarkeit der entwickelten Methodik soll anhand eines Fallbeispiels prototypisch nachgewiesen und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit im industriellen Umfeld demonstriert werden. Hierzu bedarf es der entsprechenden Informationsmodelle, die die informationsbezogenen Aspekte auf konzeptioneller Ebene abbilden und die Basis für eine integrierte IT-Umgebung darstellen. Dazu müssen die relevanten Produktdaten von den unterschiedlichen Phasen der Produktentwicklung erfasst und dokumentiert werden. Somit lautet das dritte Ziel der Arbeit:

Ziel 1.3 *Die Konzipierung eines Informationssystems mit den entsprechenden Informationsmodellen zur Lebenszyklus-orientierten und medienbruchfreien Erfassung und Aufbewahrung sowie zum Austausch von konzeptrelevanten Daten.*

Die informationstechnische Unterstützung spielt bei der Gestaltung optimaler Engineering-Prozesse eine entscheidende Rolle. Hierbei bilden die Informationsmodelle die konzeptionelle Grundlage für eine nachhaltige und effiziente Realisierung von geeigneten Informationssystemen. Somit ist ein wichtiger Bestandteil dieser Dissertation das Modellieren und Management von für eine produktionsorientierte Produktanalyse relevanten Informationen. Dabei müssen nicht nur geometrische Produktdaten verwaltet werden, vielmehr werden Informationen über die Semantik der Elemente gefordert. Aufgrund des zeitlichen und phasenbezogenen Charakters dieser Daten ergibt sich die Notwendigkeit, Produktdaten aus den späteren Phasen der Produktentwicklung über geeignete Instrumente und Prozesse in die zeitlich vorgelagerten Planungsphasen zu integrieren.

Die vorliegende Dissertation basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Rahmen des EU-geförderten Projektes MyCar (Flexible Assembly Processes for the Car of the 3rd Millennium) [MyCar] gewonnen wurden. Das Projekt behandelt vorwiegend vier Forschungsschwerpunkte: die selbstadaptive Fabrik, die netzwerkbasierte Fabrik, die virtuelle Fabrik sowie die wissensbasierte Fabrik. Eines der Kerngebiete innerhalb

der virtuellen Fabrik ist die produktionsorientierte Produktanalyse zur Wiederverwendung von Produktionssystemen. Die methodische Aufarbeitung dieses Schwerpunkts wurde im Rahmen des MyCar-Projektes maßgeblich von dem Autor dieser Dissertation durchgeführt und resultiert in der Thematik der Arbeit. Der Autor hat beim Erzielen aller in dieser Forschungsarbeit beschriebenen Ergebnisse mitgewirkt. Die übernommenen Resultate wurden entsprechend den geltenden Richtlinien für Literaturangaben dokumentiert [MyCar]. Die praktische Tauglichkeit der erarbeiteten Methodik im industriellen Umfeld wird anhand eines im Kontext des MyCar-Projektes entwickelten Software-Prototyps demonstriert (siehe Kapitel 5).

1.3 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist wie in Abbildung 2 dargestellt aufgebaut.

Nach der Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes legt Kapitel 2 den Fokus auf die gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie und stellt die gegenwärtigen Herausforderungen der Industrie dar. Darauf aufbauend wird im Anschluss insbesondere auf die Anforderungen an eine methodische und informationstechnische Unterstützung eingegangen.

In Kapitel 3 werden die existierenden Ansätze aus der Forschung und Industrie in Bezug auf die gestellten Forschungsziele und diskutierten Herausforderungen an die Industrie analysiert. Im Anschluss werden die vorhandenen Ansätze hinsichtlich der aufgestellten Anforderungen an eine methodische und informationstechnische Unterstützung einer kritischen Diskussion unterzogen und zusammenfassend deren Defizite dargelegt.

Kapitel 4 stellt die neu entwickelte Methodik 2REUSE vor. Nach der Vorstellung der speziell an die Methodik gestellten Ziele wird das methodische Vorgehen vorgestellt und auf die grundlegenden Definitionen eingegangen. Anschließend werden die einzelnen methodischen Schritte von der Analyse der prinzipiellen Herstellbarkeit über die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit bis hin zur Integration in die Geschäftsprozesse diskutiert. Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Lebenszyklus-orientierte Informationsmodell zur informationstechnischen Unterstützung.

Im Rahmen von Kapitel 5 wird die praktische Anwendbarkeit des entwickelten Konzeptes anhand eines Beispiels aus der Automobilindustrie exemplarisch dargestellt und mit Hilfe des im Projekt MyCar entworfenen Software-Prototyps demonstriert.

Kapitel 6 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und schließt die Forschungsarbeit mit einem Ausblick ab.

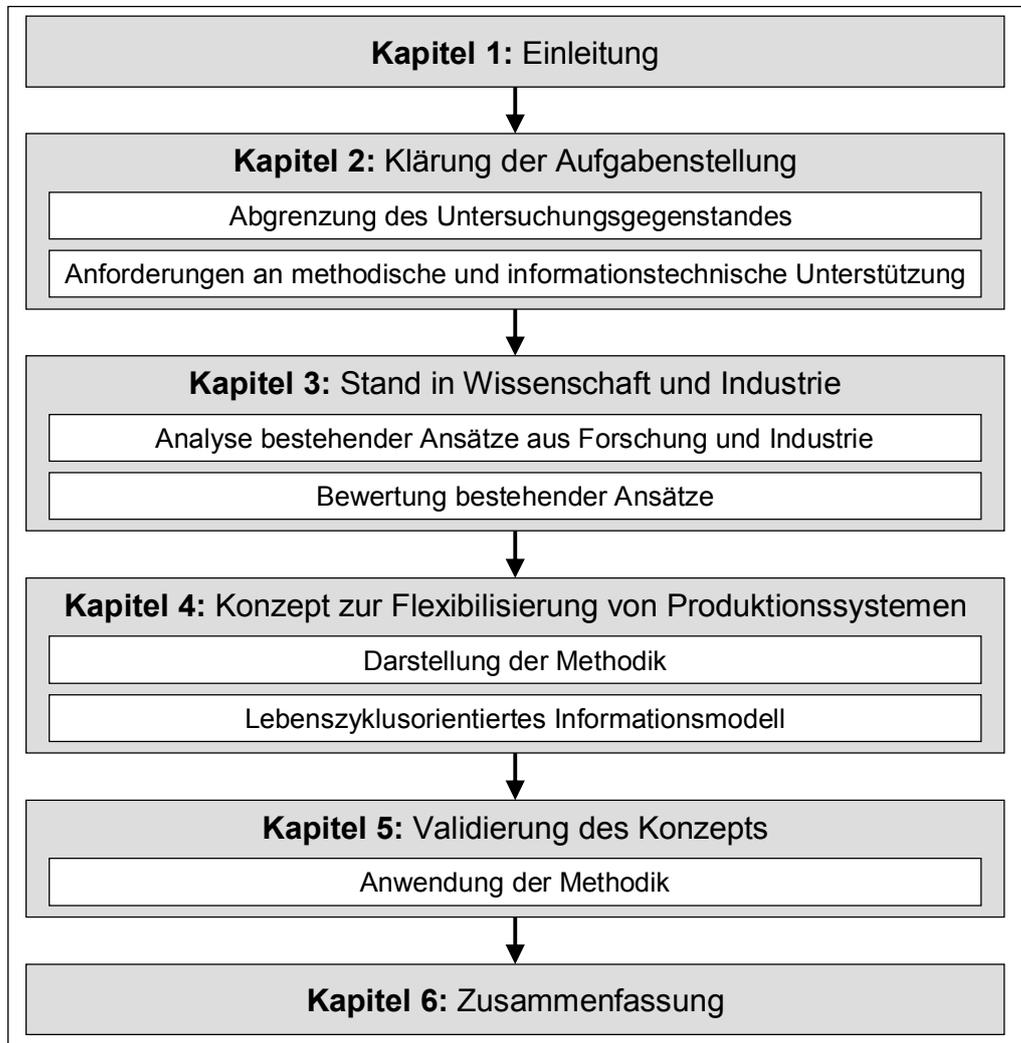


Abbildung 2: Methodisches Vorgehen

Kapitel 2

2 Klärung der Aufgabenstellung

Ziel des vorliegenden Kapitels ist die Aufklärung und Beschreibung der konkreten Aufgabenstellung. Hierbei wird zunächst auf die zu Grunde liegenden Begriffe und Definitionen eingegangen. Danach wird die gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie dargestellt und im Anschluss werden die Herausforderungen an die Industrie erläutert. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden die Anforderungen diskutiert, die eine Umsetzung der im Kapitel 1.2 beschriebenen Ziele zu erfüllen hat.

2.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

2.1.1 Allgemeine Begriffsklärung

Zu diesem Zweck werden zunächst die grundlegenden Begriffe eingeführt, wie sie im Rahmen dieser Forschungsarbeit verwendet werden. Gemäß den im Abschnitt zuvor festgelegten Zielen ist insbesondere eine Abgrenzung zwischen den Begriffen Methodik und Methode zweckmäßig. Weitere zentrale Begriffe wie Produkt, Prozess, Ressource und Produktionssystem sind entsprechend zu definieren.

Der Begriff Methode

Nach VDI-2223 sowie auch im Rahmen dieser Arbeit ist unter dem Begriff Methode ein „planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels“ mit der Bestrebung zu verstehen, ein optimales Verhältnis von Ergebnisqualität und Projektaufwand zu gewährleisten. Damit ist eine Methode ein Verfahren, das auf einem Regelsystem

aufbaut und zur Erlangung von wissenschaftlichen und praktischen Ergebnissen dient [Ehr103].

Der Begriff Methodik

Laut Müller ist eine Methodik das Teilgebiet einer Klasse wissenschaftlicher Disziplinen, das sich mit dem Methodenaufbau des jeweiligen Fachgebiets befasst und die normativen Verfahrensweisen festlegt [Müll90]. Eine Methodik ist das planmäßige Vorgehen unter Einschluss von mehreren Methoden [PaBe07].

Der Begriff Produkt

In Anlehnung an DIN 33400 wird unter einem Arbeitsgegenstand das im Zuge eines Arbeitsablaufs unter Verwendung der Betriebsmittel/Betriebshilfsmittel veränderte (be- oder verarbeitete, transportierte oder gelagerte) Objekt verstanden. Die Art der Veränderung wird durch die Ablaufbeschreibung bestimmt. In der vorliegenden Forschungsarbeit und nach DIN EN ISO 9001 wird ein Produkt als „das Ergebnis von Tätigkeiten und Prozessen“ betrachtet.

Der Begriff Prozess

Ein Prozess ist die Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch das Materie, Energie oder auch Informationen umgeformt, transportiert oder auch gespeichert werden [Schwa01]. Ein Prozess ist nach DIN ISO 8402 ein „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“. Dabei kann ein Prozess aus mehreren Teilprozessen bestehen.

In Bezug auf die Produktion ist eine Ablaufbeschreibung eine Darstellung der Verknüpfung verschiedener Tätigkeiten, die zur Erstellung eines Produktes oder von dessen Einzelteilen und Baugruppen notwendig sind. Dabei werden Abhängigkeiten der einzelnen Tätigkeiten besonders auch unter einem zeitlichen Aspekt ausgewiesen und in einer entsprechenden Reihenfolge beschrieben.

Der Begriff Ressource

Unter Ressourcen werden alle Mittel verstanden, die zur Durchführung eines Prozesses oder allgemein zur Erfüllung einer Aufgabe notwendig sind. Im Kontext der Produktion bezeichnet der Begriff in Anlehnung an REFA u. a. Betriebsstätte (Halle und Infrastruktur) und Arbeitsplatz, Betriebsmittel (Elemente der Produktionsanlage) und Betriebshilfsmittel, Personal, Auftrag sowie Aufgaben- und Ablaufbeschreibung, jedoch nicht Arbeitsgegenstand oder das zu produzierende Produkt selbst. Die Betriebsmittel und Betriebshilfsmittel richten sich nach dem Produktionsprozess. Zu seiner

Durchführung sind bestimmte Betriebs- und Betriebshilfsmittel erforderlich. Betriebsmittel werden nach VDI 2815 in Ver- und Entsorgungsanlagen, Fertigungsmittel, Mess- und Prüfmittel, Fördermittel, Lagermittel, Organisationsmittel und Innenausstattung gegliedert. Betriebshilfsmittel (Hilfs- und Betriebsstoffe) werden in der Produktion eingesetzt, um den Herstellungsprozess zu ermöglichen, oder gehen bei der Fertigung direkt in das Produkt ein [Wien93].

Der Begriff Produktionssystem

Nach Nyhuis et al. wird als Produktionssystem ein soziotechnisches System bezeichnet, welches Input (z.B. Betriebsmittel) in wertschöpfenden (z. B. Fertigung, Montage) und assoziierten Prozessen (z. B. Transport) zu Output (z. B. Produkten, Reststoffen) transformiert [Nyh08]. Das Ziel eines Produktionssystems ist die Herstellung eines End- oder Zwischenproduktes. Dabei bestimmt eine durch die Aufbau- und Ablauforganisation definierte Aufeinanderfolge von Transformationen den inneren Aufbau und die Steuerung des Ablaufs der Prozesse [Ever96].

Bei einem Produktionssystem werden die Produkte durch entsprechende Ressourcen sowie auch Menschen erzeugt. Die Eigenschaften einer Ressource werden durch die oben aufgeführte Definition festgelegt. Der Mensch charakterisiert sich durch seine Kenntnisse und Fähigkeiten. Der Aufbau des Produktionssystems wird durch Methoden bestimmt und definiert die Aufbau- und die Ablauforganisation. Somit ist ein Produktionssystem ein Zusammenwirken von Ressourcen, Methoden und Menschen [Cis02].

Relation zwischen Produkt, Prozess und Ressource

Aus diesen Definitionen ergibt sich für die Verknüpfung zwischen Produkt, Produktionsprozess und Produktionsressource die in Abbildung 3 dargestellte Relation.

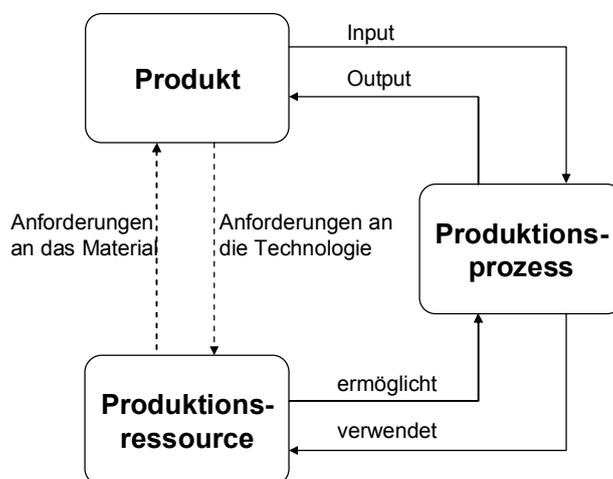


Abbildung 3: Relationen zwischen Produkt, Prozess und Ressource [Stanev09a]

Im Mittelpunkt einer produktionsbezogenen Betrachtung liegt die Produktionsressource. Sie stellt Anforderungen an das Produkt, z.B. Material, und schafft die Voraussetzungen für seine Fertigung. Das Produkt ist das Ergebnis der Ausführung eines Produktionsprozesses unter der Verwendung einer Produktionsressource und der Transformation anderer Produkte.

Im Betrachtungsraum dieser Arbeit lassen sich die Konzepte Produkt, Produktionsprozess und Produktionsressource in domänenspezifische Bezugshierarchien eingruppiieren (vgl. Abbildung 4). Bei der Festlegung dieser Hierarchien ist von der Randbedingung auszugehen, dass die Herstellung von produktbezogenen Elementen durch entsprechende prozessbezogene Elemente auf der gleichen Ebene erfolgt [Haa99].

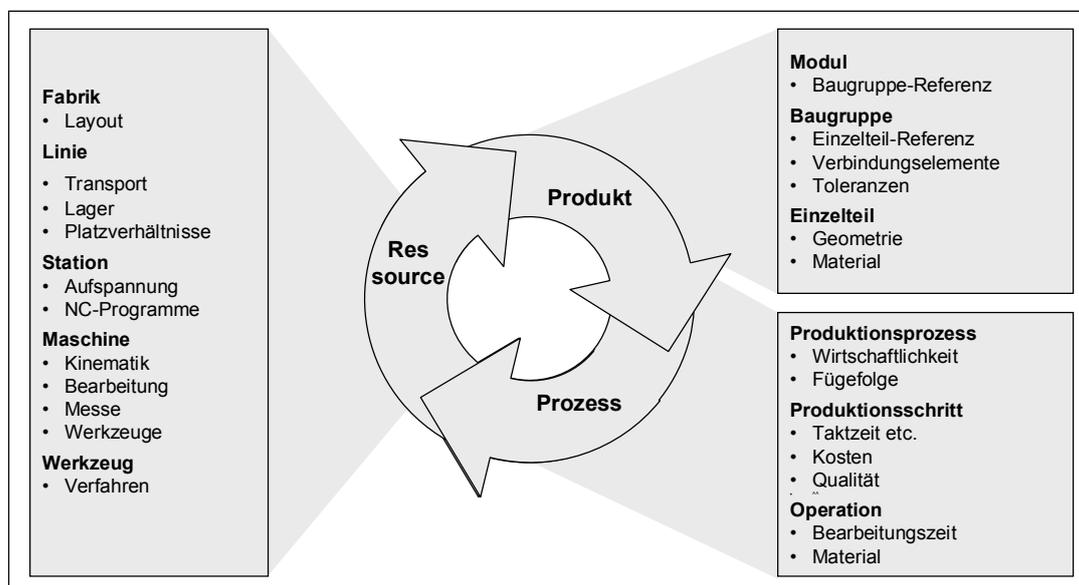


Abbildung 4: Hierarchien von Produkt, Prozess und Ressource (nach [Haa99])

2.1.2 Flexibilität und Wiederverwendung aus Sicht der Produktion

Laut Mandelbaum bezeichnet die Flexibilität eines Produktionssystems die Fähigkeit, sich an geänderte Bedingungen anzupassen [Mand78]. Auf Basis dieser speziellen Fähigkeit ist das Ziel von flexiblen Fertigungssystemen die Gewinnmaximierung durch die wirtschaftliche Fertigung einer breiten Vielfalt von Erzeugnissen. Die Einhaltung von Fertigungszeitpunkten und die Maximierung der gesamten Systemausnutzung stehen hierbei im Vordergrund [Dank95].

Smitz definiert die Flexibilität eines Systems als ihre Eigenschaft, die Ungewissheit und die Dynamik komplexer Umweltsituationen zu bewältigen und somit sich auf

veränderte Gegebenheiten, wie z.B. auf einen sich veränderten Input, einzustellen [Schmit94]. In diesem Zusammenhang herrscht in Industriekreisen die Auffassung, die Flexibilität „als Teil eines strategischen Unternehmungskonzeptes im Sinne einer Versicherung gegen mögliche Veränderungen in der Zukunft, zur Begegnung von Risiken und zur Wahrnehmung von Chancen zu verstehen“ [Schmit94]. Somit wird die Flexibilität als ein Instrument zur langfristigen Sicherung der Unternehmenspositionen im weltweiten Wettbewerb aufgefasst.

In Anlehnung an Schmitz ([Schmit94]) und Abele et al. ([ALW06]) wird im Rahmen dieser Arbeit mit Flexibilität das technische Änderungsvermögen eines Produktionssystems bezeichnet, sich schnell und mit geringem finanziellen Aufwand an wechselnde Fertigungsalternativen anzupassen. In der Forschung wird diese Flexibilität auch als Mixflexibilität bezeichnet und gibt die Auslegung eines Produktionssystems hinsichtlich der Fertigung einzelner Produktvarianten wieder [Rog09]. Hierzu verdeutlicht Abbildung 5 die relevanten Größen.

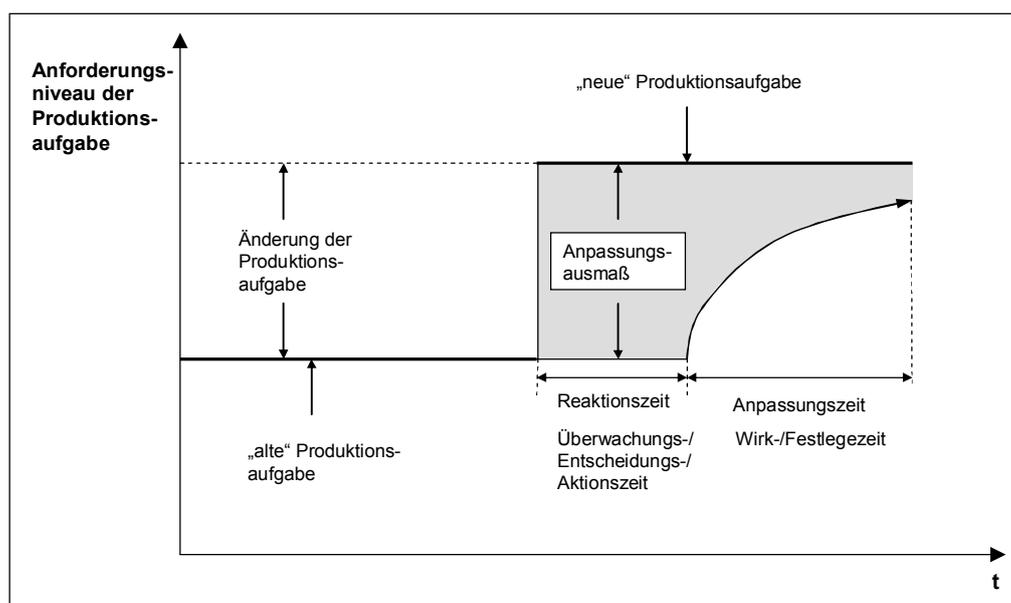


Abbildung 5: Flexibilität eines Produktionssystems (in Anlehnung an [Schmit94])

Die Wiederverwendung eines Produktionssystems wird im Rahmen dieser Dissertation als das Potenzial eines Produktionssystems verstanden, bei Bedarf technische Veränderungen und Innovationen durchführen zu können zwecks Fertigung neuer Produktvarianten. In Abgrenzung zur Flexibilität sind keine festen Grenzen hinsichtlich finanzieller Restriktionen gesetzt. Bedingt durch die lange Lebensdauer von Produktionstechnologien greifen zur Gewährleistung einer hohen Wiederverwend-

barkeit jedoch produzierende Unternehmen zu Methoden der Flexibilisierung von Produktionsanlagen [Nyh08].

2.1.3 Der Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie

Der Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie, an dessen Ende ein modernes Kraftfahrzeug steht, erstreckt sich in der Regel über mehrere Jahre und definiert eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitsabläufe von der Konzeptidee bis zur Herstellung des Produktes.

Wie Abbildung 6 zu entnehmen ist, werden diese Arbeitsvorgänge in die fünf Phasen Konzeptentwicklung, Detaillierung, Produktabsicherung, Produktionsplanung und Planungsabsicherung eingeordnet, wobei der Gesamtprozess in mehrere sogenannte Quality Gates untergliedert wird. Diese im industriellen Umfeld auch als Meilensteine bezeichneten Zwischenziele dienen der Verbesserung und Gewährleistung der Projekttransparenz. An den vorgegebenen Prozesszeitpunkten wird der aktuelle Projekt-Ist-Stand den Soll-Vorgaben gegenübergestellt und der jeweilige Projektstatus anhand vordefinierter Messgrößen evaluiert. Das Ergebnis dieser Bewertung dient als Entscheidungsgrundlage für das weitere Projektvorgehen.

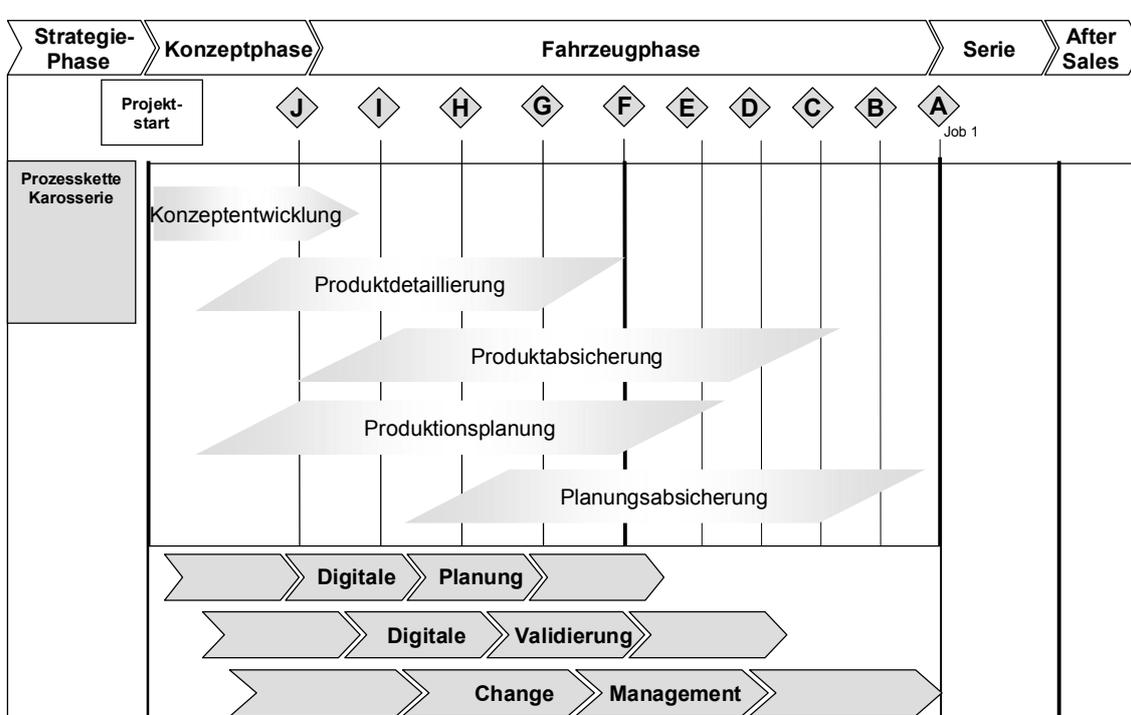


Abbildung 6: Unterschiedliche Phasen der Produktentwicklung in der Automobilindustrie (Quelle: Daimler)

Die erste Phase des Produktentstehungsprozesses, die Konzeptentwicklung, startet, sobald der Bau eines neuen Fahrzeugmodells entschieden ist. Basierend auf unternehmensspezifischen Zielen, Marktumfragen sowie Bezugs- und Erfahrungswerten werden die zu realisierenden Produktmerkmale im Rahmen erster Konzeptideen festgelegt. Der Schwerpunkt dieser ersten Phase liegt auf der Fahrzeugarchitektur und deren Design sowie auf den zu verwendenden Basistechnologien, wobei neben funktionalen Produkteigenschaften auch Fragestellungen hinsichtlich der Produktion von Relevanz sind. Zu diesem frühen Prozesszeitpunkt wird beispielsweise eine Aluminiumbauweise entschieden. Ergebnis der ersten Phase ist das abgestimmte Produktkonzept.

Die weitere Ausarbeitung und Spezifizierung des Produktkonzeptes ist Gegenstand der zweiten Prozessphase, der Detaillierungsphase. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung technischer Lösungen mit dem Ziel, die geforderten Merkmale sicherzustellen. Zu diesem Zweck werden beispielsweise Komponenten aus anderen Baureihen übernommen und angepasst bzw. neu entwickelt, bis hin zum endgültigen Design Freeze. Die Konstruktion des Fahrzeugs ist am Ende der Detaillierungsphase zum größten Teil abgeschlossen.

In der dritten Phase, der Produktabsicherung, werden auf dem zu einem hohen Reifegrad ausgearbeiteten Produktmodell mehrere Absicherungen durchgeführt. Auf Basis digitaler Produktmodelle werden beispielsweise Zugänglichkeitsuntersuchungen, Kollisionsprüfungen, Ein- und Ausbauuntersuchungen ausgeführt sowie die Crashesicherheit mittels aufwendiger Prüfverfahren getestet. Weitere Erkenntnisse und Problemfelder bezüglich der Baubarkeit und Funktion des Fahrzeugs ergeben sich aus dem Aufbau der physischen Versuchsmodelle, mit welchen eine Vielzahl von realen Überprüfungen (wie z.B. Stresstest) durchgeführt wird. Aufnahme Konzepte, Spann- und Fixierkonzepte sowie Fügekonzepte werden während des Prototypenbaus abgesichert und die dabei aufgedeckten Defizite im Rahmen eines Änderungsprozesses behoben.

Während der vierten Phase, der Produktionsplanung, definieren Spezialisten aus dem Fachbereich der Produktionsplanung das Produktionssystem in enger Kooperation mit Experten aus dem Bereich der Produktentwicklung. Dabei stehen im Mittelpunkt sowohl die Beschreibung aller Fertigungsprozesse als auch die Spezifikation der zur Herstellung des Fahrzeugs notwendigen Betriebsmittel. Gegenstand der Arbeitsaktivitäten ist beispielsweise die Festlegung der Fügefolge und der Taktzeit oder der Einsatz von Spann- und Fixiervorrichtungen. Grundsätzlich startet die Produktionsplanungsphase zu einem möglichst frühen Zeitpunkt, in der Regel sobald die Produktdaten einen ausreichenden Reifegrad erreicht haben.

Um die Tauglichkeit des Produktionssystems in Bezug auf die Planungsprämisse sicherzustellen, erfolgt in der fünften Phase die Planungsabsicherung. Analog zur Produktabsicherung wird mit der Durchführung der Untersuchungen begonnen, sobald handfeste Informationen über den Planungsstand vorliegen. Die Planungsabsicherung umfasst den sukzessiven Aufbau von verschiedenen Versuchskomponenten im Rahmen von mehreren Produktionstests. Dabei werden die sogenannten Baulose auf seriennahen Produktionsanlagen produziert.

Der Produktentstehungsprozess wird mit dem Ramp-up und dem Erreichen der vorgegebenen Produktionskapazitäten abgeschlossen.

2.2 Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen in der Praxis

Laut Porter existieren fünf Innovationskräfte des Wettbewerbs, die nachhaltige Wettbewerbsvorteile sichern und die Struktur einer Branche bestimmen können: Rivalität der Wettbewerber, Markt, Interaktion mit Lieferanten, Substitutionsgefahr durch Ersatzprodukte sowie Bedrohung durch neue Konkurrenten. Diese Innovationskräfte stellen keine Konstanten dar, sondern können von Unternehmen beeinflusst werden und sind je nach Branche unterschiedlich ausgeprägt [Port00]. Das Ziel des vorliegenden Abschnitts ist, die Innovationspotenziale in der Automobilindustrie zu analysieren sowie die Innovationstreiber und deren Konsequenzen für die Forschungsziele dieser Arbeit zu identifizieren.

2.2.1 Gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie

Die Herausforderungen in der Wertschöpfungskette der Automobilindustrie nehmen in den letzten Jahren ständig zu. Steigender Kostendruck, Produkt- und Produktionskomplexität sowie Globalisierung erfordern kontinuierliche Verbesserungen. Dabei werden gezielt ganzheitliche Ansätze verfolgt, um schnell auf veränderte Marktbedingungen und -situationen zu reagieren. Hierzu sind schlanke und flexiblen Prozesse, Strukturen und Bauten entlang der gesamten Wertschöpfungskette notwendig.

Globale Überproduktion

Die globalen Überkapazitäten bei gleichzeitigem Wachstumsrückgang in der Automobilindustrie sind im letzten Jahrzehnt zu einem der entscheidenden Faktoren für den massiven Kostendruck auf die Automobilhersteller und deren Zulieferer geworden.

Abbildung 7 stellt die Entwicklung der Produktionskapazitäten während der letzten 5 Jahre dar. Die Ursache dafür ist, dass die Produktion ständig der Nachfrage angepasst werden muss, um Verschwendung zu vermeiden (siehe Kapitel 3.2.3).

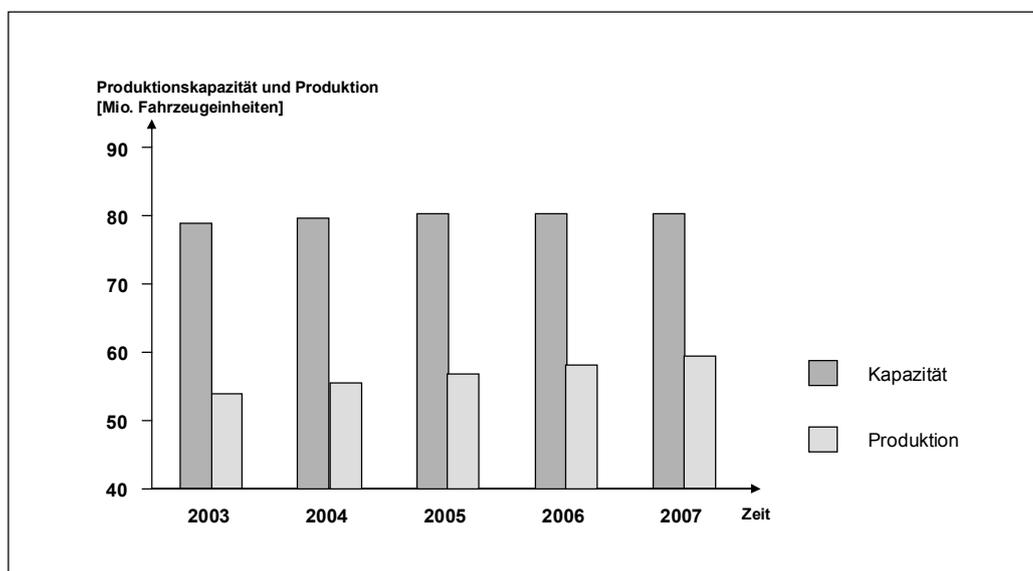


Abbildung 7: Entwicklung von Produktionskapazitäten [Mbt04]

Dennoch sind langfristig Konsequenzen für den Industriebau und die Entwicklungsprozesse nicht zu vermeiden. Der Industriebau soll zu kostenoptimierten Bauweisen gezwungen werden. Konzepte wie Wiederverwendung von bestehenden Produktionskapazitäten sowie flexible und modular aufgebaute Produktionslinien gewinnen immer mehr an Bedeutung [Rog09].

Erschließung neuer Märkte

Auf dem traditionellen Absatzmarkt der Automobilhersteller – der Triade Westeuropa, USA und Japan – zeichnet sich eine Tendenz der weitgehenden Sättigung ab [GoKa05]. Die schwache Nachfrage auf diesen Märkten führt zu einer Verstärkung der Wettbewerbsintensität und zu massivem Kostendruck auf die OEMs und deren Zulieferer [Nöth04]. Dies hat Auswirkungen auf den Industriebau und damit die Förderung nach kostenoptimierten Bauweisen.

Überdurchschnittliches Wachstum wird zukünftig nicht in der Triade stattfinden. Diese wird lediglich in den sogenannten BRIC-Staaten¹ erfolgen (siehe Abbildung 8), da in

¹ Die Abkürzung **BRIC** steht für die Anfangsbuchstaben der vier Staaten Brasilien, Russland, Indien und China und wurde vom Goldman-Sachs-Chefvolkswirt Jim O'Neill im Jahre 2003 geprägt.

diesen Regionen ein hohes Wirtschaftswachstum erwartet wird und die Fahrzeugdichte in Vergleich zu den industriellen Staaten relativ gering ist [Hell05].

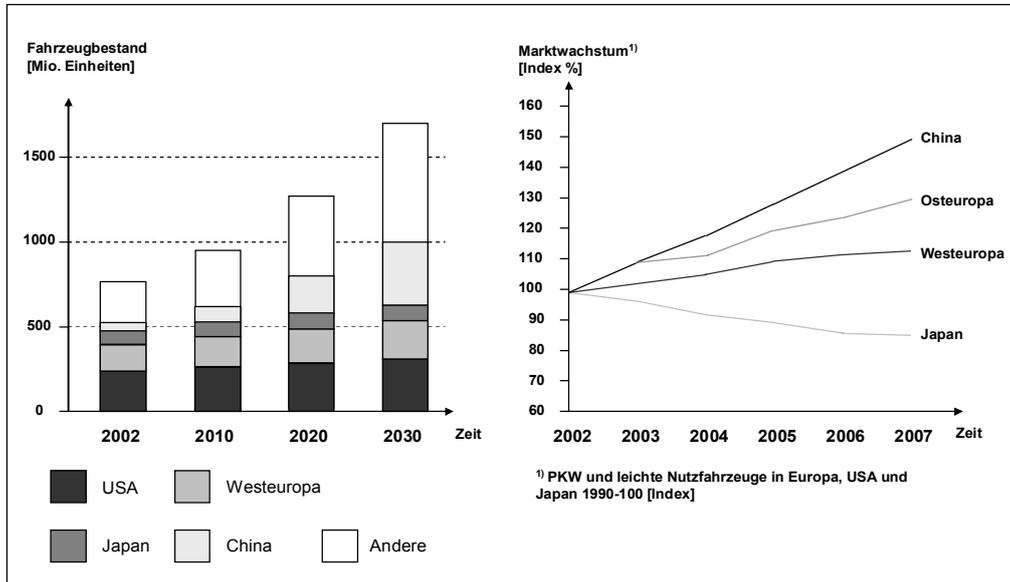


Abbildung 8: Entwicklung des Automobilmarktes [Kop08]

Allerdings ist es so, dass hier insbesondere die deutschen Automobilhersteller mit ihren technisch anspruchsvollen und somit teureren Modellen nicht den Markterwartungen entsprechen. Abbildung 9 fasst den beschriebenen Sachverhalt zusammen. Die derzeitige Marktentwicklung und der steigende Kostendruck auf die OEMs und deren Zulieferer haben als Konsequenz, dass die Produktion dem Markt folgt, und tragen somit zur Globalisierung der Produktion bei. Hierbei müssen zweckmäßig funktionierende und kostenoptimierte Produktionssysteme zur Verfügung gestellt werden [Ach05].

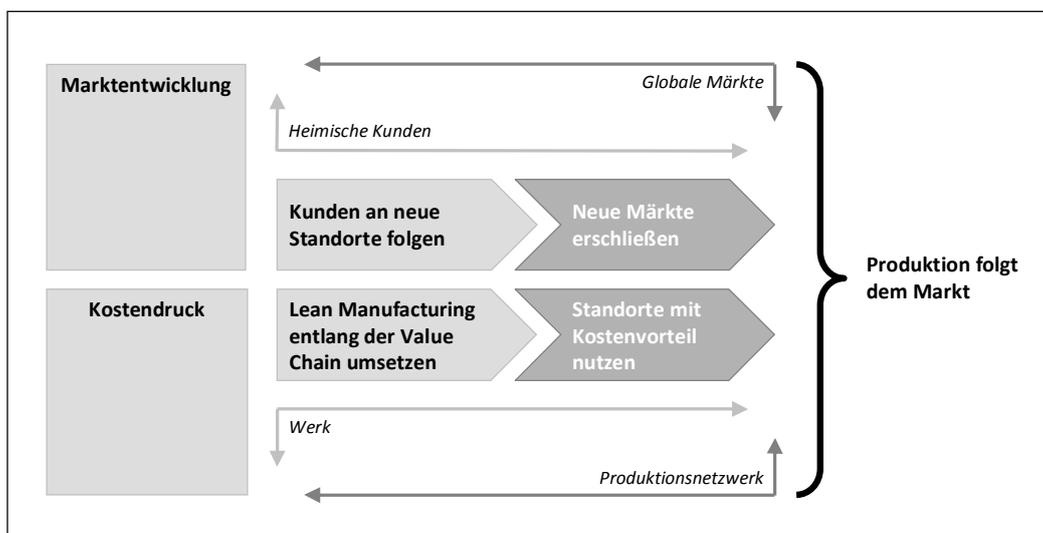


Abbildung 9: Entwicklung der globalen Produktion [Kop08]

Verkürzung des Modelllebenszyklus

In den letzten Jahren konnte eine zunehmende Konvergenz von Leistungs- und Qualitätsunterschieden einzelner Fahrzeughersteller beobachtet werden. Die steigenden Kundenansprüche und die Suche nach Alleinstellungsmerkmalen führen zu einem erhöhten Innovationsdruck, welcher die Produkte komplexer und damit fehleranfälliger macht [HaWa06]. Die Automobilhersteller sichern sich entsprechende Wettbewerbsvorteile durch Image- und Markenmanagement, Innovations- und Kostenführerschaft. Die Folgen dieser Entwicklung sind wie in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt, unter anderem kürzer werdende Modellzyklen, Verkürzung des Fahrzeugentstehungsprozesses und die Erweiterung des Produktportfolios [Nöth04].

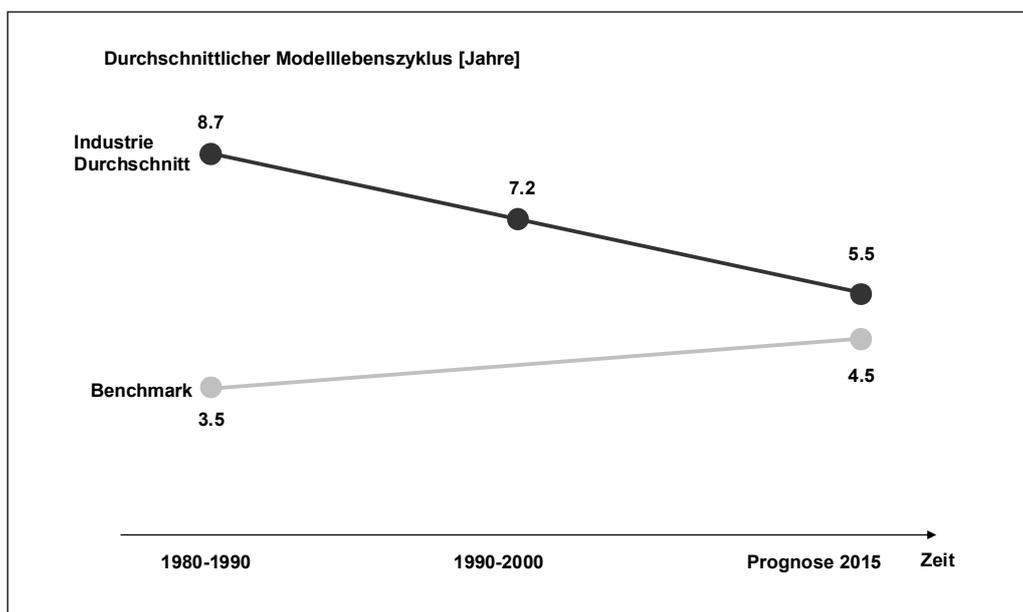


Abbildung 10: Verkürzung des Modelllebenszyklus [Mbt04]

Weitere Technologietreiber für immer kürzer werdende Modelllebenszyklen sind hier Design- und Crossover-Trends sowie Elektronik- und Software-Innovationen. Die Auswirkungen sind die Wiederverwendung und Flexibilisierung von existierenden Produktionseinrichtungen und Industriebauten zur Fertigung neuer Produktmodelle und -varianten, steile Abläufe sowie weltweite Ubiquität [Kop08].

Beschleunigung des Produktentstehungsprozesses

Darüber hinaus wird die Konkurrenzsituation durch die weltweite Ausdehnung von Produktions-, Absatz- und Wettbewerbsmöglichkeiten verschärft [Brec04]. Dabei sichern kurze Serienentwicklungszeiten die Unternehmenszukunft und sind die Basis

für eine kundenorientierte Fertigung und Produktion. Diese Tendenz hat direkte Konsequenzen auf die Produktionsplanungsprozesse und erfordert eine radikale Beschleunigung des Produktentstehungsprozesses [Mbt04]. Hierfür müssen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Industriebauplanung im Rahmen einer integrierten Produktentwicklung noch mehr synchronisiert und parallelisiert werden [Ehrl03]. Ein weiterer Innovationsfaktor ist die IT-begleitende Unterstützung von Entwicklungsaktivitäten: So können Produkt- und Produktionsvarianten schneller und effizienter entwickelt, simuliert und evaluiert werden.

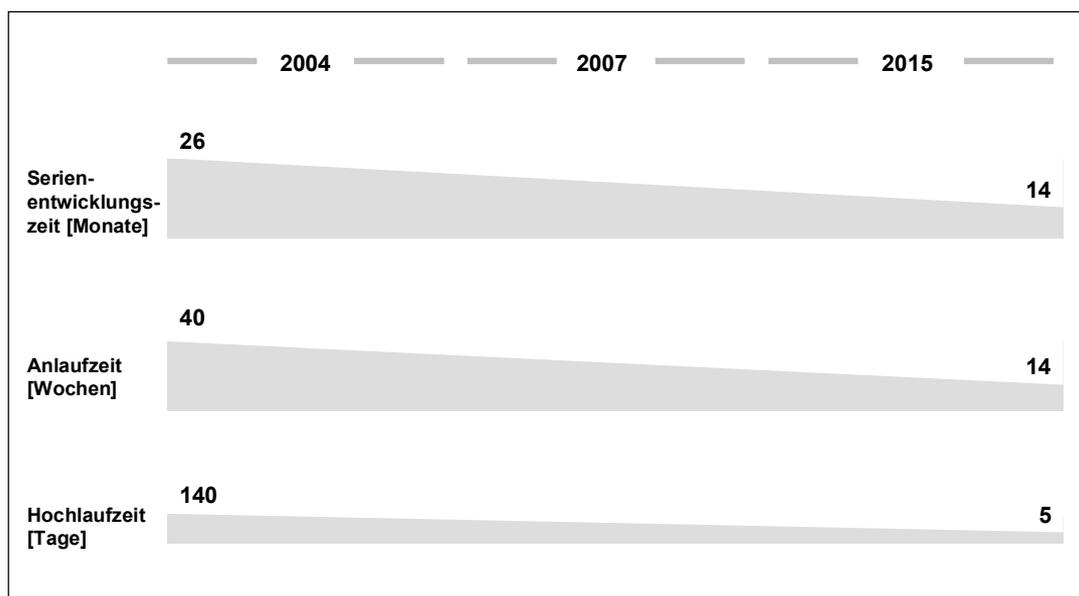


Abbildung 11: Veränderung bei Entwicklung, Anlauf und Hochlauf [Mbt04]

Dennoch müssen hierzu noch einige Entwicklungen erfolgen. Eine ganzheitliche methodische und informationstechnische Unterstützung im Rahmen des Prozesses der produktionsgerechten Produktgestaltung als Teil der integrierten Produktentwicklung muss noch konzipiert werden.

Steigende Individualität bei sinkender Stückzahl

Die oben angeführten Effekte führen zur Notwendigkeit der rationellen Entwicklung und Fertigung kleiner Losgrößen, die sogenannten Nischenmodelle. Wie in Abbildung 12 dargestellt, nimmt die Zahl der Fahrzeug-Nischenmodelle weltweit weiter zu. Dazu müssen diese trotz kleiner Losgrößen zu wettbewerbsfähigen Preisen auf den Markt gebracht werden. Die Hersteller reagieren mit der Parallelentwicklung von Modellen mit einem hohen Anteil an gleichen Modulen und Komponenten und gemeinsamen Technologieplattformen [Ach05]. Damit verstärkt sich die Tendenz der Suche nach

ungesättigten Nischenfahrzeugen. Dabei wird der Anteil der klassischen Fahrzeuge am Markt weiter sinken, während der Trend hin zur Individualität sich weiter fortsetzen wird [HaWa06].

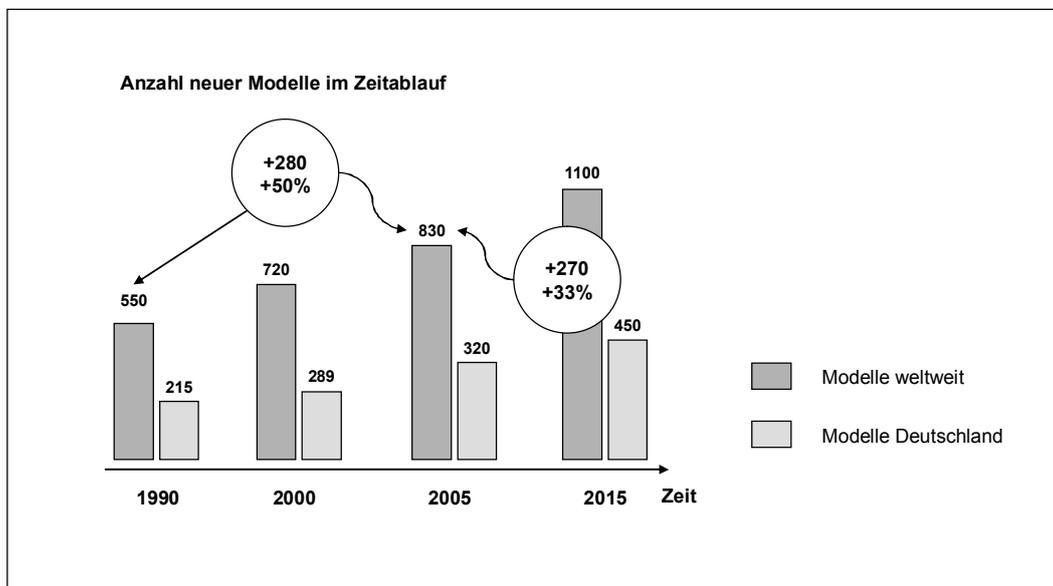


Abbildung 12: Entwicklung der Modellanzahl im Zeitablauf [HüBa07]

Auswirkungen auf die Produkt- und Programmentwicklung sind die Einführung von Lead- und Derivate-Modell-Programmen, die Parallelentwicklung von Schwester-Baureihen, die Anwendung von Plattform- und Modulstrategie in der Produktentwicklung sowie die Mehrfachverwendung von Technologieplattformen. Somit muss die Produktionsplanung auf die Einführung und Abstimmung von Produktions- und Produktplattformen, auf die Einführung integrierter Fahrzeugmontageplanung und deren Aufbau sowie Kapazitätsplanung mit mindestens zwei Modellreihen auf einer Linie eingestellt werden [Kop08]. Im Zuge dieser Entwicklung zeichnen sich Konzepte wie Wiederverwendung und Flexibilisierung in der Produktion als effektive Gegenmaßnahmen aus, um dieser Herausforderung durch Innovation erfolgreich zu begegnen.

Schwankende Marktnachfrage

Abbildung 13 illustriert die Entwicklung des Automobilabsatzmarktes ausgewählter Hersteller in Deutschland über eine Periode von 10 Jahren. Dabei ist zu beobachten, dass die Automobilnachfrage keine feste, vorauszuplanende Funktion darstellt, sondern starke Tief- und Höhepunkte hat. Insbesondere die Entwicklung der letzten Jahre, in den

Zeiten der gesamten Wirtschaftskrise, hat gezeigt, dass Marktschwankungen unvermeidbar sind.

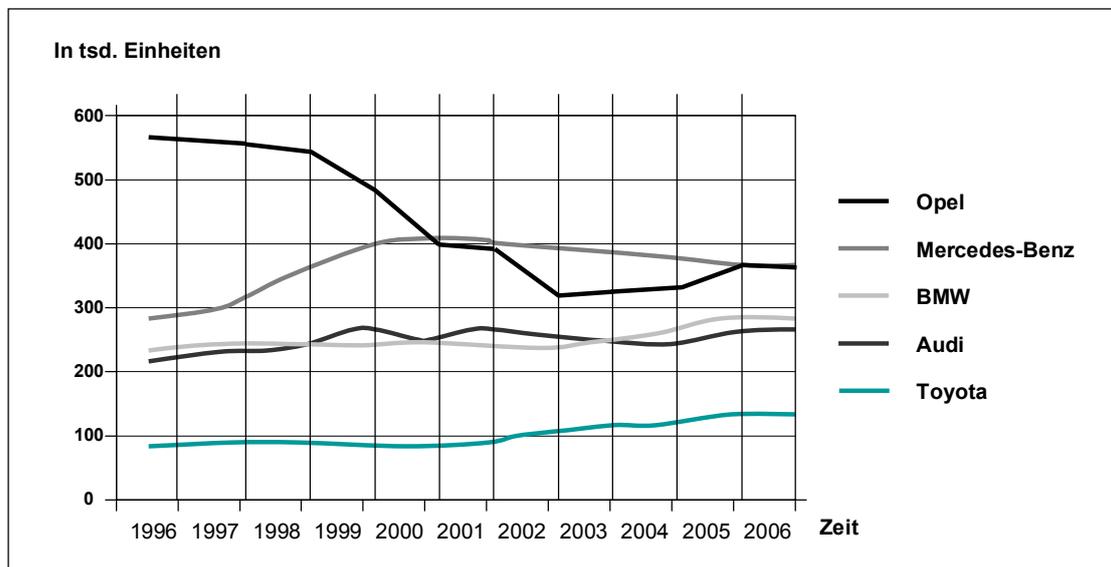


Abbildung 13: Entwicklung der Neuzulassungen ausgewählter Hersteller [Kra07]

2.2.2 Schlussfolgerung

Die schwankende Marktnachfrage, die globale Überproduktion, die Verkürzung von Modelllebenszyklen, die Beschleunigung des Fahrzeugentstehungsprozesses und die steigende Kundenindividualität haben direkte Auswirkungen auf der Entwicklung von Produktionskapazitäten. Der Bedarf an kostenoptimierten Bauweisen, an Flexibilität und Wiederverwendung von existierenden Produktionslinien ist zu einem entscheidenden Faktor geworden, um dem steigenden Kosten- und Wettbewerbsdruck gerecht zu werden.

Ausgehend von den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Herausforderungen und Innovationstreibern heutiger Planungsprojekte ergibt sich ein Hauptmerkmal, das zukünftige Planungsprozesse und -methoden zu erfüllen haben. Wie Abbildung 14 verdeutlicht, liegt hierbei das übergeordnete Ziel in der Möglichkeit zur Wiederverwendung in der Fertigung und Montage bei gleichzeitiger Steigerung der Produktvarietät und Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz. Dieses übergeordnete Ziel stellt selbst die leitende Forschungsfrage, nach der sich die nachfolgende Forschungsarbeit richtet.

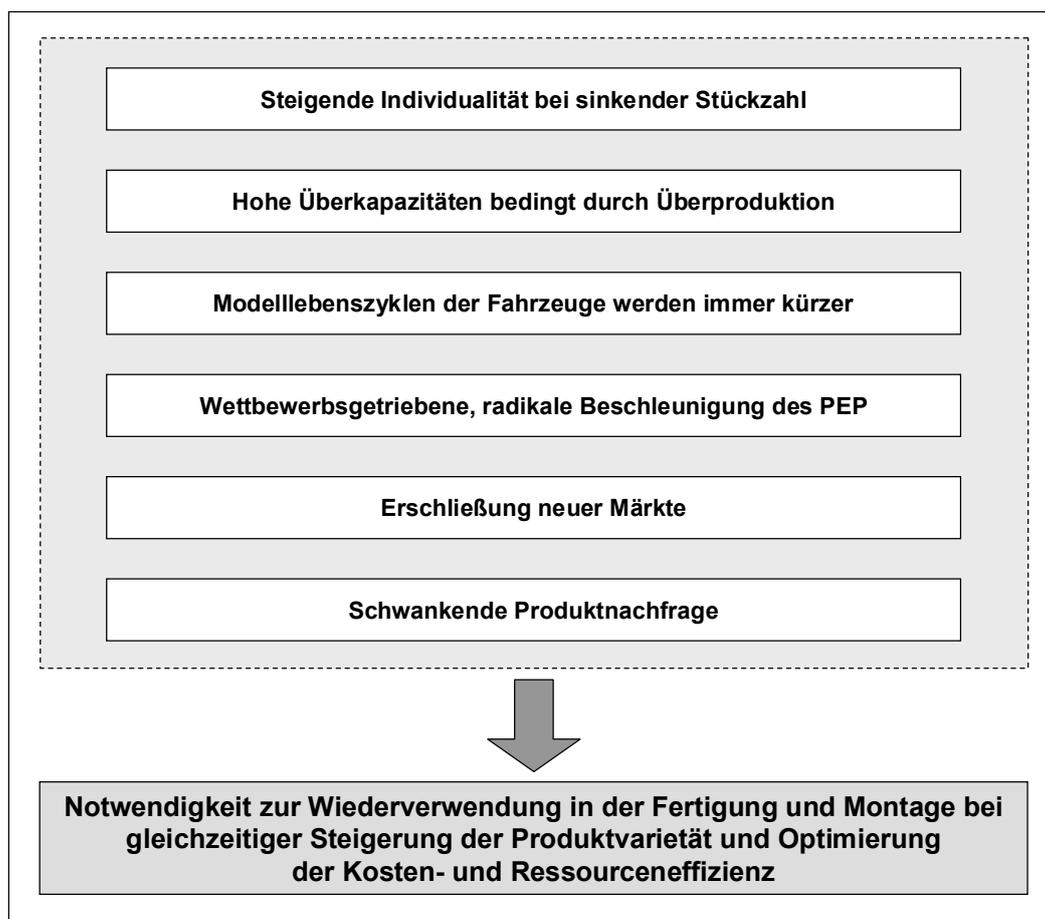


Abbildung 14: Notwendigkeit zur Wiederverwendung in der Fertigung und Produktion

2.3 Anforderungen an eine methodische und informationstechnische Unterstützung

Der konkret betrachtete Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit befasst sich mit der im Abschnitt zuvor vorgestellten Herausforderung und bildet eine Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Wiederverwendung von Produktionssystemen (2REUSE). Wie in Kapitel 1.2 beschrieben wurde, soll hierbei die Anwendung und Integration der Methodik in den gesamten Entwicklungsprozess zwecks Wiederverwendung von bestehenden Produktionssystemen für die Fertigung von neuen Produkten untersucht werden. Einen wichtigen Aspekt dieser Analyse stellt die Forderung nach einer durchgängigen Verzahnung von produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Daten sowie nach einem medienbruchfreien Informations- und Wissensaustausch entlang des gesamten Produktlebenszyklus dar.

Basierend auf der im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Prozessanalyse und den daraus gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Handlungsfelder identifizieren,

welche in die in Kapitel 1.2 definierten Forschungsziele überführt wurden. Dieser Abschnitt beschreibt die sich daraus ableitenden Anforderungen, die eine zielsetzungskonforme Realisierung der Methodik 2REUSE zu erfüllen hat. Diese Anforderungen stellen in Kapitel 3.4.1 bei der Analyse der bisherigen Lösungsansätze die Basis für den sich daraus ableitenden Forschungsbedarf dar. Die Anforderungen an die Methodik können in Bezug auf die Zielsetzung dieser Arbeit grundsätzlich in zwei Kategorien gegliedert werden: Anforderungen an methodische Unterstützung und Anforderungen an informationstechnische Unterstützung (siehe Abbildung 15). Die einzelnen Aspekte dieser Anforderungen werden im nächsten Abschnitt näher erläutert.

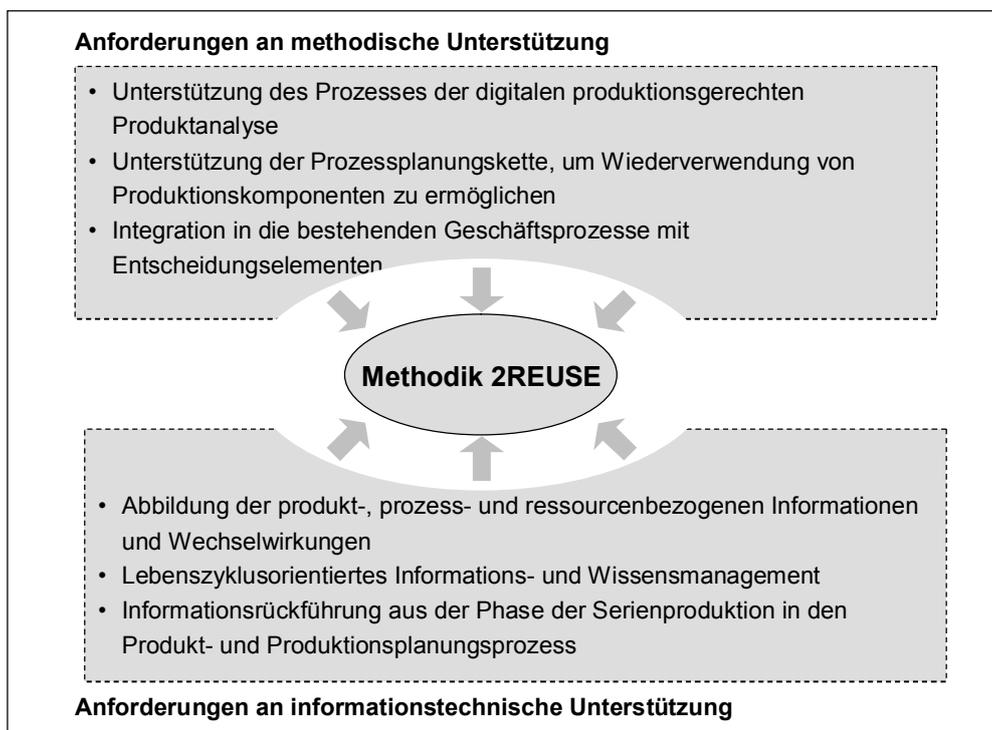


Abbildung 15: Anforderungen an die Methodik 2REUSE

2.3.1 Anforderungen an methodische Unterstützung

Zunächst sollen nun die methodischen Anforderungen geklärt werden, die aus der Analyse des Produktentstehungsprozesses in der Automobilindustrie hervorgehen. Hierzu werden vor allem Anforderungen an neue bereichs- und disziplinübergreifende Planungsmethoden gestellt, die unter den aufgeführten Voraussetzungen zu entwickeln sind. Die Forderung nach Realisierung dieser Methoden im industriellen Umfeld impliziert das Vorhandensein weiterer Anforderungen, welche die Transformation und Umsetzung der Methodik in die Praxis unterstützen.

Unterstützung der digitalen produktionsorientierten Produktanalyse

Die Entwicklung einer Methode zur durchgängigen produktionsorientierten Produktanalyse bildet die Kernaufgabe beim Entwurf und der Realisierung der Methodik. Durch diese Methode sollen Aussagen über die Fähigkeit einer Produktionslinie zu treffen sein, inwieweit ein neu zu entwickelndes Produkt auf der entsprechenden Linie zu integrieren ist. Des Weiteren sollte diese Methode als Werkzeug zur Bewertung der Konsequenzen in der Produktherstellung dienen, die Entscheidungen im Produktdesign hervorrufen. Schließlich ist für die Identifizierung von Defiziten in der Produktion bzw. im Produktdesign eine fokussierte Auswertung der betrachteten Objekte Produkt, Prozess und Ressource entlang des gesamten Produktlebenszyklus sicherzustellen.

Unterstützung der Wiederverwendung von Produktionssystemen

Die in dieser Arbeit zu entwickelnde Methodik sollte Manager und Fachkräfte dazu befähigen, sich bereits in Betrieb befindliche Produktionseinrichtungen für die Herstellung von neuen Produkten wiederzuverwenden, um somit den neuen Herausforderungen am Markt gerecht zu werden. In diesem Sinne dient die Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse als ein Werkzeug zur Unterstützung der Wiederverwendung von Produktionssystemen und der damit einhergehenden Steigerung der Produktvarietät. Die sich daraus ergebende Steigerung der Flexibilität der entsprechenden Produktionslinie ist ein weiteres Merkmal, das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu untersuchen ist.

Integration in die bestehenden Geschäftsprozesse mit Entscheidungselementen

Der entscheidende Erfolg neuartiger Planungsmethoden und Strategien hängt nicht nur von der Erfüllung methodischer Anforderungen ab. Vielmehr spielen die in der betrachteten Branche geltenden organisatorischen und prozessualen Randbedingungen eine entscheidende Rolle. Diese sind insbesondere bei der Einführung von neu entwickelten Konzepten zu berücksichtigen. Infolge des zunehmend steigenden Wettbewerbs- und Kostendrucks liegt ein notwendiges Erfolgskriterium in der Realisierung einer passenden Strategie, die eine möglichst einfache Einführung in die Praxis und hohe Akzeptanz der Methodik bei den Fachkräften unterstützt.

2.3.2 Anforderungen an informationstechnische Unterstützung

Anforderungen an das Informationsmanagement lassen sich in drei Bereiche unterteilen. Zunächst werden die Anforderungen an die Abbildung der benötigten Informationen auf theoretischer und methodischer Basis geklärt. Darüber hinaus soll der Lebenszyklusbezogene Charakter dieser Informationen betrachtet werden. Schließlich werden Anforderungen an eine Informationsrückführung aus den späteren Phasen der Produktentstehung in die zeitlich vorgelagerten Phasen der Produktentwicklung und Produktionsplanung betrachtet.

Abbildung der produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Informationen und Wechselwirkungen

Informationstechnische Unterstützung spielt in der heutigen rasanten Entwicklung eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung optimaler Engineering-Prozesse. Im Interesse einer rechnergestützten Unterstützung und somit einer aufwandsarmen Einführung und Anwendung der Methodik ist die Abbildung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Informationen und Daten in ein Informationsmodell zwingend erforderlich. Hierbei bildet das Informationsmodell eine konsistente Informationsbasis für die Abbildung und Verwaltung von konzeptbezogenen Daten, Informationen und Wissen.

Lebenszyklus-orientiertes Informationsmanagement

Die oben genannten konzeptrelevanten Daten und Informationen stammen aus verschiedenen Produktentstehungsphasen von der Produktentwicklung über die Produktionsplanung bis hin zur Serienproduktion. Deshalb bedarf es der Möglichkeit, Informationen und Daten aus den unterschiedlichen Produktlebenszyklusphasen zu erfassen und zur effizienten Informationsverwaltung in das Informationsmodell abzubilden. Somit kann entwicklungszyklus- sowie Lebenszyklusphasen-übergreifender Informations- und Wissensaustausch unterstützt werden.

Informationsrückführung in den Produkt- und Produktionsplanungsprozess

Die im Rahmen des Informationsmanagements benötigten Informationen sind nicht nur rein geometrischer Natur; vielmehr werden Informationen zur Semantik der Elemente gefordert. Dieser Bedarf lässt sich auf die Tatsache zurückführen, dass Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Informationen in formeller Darstellungsform in

das Informationsmodell abzubilden sind. Zudem wird die für das Produkt benötigte Produktspezifikation in der Produktentwicklung generiert. Die Definition entsprechender Informationen aus der Prozess- und Ressourcendomäne erfolgt jedoch erst teilweise in der zeitlich nachgelagerten Phase der Serienproduktion. Aus dieser Notwendigkeit heraus lässt sich die Anforderung herleiten, konzeptrelevante Informationen aus den späteren Phasen der Produktentstehung unter Zuhilfenahme eines Informationsrückführungsprozesses in die zeitlich vorverlagerten Planungsphasen zu integrieren.

2.4 Zusammenfassung

Im Kapitel 2 wurde der konkret betrachtete Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit erläutert. Hierzu wurden zunächst die grundlegenden Begriffe Produkt, Prozess, Ressource und Produktionssystem definiert. Anschließend wurde der gegenwärtige Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie umrissen.

Weiterhin gab das Kapitel 2 eine Übersicht über die Innovationstreiber und Herausforderungen aus der industriellen Praxis. Hierbei lag der Fokus insbesondere auf den in Hinblick auf die Zielsetzung dieser Arbeit relevanten Faktoren. In einem letzten Schritt wurde schließlich auf die Anforderungen eingegangen, welche die vorliegende Forschungsarbeit zu erfüllen hat.

Kapitel 3

3 Stand in Industrie und Wissenschaft

In diesem Kapitel werden relevante Ansätze aus der Forschung und Industrie betrachtet und bezüglich ihrer Eignung zur Unterstützung der in Kapitel 2.2 dargelegten Problemstellung diskutiert. Im Anschluss werden die Ansätze hinsichtlich der in Kapitel 1.2 vorgestellten Forschungsziele einer kritischen Diskussion unterzogen und zusammenfassend deren Defizite dargelegt. Dabei werden Forschungsansätze untersucht, die hinsichtlich der gestellten Anforderungen einen Beitrag leisten und zur Erbringung der Forschungsinhalte beitragen.

Jeder der folgenden Abschnitte beschreibt die betreffenden Ansätze unter dem Gesichtspunkt der Forschung und der Industrie. Aufgrund der in Kapitel 1.2 diskutierten Zielsetzung wurden Ansätze aus den Themenbereichen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung sowie des Informationsmanagements betrachtet. Eine umfangreiche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Recherche der Fachliteratur ergab eine Vielzahl an Konzepten, die die Thematik dieser Dissertation anreißen. Auf Basis der bereits diskutierten Anforderungen einer zweckmäßigen produktionsorientierten Produktanalyse zur Wiederverwendung von Produktionssystemen (vgl. Kapitel 2.3.2) lassen sich die relevanten Ansätze auf die im Folgenden beschriebenen Konzepte begrenzen:

- Hierbei beschreibt Abschnitt 3.1 Ansätze der Produktentwicklung mit dem Fokus auf digitale Methoden zur Unterstützung der produktionsbezogenen Produktgestaltung und der Modularisierung und Standardisierung von Produktkomponenten.
- Abschnitt 3.2 konzentriert sich auf Ansätze aus der Produktionsplanung mit Hauptfokus auf der Unterstützung der digitalen Produktionsplanung und auf der Optimierung der Flexibilität von Produktionssystemen.

- Abschnitt 3.3 behandelt die Konzepte des Produktlebenszyklusmanagements und des Wissensmanagements im Themenbereich Informationsmanagement.

Aufgrund der Tatsache, dass eine Methodik für die Unterstützung der Wiederverwendung bestehender Produktionssysteme auf Basis der Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse an der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung agiert und für die effektive Umsetzung eine entsprechende informationstechnische Unterstützung benötigt, sind sowohl die Grundlagen und Ansätze von Produktentwicklungsprozessen als auch die von Produktionsplanungsprozessen und die des Informationsmanagements relevant.

3.1 Ansätze der Produktentwicklung

3.1.1 Grundlagen der Produktentwicklung

Die Produktentwicklungsmethodik ist die Beschreibung der methodischen Durchführung eines Entwicklungsprozesses. Die klassischen Modelle der Produktentwicklungsprozesse² haben ihren Schwerpunkt üblicherweise auf der Erstellung von Produkten und beinhalten die Prozesse der Konzeptphase bis zum Serienlauf.

Die am weitesten verbreitete Produktentwicklungsmethodik im deutschsprachigen Raum ist die von der VDI-Gesellschaft erstellte Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [VDI-2221]. Abbildung 16 stellt das von der Richtlinie vorgeschlagene Vorgehensmodell dar.

Gemäß VDI-2221 umfasst der Produktentwicklungsprozess diese Teilaufgaben: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, Ermitteln von Funktionen und deren Struktur, Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen, Gliedern in realisierbare Module, Gestalten der maßgebenden Module, Gestalten des gesamten Produkts, Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben.

Dabei ist zu beachten, dass im Gegensatz zum Fahrzeugentwicklungsprozess in der Automobilindustrie (siehe Kapitel 2.1.3) die Planung des Produktionssystems kein Teil des Produktentwicklungsprozesses ist. Die Integration der Produktentwicklung und der Produktionsplanung erfolgt im Rahmen eines Concurrent-Engineering-Prozesses.

² Im Rahmen dieser Arbeit werden als Synonym für Produktentwicklungsprozess die Begriffe Produktentstehungsprozess [Komo98], Integrierte Produktentwicklung [Ehrl03] und Konstruktionsprozess [PaBe07] verwendet.

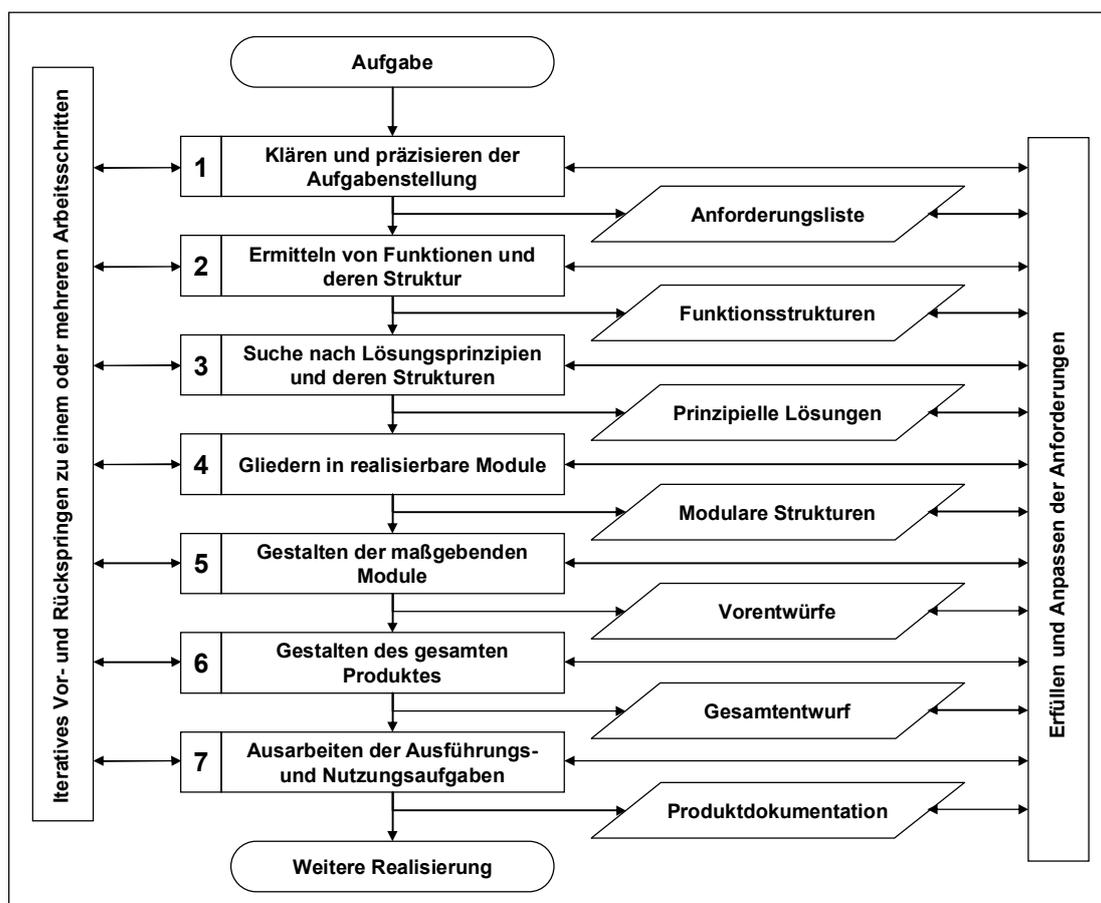


Abbildung 16: Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI-2221

Concurrent Engineering

Concurrent Engineering (CE) spiegelt den Prozess der Zusammenarbeit im Entwicklungsprozess wider. Dabei werden mehrere Teilprozesse aus verschiedenen Fachdisziplinen in einem integrierten Prozess bearbeitet [Schap05]. Damit ist der für diese Arbeit relevante Prozess der produktionsbezogenen Produktgestaltung ein Beispiel im Sinne des Concurrent Engineering. Die produktionsbezogene Produktgestaltung beruht auf der Analyse des Produkt- und Planungsentwicklungsstandes.

Design for X

Während der Produktentwicklung müssen viele unterschiedliche, teilweise widersprüchliche Anforderungen an das Produkt aus unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigt werden. Hierbei ist das Thema Design for X von besonderem Interesse, welches versucht, die produktbezogenen Anforderungen aus den

verschiedenen Lebenszyklusphasen zu strukturieren und in geeigneter Form in den Entwicklungsprozess zu integrieren [Wey08]. Abbildung 17 verschafft einen Überblick über die entsprechenden Anforderungen und deren Struktur im Rahmen von Design for X [Bauer07].

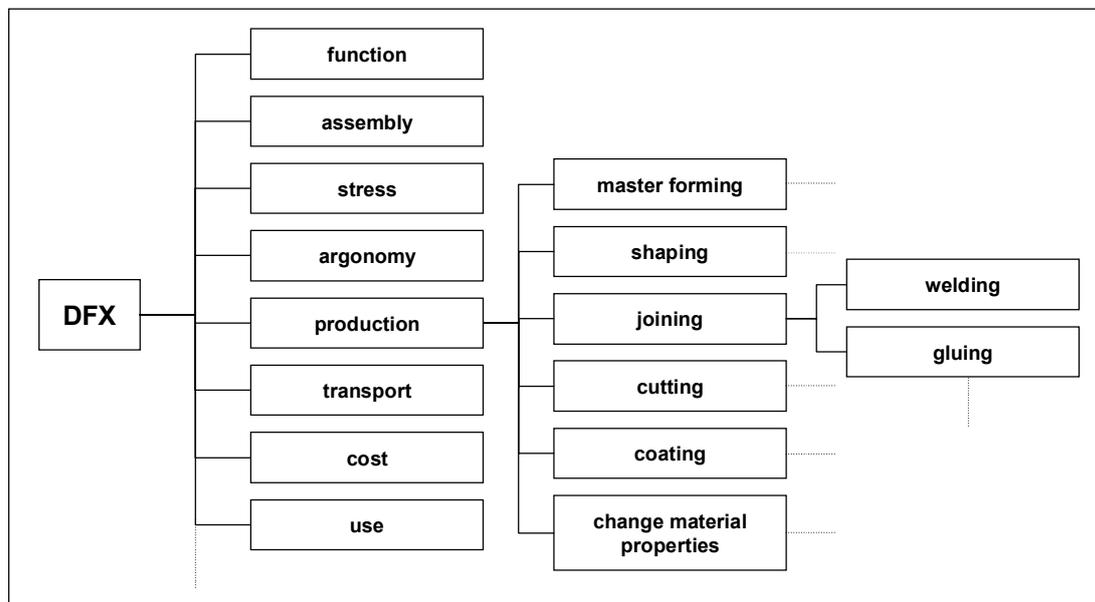


Abbildung 17: DfX – Anforderungsstruktur [Bauer07]

Design for X wird seit den 60er Jahren ausführlich behandelt und beschäftigt sich mit den Themen fertigungs-, montage-, qualitäts-, umwelt- und vertriebsgerechte Konstruktion [Schap05].

Design for X zeichnet sich durch eine Vielzahl von Methoden aus, deren Untersuchungsgegenstände sich im Laufe der Jahre den aktuellen Forschungstrends angepasst haben. Dabei handelt es sich weniger um die Inhalte von Design for X als vielmehr um die Integration und die Umsetzung dieser Vorgehensmodelle im Entwicklungsprozess [Andr06].

Dabei ist zu beobachten, dass sich die Inhalte von Design for X von einer gelösten Betrachtung eines Produktes, bezogen auf ein vordefiniertes Produktionssystem (z.B. [Mato57]), bis hin zu einer integrierten Entwicklung von Produkt und Produktionssystem, unterstützt durch digitale Methoden, weiterentwickelt haben [Andr88], [Meerk95], [Ehrl03]. Hierbei setzt Müller eine enge Verzahnung der im Entwicklungsprozess beteiligten Fachdisziplinen im Sinne des Concurrent Engineering voraus, mit dem Ziel, effiziente Engineering-Prozesse zu realisieren [Müll07].

Damit steht die x-orientierte Produktentwicklung im Fokus von Design for X und somit der für diese Arbeit betrachteten Spezialgebiete des Design for Manufacturing³ und Design for Reuse.

3.1.2 Design for Manufacturing

Design for Manufacturing (DFM) umfasst Vorgehensmodelle n und Richtlinien zur produktionsgerechten Produktgestaltung mit dem Ziel, den Produktionsprozess hinsichtlich Produktionskosten und Produktionszeiten zu optimieren, die Gesamtproduktqualität zu steigern und die Ergonomie zu verbessern [LoSchi94]. Optimale Ergebnisse werden erzielt, wenn die Methode in den frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt wird. Der Begriff DFM ist datiert auf die späten 70er Jahre, als Boothroyd und Dewurst eine Methodik zur Bewertung der Herstellbarkeit von Produkten entwickelten [Tryp95]. Dabei wurde festgestellt, dass die Konzipierung einer Produktkomponente in der Entwicklung große Auswirkungen auf die Produktionskosten und auf die Produktionsprozesse hat [PaBe07]. Ungefähr 80 % der Entscheidungen in der Produktion sind direkte Folgen aus Entscheidungen während der Produktkonstruktion (vgl. Abbildung 1). Damit werden Produktqualität und -kosten noch während der Konzeptphase festgelegt [Vliet99]. Nach Abschluss des Designs sind die Möglichkeiten zu weiteren Kostensenkungen in der Produktion sehr eingeschränkt [Andr88].

Design for Manufacturing and Assembly

Die Notwendigkeit zur Einbeziehung der Fertigungs- und Montageaspekte in den frühen Phasen der Produktentwicklung führte zu der Entwicklung von Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). DFMA wurde in den ersten Jahren seiner Entwicklung stark von den Forschern Boothroyd und Dewurst geprägt. Dabei entstand eine ganze Reihe von relevanten Publikationen [BoDe83], [BoAl92], [Boot01]. Die Hauptidee ist, dass winzige Details in der Produktkonstruktion gravierende Auswirkungen auf die Produktionskosten herbeiführen. Die Produktqualität wird noch während des Konstruktionsprozesses beeinflusst. Das Hauptziel von DFMA ist die präventive Reduzierung der gesamten Lebenszykluskosten bereits in der Entwicklungsphase. Damit ist der DFMA ein Kostenvermeidungsansatz anstatt eines Kostenreduzierungsansatzes. DFMA trägt weiter zur Steigerung der Produktqualität,

³ Im deutschsprachigen Raum hat sich der Begriff produktionsgerechte Produktgestaltung etabliert.

Steigerung der Ressourceneffizienz und Standardisierung der Einzelteile bei [Schmidt00]. Im Rahmen von DFMA kommen unterschiedliche Methoden zur Geltung:

- Design for Assembly trägt zur Rationalisierung der Montage aus der Entwicklung bei.
- Design for Manufacture trägt zur Ermittlung der Herstellkosten und Identifizierung der wirtschaftlichsten Produktionsverfahren bei.
- Design for Service trägt zur Optimierung zukünftiger Serviceaufgaben bei.
- Design for Environment hilft die Umweltbelastung zu reduzieren.

Aufgrund der immer stärker voranschreitenden Komplexität der Produkte bzw. der Produktentwicklungsprozesse rückt das Konzept der integrierten Produktentwicklung immer mehr in den Mittelpunkt [Ehr103] und damit die Verzahnung der Produktentwicklung und der Produktionsplanung im Rahmen eines CE-Prozesses. Dabei stößt die klassische Methode des Design for Manufacture an ihre Grenzen.

Bei der Durchführung eines Entwicklungsprojektes sind die Konsequenzen einer Entscheidung für die Interaktion von Produkt und Produktionssystem kaum vorhersehbar. Dafür ist es notwendig, die Aktivitäten in Produktentwicklung und Produktionsplanung zu synchronisieren. Eine wesentliche Rolle spielt in diesem Zusammenhang der Begriff der Absicherung. Zu definierten Synchronisationszeitpunkten wird der momentane Entwicklungsstand des entwickelten Produktes und des geplanten Produktionssystems, unterstützt von digitalen Methoden, zusammengeführt, um somit eine produktionsbezogene Produktabsicherung durchzuführen. Dieser Vorgang wird unterstützt durch den Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung (PPA), der einen Teil des Produktentwicklungsprozesses in der Automobilindustrie darstellt. Das Ziel der produktionsbezogenen Produktabsicherung ist die Sicherstellung der serienprozessfähigen Interaktion von Produkt und Produktionssystem [Müll07].

Produktionsbezogene Produktabsicherung

Nach VDI-Richtlinie 2221 umfasst das Entwickeln technischer Produkte unterschiedliche Teilaufgaben [VDI-2221]. Bei der Durchführung der Aufgaben müssen Zielkonflikte gelöst, Entscheidungen getroffen und andere Problemsituationen beherrscht werden. Hierfür wird von der VDI-Richtlinie 2221 ein allgemeingültiges Vorgehensmodell zur Lösung auftretender Probleme vorgestellt, welches in Abbildung 18 dargestellt wird.

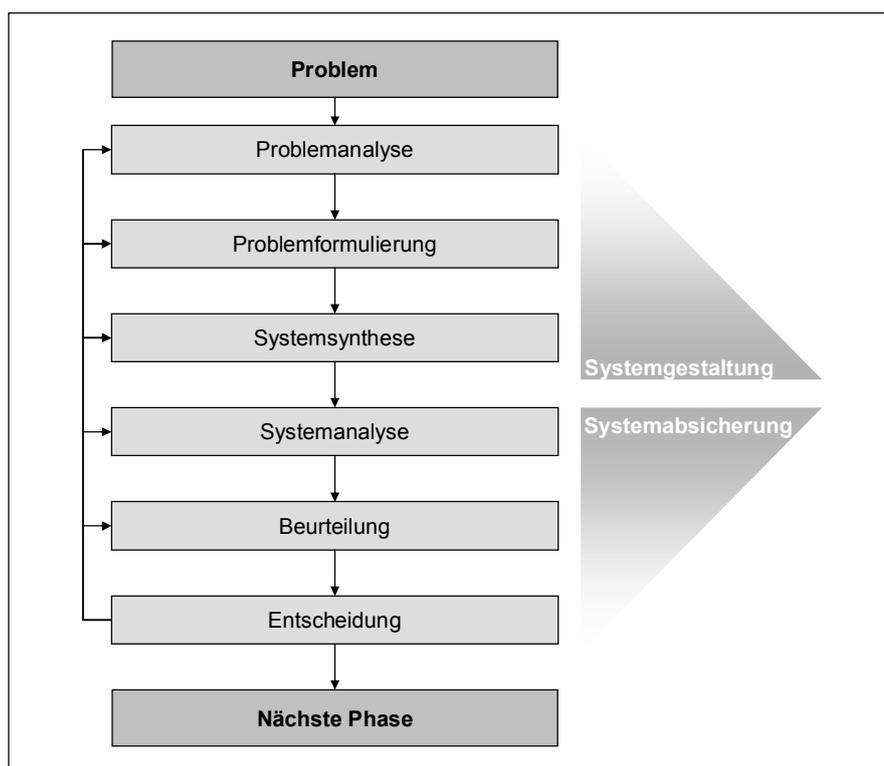


Abbildung 18: Problemlösungszyklus nach VDI-2221 (in Anlehnung an [VDI-2221])

Die produktionsgerechte Produktgestaltung und die produktionsbezogene Produktabsicherung lassen sich in das von der VDI-Richtlinie vorgeschlagene Vorgehensmodell einordnen, und zwar durch die Übertragung des Problemlösungszyklus auf die Aufgabenstellung der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie. Die ersten drei Schritte, die Problemanalyse, die Problemformulierung und die Systemsynthese, entsprechen dabei der produktionsgerechten Produktgestaltung, während die produktionsbezogene Produktabsicherung sich aus den letzten drei Schritten, der Systemanalyse, der Beurteilung und der Entscheidung, ergibt. In diesem Sinne definiert Müller den Prozess der produktionsbezogenen Produktabsicherung als zusammengesetzt aus den Themenbereichen der Produktanalyse, Beurteilung sowie auch der Entscheidung [Müll07].

In seiner Forschungsarbeit baut Müller ein Rahmenwerk zur produktionsbezogenen Produktabsicherung auf [Müll07]. Das Hauptergebnis der Arbeit ist die Definition eines Modells zur x-orientierten Produktabsicherung. Dies beinhaltet auch den für die vorliegende Dissertation relevanten Fall der produktionsorientierten Produktanalyse. Dabei bildet ein Engineering Information Management System die Basis für eine strukturierte Erfassung des Kontextes in den Entwicklungsprozessen. Relevant für die

Durchführung von Absicherungen sind Informationen aus den verschiedenen Produktlebensphasen, wie z. B. strukturelle und geometrische Informationen über Produkt und Produktionssystem, Informationen über den Prozess wie Taktzeiten oder sonstige Informationen wie Freigabestände.

Absicherungsmethoden bei der produktionsbezogenen Produktabsicherung

Die Absicherungsmethoden werden hauptsächlich nach deren Untersuchungsgegenstand gegliedert. Dabei kann der Untersuchungsgegenstand ein digitales Modell oder ein reales physikalisches Objekt sein. In den letzten Jahren wurden Technologien entwickelt, die die Entwicklung neuartiger Untersuchungsmethoden ermöglichen, die beide Welten verschmelzen lassen, wie z.B. die Augmented Reality [Ovtch08].

Der Prozess der PPA zeichnet sich durch die Anwendung unterschiedlicher Absicherungsmethoden im Entwicklungsprozess aus. Diese Absicherungsmethoden werden zu verschiedenen Zeitpunkten ausgeführt, um den vielfältigen und sich ständig ändernden Anforderungen in der Entwicklung gerecht zu werden.

Integration Gesamtfahrzeug, Toleranzanalyse, digitale Baubarkeit und digitale Planungsabsicherung sind Beispiele für digitale Absicherungsmethoden. Die Methode Integration Gesamtfahrzeug hat zum Ziel, die prinzipielle Fügbarkeit der Produktkomponenten sowie das problemlose Zusammenspiel der Komponenten im simulierten Betrieb sicherzustellen. Dabei nutzt die Methode die DMU-Simulationswerkzeuge. Das Ziel der Toleranzanalyse ist die realistische Abbildung der geometrisch idealen 3D-Modelle unter der Implikation von Fertigungsaspekten. Hierzu existieren spezielle Software-Werkzeuge für die Durchführung dieser Analyse [Glög06]. Im Fokus der digitalen Baubarkeit steht das Sicherstellen des störungsfreien Zusammenfügens aller Produktkomponenten. Dabei steht im Mittelpunkt der direkte Fügevorgang im Gegensatz zur kollisionsfreien Lage aller Produktkomponenten in der Einbaulage, wie bei der Methode Integration Gesamtfahrzeug. Der Gegenstand der Untersuchung der Methode digitale Planungsabsicherung ist der Produktionsprozess, welcher Ergebnis des Produktionsplanungsprozesses ist [VDI-4499].

3.1.3 Design for Re-Tooling und Design for Re-Use

Eine aktuelle Entwicklung des Gedankens Design for X findet sich unter dem Begriff Design for Re-Tooling. Die Gründe für diese Entwicklung liegen hauptsächlich in der globalen Überproduktion (vgl. Abbildung 7). Das Hauptaugenmerk des Design for Re-Tooling richtet sich in die Bestrebung, einzelne Bestandteile oder gar ganze Bereiche

einer Rohbauanlage nach der Einstellung einer Baureihe für die Folgemodelle wiederzuverwenden. Das stellt sowohl Anforderungen an die Produkte als auch an die Produktionslinien. Die Rohbauanlagen müssen in Bezug auf Spann- und Fixier- sowie auch Fügevorrichtungen flexibler gestaltet werden, damit neue Produkte mit anderen Geometrien darauf befestigt bzw. gefügt werden können. Darüber hinaus müssen die jeweiligen Vorrichtungen in Hinblick auf deren Struktur modularer gestaltet werden [MyCar]. Die Anforderung an eine Modularisierung gilt in gleichen Maßen für das Produkt. Standard und modularbasierte Bauteile erlauben neben einer gestiegenen Wiederverwendung der Konzepte auch eine höhere Flexibilität und Wiederverwendung in der Fertigung [MyCar]. Burr definiert den Begriff Design for Re-Tooling „als die Entwicklungstätigkeiten, die im Rahmen einer Neu- oder Anpassungsentwicklung eines Produkts unternommen werden, um bestehende Produktionsanlagen so wenig wie möglich zu ändern“ [Burr08]. In seiner Arbeit erforscht Burr die Konzipierung einer integrierten Informationsbasis für den Austausch von Informationen zwischen der Produktentwicklung und der Produktionsplanung und untersucht deren Auswirkungen auf den Prozess des Designs for Re-Tooling. Das Ergebnis dieser Untersuchungen wurde am besonderen Beispiel der Spann- und Fixiervorrichtung exemplarisch in Abbildung 19 dargestellt.

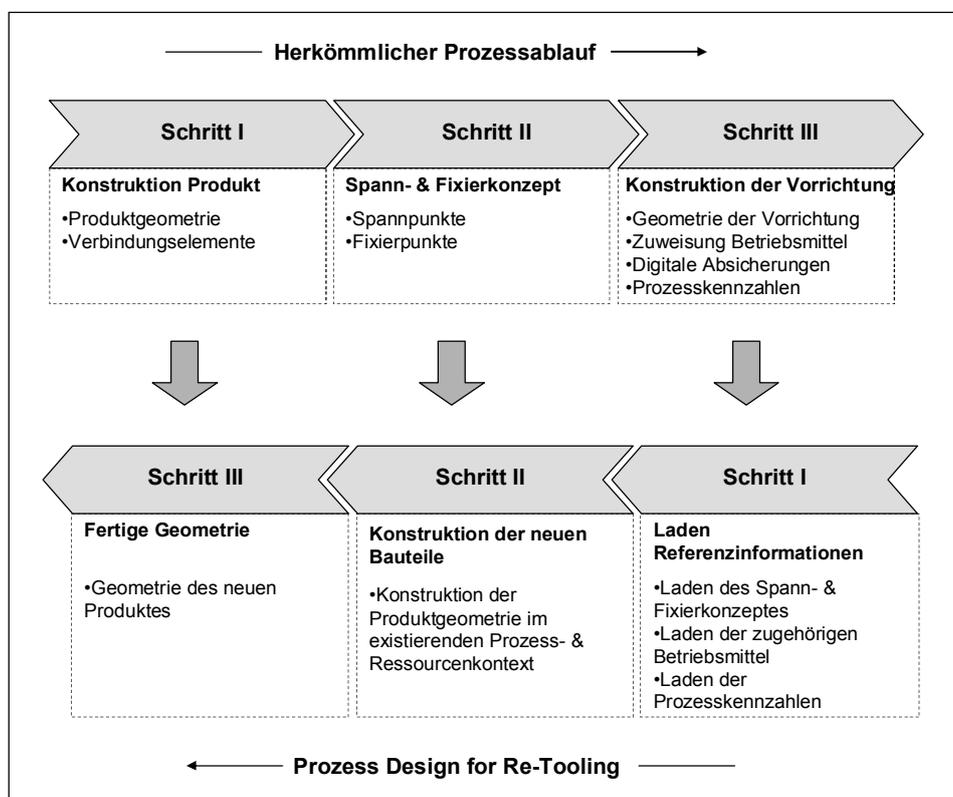


Abbildung 19: Prozessablauf beim Design for Re-Tooling (in Anlehnung an [Burr08])

Um sich den ständig verändernden Marktanforderungen anzupassen und dem Kosten- und Zeitdruck gerecht zu werden, verfolgen in den letzten Jahren die Unternehmen die sogenannte Politik der differenzierten Massenfertigung. Dabei wird eine Strategie der zunehmenden äußeren Komplexität auf Basis einer internen Einheit verfolgt. Damit kann trotz Diversifizierung und kleiner Produktionsvolumina einzelner Modelle eine Kosten- und Zeitreduzierung erzielt werden, indem mehrere Modelle und Varianten dieselbe Plattform und dieselben Module gemeinsam nutzen [Sihn05]⁴.

Design for Re-Use

Dieser Ansatz ist in der Forschung als Design for Re-Use bekannt. Dem Design for Re-Use liegen unterschiedliche Ansätze zu Grunde. Die aktuellen Entwicklungen werden von der sogenannten Plattform- und Modulstrategie geprägt, die durch weitgehend computergestützte CAD-Technologien, wie die Template- und Feature-Technologie, unterstützt werden [MyCar]. Das Ziel dieser Ansätze ist es, in sich abgeschlossene Funktionsgruppen oder einzelne Komponenten als Standardbaugruppen bzw. -komponenten in sog. Plattformprojekte zu entwickeln und in mehreren konkreten Fahrzeugprojekten wiederzuverwenden [Papa10].

Nach Muffatto spielt das Konzept der Plattformstrategie eine Schlüsselrolle im Design for Re-Use [Muff99]. Simpson et al. definieren eine Plattform als „ein physisch fixes Basisprodukt, das für den Aufbau verschiedener Produktfamilien genutzt werden kann“ [Simps06]. Damit kann eine Plattform nach dieser klassischen Definition als eine Ansammlung von Bauteilen und Baugruppen, Modulen und/oder Subsystemen aufgefasst werden. Chao und Ishii erweitern die klassische Definition von Plattform um die Funktionen und das Domänenwissen [Chao04]. Damit können Unternehmen, die die erweiterte Definition benutzen, einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen, wodurch sich auch die Einbindung des Konzepts der Plattformstrategie in die Produktentwicklungsmethodik anbieten lässt und somit die Unternehmensorganisation und -struktur geprägt werden kann [Muff99].

Voraussetzung für die Einführung einer Plattformstrategie ist eine Produktfamilie mit einem gemeinsamen Satz von Merkmalen. Dabei darf sich die Menge der Kernfunktionalität über einen längeren Zeitraum nicht verändern lassen. Um auf die sich wandelnden Marktbedingungen zu reagieren, können die sekundären Funktionen oder Merkmale verändert und dadurch in relativ kurzer Zeit neue Modelle auf den

⁴ Volkswagen verwendet dieselbe Plattform im VW New Beetle, Jetta, und Golf, Audi A3 and TT sowie in zwei anderen europäischen Modellen. Es wird geschätzt, dass der Anteil an übereinstimmenden Teilen in diesen Modellen bei 65 % liegt [468].

Markt gebracht werden. Autos sind das klassische Beispiel für eine Produktfamilie⁵. Durch die Entkopplung der Kernfunktion eines Autos von anderen funktional unabhängigen Elementen kann eine gemeinsame Plattform für verschiedene Automodelle gefunden werden. Eine Plattform kann durch die Konzipierung neuer Komponenten auch als Basis für die Entwicklung neuer Modelle genutzt werden [Muff99].

Die Ironie an der Verwendung einer standardisierten Plattform ist wohl die damit potenziell erhöhte Diversifizierung der entwickelten Modelle durch Permutation der aufgebauten Komponenten. Unternehmen wie Volkswagen haben im Portfolio eine Reihe von äußerlich sehr markanten Modellen mit sehr wenigen gemeinsamen Merkmalen und Ausprägungen wie VW New Beetle, Jetta, und Golf, Audi A3 und TT, die auf derselben Plattform entwickelt wurden und sogar auf derselben Produktionslinie gebaut werden können [Chao04].

Modul Strategie

Bisherige Arbeiten betrachten Modularisierung immer in Verbindung mit Lean Manufacturing (siehe Kapitel 3.2.3), während neuere Erkenntnisse aus der Forschung auf die Verzahnung mit der Plattformstrategie hinweisen [Sihn05]. Dabei lässt sich durch die Verbindung der Modularisierung mit dem Plattformgedanken trotz Standardisierung der Komponenten und Einzelteile eine große Anzahl an differenzierten Modellen auf den Markt bringen. Laut Sihn et al. ist das Konzept der Plattform- und Modulstrategie der beherrschende Trend des 21. Jahrhunderts, der Lean Manufacturing ablösen wird.

Muffatto definiert ein Modul als eine Baugruppierung mit räumlicher Zusammengehörigkeit. Dabei kann ein Modul, muss aber nicht, eine übergreifende Gesamtfunktion haben [Muff99]. Zu beachten ist dabei die Schwierigkeit der Organisation von Bauteilen und -gruppen in Modulen. Der Grund dafür ist, dass nur die wenigsten Einheiten autonome Module sind. Bei der Mehrheit müssen schon während der Produktentwicklung die Schnittstellen zu anderen Modulen definiert werden, was die Wiederverwendung erheblich einschränkt [Muff99].

Den Gegenstand der heutigen Modularisierung bilden die Karosserie und der Innenraum. Dennoch weitet sich das Konzept mittlerweile auch auf andere Baugruppen

⁵ In der Automobilindustrie besteht die Plattform nach der klassischen Definition aus dem Fahrgestell (inklusive Motorraum und Fahrzeugrahmen) und den Radaufhängungen.

wie z.B. die Hinterachse aus [Nöth04]. Die folgenden Gewerke haben sich in Bezug auf die Modularisierung in der Automobilindustrie etabliert [Nöth04]:

- Interieur bestehend aus Sitzen, Cockpit und allen Innenverkleidungen.
- Frontendmodul, eine vormontierte Baugruppe bestehend aus Kühler, Scheinwerfer, Kühlerquerträger.
- Rearendmodul, also eine vormontierte Baugruppe aus Heckstoßfänger, Rückscheinwerfern.
- Chassis- und Achsmodul, bestehend aus einbaufertiger Achse inklusive Feder- und Dämpfereinheit.
- Dachmodul, also ein vormontiertes, einbaufähiges Dach, bestehend aus Dachaußenhaut, Dachhimmel, Elektronik und Dachinnenbeleuchtung.

Nach der Zerlegung eines Produktes in einzelne Module existieren zwei mögliche Varianten für die Fertigung. Auf der einen Seite können die Module weiter zerlegt werden, sodass das Produkt in einer sich bereits in Betrieb befindlichen Fabrik hergestellt werden kann. Bei der anderen Alternative werden das Produkt und das Produktionssystem zusammen weiter in kleinere Module zerlegt. Dadurch entstehen gemeinsame Komponenten und Subsysteme, welche auf den gleichen Produktionsressourcen gefertigt werden [Park08].

Zwar existieren wenige Entwicklungsmethodiken für Plattform- und Modulstrategien und das unterstützende Informationsmanagement ist zum größten Teil noch in der Entwicklung, dennoch gewinnt der Trend zur Modularisierung in der Industrie immer mehr an Bedeutung [Sihn05]. In Verbindung mit der Modularisierung führt die Plattformstrategie zur effizienten Markteinführung individuell angepasster Modelle durch Wiederverwendung von standardisierten Kompetenzen und Baugruppen [Simps06].

3.1.4 Stand der Industrie

Die produktionsgerechte Produktgestaltung ist eine begleitende Maßnahme im Produktentwicklungsprozess mit dem Ziel der Entwicklung von produktionsgerechten Produkten. Die produktionsorientierte Produktanalyse ist eine Methode im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung und wird eingesetzt, um eine genaue Produkteigenschaftsbewertung vorzunehmen. Für die produktionsorientierte Produktanalyse wird ein entsprechend detaillierter Entwicklungsstand von Produkt und Produktionssystem benötigt.

Der Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung ist phasenübergreifend. Dieser unterstützt die Synchronisation der Produktentwicklung und der Produktionsplanung im Rahmen eines CE-Prozesses. Um die Herstellbarkeit eines Produktes zu bewerten, ist eine detaillierte Produktbeschreibung notwendig. Dazu müssen die Planungsprämissen und Charakteristika des Produktionssystems bekannt sein. Damit bildet der produktionsgerechte Produktgestaltungsprozess die Schnittstelle zwischen Produkt und Produktion.

Der Prozess der PPA zeichnet sich durch die Anwendung unterschiedlicher Absicherungsmethoden im Entwicklungsprozess aus. Abbildung 20 stellt die zeitliche Einordnung ausgewählter Absicherungsmethoden im industriellen Umfang sowie den Anteil der produktionsorientierten Absicherungstätigkeiten im relativen Vergleich zu sonstigen Absicherungstätigkeiten dar [Müll07].

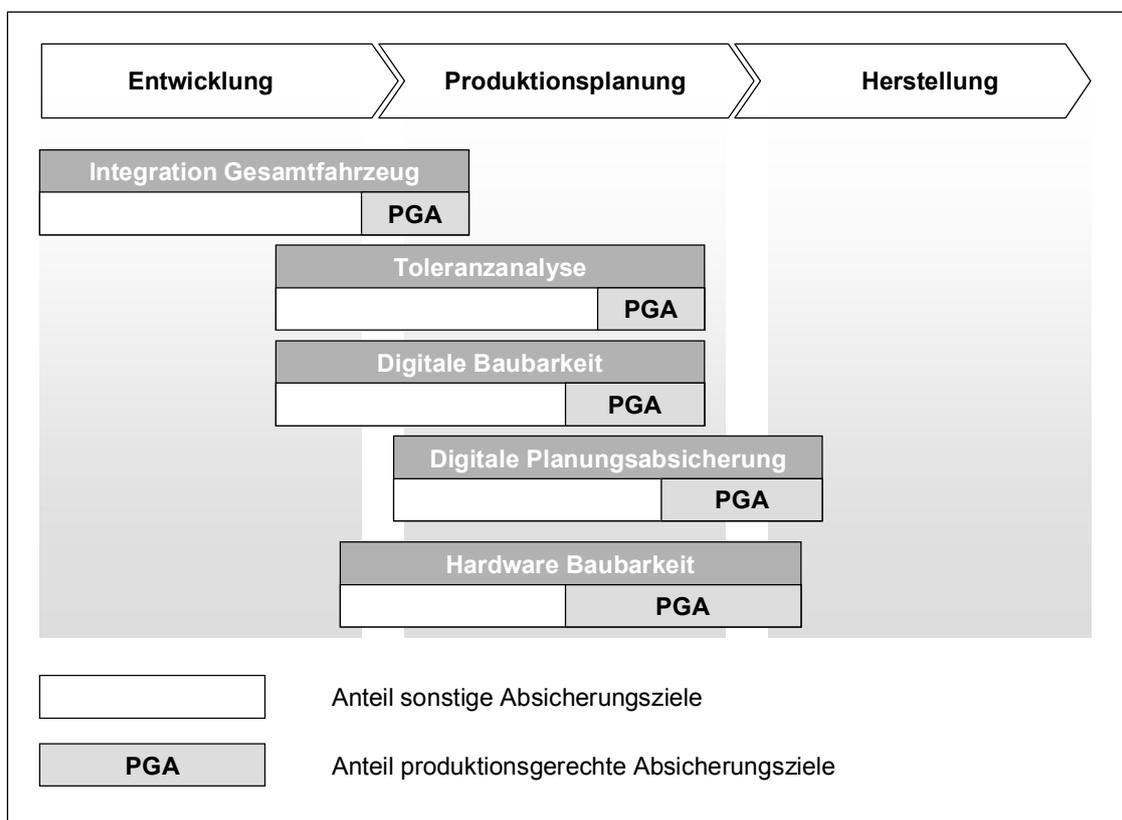


Abbildung 20: Zeitliche Einordnung von ausgewählten Absicherungsmethoden in den Fahrzeugentwicklungsprozess [Müll07]

Im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung werden unterschiedliche Softwaresysteme zur Unterstützung der Absicherungsmethoden für die Bewertung der Produktspezifikation eingesetzt. Dabei werden digitale Modelle von Produkt und

Produktionssystem benötigt und beispielsweise visualisiert, um Zugänglichkeits- oder Einbauuntersuchungen vorzunehmen.

Auf der Produktentwicklungsseite werden in erster Linie 3D-CAD-Systeme und DMU-Anwendungen eingesetzt. Diese werden zur integrierten Visualisierung von Produkt und Ressourcen mit dem Ziel einer Bewertung der statischen Einbausituationen oder der dynamischen Ein- bzw. Ausbausimulationen herangezogen. Beispiele hierfür sind Werkzeuge zur Bestimmung von Ausbaupfaden oder zur Überprüfung der korrekten Positionierung von Verbindungselementen [Müll07].

Auf der Produktionsplanungsseite werden hauptsächlich Systeme mit Hauptfokus auf die Absicherung der Planungsergebnisse eingesetzt. Diese ermöglichen beispielsweise die Zuweisung von Produkten zu Ressourcen und erlauben dadurch die Definition und Bewertung der Fertigungsreihenfolge, was wiederum zu der produktionsbezogenen Produktanalyse beiträgt.

Aufgrund der Heterogenität der benötigten Informationen und der verschiedenen, zum Teil simultan ablaufenden Tätigkeiten im Rahmen der produktionsgerechten Produktgestaltung entstehen Probleme bei der Informationsversorgung und -bereitstellung. Vor allem die durchgehende informationstechnische Unterstützung mit Daten aus späteren Phasen des Produktlebenszyklus bereitet Schwierigkeiten. Derzeit existiert noch keine Softwareinfrastruktur in Bezug auf die produktionsgerechte Produktgestaltung, die Produktlebenszyklus-orientiertes Informationsmanagement gewährleistet.

Die erfolgreiche Einführung der Plattform- und Modulstrategien wird von mehreren Industrien bestätigt, beispielweise von Seagate [Brown06], Sony [SaUz97] und Volkswagen [Wilh97]. Zum Beispiel verwendet Volkswagen dieselbe Plattform im VW New Beetle, Jetta, und Golf, Audi A3 und TT. Der Anteil an übereinstimmenden Teilen in diesen Modellen liegt schätzungsweise bei 65 % [Wilh97]. Laut einer Studie von PriceWaterhouseCoopers Automotive Institute in 2005 wurden die zehn Plattformen mit den höchsten Stückzahlen in jedes fünfte Fahrzeug eingebaut. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die ersten fünf Plattformen in der Liste.

Laut der Studie hatten in der Automobilindustrie alle global agierenden Unternehmen mindestens eine Plattform unter den Top 50. Dabei ist zu beobachten, dass Toyota bezüglich der Plattformenanzahl den zweiten Platz hinter GM belegt, dennoch übertraf GM die Japaner in der Gesamtstückzahl um mehr als eine halbe Million Einheiten. Das gesamte Produktionsvolumen der Top-50-Plattformen beläuft sich insgesamt auf drei von fünf hergestellten Fahrzeugen.

Rang	Plattform	Firma	2005 Produktion	Ausgewählte Modelle
1	A5	VW	1.968.215	VW Golf, Passat, Audi A3
2	NCV	Toyota	1376950	Toyota Corolla, Pontiac Vibe
3	TMP	Toyota	1363312	Toyota Camry, Estima, Lexus ES, RX
4	C1/p1	Ford	1328107	Ford Focus, Mazda 3 und 5, Volvo S40,
5	NBC	Toyota	1176085	Toyota Yaris, Peugeot 107

Tabelle 1: Fahrzeugplattformen mit den höchsten Stückzahlen (Quelle: PWC)

Der Trend zur Modularisierung gewinnt immer mehr an Bedeutung in der Industrie, dennoch muss von der wissenschaftlichen Seite her noch einiges an Forschung in diesem Thema betrieben werden. Vor allem die sinnvolle Integration in den Produktentwicklungsprozess ist eine große Aufgabe. Eine Liste der Vor- und Nachteile der bisher entwickelten Methodiken kann in [Simp04] gefunden werden. Ein weiteres unerforschtes Feld sind die finanziellen Auswirkungen der Plattformstrategie. So existieren bisher keine wissenschaftlich fundierten Kostenmodelle zur Kostenabschätzung des Erfolgs einer Plattform [Simps06]. Diese wurden bisher auf Basis der Annahme entwickelt, dass die Kostenreduzierung durch Synergieeffekte den erhöhten Aufwand kompensiert. Es existieren empirische Untersuchungen, dennoch ist ein wissenschaftlicher Beweis in der Literatur nicht zu finden.

Zusammenfassend lassen sich die folgenden Nutzen durch die Einbindung des Konzeptes der Plattform- und Modulstrategie für die Industrie ableiten:

- Kostenreduzierung auf Basis der Wiederverwendung von Produktkonzepten in verschiedenen Modellen und Varianten. Dabei können bis zu 50 % der Investitions- und Produktionskosten in der Produktionsanlage eingespart werden, speziell bei Schweißausrüstungen [Muff99].
- Flexiblere Reaktion auf Marktveränderungen und individuelle Kundenwünsche durch kürzere Entwicklungszeiten. Auf Basis der Wiederverwendung unterschiedlicher Module und Plattformen können Entwicklungszeiten um bis zu 30 % reduziert werden [Muff99].

- Die Unterstützung der Unternehmensvision, durch langfristige Planung der Funktionalitäten und Merkmale zukünftiger Produkte in der Strategieplanungsphase [Mar05].
- Die Erschließung neuer Märkte und dadurch die Erfüllung der Anforderungen mehrerer Marktsegmente und Performanceziele [Simps06]. Trotz regionaler und kultureller Unterschiede können neue Märkte mit den jeweiligen Produktvarianten beliefert werden, ohne dabei eine exponentielle Steigerung der Kosten herbeizuführen [Mar05].

3.2 Ansätze der Produktionsplanung

3.2.1 Grundlagen der Produktionsplanung

Wöhe definiert Planen als das „Treffen von Entscheidungen, die in die Zukunft gerichtet sind“ [Wöhe00]. Laut Stiegler bedeutet Produktionsplanung „das geistige Vorbereiten zukünftiger, zielgerichteter Handlungen [...] mit dem Ziel des Findens und Realisierens der wirtschaftlichsten Lösung, das heißt, wenn die Kriterien Qualität, Termin und Kosten in ihrer Gesamtheit ein Optimum erreichen“ [Stie99].

In der Produktionsplanung besteht der Bedarf nach Abstimmung mit der Produktentwicklung. Das Ziel ist die ganzheitliche Planung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen in Verbindung mit dem Produkt, wobei der Fokus auf der Produktionsplanung liegt [VDI-4499]. Die Produktionsplanung ist damit die Schnittstelle zwischen den Phasen Produktentwicklung und Produktherstellung mit dem Ziel eines optimalen Einsatzes der zur Verfügung stehenden Produktionsmittel sowie der Planung der Produktionsprozesse und -organisation [Geis06].

3.2.2 Digitale Fabrik

Eine in den letzten Jahren weit verbreitete Methode, die zunehmend Einzug in die Industrie gefunden hat, ist die Digitale Fabrik. Der Ansatz der Digitalen Fabrik bietet eine frühzeitige Parallelisierung von Produktentwicklung und Produktionsplanung durch ein ganzheitlich integriertes Datenmanagement an [VDI-4499]. In der Literatur bestehen unterschiedliche Definitionen für Digitale Fabrik.

Laut Westkämper et al. ist die Digitale Fabrik ein „Abbild der realen Fabrik in einem digitalen Modell, welches die Strukturen und Fertigungsprozesse visualisiert, simuliert

und somit erlebbar macht“ [West03]. Wiendahl et al. definieren die Digitale Fabrik als ein „visualisiertes und betreibbares Modell einer konkreten Fabrik mit sämtlichen Elementen und Prozessen“ [Wien02]. Ein ähnliches Begriffsverständnis haben auch Dombrowski et al.: „rechnergestützte Abbildung aller Gestaltungsmerkmale und Prozesse der Fabrik und als virtuell zu betreibendes Modell unter Verwendung realer Daten oder Planungsdaten“ [Domb01]. In allen diesen Arbeiten wird die Digitale Fabrik als eine rein digitale Abbildung der realen Fabrik aufgefasst, um mit Hilfe der Informationstechnologien die Fabrikprozesse simulieren und visualisieren zu können. Dabei ist unter einem Modell die „vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System“ zu verstehen [VDI-3633].

In Industriekreisen herrscht eine ähnliche Auffassung des Begriffes. Laut Haller ist die Digitale Fabrik ein „virtuelles Abbild der realen Fabrik auf Basis eines integrierten Datenmodells“ [Hall01]. Einige Arbeiten stellen auch Parallelen zu dem digitalen Produkt her, wie Schiller, der die Digitale Fabrik „als das Pendant zum Digitalen Fahrzeug“ sieht. „Genauso, wie ein CAD-Modell das Fahrzeug in all seinen Bestandteilen digital darstellt, beschreibt die Digitale Fabrik die spätere Fabrik in all ihren Komponenten samt deren Zusammenspiel“ [Schi02].

In Anlehnung der VDI-Richtlinie 4499 wird im Rahmen dieser Arbeit unter Digitale Fabrik die folgende Definition verstanden [VDI-4499]:

Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden, Prozessen und Werkzeugen, die informationstechnisch durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Das Ziel dabei ist die ganzheitliche Planung, Simulation, Validierung und kontinuierliche Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt, wobei der Fokus auf dem Produktionsprozess liegt. Der Anwendungsbereich erstreckt sich dabei über alle Phasen der Produktentwicklungsprozesse und alle Ebenen der produzierenden Fabrik.

Nach der VDI-Definition beinhaltet die Digitale Fabrik zwei weitere wichtige Aspekte. Der Begriff der Methode wird als ein wesentlicher Bestandteil der Definition erwähnt, genauso wie der Begriff des integrierten Datenmanagements in der Definition betont wird. Das Datenmanagement bildet nach einigen Auffassungen sogar den Kernpunkt der Digitalen Fabrik und spielt bei der Gestaltung von Engineering-Prozessen eine entscheidende Rolle [Brac02]. Dabei dürfen die einzelnen Aspekte der Digitalen Fabrik

nicht isoliert betrachtet werden. Vielmehr wird eine ganzheitliche Betrachtung von Nutzen sein, da nur das abgestimmte Zusammenwirken aller dieser Aspekte zur optimalen Erschließung der Nutzenpotenziale bei der Einführung der Digitalen Fabrik in den Unternehmen führt [Bär05]. Abbildung 21 verdeutlicht diese Zusammenhänge und illustriert die Digitale Fabrik in Form eines Schalenmodells.

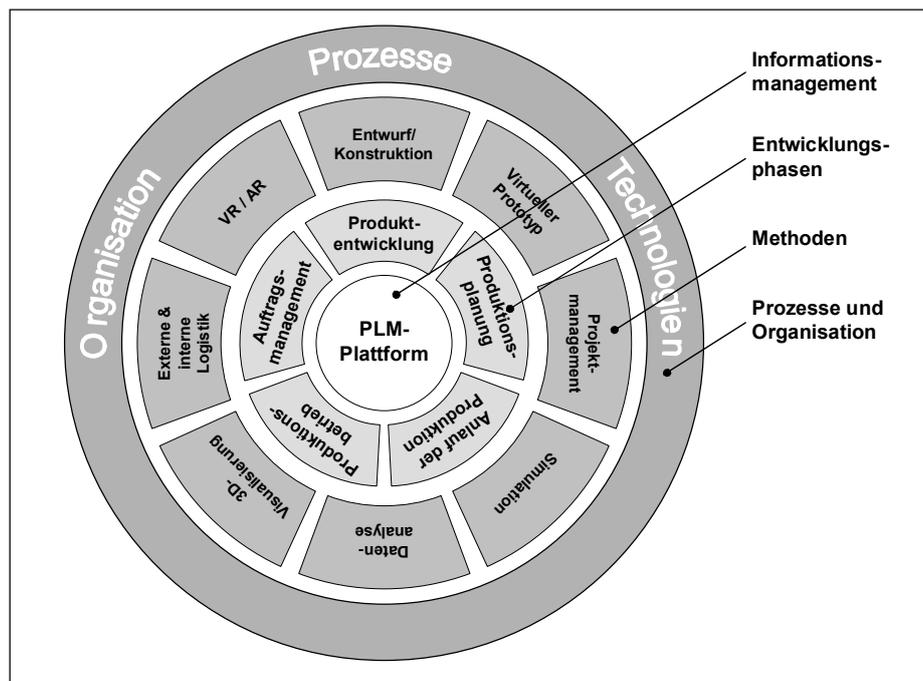


Abbildung 21: Digitale Fabrik als Schalen-Modell [West03]

Die Ziele und die Zielprozesse der Digitalen Fabrik leiten sich aus deren Anwendungsgebieten ab [Bie05]. Dabei gilt, dass „die Produktionsplanung mit all ihren Planungsphasen das Hauptanwendungsgebiet der Digitalen Fabrik darstellt“ [VDI-4499]. Weiterhin soll die Überlappung mit der Produktentwicklung im Sinne des Concurrent Engineering intensiv und zeitlich unterstützt werden [Sauer04]. Ein weiteres wesentliches Ziel ist es, die Integration über die Fabrik-, Linien-, Zellen- und Maschinenebenen bis hin zu technologischen Prozessen der realen Fabrik zu gewährleisten und miteinander zu vernetzen.

Das ursprüngliche Ziel der Digitalen Fabrik war es, durch informationstechnische Unterstützung die „Lücke“ zwischen der Produktentwicklung und der Herstellung zu schließen [Linn99]. Dabei ist die derzeit ausgeweitete, Lebenszyklus-bezogene Ausrichtung der Digitalen Fabrik zu erkennen. Abbildung 22 verdeutlicht diesen Sachverhalt und stellt die Anwendungsbereiche der Digitalen Fabrik im Strahlenkreuz der Unternehmensprozesse dar [VDI-4499].

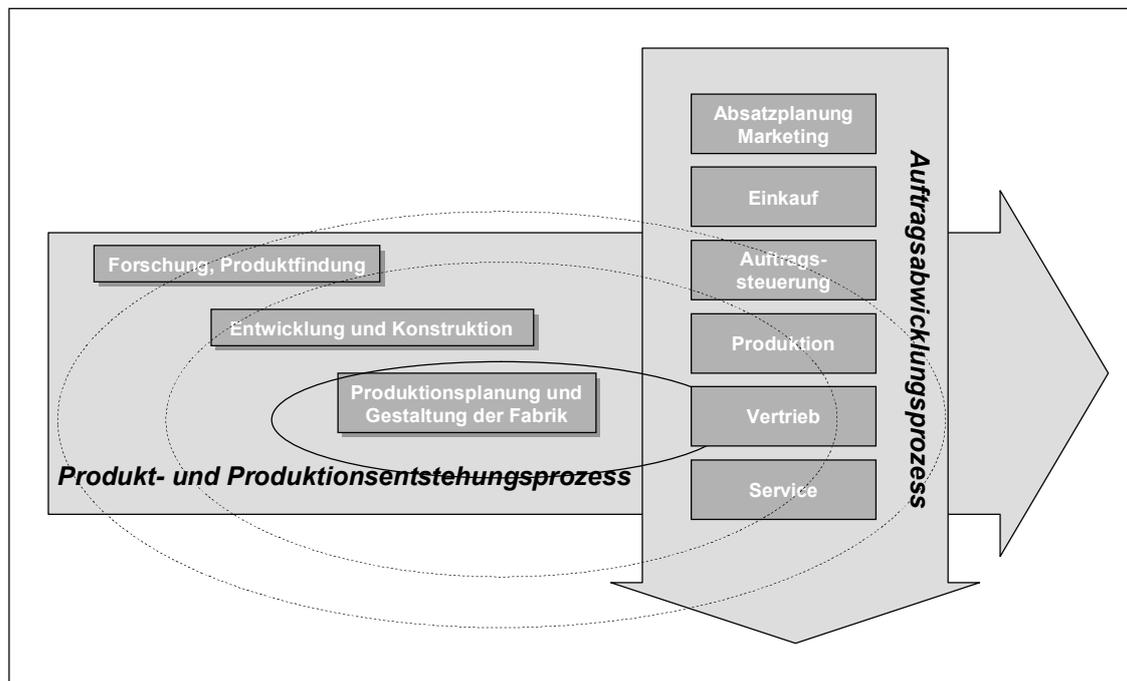


Abbildung 22: Fokus der Digitalen Fabrik nach [VDI-4499]

Digitale Absicherung im Rahmen der digitalen Fabrik

Zur Bewertung des aktuellen Entwicklungs- und Planungsstandes werden im Kontext der Digitalen Fabrik unterschiedliche Methoden und Softwarewerkzeuge eingesetzt. In den frühen Entwicklungsphasen erfolgt die aktive Produktbeeinflussung lediglich durch Änderungen in der Planungs- und Arbeitskultur. Hierfür wird der Planung mehr Kapazität in den frühen Phasen der Entwicklungsprojekte zugeordnet. Dazu muss der Planungsprozess als gleichberechtigter Partner des Produktentwicklungsprozesses akzeptiert werden. Die Zugriffe auf Daten und Informationen schon in diesen frühen Phasen sind von enormer Bedeutung, auch wenn aus Entwicklungssicht keine Absicherungen durchgeführt worden sind. Hierbei wird klar hervorgehoben, dass die Absicherungen nicht mehr rein aus Konstruktionssicht stattfinden sollten, sondern zusammen mit der Prozessplanung durchzuführen sind. In den unterschiedlichen Entwicklungsphasen sind spezifische Absicherungsschwerpunkte im Rahmen der Digitalen Fabrik sinnvoll [Bran07]:

- Der Schwerpunkt in der Konzeptplanungsphase liegt in der aktiven Produktbeeinflussung.
- Der Fokus in der Detaillierungsphase wird bestimmt durch Standardisierung, Modularisierung und Formalisierung des Erfahrungswissens.

- In der Umsetzungsphase gewährleistet die virtuelle Inbetriebnahme einen möglichst glatten Übergang von der digitalen Welt in die reale Welt.

Die digitale Absicherung erzielt hierbei eine digitale Validierung des Entwicklungsstandes auf Basis von digitalen Produkt- und Prozessbeschreibungen. Der in Abbildung 23 abgebildete Validierungsprozess besteht aus zwei unabhängigen und komplementären Schritten. Der erste Schritt ist eine kontinuierliche und durchgängige Validierung der Planungsergebnisse bzw. die möglichst frühe Validierung der relevanten Produktionsprozesse und -vorrichtungen. Im zweiten Schritt werden Prozessbewertungen und sog. Digital Process Days durchgeführt. Dabei werden die Planungsziele zu bestimmten Zeitpunkten und Meilensteinen untersucht. Der digitale Validierungsprozess basiert auf Techniken und Methoden des DMUs. Analog zum DMU in der Produktentwicklung kann dieses Prozedere als Prozess-DMU in der digitalen Planung betrachtet werden [WoSch05].

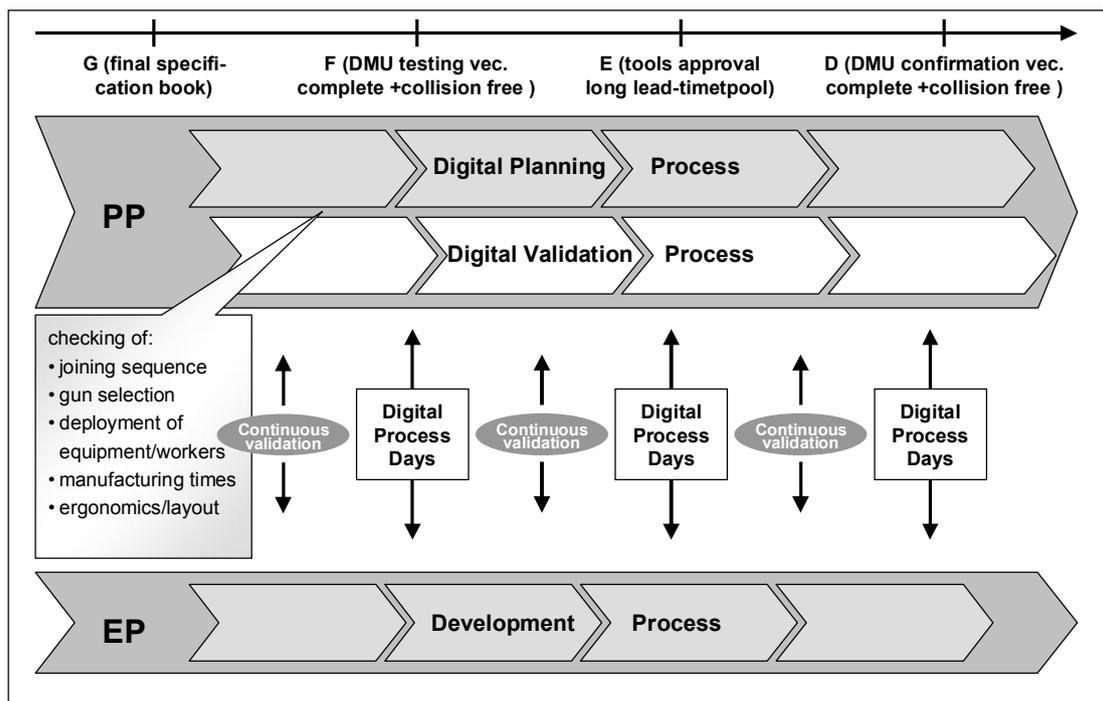


Abbildung 23: Digitale Absicherung im Kontext der digitalen Fabrik [WoSch05]

Das übergeordnete Ziel dieser Entwicklungen ist die Flexibilisierung der Produktionssysteme, sodass diese adäquat auf geänderte Marktanforderungen reagieren können, um neue Produkte möglichst schnell und bei geringen Herstellkosten zu produzieren. Diese Evolution der Produktion zu agilen Systemen findet in Europa unter erschwerten Bedingungen statt, da zumeist keine neuen, vollständig flexiblen

Produktionsstätten errichtet werden können, sondern evolutionär bestehende Produktionsanlagen umgestaltet werden müssen [Bran07].

3.2.3 Lean Production

Eine weit verbreitete Methodik zur Optimierung und Flexibilisierung der Produktion ist die Lean Production.

Der Begriff Lean Production

Der Begriff „Lean Production“⁶ ist auf Beginn der 50er Jahre datiert und wurde am Anfang von seinen Erfindern Ohno⁷ und Shingo⁸ stark geprägt [Mot03]. Aufgrund der wirtschaftlichen Situation der japanischen Industrie konnten sich die Unternehmen kein Massenproduktionssystem nach amerikanischem Vorbild leisten. Die wirtschaftliche Lage erzwang spezielle Maßnahmen, die sehr gute Ergebnisse brachten. Sie versuchten das Ford-Fließbandprinzip mit dem japanischen Streben nach Perfektion zu integrieren [HerHi08]. Als zentrales Ziel galt die Vermeidung von Verschwendung, welche sich später als der Kern des Toyota-Produktionssystems etabliert hat [ArMa05]. Als Verschwendung wird alles angesehen, was nicht zur Wertschöpfung in den Augen des Kunden beiträgt, wie z.B. Überproduktion, Lagerungskosten etc. Die folgende Beschreibung von dem Erfinder der Lean Production, Ohno, verdeutlicht diesen Sachverhalt:

All we are doing is looking at the time line from the moment the customer gives us an order to the point when we collect the cash. And we are deducing that time by removing the non-value-added wastes (Ohno, 1988).

Zentrales Augenmerk liegt hierbei auf der Vermeidung von Verschwendung in der Produktion. Es soll ein Produkt mit weniger Materialien, in kürzerer Zeit, mit weniger Arbeit und Energie, auf engerem Platz und mit geringeren Lagerbeständen produziert werden. Das Ziel ist dabei, schnell auf veränderte Kundenforderungen zu reagieren und trotzdem ein qualitativ hochwertiges Produkt auf die effizienteste und wirtschaftlichste Art und Weise zu produzieren [Lik04].

⁶ Auf Deutsch hat sich der Begriff „schlanke Produktion“ etabliert.

⁷ **Taiichi Ōno** (*1912 - † 1990) war der Erfinder des Toyota-Produktionssystems.

⁸ **Shingō Shigeo** (*1909 - † 1990) war Ingenieur und gilt als einer der Mitentwickler des Toyota-Produktionssystems.

Prinzipien der Lean Production

Die wichtigsten Prinzipien der Lean Production werden durch die Architektur des Toyota-Produktionssystems veranschaulicht, welches in der Abbildung 24 dargestellt wird.

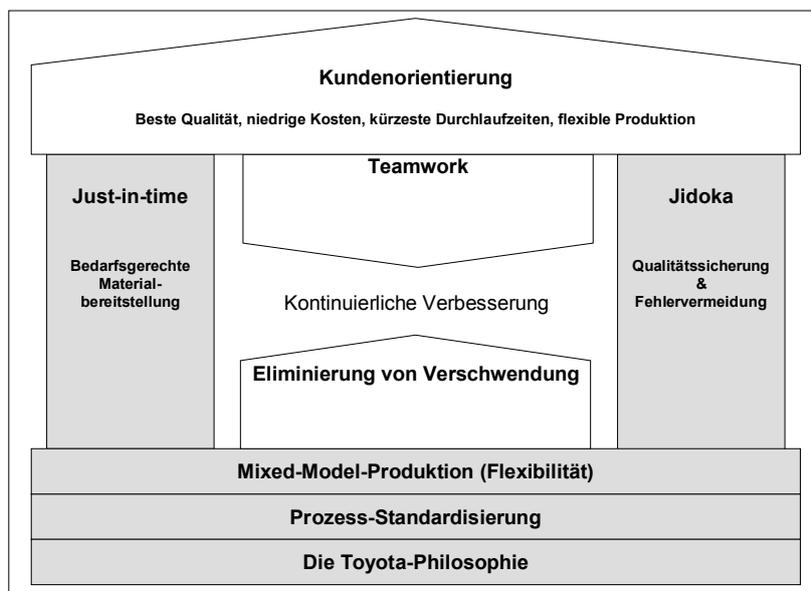


Abbildung 24: Das Toyota-Produktionssystem, angelehnt an [Lik04]

Die Kernziele des gesamten Lean-Production-Konzeptes sind die Erhöhung der Qualität und die Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz eines Produktionssystems mit dem Hauptziel, eine optimale Kundenzufriedenheit durch kundengerechte Produkte zu erlangen. Dieser Sachverhalt wird im Dach der Architektur dargestellt. Die zwei tragenden Säulen im Architekturmodell sind die Prinzipien *Just-in-time* und *Jidoka*. *Just-in-time*, auch bedarfssynchrone Produktion genannt, ist ein Konzept zur bedarfsgerechten Materialbereitstellung. *Jidoka* ist ein Qualitätsmanagementkonzept zur automatischen Erkennung von Fehlern innerhalb einer Produktionsanlage. Den Kern des Konzepts bilden die Mitarbeiter des Konzerns, die kontinuierlich motiviert werden, die Produktionstätigkeiten zu überdenken und nach effizienteren Wegen zur Erfüllung ihrer Arbeit zu suchen [Abd03]. Die Architektur basiert auf einem soliden Fundament, das auf einer Standardisierung der Produktionsprozesse und Flexibilität (*heijunka*) hinsichtlich Mix-Model-Produktion aufbaut. Das Fundament gewährleistet, dass das Produktionssystem stabil, robust und mit minimalen Zwischenpuffern läuft [Lik04]. Diese Hauptprinzipien werden durch mehrere Methoden im Rahmen der Lean Production unterstützt. Im Folgenden werden die wichtigsten kurz erläutert.

Methoden der Lean Production

Just-in-time ist eine bedarfsgerechte Materialbereitstellungsmethode, welche die Verantwortung für die Bereitstellung von Gütern und Teilen auf den Zulieferer verlagert. Materialien werden immer bei Bedarf – zeitlich möglichst genau berechnet – direkt an die Montagelinie geliefert. Das Ziel ist es, die nicht benötigten Zwischenlager wegzuoptimieren. Voraussetzung hierbei ist eine ständige Überwachung des Teilebedarfs auf der Produktionsseite und eine schnelle Reaktionsfähigkeit des Zulieferers auf Bestellungen [Nak98]. Eine Weiterführung von Just-in-time ist Just-in-sequence, welche zusätzlich zu dem Zeitaspekt die Bereitstellung der Materialien in Bezug auf die Produktionsfolge berücksichtigt.

Das **Kanban-Prinzip** ist ein Teilaspekt des JIT-Konzeptes. Es ist ein Produktionssteuerungskonzept, das niedrige Lagerbestände in den einzelnen Werkstätten anstrebt.

One-Piece-Flow ist das Prinzip des „Einzel-Stück-Flusses“. Dabei wird ein Teil im Produktionsfluss kontinuierlich so lange weiterbearbeitet, bis es fertig ist. Hierfür ist oft eine Neuorganisation der Arbeitsplätze und Produktionsbänder notwendig. Durch den ununterbrochenen Produktionsfluss wird die Notwendigkeit nach hohen Zwischenpufferbeständen reduziert und somit die Verschwendung eliminiert [Mot03].

Standardisierung von Prozessen durch Taktzeit ist eine Methode zur Prozessstandardisierung. Dafür wird die sogenannte Taktzeit berechnet, also der Quotient aus verfügbarer Arbeitszeit und geforderter Anzahl an Fertigerzeugnissen (FE) [Abd03]. Damit repräsentiert die Taktzeit die Bearbeitungszeit für ein Fertigerzeugnis. Durch die Einhaltung der Taktzeit kann ein optimales Ausbalancieren des Produktionsvolumens erreicht und damit die Vermeidung von Warteschlangen an den einzelnen Stationen erzielt werden [Mot03].

Failure Modes Effects Analysis (FMEA) ist eine analytische Methode der Qualitätssicherung. FMEA verfolgt die Fehlervermeidungs- anstatt der Fehlerreduzierungsstrategie durch die frühzeitige Identifikation potenzieller Fehlerursachen bereits in der Entwurfsphase und durch das Ergreifen geeigneter Gegenmaßnahmen. Dadurch werden anfallende Fehlerfolgekosten in der Serienproduktion reduziert und die Kosten insgesamt gesenkt [Vit04].

3.2.4 Stand der Industrie

Hinsichtlich der Ziele der Digitalen Fabrik und der mit ihrem Einsatz zu erschließenden Nutzpoteziale dominiert im industriellen sowie auch im wissenschaftlichen Umfeld eine große Übereinstimmung. Zur Erschließung dieser Potenziale wurden im Rahmen der Digitalen Fabrik bereits einige methodische und softwaretechnische Lösungen realisiert und in die Praxis umgesetzt.

In diesem Zusammenhang verfolgt die Audi AG mit dem Einsatz digitaler Planungsmethoden und -werkzeuge das Ziel, „mehr Produkte in kürzerer Zeit zu geringeren Kosten und in einer höheren Qualität auf den Markt zu bringen“ [Chac04].

Bei den anderen großen Automobilkonzernen ist eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. Abbildung 25 illustriert den Einsatz der Digitalen Fabrik bei Daimler AG. Hierbei liegt der Fokus auf der Lebenszyklusphase der Produktionsplanung und erfasst die durchgängige, integrierte sowie digitale Planung und Absicherung von Produkt- und Prozessspezifikationen entlang des Produktlebenszyklus – von der Phase der Produktentwicklung über die Phase der Produktionsplanung bis hin zur Serienproduktion.

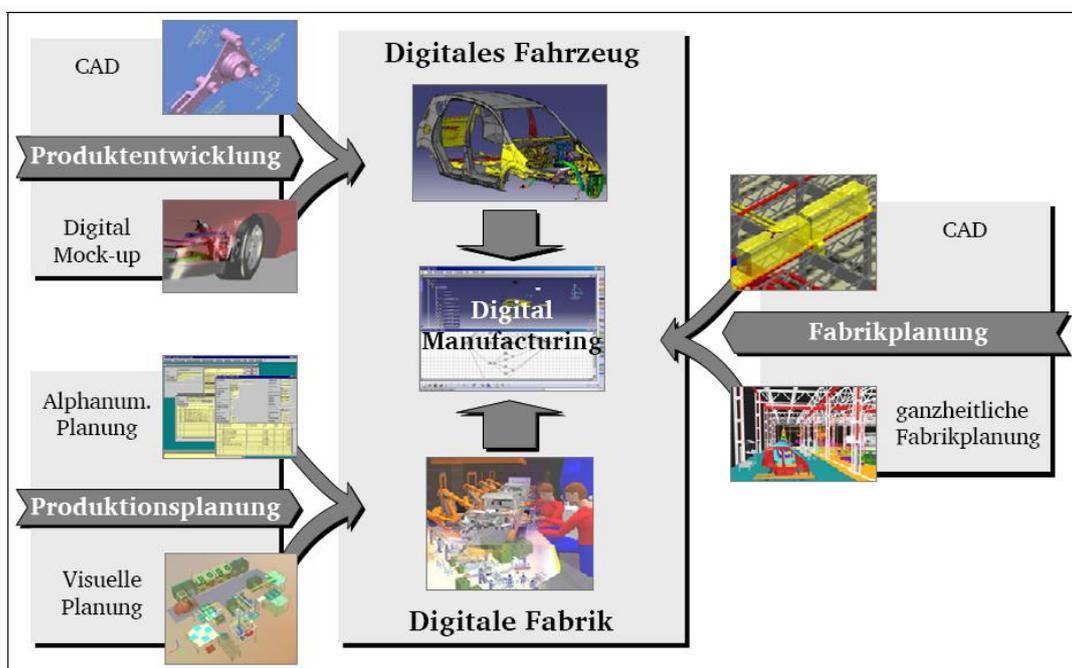


Abbildung 25: Integration von Produkt-, Prozess- und Ressourceinformationen im Kontext der Digitalen Fabrik [WoSch05]

Die im Rahmen der Digitalen Fabrik zu erzielenden Nutzpoteziale sind nicht nur auf die Lebenszyklusphase der Produktionsplanung beschränkt. Vielmehr lassen sich diese

auf andere Projektphasen aufgrund der Tatsache übertragen, dass die Digitale Fabrik als „Bindeglied und Integrator zwischen Produktentwicklung, Planung und Produktion“ agiert. Durch die frühzeitige Produktbeeinflussung lässt sich beispielsweise der Produktionsablauf durch digital abgesicherte Planungsprozesse deutlich beschleunigen. Zudem kann die Produktqualität bei kürzeren Entwicklungszeiten signifikant erhöht werden. Der somit erbrachte Zeitgewinn hat einen direkten Einfluss auf den Markteintritt neu zu produzierender Produkte [Brac05].

Neben diesen allgemein gefassten Nutzpotenzialen kann in der Literatur eine Reihe weiterer Kennzahlen zum qualitativen Nutzen der Digitalen Fabrik gefunden werden. So wird laut einer Studie durch den Einsatz der Digitalen Fabrik eine „Zeitersparnis von bis zu 30 Prozent, eine projektbezogene Kostensenkung von 15 Prozent und eine Erhöhung des Produkt- und Anlagenreifegrads von 5-10 Prozent“ prognostiziert [HaRi02]. Dabei orientiert sich der erzielte Zeitgewinn lediglich an der Projektphase der Produktionsplanung und des Produktionsanlaufs. Laut einer weiteren Untersuchung konnte der Automobilhersteller Daimler AG eine Beschleunigung der Produktionsplanungszeit um bis zu 40 % bei einer gleichzeitigen Steigerung der Planungsqualität erzielen. Dabei erbringen kürzere Entwicklungs- und Produktionsplanungszeiten wiederum geringere Gesamtkosten [Schi02].

Neben der Reduzierung der Planungskosten werden im industriellen Kontext die Werkzeuge und Methoden der digitalen Fabrik lediglich zur Reduzierung der Planungszeiten sowie zur Steigerung der Planungsqualität eingesetzt [Bley06].

Lean Production

Durch die Anwendung des Lean Manufacturing konnte Toyota in den 80er Jahren seine Produktoffensive auf dem amerikanischen Markt erfolgreich starten. Aufgrund der erhöhten Effizienz japanischer Produktionsanlagen im Vergleich zu den Produktionsanlagen anderer Hersteller [Wom90] – trotz des niedrigeren Automationsgrades [CoTh06] – konnten sie ihre Autos zu einem viel niedrigeren Preis anbieten, obwohl sie längere Distributionswege und höhere Transportkosten im Vergleich zu den Wettbewerbern hatten.

Aufgrund des Erfolges des Konzeptes haben amerikanische und europäische Firmen Anfang der 90er Jahre versucht das Lean Manufacturing bei sich einzuführen [ArMa05]. Während die Integration der technischen Werkzeuge des Lean Manufacturing gut voranschritt, hatten die meisten Firmen nach [HerHi08]

Schwierigkeiten bei der Adaption der organisatorischen Kultur und der Prinzipien hinter dem Lean Manufacturing.

3.3 Ansätze des Informationsmanagements

The successful engineering enterprise of this century will be characterized by an organization that supports process thinking and manages experience and intelligence based on information [Ivip].

Dieses Kapitel befasst sich mit Ansätzen zum effizienten Management und zur Organisation von Unternehmensprozessen und -wissen, Informationen und Daten.

Eine wichtige Aufgabe des Prozess- und Informationsmanagements ist eine durchgehende informationstechnische Unterstützung bei der Gestaltung optimaler Engineering-Prozesse. Vor diesem Hintergrund ist die Integration der Prozess- und Systementwicklung ein Grundbaustein dieses Ziels, wie in Abbildung 26 dargestellt wird.

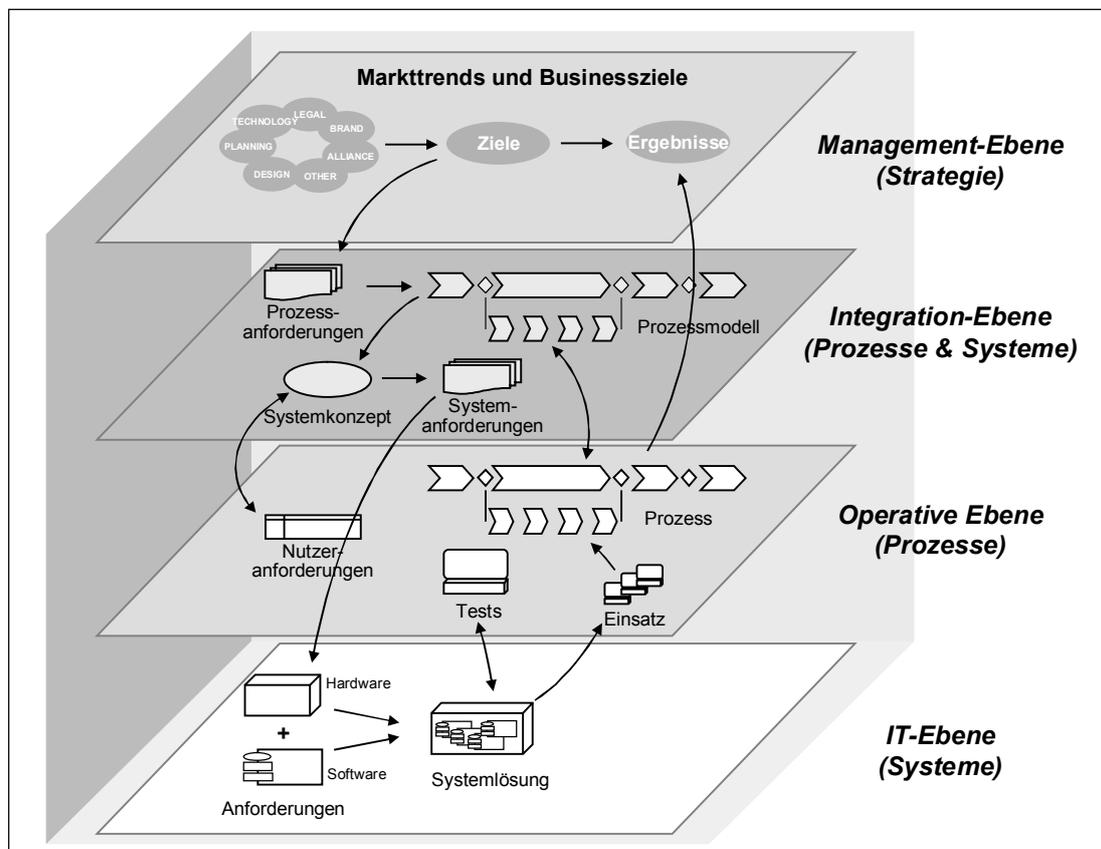


Abbildung 26: Prozess- und Systemintegration im Unternehmen [Ovtch05]

Die Integration der Prozess- und Systementwicklung wird durch eine neu geschaffene, logische Ebene, die sog. Prozess- und Systemintegrationsebene, unterstützt. Dabei werden die strategischen Unternehmensziele in Prozessanforderungen übersetzt, denen entsprechende Arbeitsmethoden in Form von Prozessmodellen zugeordnet werden können. Ausgehend von diesen Prozessmodellen und vordefinierten Nutzenanforderungen können die entsprechenden Konzepte für die IT-Umsetzung entworfen werden [Ovtch05].

3.3.1 Product Lifecycle Management

Ein wichtiges Konzept, das Einsatz bei dem unternehmensweiten und produktphasenübergreifenden Informationsmanagement findet, ist das Product Lifecycle Management (PLM).

Der Begriff PLM

Das Product Lifecycle Management (PLM) hat sich als ein zentraler Ansatz von Lebenszyklus-orientiertem Informationsmanagement und damit zur Verbesserung von Engineering-Prozessen in produzierenden Unternehmen etabliert. Gegenstand des PLM sind produktbezogene Informationen von der ersten Idee bis hin zum Produktrecycling. Das Ziel ist die informationstechnische Integration aller im Produktlebenszyklus agierenden Softwarelösungen, wie Enterprise Resource Planning (ERP), Supply Chain Management (SCM), Customer Relationships Management (CRM) und Product Data Management (PDM) über ein einheitliches Informationsmodell. PLM umfasst integrierte Konzepte, Methoden und Werkzeuge zum Management von Engineering-Informationen, -Prozessen und -Anwendungen in kooperativen, global verteilten Produktlebenszyklen, unter Berücksichtigung von Herstellern, Kunden und Zulieferern [Abr06a].

Trotz der intensiven Forschungsarbeiten, die sich in den letzten Jahren mit PLM beschäftigten, existieren keine echten PLM-Lösungen auf dem Markt [Abr06a], [EigOv07]. PLM-Lösungen haben sich historisch entwickelt aus CAX- und Ingenieursanwendungen, ERP/SCM-Werkzeugen und PDM-Systemen. Daher reflektieren heutige PLM-Lösungen den Hintergrund ihrer Anbieter und haben unterschiedliche Ausprägungen, wodurch keine davon die gestellten Anforderungen an ein-PLM System vollständig erfüllt [Abr06b].

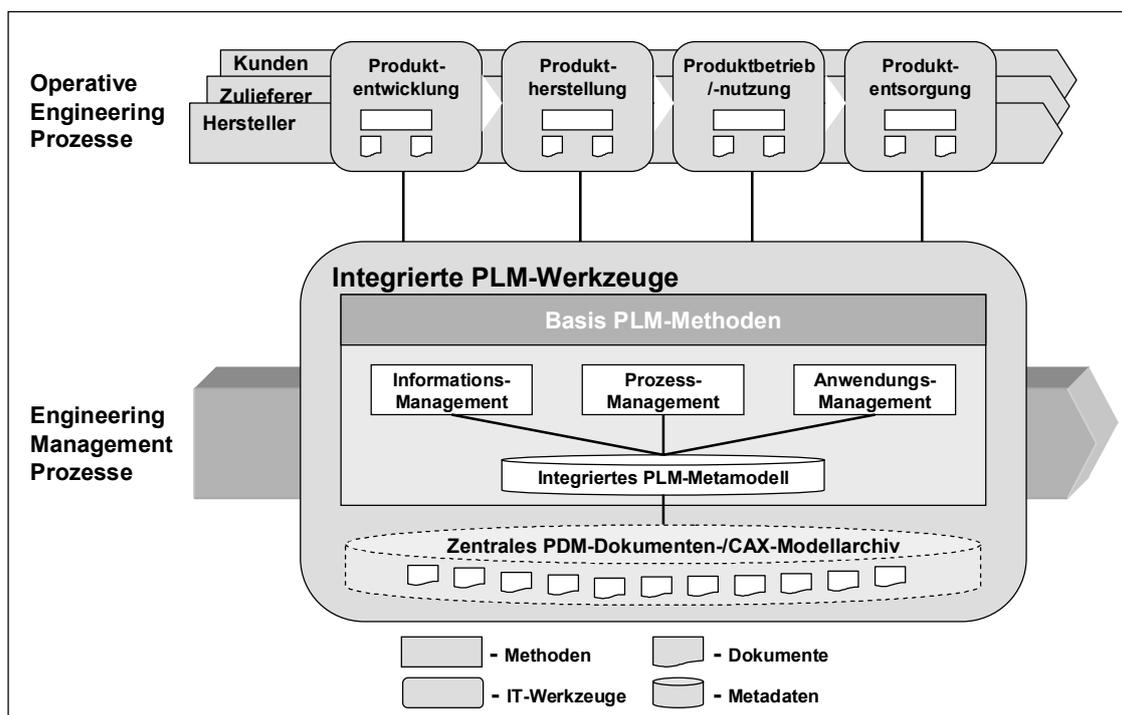


Abbildung 27: Grundkonzept des heutigen Product-Lifecycle-Managementansatzes (in Anlehnung an [Abr06a])

Das PLM fokussiert den gesamten Produktlebenszyklus von der Entwicklungsphase bis hin zur Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase. PLM ist damit eine logische und sinnvolle Weiterentwicklung von PDM [ZetKa06]. Abbildung 27 illustriert den klassischen Gedanken hinter PLM. Der Kern ist ein integriertes Daten- und Prozessmetamodell, das in einer zentral gesteuerten Datenbank verwaltet wird [Abr06b]. Das PLM-Metamodell abstrahiert die Kenngrößen, Prozessverläufe und Phasenlänge eines Produkts. Somit ist das PLM-Modell ein Beschreibungsmodell zur Abbildung betriebswirtschaftlicher Aspekte [Schimm02].

In der Literatur wird neben dem klassischen Modell für PLM noch das Modell des integrierten Produktlebenszyklus betrachtet. Dabei werden die Phasen der Entwicklung und der Entsorgung besonders im Detail erläutert [Schimm02].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Synchronisation der Produktkonstruktion und Produktionsplanung in der Entwicklungsphase mit der Phase der Produktherstellung von besonderem Interesse, was immer noch eine große Herausforderung für die Realisierung von PLM-Systemen darstellt [Eig07].

Anspruch moderner PLM-Systeme ist es, die Verzahnung zwischen Produkt- und Ressourcensicht zu gewähren. Die zwei Sichten sind in Abbildung 28 dargestellt.

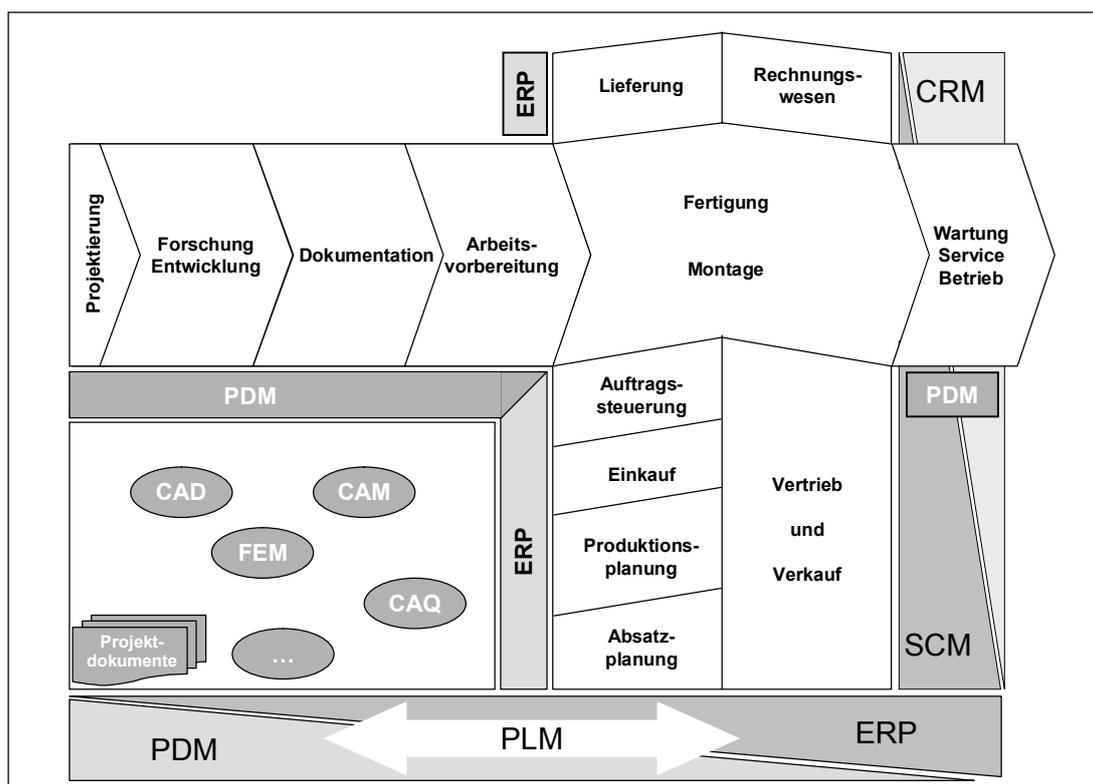


Abbildung 28: PLM als Integration zwischen der produktzentrischen und der ressourcenorientierten Sicht [Kar06]

Die produktzentrische Sicht von Strategie, Forschung und Entwicklung, Dokumentation, Arbeitsvorbereitung bis hin zur Herstellung, Nutzung, After Sales und Entsorgung wird in der horizontalen Ebene der Abbildung dargestellt. Die Digitalisierung der Produktentwicklung spielt aus Ingenieursicht die zentrale Rolle, um die komplette Produktspezifikation in einem integrierten Modell abzubilden und somit die Spezifikation frühzeitig abzusichern, um Produkte schneller, kostengünstiger, mit kontinuierlich steigender Qualität zu entwickeln. Die konsistente Datenhaltung der entlang dieser Prozesskette entstehenden Informationen und Daten wird durch PDM-Systeme gewährleistet.

Die vertikale Achse wird durch Systeme unterstützt, die ursprünglich aus der Materialwirtschafts- und Auftragsplanung kommen und als Systeme für das Enterprise Resource Planning (ERP) bezeichnet werden. Deren primäre Aufgabe ist es, die für Herstellung, Vertrieb und Kundenbetreuung relevanten Ressourcen und Informationen zu verwalten [Kar06]. Weitere Systeme in der vertikalen Linie sind Lösungen im Umfeld von Supply Chain Management (SCM) und Customer Relationship Management (CRM), die insbesondere die Anbindung von Zulieferer und Lieferanten informationstechnisch unterstützen.

3.3.2 Wissensmanagement

Ein wesentlicher Bestandteil der Produktentwicklung ist der Austausch von Daten, Informationen und Wissen [Hong04]. Eine Studie des International Institute for Learning Organization and Innovation (ILOI) besagt, dass das Wissen als die hauptwertschöpfende Tätigkeit bei der Mehrheit der führenden Unternehmen in Deutschland, der Schweiz und Österreich bezeichnet wird [Web02]. Wissen wird sogar bei den Wertschöpfungsunternehmen als der Wettbewerbsfaktor des neuen Jahrhunderts identifiziert [Dav05].

Der Begriff Wissensmanagement

Wissensmanagement ist die „unternehmensweite, mit den Unternehmenszielen und der Unternehmenskultur abgestimmte Planung, Steuerung und Kontrolle der Wissensprozesse unter Einbeziehung von Organisation, Aufgabenträgern und Technologie“ [Paulz00]. Es umfasst dabei alle Techniken, Methoden und Werkzeuge zur möglichst effektiven und effizienten Verwaltung des intellektuellen Kapitals eines Unternehmens [Web02]. Hauptbestandteile des Wissensmanagements sind Wissen, Information, Daten und Zeichen, deren Zusammenhänge im unteren Bereich der Wissenstreppe von North in Abbildung 29 dargestellt werden [North98]. Die Bestandteile des Wissens sind Daten und Informationen. Allerdings sind die Daten und Informationen nicht ausreichend, um Wissen zu definieren, da Wissen umfangreicher ist. Die folgenden zwei Definitionen beschreiben Daten, Informationen und Wissen: „Informationen sind Daten, die man interpretieren kann“ und „Wissen sind Objekte und Modelle, die wir für wahr und nützlich halten, da sie die Welt in und um uns erklären und unser Handeln vernünftiger werden lassen“ [End03]. Weiterhin bietet Wissen in seiner Gesamtheit einen Strukturrahmen zur Beurteilung und Eingliederung neuer Erfahrungen und Informationen [DavPR98].

Der größte Teil des Wissenspotenzials im Unternehmen ist das Erfahrungswissen in den Köpfen der Mitarbeiter. Die restlichen Daten und Informationen sind in unterschiedlichen Datenbanken gespeichert und liegen in unstrukturierter Form vor [Dav05].

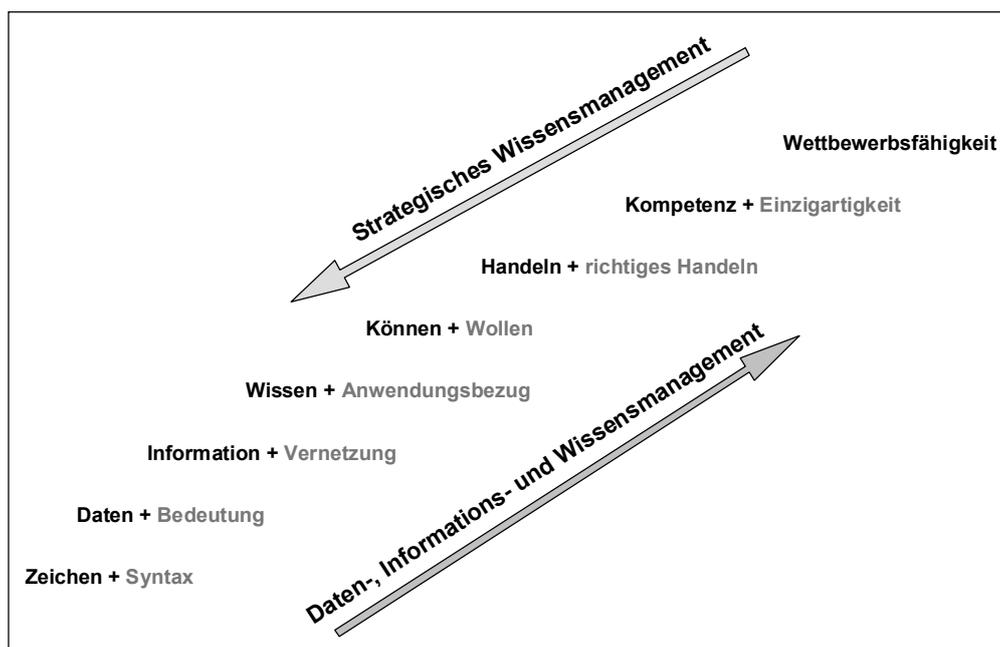


Abbildung 29. Wissenstreppe nach North [North98]

Um dieses Potenzial zweckmäßig und effektiv auszuschöpfen, betreiben die Unternehmen das Wissensmanagement. Folgendes muss gewährleistet werden:

- der Aufbau einer geeigneten Infrastruktur zur Kommunikation,
- der Aufbau organisatorischer Strukturen zur Verwaltung von Wissensgruppen und Zugriffsrechten und
- die Bereitstellung inhaltsorientierter Methoden zum Austausch und zur Weitergabe von Wissen.

In diesem Kontext lässt sich Wissen grundsätzlich in zwei Typen unterteilen: Die subjektiven Erfahrungen einer Person werden als implizites Wissen bezeichnet und können nicht formalisiert werden. Dazu zählen kompetente Handlungen auf Basis von persönlichen Erfahrungen, welche nicht in Form einer Dokumentation nachzulesen sind, wie z.B. die Fähigkeit, Fahrrad zu fahren [NonKo98].

Im Gegensatz zum impliziten Wissen steht das explizite Wissen. Dessen Hauptmerkmal ist es, sich in mathematischer Form formalisieren und dadurch in digitalen Medien und Datenbanken dokumentieren zu lassen [NonTa98].

Darüber hinaus lässt sich Wissen in unterschiedliche Kategorien hinsichtlich der Nutzung auf den Organisationsebenen eingliedern. Tabelle 2 stellt die unterschiedlichen Ebenen dar.

	Individuelle Ebene	Team-ebene	Organisations-ebene	Interorganisations-ebene
Implizites Wissen	Persönliche Haltungen gegenüber Kollegen	Gemeinsame Haltung gegenüber Teammitgliedern	Wahrnehmung des Projektauftritts durch Fremde	Umgangsformen bei interorganisationaler Projektdurchführung
Explizites Wissen	Persönlicher Schriftwechsel	Kodifiziertes Projektwissen	Organisation & Handbücher	Kunden-/Lieferantenbeziehungen

Tabelle 2: Ebenenmodell von Wissen [Seu98]

Die Bausteine des Wissensmanagement-Prozesses werden in Abbildung 30 dargestellt. Dabei wird zwischen operativen Prozessen und Steuerungsprozessen des Wissensmanagements unterschieden.

In der Steuerungsebene werden strategische, normative und operative Wissensziele gesetzt, die nach Wichtigkeit und Relevanz für die spätere Nutzung priorisiert werden. Dabei wird die Zielerreichung überprüft und in einen Managementprozess eingebunden. Innerhalb der operativen Prozesse soll das Wissen hinsichtlich seiner Verwendbarkeit identifiziert und erworben werden; das Wissen soll von der Forschung entwickelt, an die richtigen Stellen verteilt sowie angewendet und im Anschluss bewahrt werden [Prob97].

Dank der rasanten Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie in den letzten zwei Jahrzehnten konnten viele Wissensmanagement-Systemlösungen auf den Markt gebracht werden. Derzeitige Wissensmanagement-Systeme können als logische und sinnvolle Weiterentwicklung von Datenmanagement- über Informationsmanagement-Systeme betrachtet werden [Remu02].

Expertensysteme

Ein in der Praxis weit verbreitetes Werkzeug zum Wissensmanagement sind die sogenannten Expertensysteme. Die zu Grunde liegende Idee bei Expertensystemen ist es, das über Jahre hinweg akkumulierte Wissen und die Erfahrungen hochspezialisierter Experten in einem Computersystem nachzubilden, sodass diese Informationen in Zukunft problemlos reproduziert werden können [Sapu05].

Puppe definiert ein Expertensystem wie folgt: „Systeme sind Softwareprogramme, mit denen das Spezialwissen und die Fähigkeit qualifizierter Fachleute zur Schlussfolgerung auf eng begrenzten Aufgabengebieten nachgebildet werden soll“ [Puppe1991].

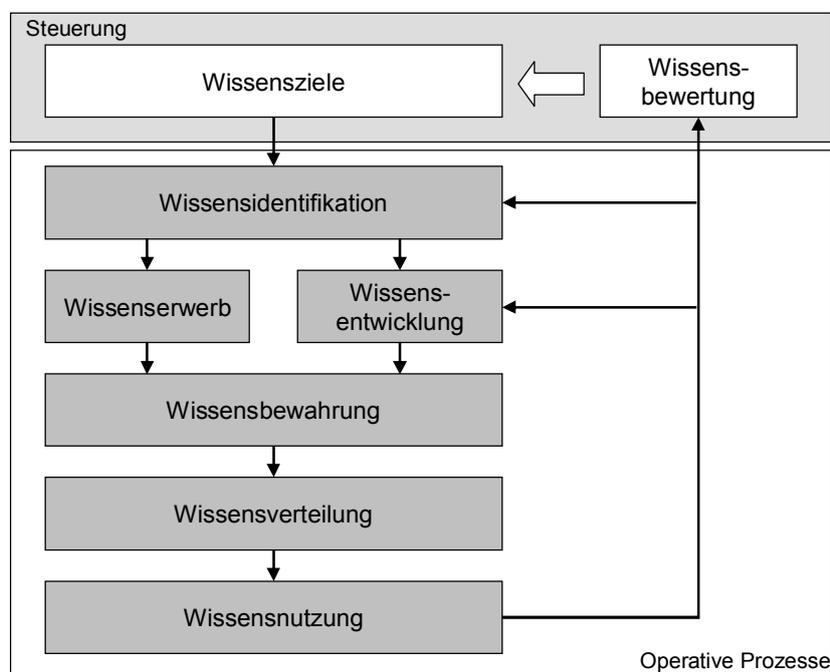


Abbildung 30: Die Bausteine des Wissensmanagement-Prozesses (nach [Prob97])

Viele der auftretenden Probleme und Aufgaben in einem Unternehmen sind Wiederholungen, die bereits in der Vergangenheit durch Fachleute gelöst worden sind. Mit Hilfe der Expertensysteme sollen Fachleute bei wiederauftretenden und oft zeitraubenden Routinetätigkeiten unterstützt und dadurch entlastet werden.

Die Lösungsstrategie eines Fachexperten besteht darin, aus unterschiedlichen Einzelkenntnissen einen Lösungsweg zur Problembehandlung zu finden. Dieses Prinzip wird auch bei Expertensystemen angewendet. Dabei wird das Wissen mehrerer Experten formalisiert und in Form von Regeln und Fakten in dem System abgebildet. Expertensysteme interpretieren dieses Wissen mit Hilfe unterschiedlicher Lösungsstrategien (siehe Tabelle 3) und gelangen zu Schlussfolgerungen, wie in der bestimmten Situation vorzugehen ist [Sapu05]. Abbildung 31 illustriert den typischen Aufbau eines Expertensystems [Gottlob1990].

Die Wissensbasis beinhaltet „das Wissen“ eines Expertensystems. Es werden zwei Kategorien von Wissen verwaltet:

- **Generisches Wissen** in Bezug auf die Domäne in Form von Fakten, Wissen über deren Zusammenhänge, Schlussfolgerungsmechanismen, Methoden und möglichen Einsatzstrategien von Wissen.
- **Fallspezifisches Wissen**, das die Belegung der relevanten Variablen widerspiegelt.

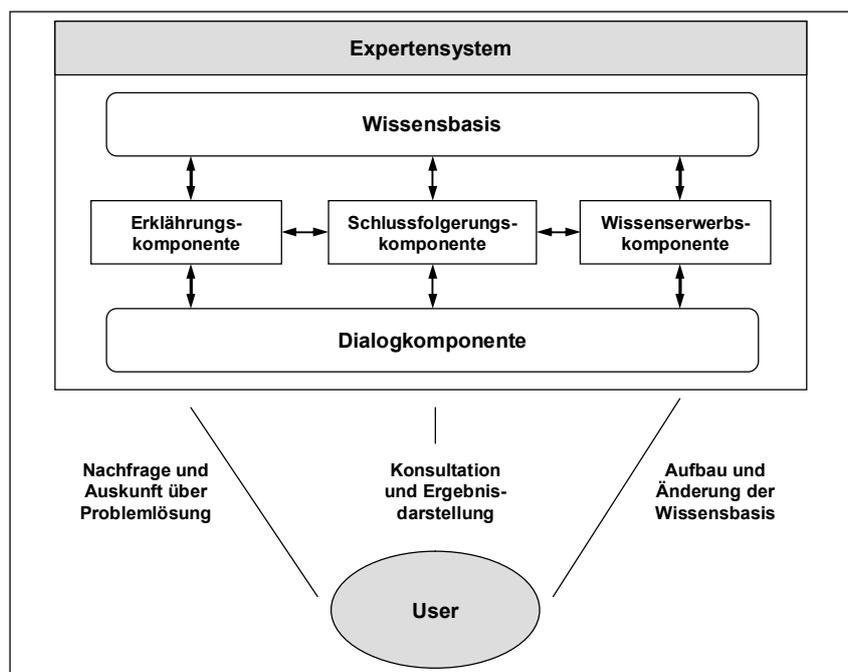


Abbildung 31: Aufbau eines Expertensystems (in Anlehnung an [Gottlob1990])

Die Schlussfolgerungskomponente ist die zentrale Problemlösungskomponente eines Expertensystems. Durch Verknüpfung von Wissen und Fakten kann auf neues Wissen geschlossen oder Lösungen können erarbeitet werden.

Die Erklärungskomponente liefert Auskunft über das Zustandekommen der Lösung. Generell kann man diese als Dokumentation der Wissensprozesse betrachten.

Die Wissenserwerbskomponente unterstützt den Aufbau und die Erweiterung der Wissensbasis sowie die Eingabe und Abspeicherung von Regeln.

In welcher Weise die Operationen auf der Wissensbasis ausgeführt werden, wird durch die Schlussfolgerungskomponente mittels Kontrollstrategien entschieden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die von Problemlösungskomponenten am häufigsten eingesetzten Kontrollstrategien. Die Auswahl der geeignetsten Strategie wird von der Komplexität des Anwendungsgebietes, von der Problemklasse und von der Repräsentation des Wissens beeinflusst [Oem91].

Strategie	Komplexitätsreduktion und Beschreibung
Backward Chaining	Suche nach allen Regeln (Beweisen), die das Ziel unterstützen, und Überprüfung der dazu benötigten Vorbedingungen (rekursive Vereinfachung des Zielzustandes in unmittelbare Vorbedingungen, bis eine Lösung direkt abgeleitet werden kann).
Phase Splitting	Zerlegung in Teilaufgaben, die unabhängig voneinander verarbeitet werden können (Prinzip „Teile und herrsche“).
Establish & Refine	Schreitet von allgemeinen Hypothesenkategorien entlang einer Hierarchie zu immer spezielleren Hypothesen voran.
Hypothesize & Test	Direktes Aktivieren der interessantesten Hypothesen mit unmittelbar danach erfolgendem Test auf Richtigkeit.

Tabelle 3: Ausgewählte Kontrollstrategien für Expertensysteme [Oem91]

3.3.3 Stand der Industrie

Die steigende Komplexität bei Produkten, Prozessen und Dienstleistungen bei gleichzeitiger Reduzierung der Produktlebenszyklen unter permanentem Kostendruck sind die Hauptgründe für die Prosperität der PLM-Lösungen. Laut einer Studie des PLM-Softwareanbieters Siemens wird PLM von 27 % der produzierenden Unternehmen als sehr wichtig für deren Strategie eingeschätzt, 34 % stufen PLM als wichtig ein und nur 11 % als nicht so wichtig [VDI-3905].

Mit PLM erreichen Unternehmen eine Reduzierung der Time-to-Market, erhebliche Reduzierung der Kosten und damit eine Erhöhung der Gesamteffizienz. Laut einer Studie von BTC Technology sind vor allem die durchschnittlichen Zahlen der Effizienzsteigerung in der Konstruktion und Qualitätssicherung bemerkenswert. Im Schnitt werden im ersten Jahr nach der PLM-Einführung 12 % der Kosten eingespart, im zweiten Jahr sind es 16 % und im dritten noch weitere 17 %. Im Worst Case wurden Kosteneinsparungen von 34 % und im Best Case von 57 % während der drei Jahre festgestellt [BCT06]. So gelang es General Motors, durch die Einführung von PLM Kosten von über einer Milliarde Dollar in drei Jahren einzusparen.

Derzeitige PLM-Lösungen fokussieren sich insbesondere auf die Verwaltung von Produkten, die aus Mechanik- oder Elektronik-Komponenten bestehen, was eine erhebliche Einschränkung des Potenzials des PLM-Ansatzes ausmacht [Rous07].

Die Industrie orientiert sich bereits durch PLM daran, die Entstehungsprozesse von mechatronischen Produkten und Software abzudecken. Mittelfristig sollen auch verfahrenstechnisch hergestellte Produkte wie flüssige oder pulverförmige Produkte, von Nano-Produkten sowie von sogenannten „Smart Products“ mit eingebetteten, intelligenten Chips unterstützt werden [Rous07]. Weiterhin sollen PLM-Konzepte auch Dienstleistungen sowie hybride Leistungsbündel, bestehend aus integrierten Sach- und Dienstleistungen, verwalten. Dafür werden neue, erweiterte Metadatenmodelle für Produktdaten und Prozesse benötigt [Abr06a].

Aufgrund der geschilderten Marktsituation wurde in den letzten Jahren auch wissensbasiertes Engineering stark von der Industrie vorangetrieben. Beispiele für erfolgreich umgesetzte und eingeführte Wissensmanagement-Lösungen gibt es einige [Katz06]:

- Ford hat ein großes Intranet aufgebaut, in dem Informationen von Produkten, Wettbewerbern, Technologien usw. hinterlegt sind. Damit wurde die Entwicklungszeit von 36 auf 24 Monate verkürzt und gleichzeitig 245 Million USD eingespart.
- British Aerospace reduzierte die Konstruktionszeit von Flügelkästen von 8 Stunden auf 10 Minuten.
- Jaguar konstruiert Teile wie Innenleuchten mit einem wissensbasierten System mit einer Reduktion der Konstruktionszeit von 8 Wochen auf 20 Minuten.

Wie aus den dargelegten Beispielen hervorgeht, können durch Aufbereitung und Bereitstellung von Wissen in der Industrie im Sinne von „Best Practice“ Management- und Engineering-Prozesse optimiert werden oder neue Märkte durch Marktanalysen und Wissen über Konkurrenz und Wettbewerbsbedingungen erschlossen werden [Dav05].

Die Einführung von Wissensmanagement-Systemen in der Industrie ist nicht nur eine Frage der Technik. Eine entsprechende Unternehmenskultur ist genauso wichtig wie jede noch so ausgereifte technische Lösung. Dies wird das größte Problem darstellen, womit die Unternehmen bei der Einführung von Wissensmanagement-Systemen in der Zukunft zu kämpfen haben [Remu02].

Eine Übersicht über die verschiedenen Systeme und Systeminstallationen von Expertensystemen in der Automobilindustrie liefert [Sapu06].

3.4 Fazit – Analyse existierender Lösungsansätze

In diesem Abschnitt werden die untersuchten Ansätze zusammenfassend anhand der für die Analyse gewählten Kriterien kritisch diskutiert. Für die Aufstellung der Kriterien werden die in Kapitel 2.3 definierten Anforderungen herangezogen.

Ein wichtiger Faktor bei den Untersuchungen ist die Unterstützung durch die produktionsorientierte Produktanalyse. In Hinblick auf die Ziele dieser Arbeit genügt es nicht, auf bestimmte Anwendungsbereiche spezialisierte Methoden, wie z.B. die Toleranzanalyse, anzuwenden. Eine zu Grunde liegende Datenbasis, die nicht nur die relevanten Geometrieinformationen, sondern vor allem die Funktionen und die Semantik der untersuchten Objekte enthält und somit den Integrationscharakter der Methode ermöglicht, ist das Hauptaugenmerk dieses Kriteriums. Weiterhin soll durch den Einsatz der Methode die Wiederverwendung sowie auch die Steigerung der Flexibilität des Produktionssystems ermöglicht werden. Dabei liegt der Fokus nicht nur auf der Produktionslinie selbst, im Sinne der Produktionsplanungsprozesse, sondern es rückt das Zusammenspiel zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung im Rahmen eines CE-Prozesses in den Mittelpunkt.

Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Möglichkeit zur Informationsrückführung von den späteren Phasen im Produktlebenszyklus in den Produkt- und Produktionsplanungsprozess sowie die Eingliederung der betrachteten Ansätze in bestehende Geschäftsprozesse. Die Konzepte sollen nicht nur experimentell in einem Forschungsstatus bestehen bleiben, sondern im realen Planungsbetrieb zu Verbesserungen führen. Dabei liegt der Fokus einerseits auf dem Feedback von relevanten Informationen von der Serienproduktion in die frühen Phasen, mit dem Ziel einer Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette, und andererseits auf der zeitlichen Integration in die Planungsprozesse sowie der Einbettung in bestehende Entscheidungsfindungsprozesse.

Zuletzt sollen noch die Aspekte der informationstechnischen Unterstützung bewertet werden. Dabei geht es um ein Lebenszyklus-orientiertes Informationsmanagement im Sinne der zentralisierten Verwaltung von Lebenszyklusphasen-bezogenen Produktinformationen und deren Integration sowie der Nutzung über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg. Ein letztes Kriterium ist die Möglichkeit zur Abbildung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Informationen zur Unterstützung der Methode der produktionsorientierten Analyse und deren Anwendung zur Wiederverwendung und Steigerung der Flexibilität eines Produktionssystems. Zusammen mit der Lebenszyklus-

orientierten Informationsunterstützung kann ein ganzheitliches Informationsmanagement gewährleistet werden, das die kontinuierliche Optimierung der Prozesse entlang der Gesamtwertschöpfungskette ermöglicht.

3.4.1 Defizite der Lösungsansätze

Anhand der vorgestellten Bewertungskriterien erfolgt die Evaluierung der diskutierten Ansätze. Abbildung 32 fasst die einzelnen Bewertungen in einer Gesamtübersicht zusammen.

Ansätze aus der Produktentwicklung [Simps06], [Sihn05], [Müll07] unterstützen nur unzureichend die Methode der produktionsorientierten Produktanalyse sowie deren Anwendung und Integration im Produktentwicklungsprozess zur Wiederverwendung und Steigerung der Flexibilität eines Produktionssystems. Derzeit existieren lediglich Methoden, die auf bestimmte Gebiete spezialisiert sind, wie die Toleranzanalyse oder die Integration Gesamtfahrzeug (siehe Kapitel 3.1). Bei diesen Ansätzen wird der Aspekt der ganzheitlichen Unterstützung im Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung vernachlässigt. Der Grund dafür ist das notwendige radikale Umdenken mit einer damit einhergehenden Verlagerung des Hauptfokus von einer reinen Betrachtung der geometrischen Merkmale hin zu einer semantik- und funktionsorientierten Betrachtungsweise des Untersuchungsobjektes. Letztere Entwicklungen beim Design for Manufacturing fokussieren sich auf die Strukturierung von produktbezogenen Anforderungen aus den späteren Phasen des Produktlebenszyklus sowie deren Integration und Anwendung im Entwicklungsprozess [Bauer07]. Zudem würden die Ansätze des Design for Manufacturing sowie des Design for Re-Tooling und Re-Use vom Ansatz her die Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionseinrichtungen unterstützen. Dennoch wurden sie noch nicht in diesem Kontext angewandt und vor allem der Aspekt der rechnergestützten Verzahnung mit der Produktionsplanung muss weiter ausgearbeitet werden. Die zwei untersuchten Ansätze wurden erfolgreich zur Unterstützung von Planungs- und Entscheidungsfindungsprozessen angewandt [Dvor94]. In Bezug auf die Datendurchgängigkeit und auf das Lebenszyklus-übergreifende Informationsmanagement sind die Methoden der Produktentwicklung eher unzureichend.

Die Ansätze der Produktionsplanung [VDI-4499], [Lik04], [West03] haben ihr Hauptaugenmerk auf der Planung der Produktionsanlagen. In Bezug auf die Ziele dieser Arbeit werden diese Ansätze hauptsächlich durch die Anwendung digitaler Werkzeuge

zur Simulation und Visualisierung von Betriebsabläufen zur Planung flexibler Produktionsanlagen eingesetzt.

		Bewertungskriterien							
		Unterstützung der digitalen produktionsgerechten Produktanalyse	Unterstützung der Planungs- und Wiederverwendung	Integration in die bestehenden Geschäftsprozesse mit Entscheidungs- und Informationsplanungselementen	Abbildung der produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Wechselwirkungen	Lebenszyklusorientiertes Informations- und Wissensmanagement			
Ansätze der Produktentwicklung	Design for Manufacturing	+	o	++	++	+	o		
	Design for Re-Tooling / Reuse	o	o	++	+	-	o		
Ansätze der Produktionsplanung	Digitale Fabrik	+	+	++	o	+	+		
	Lean Production	o	++	++	o	o	o		
Ansätze des Informationsmanagements	Product Lifecycle Management	o	o	+	++	++	++		
	Wissensmanagement	o	o	++	++	++	+		

Abbildung 32: Ergebnisse der Analyse existierender Ansätze

Dennoch wird sowohl bei der Methode der Digitalen Fabrik als auch bei der Methode der Lean Production der Aspekt des Produktes unzureichend miteinbezogen, was sich auf die unzureichende Unterstützung seitens des Informationsmanagements zurückführen lässt. In Bezug auf das Feedback von Informationen bieten die betrachteten Methoden eine Unterstützung vom Ansatz her, während die Integration in den Geschäftsprozessen ausreichend in der Literatur betrachtet wurde. Sofern eines der Hauptmerkmale der Digitalen Fabrik die integrierte Datenbasis ist, wird eine entsprechende Unterstützung der letzten zwei Kriterien gewährleistet. Trotzdem ist dies für die Problemstellung dieser Arbeit nicht ausreichend und somit werden die Kriterien nur teilweise erfüllt [Stanev09b].

Der Fokus der Ansätze des Informationsmanagements [Abr06a], [Ovtch05], [Dav05] liegt auf der reibungslosen Prozess- und Systemintegration – Produktlebenszyklus- und Produktlebenszyklusphasen-übergreifend sowie domänen- und unternehmensübergreifend – und somit auf der effizienten Organisation und auf dem Management von Unternehmensprozessen, -wissen, -informationen und -daten. Das Werkzeug Expertensysteme unterstützt im Rahmen des Wissensmanagements die effiziente Wissenserfassung, -aufbewahrung und -wiederverwendung. Dadurch lassen sich vor

allem Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Informationen sowie das Feedback von produktionsbezogenen Anforderungen und deren Abhängigkeiten mit anderen Daten abbilden. Der Schwerpunkt des PLM-Ansatzes ist das Lebenszyklusphasen-übergreifende Informationsmanagement. Somit liegen die Stärken des PLM-Konzepts in der Unterstützung der Lebenszyklusphasen-übergreifenden Informationsrückführung und seiner informationstechnischen Integration in die Produkt- und Produktionsplanungsprozesse, in der Abbildung der produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Informationen sowie im Lebenszyklus-orientierten Informationsmanagement.

3.5 Zusammenfassung

In der Gesamtübersicht zeigt sich, dass keiner der geschilderten Ansätze alleine geeignet ist, den aktuellen Problemstellungen der Industrie und der Zielsetzung dieser Arbeit erfolgreich zu begegnen. Notwendig ist eine Kombination der jeweiligen Stärken der Ansätze, im Rahmen eines neuen Konzeptes zur Unterstützung der Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionssystemen. Die Ziele, die Anforderungen und der Beitrag des in dieser Abhandlung erarbeiteten Konzeptes werden im nächsten Kapitel vorgestellt. Die folgende Aussage fasst den untersuchten Stand der Technik zusammen:

Es existiert kein integrierter Ansatz zur produktionsorientierten Produktanalyse, der anhand semantischer Informationen über das Produkt und über das jeweilige Produktionssystem den Entscheidungsfindungsprozess ganzheitlich und Produktlebenszyklus-orientiert unterstützt. Zudem wurden ähnliche Ansätze aus den Themenbereichen des Design for Manufacture oder der Digitalen Fabrik nicht im Kontext der Wiederverwendung von sich bereits in Betrieb befindlichen Produktionssystemen betrachtet [Stanev09a].

Kapitel 4

4 Die Methodik 2REUSE

In den vorherigen Kapiteln wurden die Grundlagen für die Entwicklung der Methodik 2REUSE erarbeitet. In Kapitel 2.3 wurden die Anforderungen an die Methodik dargestellt. Im Anschluss wurden relevante Methoden aus der Forschung von den Themenbereichen der Produktentwicklung, Produktionsplanung und des Informationsmanagements diskutiert und bewertet. Kapitel 3.4 unterzieht die untersuchten Ansätze in Hinblick auf die gestellten Anforderungen einer kritischen Diskussion und beschreibt die konkreten sich daraus ableitenden Defizite. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit nach einer neuen Methodik insbesondere für die frühen Phasen der Produktentwicklung. Das vorliegende Kapitel beschreibt die Entwicklung dieser Methodik. Hierzu sollen zunächst

- in Kapitel 4.1 die Ziele der Methodik 2REUSE vorgestellt,
- in Kapitel 4.2 die methodische Vorgehensweise dargelegt,
- in Kapitel 4.3 die methodischen Schritte und Bausteine diskutiert,
- in Kapitel 4.4 das Informationsmodell definiert,
- in Kapitel 4.5 der Beitrag der Methodik skizziert und schließlich
- in Kapitel 4.6 das Kapitel zusammengefasst werden.

4.1 Ziele der Methodik

Die entwickelte Methodik 2REUSE liefert einen wichtigen Beitrag zur Unterstützung der Prozesskette der produktionsorientierten Produktgestaltung bei der Wiederverwendung von Produktionssystemen. Die im Folgenden beschriebenen Ziele

der Methodik konkretisieren und ergänzen die in Kapitel 1.2 definierten Forschungsziele. Hierbei bilden die in Kapitel 3.4.1 abgeleiteten Defizite die Basis für die Zieldefinition. In diesem Zusammenhang lautet das erste Ziel wie folgt:

***Ziel 4.1** Die Konzipierung einer neuen Methode zur digitalen produktionsorientierten Produktanalyse, die ganzheitlich den Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung in Hinblick auf die Wiederverwendung von in Betrieb befindlichen Produktionssystemen mit dem Ziel der Fertigung neuer Produkte oder Produktvarianten unterstützt.*

Aufgrund steigender Kundenindividualisierung und erhöhter Variantenvielfalt bei gleichzeitig sinkender Marktnachfrage und globaler Überproduktion ist in den letzten Jahren die Nachfrage nach Wiederverwendung von bestehenden Produktionssystemen stark gewachsen, wie auch in Kapitel 2.2.2 gezeigt wurde. Als Konsequenz steigt der Bedarf an neuartigen Methoden, welche zur ganzheitlichen Kosten- und Qualitätsoptimierung sowie zur Flexibilisierung von Produktionssystemen beitragen.

Das erste Ziel proklamiert die Konzeption einer digitalen Methode mit dem Ziel der produktionsorientierten Produktanalyse im Kontext der produktionsgerechten Produktgestaltung. Diese dient darüber hinaus als Werkzeug zur Unterstützung der Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionssystemen in Bezug auf die Fertigung neuer Produkte oder Produktvarianten.

Zu diesem Zweck ist es erforderlich, alle relevanten Daten von der Produktentwicklung über die Produktionsplanung bis hin zur Serienproduktion zu erfassen und zu dokumentieren. Aus dieser Notwendigkeit heraus lässt sich das zweite Ziel der Methodik ableiten:

***Ziel 4.2** Die Entwicklung eines Lebenszyklus-orientierten Informationsmodells zur Abbildung der Zusammenhänge und Wechselwirkungen für diejenigen Informationen, welche eine Relevanz für die produktionsgerechte Analyse aufweisen. Zu berücksichtigen sind dabei Informationen aus den Lebenszyklusphasen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Serienproduktion.*

Die Integration aller relevanten Produkt-, Prozess- und Ressourcedaten aus den oben genannten Lebenszyklusphasen fließt in ein Lebenszyklus-orientiertes Informationsmodell. Dabei werden nicht nur geometrische Informationen benötigt; vielmehr werden Informationen zur Semantik der Elemente gefordert. Dieser Bedarf

lässt sich auf die Tatsache zurückführen, dass die für das Produkt benötigte Produktspezifikation in der Produktentwicklung generiert wird. Die Definition relevanter Informationen aus der Prozess- und Ressourcendomäne erfolgt jedoch teilweise erst in der Produktionsplanung. Daher bedarf es der Möglichkeit, Informationen aus der Serienproduktion, welche den aktuellen Produktionsprozess betreffen, in Form von Anforderungen und Restriktionen unter Zuhilfenahme eines Feedbackprozesses in die Planungsphasen zu integrieren.

Darüber hinaus ist es erforderlich, über das Lebenszyklus-orientierte Informationsmodell eine Basis zur effektiven Verwaltung konzeptbezogener Informationen zur Verfügung zu stellen. Aufgrund dessen werden eine Lebenszyklusphasen- und Lebenszyklus-übergreifende Informationserfassung und -bereitstellung sowie der zugehörige Informationsaustausch ermöglicht. Diese Forderung führt zur Definition des nächsten Ziels der Methodik:

***Ziel 4.3** Die Einbettung einer produktionsorientierten Analysemethode in das Lebenszyklus-orientierte Informationsmodell sowie deren Integration in die relevanten Lebenszyklusphasen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Serienproduktion.*

Die Einbindung einer algorithmisierten Methode in das Informationsmodell und deren Integration in die relevanten Lebenszyklusphasen ermöglichen die informationstechnische Unterstützung der produktionsorientierten Untersuchung und somit die prototypische Realisierung in Form eines Software-Demonstrators. Das Informationsmodell liefert dabei die Basis für eine rechnergestützte Umsetzung der gesamten Methodik und erlaubt einen medienbruchfreien Austausch der Informationen.

Das Ergebnis der Methode sind Lösungsalternativen, die aufgrund des großen Wettbewerbs- und Kostendrucks durch eine wirtschaftliche Analyse zu untersuchen sind. Hieraus ergibt sich das vierte Ziel.

***Ziel 4.4** Die Bereitstellung einer Methode zur Kosten-Nutzen-Analyse für die wirtschaftliche Untersuchung einzelner Handlungsalternativen mit dem Ziel, die Integration in den Entscheidungsprozess zu ermöglichen.*

2REUSE unterstützt über ihre bisher genannten Ziele hinaus die Bewertung von Lösungsalternativen einerseits hinsichtlich vorgegebener Entscheidungskriterien und andererseits hinsichtlich der Gesamtwirtschaftlichkeit. Dies wird über den Entwurf und die Realisierung einer Methode zur Kosten-Nutzen-Analyse sichergestellt, welche unter

anderem vor dem Hintergrund der Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionseinrichtungen ausgelegt ist. Die resultierenden Nutzenpotenziale ergeben sich auf Basis der Annahme, dass die Handlungsalternativen die Wiederverwendung sowie die Flexibilität der jeweiligen Produktionssysteme erhöhen. Das Ergebnis dieser Methode bildet dann die Entscheidungsgrundlage zur Unterstützung des weiteren Entscheidungsfindungsprozesses.

In diesem Zusammenhang bedarf es der Integration der Kosten-Nutzen-Analysen-Methode in die entsprechende Geschäftsstrategien und -prozesse. Daraus lässt sich Ziel 5 der Methodik ableiten.

***Ziel 4.5** Die Integration der neuen Methodik in bestehende Geschäftsprozesse mit Entscheidungselementen sowie die zeitliche Einordnung in den gesamten Fahrzeugentstehungsprozess.*

Das letzte Ziel proklamiert die Integration der neuen Methodik in bestehende Geschäftsprozesse. Dabei liegt der Fokus auf der Integration der Methode zur Kosten-Nutzen-Analyse in die Entscheidungsprozesse mit dem Ziel, den Entscheidungsträger bei der Alternativenauswahl zu unterstützen.

Daneben existieren in der Automobilindustrie etablierte Prozesse im Hinblick auf die Umsetzung einer Änderung wie z.B. den Änderungsmanagementprozess. Über zusätzliche Schnittstellen soll daher eine Integration in den Änderungsmanagementprozess erfolgen, welcher die Umsetzung der einzelnen Handlungsalternativen steuert.

4.2 Methodisches Vorgehen

Die grundlegenden Bestandteile der neuen Methodik bilden die in Abbildung 33 dargelegten vier Phasen. Ausgehend von einer in der Phase der Produktentwicklung definierten Produktkomponente wird die Prozesskette initialisiert. Dabei soll die Herstellbarkeit dieser Komponente auf einer bestehenden Produktionsanlage untersucht werden. Liefert die Untersuchung ein negatives Ergebnis, so sollen mögliche Handlungsalternativen entweder automatisch oder manuell durch Fachkräfte identifiziert werden. Das Ziel dieser Handlungsalternativen soll es sein, die Herstellung der jeweiligen Produktkomponenten zu ermöglichen und gleichzeitig zur Flexibilisierung des Produktionssystems beizutragen.

Im Folgenden werden die zu Grunde liegenden Definitionen eingeführt, wie sie in diesem Kapitel verwendet werden. Hierbei werden die grundlegenden Begriffe Flexibilisierung von Produktionssystemen, Produktkomponente, Herstellbarkeit von Produktkomponenten sowie der Begriff der produktionsorientierten Produktanalyse festgelegt.

Definition 4.1: *Unter Flexibilisierung von Produktionssystemen wird im Rahmen der erarbeiteten Methodik die zielgerichtete Steigerung der Varietät der hergestellten Produkte oder Produktvarianten in einem vordefinierten Produktionssystem verstanden.*

Definition 4.2: *Der Begriff Produktkomponente wird in den folgenden Abschnitten als ein Sammelbegriff für ein Produkt, ein Produktmodul, eine Produktbaugruppe oder auch einzelne Produktteile benutzt.*

Definition 4.3: *Die Herstellbarkeit zieht zur Bewertung der Produktkomponente ein detailliertes Produktionsprozess- und Produktionskonzept hinzu. Der Fokus liegt dabei auf der Betrachtung aller relevanten Parameter dieser Konzepte.*

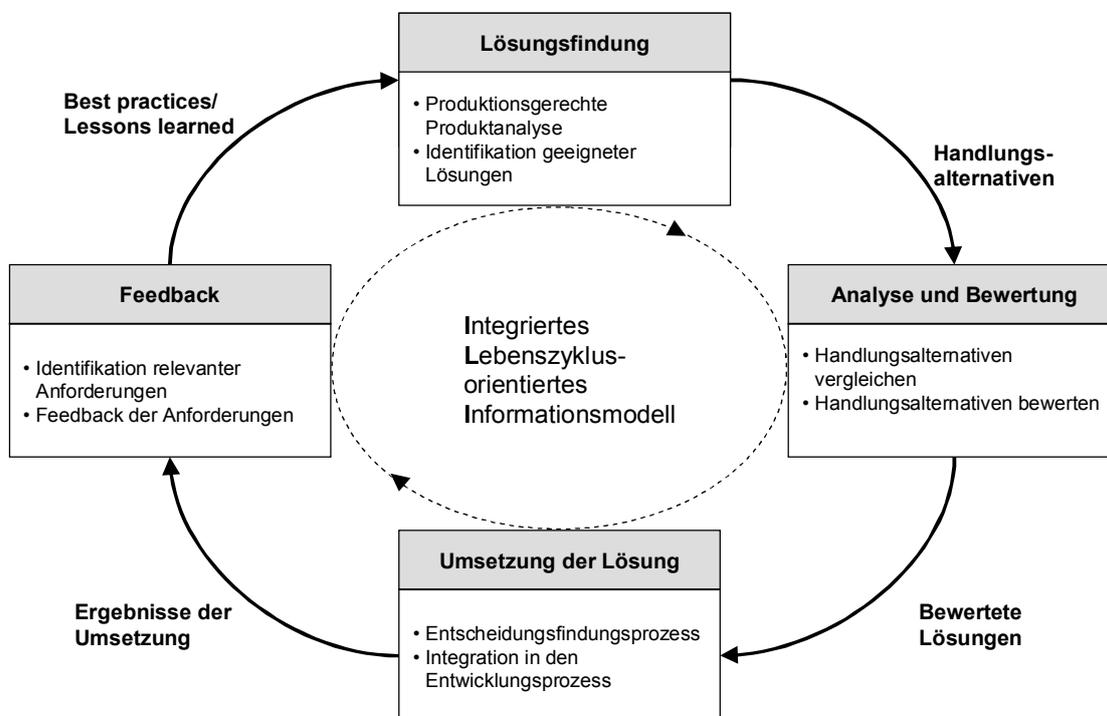


Abbildung 33: Grundaufbau der Methodik 2REUSE

Definition 4.4: *Eine produktionsorientierte Produktanalyse im Kontext dieser Arbeit umfasst die Bewertung des aktuellen Produktentwicklungsstandes hinsichtlich dessen Herstellbarkeit in einem vordefinierten Produktionssystem.*

Definition 4.3 und Definition 4.4 legen die Bedeutung der Begriffe Herstellbarkeit und produktionsorientierte Analyse fest, wie sie in den folgenden Abschnitten verwendet werden. Die einzelnen Schritte der in Abbildung 33 dargestellten vierstufigen Methodik lassen sich wie folgt kurz formulieren:

- Ziel der ersten Phase ist es, bereits in den frühen Zeitabschnitten der Produktentwicklung Aussagen über die Herstellbarkeit einer Produktkomponente treffen zu können. Gegebenenfalls können bereits schon in diesem ersten Schritt mögliche Handlungsalternativen identifiziert werden.
- Nach der Identifikation der Handlungsalternativen werden diese in Phase zwei der Methodik den unternehmerischen Entscheidungskriterien gegenübergestellt und anschließend einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterzogen.
- In der dritten Phase der Methodik wird die favorisierte Handlungsalternative umgesetzt. Hierfür wird der Entscheidungsfindungsprozess zur Auswahl einer Alternative betrachtet sowie auch auf die zeitliche Einordnung der neuen Methodik 2REUSE in den Produktentstehungsprozess eingegangen. Mit dieser Phase endet die Umsetzung einer Handlungsalternative und die nächste Iterationsschleife kann durchlaufen werden.
- Die letzte Phase stellt die Feedbackphase dar. Sie ist durch kontinuierlich ausgeführte Feedbackprozesse charakterisiert, womit sie keinen zeitlichen Bezug zu den anderen Phasen der Methodik besitzt. Das Ziel dieser Phase ist es, Anforderungen und Restriktionen aus der Serienproduktion zu erfassen und in die frühen Phasen des Fahrzeugentwicklungsprozesses zu integrieren, um somit die Ausführung der vorangegangenen Schritte der Methodik zu ermöglichen.

4.3 Methodische Schritte

Dieses Kapitel enthält eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Phasen der in Abbildung 33 vorgestellten Methodik 2REUSE.

4.3.1 Lösungsfindung

Die erste Phase hat zum Ziel, Handlungsalternativen zur Wiederverwendung bzw. zur potenziellen Flexibilitätssteigerung eines bestehenden Produktionssystems zu identifizieren. Hierzu wird im ersten Teilschritt die prinzipielle Herstellbarkeit einer Produktkomponente auf einer bestehenden Produktionsanlage untersucht. Dabei wird diese Komponente einer produktionsorientierten Analyse (vgl. Abbildung 34) unterzogen. Konkret wird untersucht, ob das Produktdesign durch die Prozessspezifikation unter Verwendung eines Produktionssystems erfüllt werden kann (dies folgt aus den Begriffsdefinitionen in Kapitel 2.1.1). Falls die Untersuchung der Herstellbarkeit negative Ergebnisse liefert, werden im zweiten Teilschritt diejenigen Abschnitte der Produktionsanlage identifiziert, die aufgrund technologischer oder prozesstechnischer Restriktionen die Zielkomponente nicht produzieren können. Darauf aufbauend werden die potenziell möglichen Handlungsalternativen zur Rekonfiguration der Anlage bestimmt. Dieser Prozess erfolgt wahlweise automatisiert durch den Einsatz von Methoden des Wissensmanagements sowie, sofern diese nicht greifen, manuell unter Zuhilfenahme entsprechender Fachkräfte.

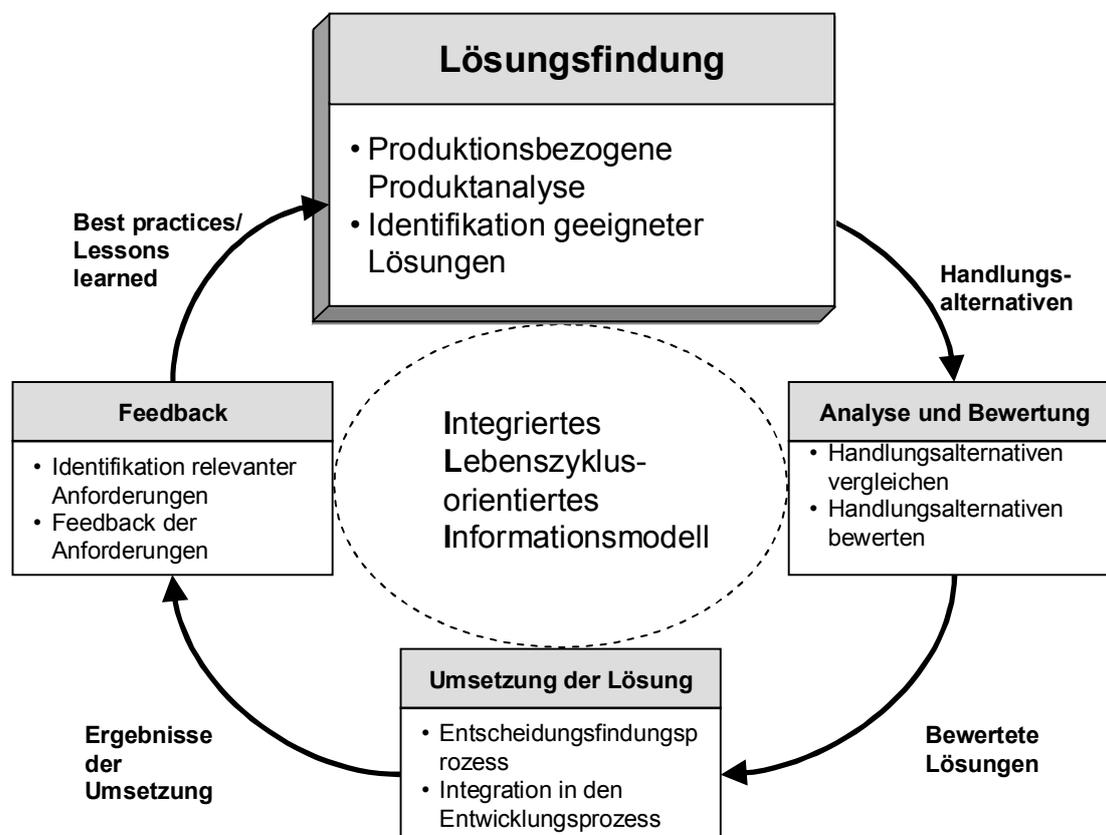


Abbildung 34: Erste Phase der Methodik

Produktionsgerechte Produktanalyse

Die Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse wurde im Rahmen des Projektes MyCar entwickelt und angewandt [MyCar]. Dieser Abschnitt beschreibt die zu Grunde liegenden theoretischen Aspekte, dokumentiert auch in Stanev et al. [Stanev09b]. Das Ziel der Methode ist es, eine nachvollziehbare Bewertung der Produktspezifikation aus der Fertigungsperspektive zu liefern. Daher kann die Methode zur Bewertung der Herstellbarkeit eines Produktes herangezogen werden. Um die Methode anwenden zu können, sind Informationen bezüglich des Produktes, der Ressource, des Produktionsprozesses sowie von deren Beziehungen notwendig. Entscheidend hierbei ist die Wahl eines geeigneten Formalismus zur Repräsentation der jeweiligen Produkt-, Prozess- und Ressourcenspezifikationen, unter dessen Zuhilfenahme die algorithmenbasierte Methodenauswertung der Produktspezifikation durchgeführt werden kann. Im Rahmen des gewählten Formalismus wird in Definition 4.5 ein Attribut spezifiziert. Anschließend erfolgt auf Basis dieser Spezifikation die Definition eines Produkts:

Definition 4.5: *Ein Attribut eines Produktes, Prozesses oder einer Ressource ist eine geometrische, strukturelle, physikalische, chemische, mechanische oder sonstige Eigenschaft, die mit Hilfe des mathematischen Apparats aufgefasst und formell in Form von mathematischen Formeln definiert werden kann. Die Menge der Attribute ist endlich.*

Definition 4.6: *Es sei P die Menge der Attribute, die ein Produkt spezifizieren. Dann ist P endlich und es existiert eine Menge von Attributen $P' \subseteq P$, welche die produktionsorientierten Analyseattribute eines Produktes enthält. Die Kardinalität dieser Menge $|P'|$ hängt vom Anwendungsgebiet ab und kann variieren.*

Die nachfolgende Tabelle 4 illustriert die konzeptrelevanten Produktattribute für die produktionsorientierten Untersuchungen am Beispiel des Karosseriebaus in der Automobilindustrie.

Produktattribut $p \in P'$	Beschreibung
Produktstruktur	Die strukturierte Zusammensetzung eines Produktes aus dessen Modulen, Baugruppen oder Einzelteilen.

Produktgeometrie	Die 3D-Geometrie eines Produktes
Anzahl der Teile	Die Anzahl der Einzelbauteile in einem Produkt
Typ der Materialien	Die Materialtypen für die Herstellung eines Produktes
Anzahl der Verbindungselemente	Die Anzahl der benötigten Verbindungen für den Zusammenbau eines Produktes
Typ der Verbindungselemente	Der Typ der Verbindungen (z.B. Schweiß- oder Klebeverbindung)

Tabelle 4: Produktionsorientierte Produktattribute

Basierend auf den beiden vorangegangenen Definitionen kann eine Ressource wie folgt formal spezifiziert werden:

Definition 4.7: *Es sei R die Menge der Attribute, die eine Ressource spezifizieren. Dann ist R endlich und es existiert eine Menge von Attributen $R' \subseteq R$, welche die produktionsorientierten Analyseattribute einer Ressource enthält. Die Kardinalität dieser Menge $|R'|$ hängt vom Anwendungsgebiet ab und kann variieren.*

Die folgende Tabelle beinhaltet die konzeptrelevanten Ressourcenattribute im Kontext der produktionsorientierten Produktanalyse am Beispiel einer Rohbaulinie in der Automobilindustrie.

Ressourcenattribut $r \in R'$	Beschreibung
Ressourcenstruktur	Die hierarchische Zusammensetzung einer Fertigungslinie
Ressourcengeometrie	Die 3D-Geometrie einer Ressource
Platzbedarf	Der räumliche Bedarf der Fertigungslinie
Fertigungsverfahren	Das implementierte Fertigungsverfahren

Tabelle 5: Produktionsorientierte Ressourcenattribute

Die Definitionen der grundlegenden Basiselemente für die produktionsorientierte Produktanalyse werden mit der Bestimmung des Begriffes „Prozess“ abgeschlossen:

Definition 4.8: Es sei A die Menge der Attribute, die einen Prozess spezifizieren. Dann ist A endlich und es existiert eine Menge von Attributen $A' \subseteq A$, welche die produktionsorientierten Analyseattribute eines Prozesses enthält. Die Kardinalität dieser Menge $|A'|$ hängt vom Anwendungsgebiet ab und kann variieren.

Zum besseren Verständnis enthält Tabelle 6 die konzeptrelevanten Prozessattribute im Rahmen des untersuchten Gegenstands eines Prozesses für die Fertigung eines Karosseriemoduls in der Automobilindustrie.

Prozessattribut $a \in A'$	Beschreibung
Fertigungsstruktur	Die strukturierte Zusammensetzung eines Produktionsprozesses aus dessen Prozessbausteinen
Fertigungsfolge	Die Fügefolge, in der ein vorgegebenes Produkt zusammengebaut wird
Materialfluss	Der auf die Ressourcenstruktur umverteilte Produktfluss
Fertigungsverfahren	Das von der Ressource unterstützte Fertigungsverfahren
Prozesskenngrößen	Prozesskennzahlen wie Fertigungskosten und Fertigungszeiten, z.B. Taktzeit, Auslastung, Herstellungskosten

Tabelle 6: Produktionsorientierte Prozessattribute

Definition 4.9: Es sei $V = \{P', R', A'\}$ die Menge der relevanten Produkt-, Prozess- und Ressourcenattribute. Für alle $v \in V$ definiert die Funktion $dom: v \mapsto dom(v)$ den Wertebereich jedes Attributs. Die Funktion $\tau: B \rightarrow \bigcup_{v \in B} dom(v)$ auf der Menge von Attributen $B \subseteq V$ mit $\tau(b) \in dom(b)$ für alle $b \in B$ heißt Belegung von B . Somit ist τ injektiv und ordnet jedem Attribut jeweils einen zulässigen Wert $\tau(b)$ zu.

Mit der vorangegangenen Definition kann jedem Attribut ein numerischer Wert in \mathbb{R}^+ zugewiesen werden, sodass algebraische Berechnungen auf der Menge der Attribute möglich sind. Da viele funktionale Produkt-, Prozess- und Ressourceneigenschaften lediglich durch zusammengesetzte Attribute zu beschreiben sind, müssen komplexe Attribute in diesem Kontext ausgewertet werden.

Definition 4.10: Es sei $f: P(V) \rightarrow V$ eine Relation auf der Potenzmenge von V . Die Menge aller partiell definierten Abbildungen F enthält die Relationen endlicher

Stelligkeit und weist durch einen berechenbaren Operator jeder Menge von Attributen ein Attribut zu. Wenn $f \in F$ eine solche Abbildung ist und $f(B) = c$ gilt für $B \subseteq V$ und $c \in V$, dann heißt f Berechnungsmodell für das komplexe Attribut c auf B .

Mit Hilfe dieser Definition lässt sich beispielweise die Produktstruktur einer Produktkomponente als eine binäre Relation $\rightarrow_{BOM} \subseteq V \times V$ definieren, für die gilt, dass $b \rightarrow_{BOM} c \Leftrightarrow \exists B \subseteq V : b \in B, BOM(B) = c$. Auf diese Weise kann ein gerichteter Graph abgeleitet werden. Die Kanten des Graphen werden direkt durch die Relation \rightarrow_{BOM} induziert. Die Knoten stellen die referenzierten Attribute dar, die ihrerseits auch Strukturen anderer Komponenten repräsentieren.

Aus den vorangehenden Definitionen und den Definitionen im Kapitel 2.1.1 können die folgenden Eigenschaften von Produkt-, Ressourcen- und Prozessattributen abgeleitet werden:

Korollar 4.1: *In Bezug auf ein Berechnungsmodell $f \in F$ sind die Produkt- und Ressourcenattribute domänenspezifisch. Wenn ein Berechnungsmodell $f(B) = c$ existiert und $\forall c \in V : c \in \{P' \cup R'\}$, dann gilt für alle Teilmengen $B \subseteq P'$, $B \subseteq R'$ und $P' \cap R' = \{ \}$.*

Korollar 4.2: *In Bezug auf ein Berechnungsmodell $f \in F$ werden die Prozessattribute in domänenspezifische und domänenübergreifende Attribute unterteilt. Domänenspezifische Attribute sind analog zu Produkt- und Ressourcenattributen definiert. Für domänenübergreifende Attribute gilt für den Fall, dass ein Berechnungsmodell $f(B) = c$ existiert und $c \in A'$, für alle Teilmengen $B \subseteq V$, d.h., das Berechnungsmodell $f \in F$ wird auf Produkt-, Ressource- oder Prozessattribute ausgeführt.*

Die neue Methode soll basierend auf einem formalen Modell mathematische Auswertungen der Produktspezifikation hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit ermöglichen. Hierzu wird eine algebraische Struktur auf der Menge der relevanten Attribute benötigt, welche die algorithmisierte Durchführung der Methode ermöglicht.

Definition 4.11: *Es sei G die Menge aller berechenbaren, logischen Terme auf der Menge $B \subseteq V$ und $g \in G$. g wird Prämisse oder Bedingung in Bezug auf B genannt. Die Menge der Prämissen und der Berechnungsmodelle bilden eine Algebraische Struktur, die Term-Algebra, auf einer Menge von Attributen. Werden durch eine Attributbelegung τ die freien Attribute in einer Bedingung g belegt, so resultiert die*

Bedingung in einen berechenbaren Term, der durch $g_{\tau}: B \rightarrow \{0,1\}$ ausgewertet werden kann. Eine Bedingung ist korrekt, wenn 1 zurückgegeben wird.

Aus Korollar 4.1 und Korollar 4.2 sowie Definition 4.11 folgt, dass es für die Bewertung der Herstellbarkeit eines Produktes auf einer Produktionsressource ausreicht, die Korrektheit der Aussagen auf der Menge der komplexen Attribute zu beweisen. Solche Aussagen werden als Prozesszusicherungen bezeichnet (vgl. Tabelle 7).

Prozesszusicherungen	Beschreibung
Fertigungsfolge ist korrekt	Ist die Gesamtfertigungsfolge korrekt?
Fertigungsprozess ist kompatibel	Ist der Produktbau unter Berücksichtigung der Prozessparameter möglich?
Fertigungsverfahren ist anwendbar	Ist das Fertigungsverfahren anwendbar?
Materialfluss ist konsistent	Ist der Materialfluss des Prozesses konsistent?

Tabelle 7: Prozesszusicherungen als logische Bedingungen

Aus den komplexen Zusammenhängen zwischen den relevanten Informationen ergeben sich Wechselwirkungen zwischen den Zusicherungen. Am Beispiel der konkreten Zusicherungen aus Tabelle 7 stellen die Zusicherungen „Konsistenz des Materialflusses“, „Anwendbarkeit des Fertigungsverfahrens“ und „Kompatibilität des Fertigungsprozesses“ Prämissen für die Zusicherung „Fertigungsfolge ist korrekt“ dar. Für diese Art der Wissensrepräsentation ist die durch Regeln und Fakten unterstützte logische Wissensrepräsentation besonders geeignet [Gottlob1990]. Die Regeln sind in der Form $IF G_{pre} \text{ Then } G_{post}$ verfügbar, wobei durch G_{pre} die logischen Prämissen oder Vorbedingungen und durch G_{post} die logischen Zusicherungen ausgedrückt werden [Puppe1991]. Unter Zuhilfenahme solcher Regeln kann impliziert werden, dass eine korrekte Prämisse auch eine korrekte Zusicherung liefert. Die Vorbedingungen bestehen im vorliegenden Fall aus Verknüpfungen der Menge an Regeln und Fakten, welche für die produktionsorientierte Analyse einer Komponente notwendig sind. Die Menge aller solcher Regeln, bezogen auf eine bestimmte Produktkomponente, wird als Validierungsmodell dieser Komponente bezeichnet. Um ein geeignetes Validierungsmodell definieren zu können, müssen Rahmenbedingungen, Umfang und vor allem Ausrichtung der produktionsorientierten Untersuchung festgelegt werden, was

durch die Spezifikation von Validierungszielen realisiert wird. Ein solches Ziel lässt sich für das Beispiel aus Tabelle 7 wie folgt festhalten:

Validierungsziel: *Absicherung der Fügefolge und somit Absicherung eines vorläufigen Fügeprozesses auf Basis von Produktstruktur und altem Fertigungsprozess in Bezug auf Materialfluss und Technologie.*

Basierend darauf kann nun das geeignete Validierungsmodell spezifiziert und entsprechend dessen Anwendung angepasst werden. Eine zentrale Rolle spielen in diesem Zusammenhang die zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt zur Verfügung stehenden Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen, da sich aus diesen der Detailgrad des Validierungsmodells ableiten lässt. Tabelle 8 zeigt einige beispielhafte Regeln zur Validierung des oben aufgeführten Validierungsziels in den frühen Phasen der Produktentwicklung, in denen nur vereinzelt Daten zur Verfügung stehen.

Die für die Auswertung solcher Regeln geeignete Vorgehensweise stellt die Methode der Rückwärtsverkettung dar, die ausgehend vom Ziel ein vorgegebenes Ziel beweist. Kann der Beweis nicht automatisch ausgeführt werden, z.B. weil eine Regel nicht in der Wissensbasis existiert, so soll dieses Faktum vom Anwender selbst abgefragt werden [Winston1993]. Diese Eigenschaft eignet sich vor allem für die Integration externer Werkzeuge, die rechenintensive Absicherungsmethoden implementieren [Stanev09a]. Als Beispiel hierfür kann die Durchführung von Zugänglichkeitsuntersuchungen auf Basis von CAD-Modellen genannt werden.

Regel 1	IF	Prämisse zu Regel 1
	THEN	Fertigungsfolge ist kompatibel
Regel 2	IF	Prämisse zu Regel 2
	THEN	Fertigungsverfahren ist anwendbar
Regel 3	IF	Prämisse zu Regel 3
	THEN	Materialfluss ist konsistent
Regel 4	IF	Fertigungsfolge ist kompatibel
	AND	Fertigungsverfahren ist anwendbar
	AND	Materialfluss ist konsistent
	THEN	Fertigungsfolge ist korrekt

Tabelle 8: Beispielhafte Regeln für die produktionsorientierte Analyse

Identifikation geeigneter Lösungsalternativen

Die erarbeitete Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse eignet sich dazu, die Möglichkeit der Fertigung eines Produktes auf einer bestimmten Ressource zu untersuchen. Ist dies nicht der Fall, so werden in diesem Schritt diejenigen Defizite in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation (Abschnitte in der Produktionslinie) identifiziert, die aufgrund technologischer oder prozesstechnischer Restriktionen die Fertigung der jeweiligen Produktkomponente auf der vorgegebenen Produktionseinrichtung verhindern.

Zunächst ist dabei das auftretende Defizit innerhalb der Spezifikation zu analysieren. Dazu sind die das Defizit verursachenden Attribute sowie die zugehörigen Komponenten zu identifizieren [Stanev09b].

Definition 4.12: Es sei $\rightarrow_f \subseteq V \times V$ eine binäre Relation auf der Menge der Attribute V bezüglich eines Berechnungsmodells f und es gilt: $b \rightarrow_f c \Leftrightarrow \exists B \subseteq V : b \in B, f(B) = c$. Dann lassen sich zu einem Attribut $b \in V$ durch die transitive Hülle $b \rightarrow_f^+ c$ von \rightarrow_f alle Attribute c finden, die durch eine Änderung von b direkt oder indirekt beeinflusst werden.

Eine falsch auswertende Regel weist darauf hin, dass die Spezifikation der entsprechenden Komponente Defizite aufweist. Die dazugehörigen Attribute sind entweder in den Regeln direkt oder über ein Berechnungsmodell vorhanden und können mit Hilfe der transitiven Hülle $\rightarrow_f^+ \subseteq V \times V$ auf $\rightarrow_f \subseteq V \times V$ abgeleitet werden. Hierbei kann dank der Anwendung der Rückwärtsverkettung der Berechnungsweg nachvollzogen werden.

Daraufhin sind alle Regeln abzuleiten, welche durch eine Änderung der identifizierten Attribute beeinflusst werden und somit potenziell nicht erfüllbar sind. Es sei $h \in H$ eine falsche Regel auf $B \subseteq A'$ und $V_h \subseteq V$ die Menge der Attribute, von denen h abhängig ist, dann lässt sich die Menge von Regeln H_h , die von Attributen abhängen, welche wiederum h bestimmen, wie folgt ableiten [MyCar]:

$$H_h = h \cup \{g \in H \mid \exists a \in V_h, b \in \text{def}(g) : a \rightarrow_f^+ b\} \quad (4.1)$$

So werden mit Hilfe der Rückwärtsverkettung die betroffenen Komponenten identifiziert, welche eine nicht korrekte Spezifikation auf der Produkt- oder auch auf der Ressourcenseite aufweisen. Die Lösungssuche erfolgt, indem ein Lösungskatalog mit

alternativen Produkt- und Ressourcenkonfigurationen durchsucht wird. Ist mindestens eine leere Zusicherung vorhanden, so ist der Graph nicht erfüllbar. In diesem Fall wird der Wert der Zusicherung vom Benutzer erfragt. Nachdem die Komponente durch den beschriebenen Ansatz identifiziert wurde, können Handlungsalternativen von den zuständigen Fachkräften basierend auf deren implizitem Wissen manuell definiert werden, wodurch neue Lösungen entstehen. Im Anschluss ist eine weitere Iterationsschleife der produktionsorientierten Analyse auszuführen, um die Herstellbarkeit der betroffenen Komponente technologisch abzusichern. Dieser iterative Prozess wird in der Folge für alle Handlungsalternativen durchgeführt. Dabei können so lange Iterationen ausgeführt werden, bis durch die Lösung die Herstellbarkeit der jeweiligen Komponente gewährleistet ist [Stanev09b].

Als Ergebnis dieser Phase werden somit aus technischer Sicht mögliche Handlungsalternativen abgeleitet, welche die Herstellung einer Produktkomponente in einem bestehenden Produktionssystem ermöglichen.

4.3.2 Analyse und Bewertung der Lösungsalternativen

In der zweiten Phase finden der abschließende Vergleich sowie die Bewertung der Handlungsalternativen statt, um eine solide Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung der Lösung zu schaffen. Die Basis dafür stellen die in der vorherigen Phase identifizierten Handlungsalternativen dar, die nun hinsichtlich der unternehmensspezifischen Entscheidungskriterien kategorisiert werden und unter wirtschaftlichen Aspekten zu überprüfen sind.

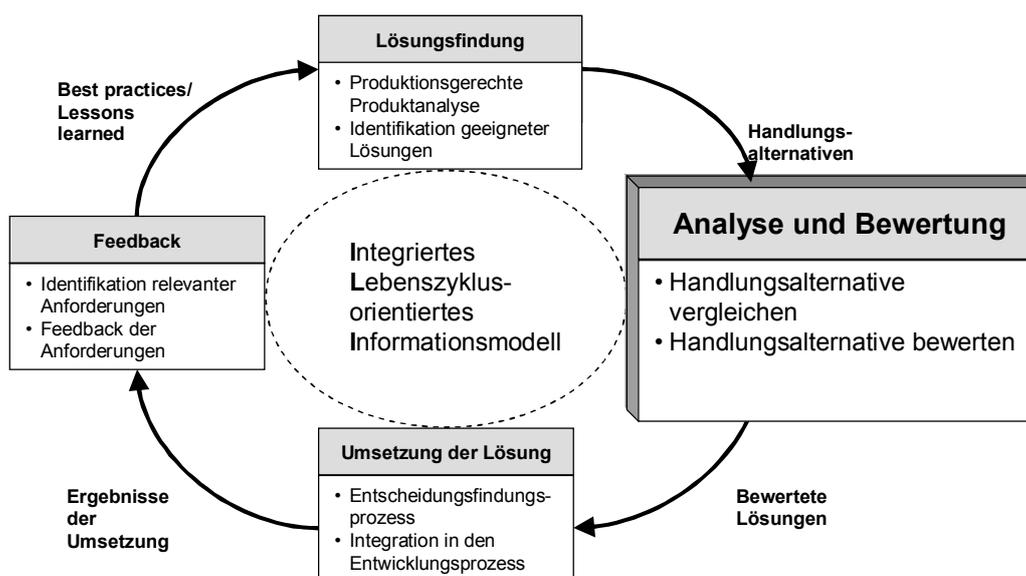


Abbildung 35: Phase zwei der Methodik

Vergleich der Handlungsalternativen im Gesamtzusammenhang

Ziel dieses Teilschrittes ist die Eingruppierung der spezifizierten Handlungsbedarfe in Lösungskategorien. Die Lösungskategorien können als Vorlagen für die neu zu erarbeitenden Lösungen dienen und ermöglichen die effiziente Verwaltung und Wiederverwendung der Informationen in Form von Best Practices (siehe Kapitel 4.3.4). Hierbei werden die benötigten Prozess-, Ressource- und Produktkennzahlen hinsichtlich der unternehmensspezifischen Zielgrößen (z.B. konzernspezifische Prioritäten im Sinne der Unternehmensstrategie) kategorisiert und somit die Handlungsalternativen einer Überprüfung im Hinblick auf deren Nutzenpotenzial unterzogen. Neben herkömmlichen Zielgrößen wie Kosten- und Zeiteffizienz wird im vorliegenden Ansatz die Flexibilität als zusätzliches Kriterium [Chryss06] hinzugezogen.

Definition 4.13: Es sei $D_k \subseteq V$ die Menge der Prozess-, Ressource- und Produktkennzahlen, die eine Kategorisierung bestimmen. Die Anzahl der Elemente $|D_k|$, wobei $k = \{1, \dots, K\}$ unternehmens- sowie situationsspezifisch ist.

Abbildung 36 stellt eine beispielhafte Kategorisierung derjenigen Prozess-, Ressource- und Produktkenngrößen dar, die im Rahmen des Projektes MyCar⁹ eingesetzt werden [Papa10].

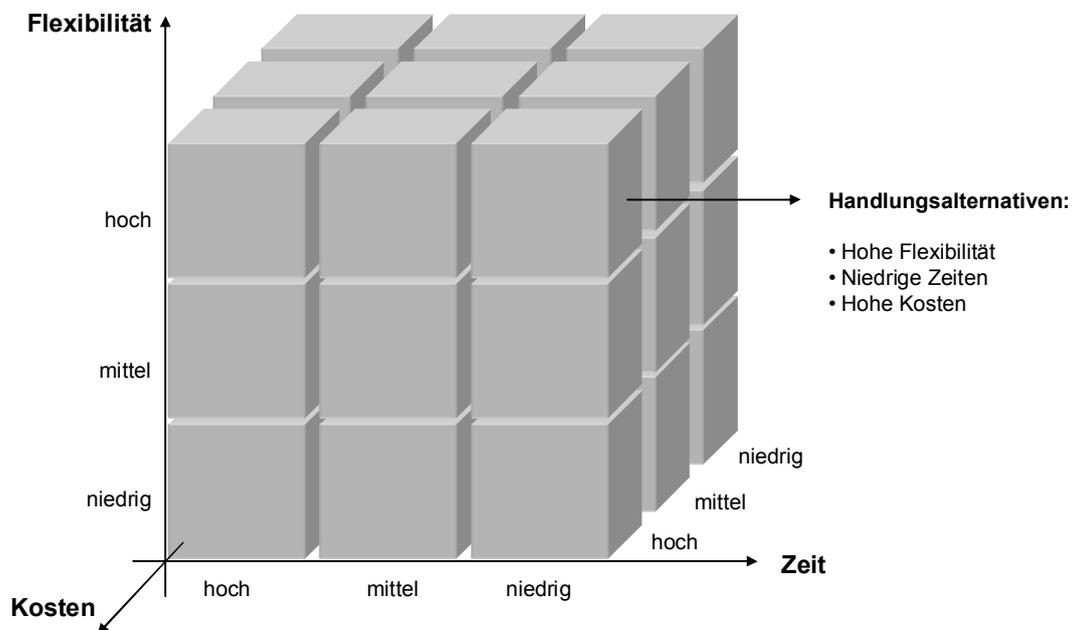


Abbildung 36 Beispielhafte Kategorisierung

⁹ MyCar ist ein EU-gefördertes Forschungsprojekt mit der Automobilindustrie.

Der Kategorisierung werden alle alternativen Lösungen C_m (m ist die Anzahl der Lösungen) unter Berücksichtigung der Prozess-, Ressource- und Produktkennzahlen A_{in} (Zielgröße $i = \{1,2,3\}$; Anzahl von Kennzahlen pro Zielgröße $n = 1, \dots, N$) unterzogen. Durch die Belegung $\tau_{cm}(A_{in})$, welche den Kennzahlen jeder Handlungsalternative einen entsprechenden Wert zuordnet, können die Zielgrößen nach der Weighted-Linear-Combination-Methode (Gewichtete Lineare Kombination in der Systemtechnik [Zang70]) wie folgt berechnet werden [Janssen1993] (w_{in} ist der Gewichtungsfaktor, der das Gewicht der jeweiligen Kenngröße entsprechend der Unternehmensvorgaben widerspiegelt):

$$Cost = \sum_{k=1}^{N1} w_{1k} * \tau(A_{1k}) \tag{4.2}$$

$$Time = \sum_{k=1}^{N2} w_{2k} * \tau(A_{2k}) \tag{4.3}$$

$$Flexibility = \sum_{k=1}^{N3} w_{3k} * \tau(A_{3k}) \tag{4.4}$$

Die Struktur dieser Berechnungen findet sich in zusammengefasster Form in Tabelle 9 wieder. Aufgrund der industriellen Notwendigkeit haben sich in den letzten Jahren einige Ansätze zur Bewertung von Flexibilitätskennzahlen [Rog09] durchgesetzt, die sich an dieser Stelle sinnvollerweise in die Methodik integrieren lassen [Stanev08].

	Handlungsalternativen				Handlungsalternativen		
Variable	C_1	...	C_m	Zielgrößen	C_1	...	C_m
A_{11}	$\tau_{c1}(A_{11})$	...	$\tau_{cm}(A_{11})$	<i>Cost</i>	$\sum_{k=1}^{N1} w_{1k} * \tau(A_{1k})$	...	$\sum_{k=1}^{N1} w_{1k} * \tau(A_{1k})$
\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	<i>Time</i>	$\sum_{k=1}^{N2} w_{2k} * \tau(A_{2k})$	...	$\sum_{k=1}^{N2} w_{2k} * \tau(A_{2k})$
A_{in}	$\tau_{c1}(A_{in})$	...	$\tau_{cm}(A_{in})$	<i>Flexibility</i>	$\sum_{k=1}^{N3} w_{3k} * \tau(A_{3k})$	...	$\sum_{k=1}^{N3} w_{3k} * \tau(A_{3k})$

Tabelle 9: Strukturierung der Zielgrößen

Aufbereitung der Handlungsalternativen zur Entscheidungsfindung

Aufgrund des steigenden Kostendrucks in der Automobilindustrie wird an dieser Stelle eine Kosten-Nutzen-Analyse in die Methodik integriert, welche die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Handlungsbedarfe bewertbar macht.

Ziel einer Kosten-Nutzen-Analyse ist es, Handlungsalternativen unter wirtschaftlichen Aspekten zu analysieren. Dabei werden tangible Wirkungen direkt monetär (in Geldeinheiten) ausgedrückt, wobei im Gegensatz dazu intangible Wirkungen nicht direkt charakterisierbar sind. Die in dieser Arbeit dargestellte Analyse wird unter anderem vor dem Hintergrund der Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionseinrichtungen ausgelegt und angewandt. Somit werden die Nutzpoteziale auf Basis der Annahme abgeleitet, dass nach der Umsetzung einer Lösungsalternative die Flexibilität eines bestehenden Produktionssystems erhöht wird. Eine weitere Rahmenbedingung zur Gestaltung der Nutzpoteziale ergibt sich dadurch, dass durch die Anwendung der Methodik ein Teil des Produktionsequipments der Fertigungslinie wiederverwendbar ist.

In den nachfolgenden Abschnitten wird folgende Nomenklatur eingesetzt: Eine Handlungsalternative C_m wird identifiziert durch eine ID der Lösungsalternative ID_{C_m} , die Baureihe TS_{000} , das zugehörige Produkt und die zugehörige Ressource, die entsprechenden Zielgrößen sowie eventuell anfallende Investitionskosten in der nächsten Periode $t+1$. Exemplarisch wird eine solche Lösungsvorlage in Abbildung 37 dargestellt.

Die Wiederverwendung von Produktionsequipment nach Realisierung einer Lösungsalternative in Periode $t+1$ bestimmt das erste Einsparpotenzial. Im Vergleich zu einer konventionellen Fertigungslinie reduziert sich der Anteil neu einzusetzenden Equipments durch den erhöhten Anteil wiederverwendbaren Equipments. Sobald dies der Fall ist, wird wiederum die Planungszeit sowie auch die Zeit für Inbetriebnahmen des Equipments reduziert und somit die Zeit zur Einführung des neuen Produktes auf dem Markt verkürzt. Dadurch wird als zusätzliches Nutzenpotenzial die Reduzierung der Time-to-Market postuliert, welche die Zeitspanne vom Projektstart bis hin zur Herstellung des ersten Serienproduktes umfasst.

Wie auch Gleichung 4.5 zu entnehmen ist, ergibt sich der monetäre Nutzen aus den Einsparungen in der Planungszeit PZ_{cm} [min] sowie aus der Zeit für die Inbetriebnahme INZ_{cm} [min] des Produktionsequipments der zugehörigen Änderungsalternative C_m . Der

zugehörige Kostenfaktor für eine Minute gesparte Planungszeit ist w_{11} [€/min] beziehungsweise für eine Minute Inbetriebnahme w_{12} [€/min]:

$$NP1 = (w_{11} * PZ_{cm} + w_{12} * INZ_{cm}), [€] \quad (4.5)$$

Alternative	<input type="text"/>	Produkt	<input type="text"/>	Ressource	<input type="text"/>
Baureihe	<input type="text"/>	-Produktname-		-Ressourcenname-	
Zeit	LOW	Kosten	HIGH	Flexibilität	HIGH
Beschreibung	-Beschreibung-				
Nutzen	P1	<input type="text"/>	-Bild-		
	P2	<input type="text"/>			
	P3	<input type="text"/>			
	P4	<input type="text"/>			
	Summe	<input type="text"/>			
Insgesamt	<input type="text"/>	Position	<input type="text"/>		

Abbildung 37: Lösungsvorlage

Im Vergleich zu einer konventionellen Fertigungslinie führt die Erhöhung der Flexibilität des Produktionssystems zur Reduzierung der Investitionskosten für zusätzliches Produktionsequipment IK_{t+1} [€], welches zur Anpassung des betroffenen Produktionssystems bei der Fertigung der neuen Baureihe in der Periode $t + 1$ benötigt wird. Die Ersparnis ergibt sich aus den reduzierten Investitions- und Modifikationskosten W_{cm} [€], die durch die Realisierung der Handlungsalternative C_m entstehen. Das Nutzpotenzial ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$NP2 = (W_{konv} - W_{cm}), [€] \quad (4.6)$$

Das dritte Einsparpotenzial leitet sich von der Annahme ab, dass Investitionen in Konzepten zur Steigerung der Flexibilität die für die Fertigung mehrerer Produktbaureihen benötigte Produktionsfläche im Vergleich zu konventionellen, nicht flexiblen Produktionslinien optimieren. Eine frei gewordene Fläche kann im Anschluss

für andere Aufgaben verwendet werden, womit sie monetär abbildbar wird. Das Nutzenpotenzial bildet hiermit die Optimierung der Produktionsfläche. Die Einsparung der benötigten Produktionsfläche $PF_{cm} [m^2]$ wird durch den Kostenfaktor pro Quadratmeter $w_{31} [\text{€}/m^2]$ repräsentiert. Somit ergibt sich für das dritte Nutzpotezial die Gleichung:

$$NP3 = (w_{31} * PF_{cm}), [\text{€}] \quad (4.7)$$

Die Wiederverwendung einer Produktionslinie reduziert die Anpassungszeit AZ_{cm} in der Anlaufphase für die Produktion der neuen Baureihe im Vergleich zur Fertigung der Baureihe auf einer komplett neu geplanten Linie. Dies beeinflusst unmittelbar die Nachbearbeitungskosten. Der Kostenfaktor für eine Minute eingesparte Anpassungszeit ist $w_{41} [\text{€}/\text{min}]$, womit für das letzte Einsparpotenzial $NP4$ die Reduzierung der Nachbearbeitungskosten wie folgt berechnet werden kann:

$$NP4 = w_{41} * (AZ_{cm} - AZ_{konv}), [\text{€}] \quad (4.8)$$

Damit ergibt sich der quantitative Gesamtnutzen nach dem Bruttonutzenprinzip durch die Subtraktion der Investitionskosten pro Alternative IK_{cm} von der Summe aller Nutzpoteziale NPq für alle $q = 1, \dots, Q$

$$NP_{total} = \left(\sum_{q=1}^Q NPq \right) - IK_{cm} \quad (4.9)$$

4.3.3 Umsetzung der Lösung

Nachdem in den vorangegangenen Phasen die Handlungsalternativen identifiziert, den Entscheidungszielgrößen gegenübergestellt sowie einer Wirtschaftlichkeitsanalyse untergestellt wurden, widmet sich der folgende Abschnitt der Umsetzung der favorisierten Lösungsalternative (vgl. Abbildung 38). Die Umsetzung der Lösung erfolgt dabei in zwei Schritten, wobei zunächst die Integration der Methodik in den Entscheidungsprozess diskutiert wird. Dabei werden die einzelnen Handlungsalternativen mittels einer Portfolio-Entscheidungsmatrix gegenübergestellt und anschließend der Prozess der produktionsorientierten Produktgestaltung über ein Flussdiagramm visualisiert. Der zweite Schritt behandelt darauf aufbauend die zeitliche Einordnung in den Entwicklungsprozess.

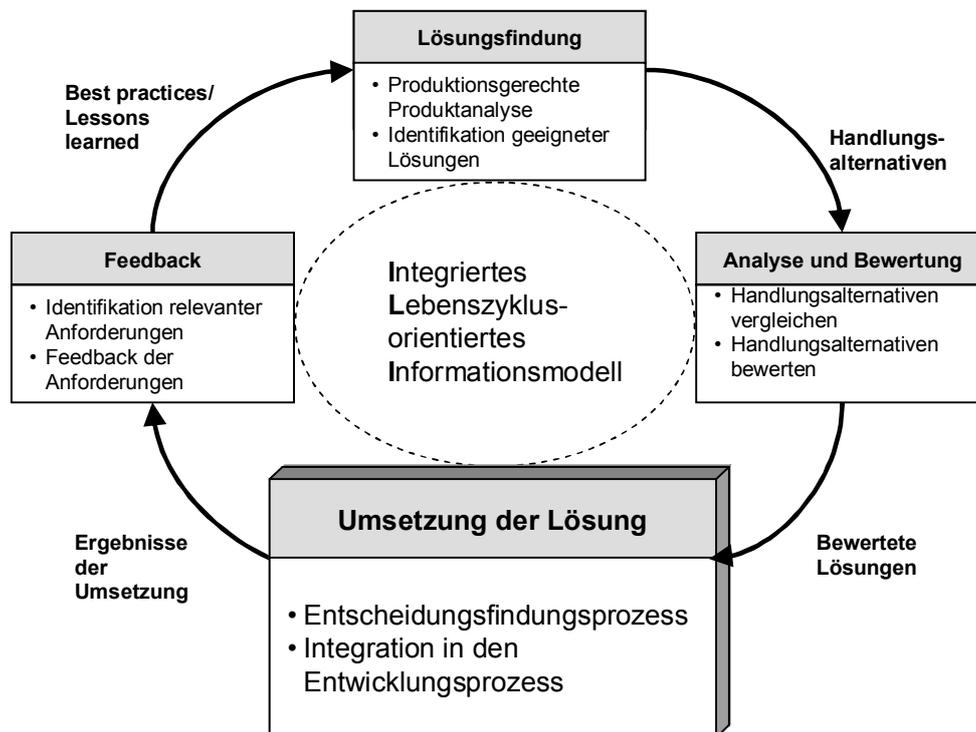


Abbildung 38: Phase drei der Methodik

Integration in den Entscheidungsprozess

Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit wird erzielt, indem der quantitative Gesamtnutzen NP_{total} für alle $NP_q, K = \{1, \dots, Q\}$ sowie die Investitionskosten pro Handlungsalternative berechnet und auf die Anzahl der geplanten Produkte umgelegt werden. Wie in Abbildung 39 dargestellt, können im Anschluss die nutzbringenden Handlungsalternativen mit Hilfe einer Portfolio-Entscheidungsmatrix identifiziert und somit der Entscheidungsträger bei der Entscheidungsfindung unterstützt werden [Wöhe00].

Für die Abbildung des beschriebenen Sachverhalts eignet sich die Portfolio-Matrix der Boston Consulting Group (BCG-Portfolio-Matrix) [Baum06]. Die BCG-Portfolio-Matrix ist eine 4-Felder-Matrix, welche sich aus den Achsen Investitionskosten und quantitativer Gesamtnutzen mit je zwei Ausprägungen „Hoch“ und „Niedrig“ zusammensetzt. Das Trennkriterium stellt auf beiden Achsen die durchschnittliche Kenngröße der im Portfolio vereinten Handlungsalternativen dar.

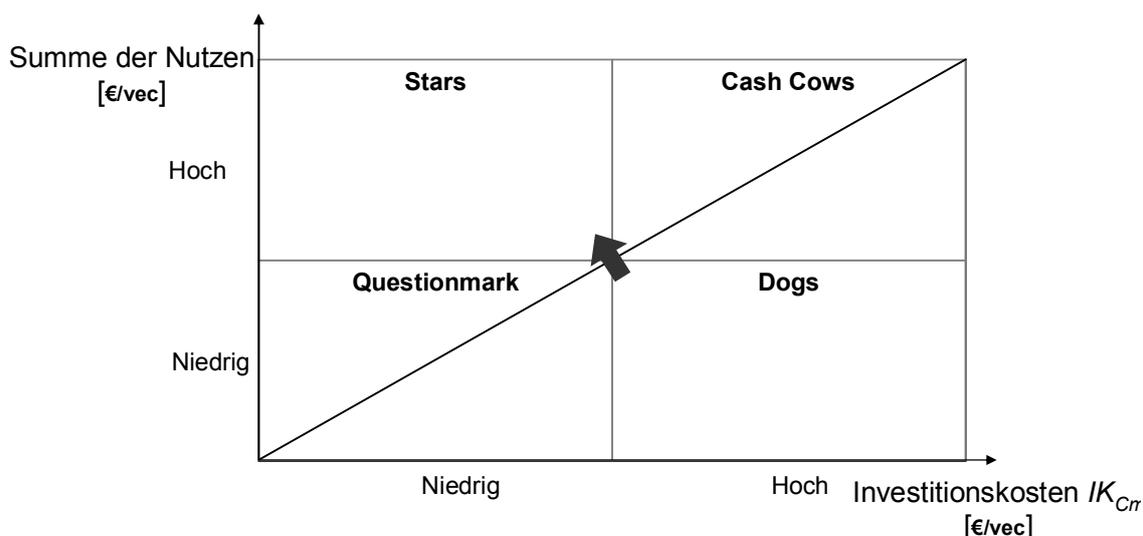


Abbildung 39: Portfolio-Entscheidungsmatrix (Quelle: Boston Consulting Group)

Der linke obere Quadrant der Matrix wird als „Stars“ bezeichnet, da die Alternativen in diesem Bereich durch niedrige Investitionskosten und einen hohen Nutzen gekennzeichnet werden. Alternativen im rechten oberen Quadranten werden als „Cash Cows“ bezeichnet, weil höherer Nutzen nur mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Charakteristisch für Alternativen in Bereich „Dogs“ ist, dass der Gesamtnutzen, verglichen mit den investierten Kosten, geringer ausgeprägt ist und damit die Alternativen nicht gewinnbringend für das Unternehmen sind. Als „Questionmarks“ werden Handlungsalternativen im linken unteren Quadranten bezeichnet, welche zwar mit niedrigen Investitionskosten verbunden sind, gleichzeitig aber einen niedrigen Gesamtnutzen erwirtschaften. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze ist in den Quadranten „Questionmarks“ und „Cash Cow“ anzutreffen. Alle über dieser Grenze liegenden Handlungsalternativen sind für Unternehmen als rentabel zu betrachten.

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die einzelnen Phasen der Methodik diskutiert wurden, stellt Abbildung 40 die Zusammenhänge der einzelnen Bausteine durch ein Flussdiagramm [DIN-66001] dar. Auf Basis dieses Flussdiagramms soll die Integration der Methodik in den Entscheidungsfindungsprozess diskutiert werden.

Die Initialisierung des Prozesses zur produktionsgerechten Produktgestaltung erfolgt durch die Produktentwicklung. Sobald die zu entwickelnde Produktkomponente einen Entwicklungsstand erreicht hat, zu dem erste produktionsorientierte Untersuchungen angefordert werden können, wird die produktionsgerechte Prozesskette initiiert.

Ist die entsprechende Komponente produktionsgerecht, dann kann diese unter Serienbedingungen hergestellt werden und der Prozess ist zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen. Ist die Komponente jedoch nicht produktionsgerecht, beispielweise

aufgrund einer negativen Absicherung der Werkzeugzugänglichkeit, werden Handlungsalternativen identifiziert.

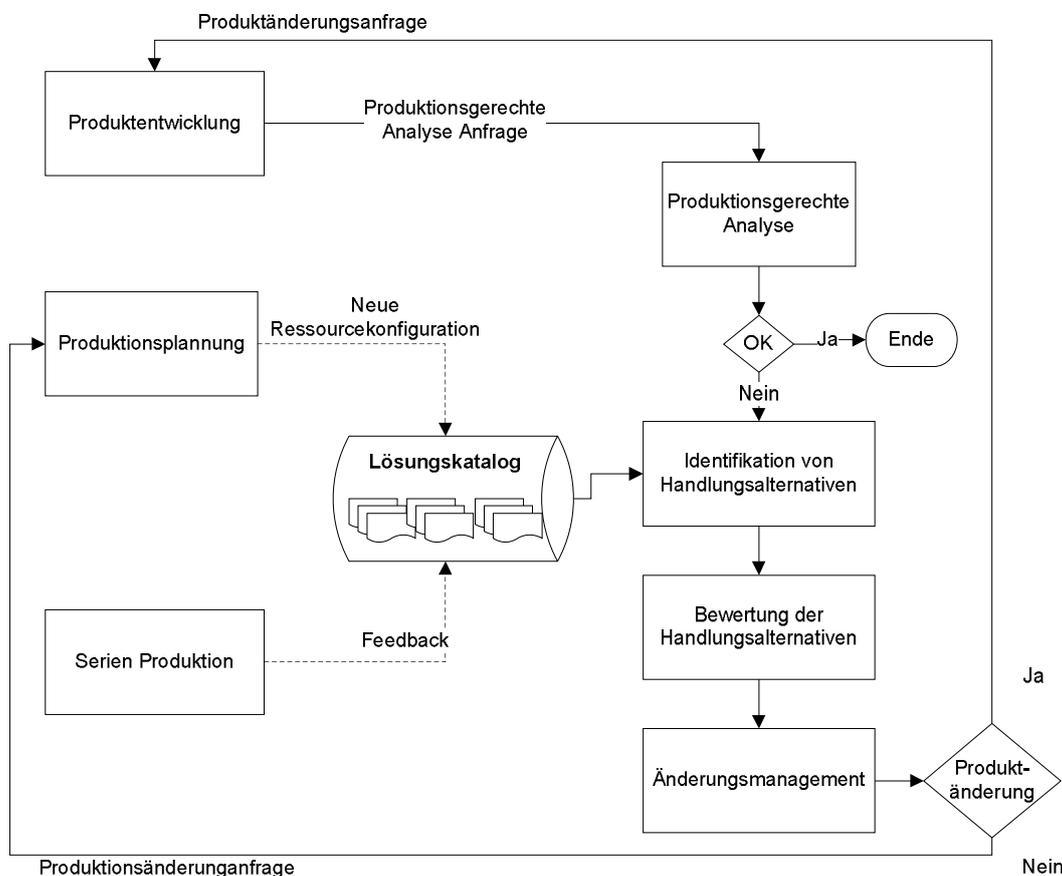


Abbildung 40: Integration in den Entscheidungs- und Änderungsmanagementprozess

Als Eingangsdaten dieses Schrittes werden Informationen über mögliche Konfigurationen der produzierenden Produktionsmittel verwendet. Die Konfigurationen werden über einen Feedbackprozess mit Informationen der Produktionsplanungs- und Serienproduktionsphasen aktualisiert sowie strukturiert in einem Lösungskatalog organisiert. Die Identifikation der Handlungsalternativen kann in der Folge automatisiert durch Information Retrieval im Lösungskatalog oder manuell durch zuständiges Personal erfolgen. Sobald die Alternativen erarbeitet wurden, können diese, wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, den unternehmensspezifischen Entscheidungskriterien gegenübergestellt und unter Wirtschaftlichkeitsaspekten betrachtet werden. Diese Untersuchungen bilden die Entscheidungsgrundlage für die Initiierung einer Produkt- oder Produktionsänderungsanfrage, um im letzten Schritt die Integration in den bestehenden Entscheidungs- und Änderungsmanagementprozess abzuschließen [Stanev08].

Zeitliche Einordnung in den Entwicklungsprozess

Abbildung 41 stellt die zeitliche Einordnung der entwickelten Methodik in den Fahrzeugentwicklungsprozess visuell dar (vgl. Abbildung 6). Die Methodik kann sukzessive in mehreren Phasen des Produktentwicklungsprozesses eingesetzt werden.

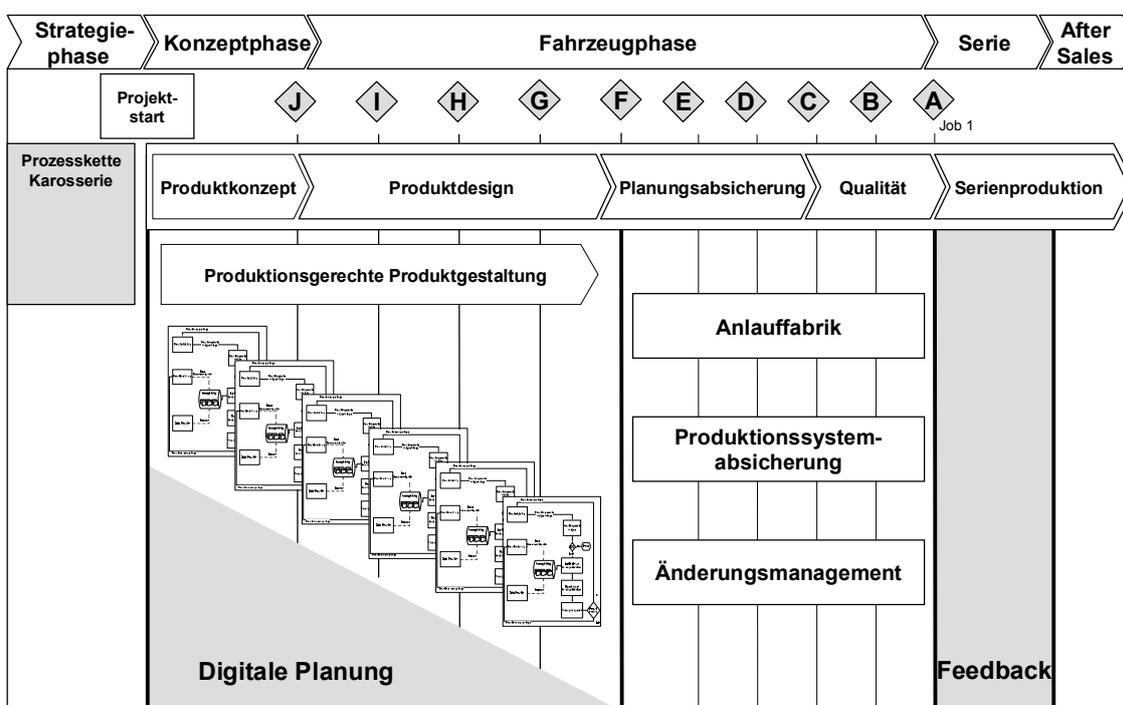


Abbildung 41: Integration in den Fahrzeugentwicklungsprozess (Quelle: Daimler)

In der Automobilindustrie beschreiben sogenannte **Quality Gates** (J-A) festgesetzte Zeitpunkte für die Fertigstellung von im Voraus bestimmten Planungs- und Entwicklungsaktivitäten. Der Job Number One (Quality Gate A) definiert sich dabei in der Automobilindustrie als das erste regulär produzierte Produkt in der Serienproduktion.

Die Initialisierung des Prozesses der produktionsgerechten Produktgestaltung erfolgt mit dem Projektstart, der von der Produktkonzeptphase angeführt wird, und endet in der Regel mit dem Einfrieren des Produktdesigns – Quality Gate F. In der Konzeptentwicklungsphase, vom Projektstart bis Quality Gate J, stehen die Fahrzeugarchitektur, das Design und die entsprechenden Basistechnologien im Mittelpunkt. Dabei spielen konzeptionelle Fragestellungen wie etwa der Leichtbau oder die gezielten Materialwerte, aber auch produktionsbezogene Fragen eine wichtige Rolle. Wenn z.B. die Karosserie eines Fahrzeugs aus Aluminium oder Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen bestehen soll, wird die Entscheidung noch in diesen frühen Phasen getroffen. Daher ist bereits in dieser Phase die Anwendung der Methodik sinnvoll, um

ein produktionsgerechtes Produktkonzept zu definieren. Ein ganzheitlich optimales Produktkonzept erfordert es, insbesondere in den frühen Phasen die unterschiedlichen Alternativen auf deren Herstellbarkeit hin zu untersuchen. In Bezug auf die Kosten ist dies die Phase, in der die Anwendung der Methodik einen maximalen Effekt erzielt.

In der Produktdesignphase – zwischen den Quality Gates J und F – wird das Konzept präzisiert und weiter ausgearbeitet. Das Design von Einzelteilen, Baugruppen und Modulen wird festgelegt und Lösungen zur Erzielung der geforderten Anforderungen werden konzipiert. In dieser Phase wird die Methodik eingesetzt, um die Herstellbarkeit von Produktkomponenten durch die jeweiligen Produktionsressourcen zu analysieren. Gegebenenfalls werden auch entsprechende Handlungsalternativen identifiziert, welche die Herstellbarkeit der jeweiligen Komponente sicherstellen. Eine sinnvolle Anwendung der Methodik ist bis zum Quality Gate F gegeben. Zu diesem Zeitpunkt wird das Design eingefroren und die Spezifikation eines Produktes finalisiert. In den nachgelagerten Phasen wird die Methodik eingesetzt, um für die produktionsorientierte Untersuchung relevante Informationen aus der Serienproduktion zu erfassen und über einen geeigneten Rückführungsprozess in die frühen Phasen zu integrieren (siehe Kapitel 0)

Mit dieser Phase endet die Umsetzung einer Handlungsalternative.

4.3.4 Feedback

Die drei bislang vorgestellten Phasen der Methodik werden insgesamt von vielfältigen Faktoren beeinflusst. Das Ziel der vorliegenden vierten Phase ist es daher, die relevanten Einflussfaktoren von den zeitlich nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus zu identifizieren und über Informationsrückführung in die Phasen der Produktentwicklung sowie der Produktionsplanung in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen. Somit kann der Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung ganzheitlich unterstützt werden. Daneben ermöglicht die Vorgehensweise eine fortlaufende und nachhaltige Optimierung des Produktentwicklungsprozesses. Zu diesem Zweck wird eine kontinuierliche Erfassung und Analyse konzeptbezogener Anforderungen aus der Produktionsphase mit anschließender Informationsrückführung über einen Feedback-Prozess durchgeführt. Weiterhin werden im Rahmen der Methodik neu erarbeitete Lösungen in die unternehmerischen Datenverwaltungssysteme mit dem Ziel rückgeführt, sog. Best Practices zu erfassen und in der nächsten Iteration der Methodik anzuwenden (siehe Kapitel 4.3.2). Charakteristisch für diese Phase ist, wie bereits angesprochen, das Fehlen eines zeitlichen Bezugs zu den anderen Phasen der Methodik. Stattdessen

werden die Erfassungsprozesse dieser Phase unabhängig von den anderen Phasen und kontinuierlich entlang des gesamten Produktlebenszyklus ausgeführt.

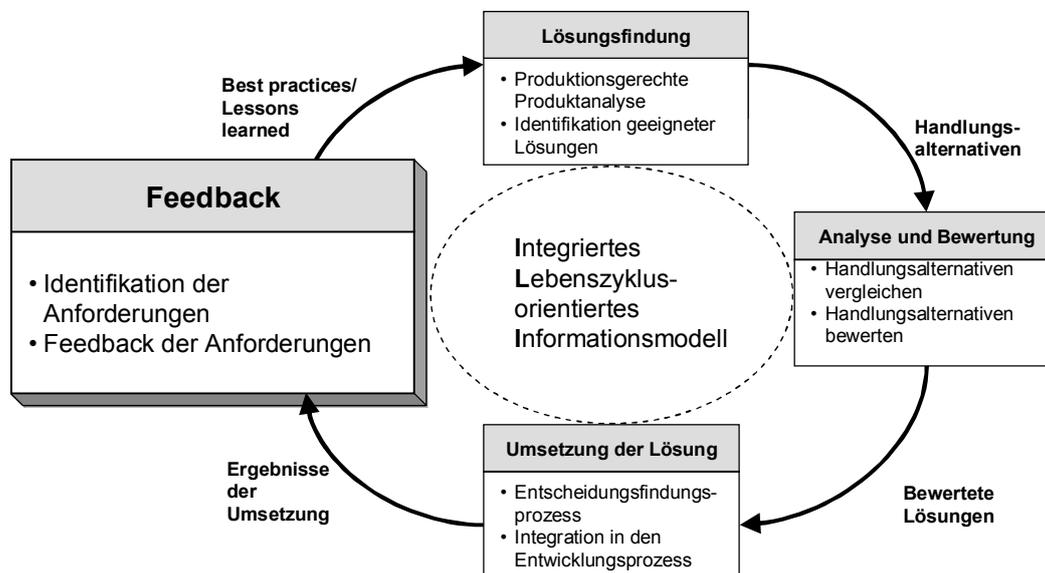


Abbildung 42: Phase vier der Methodik

Aufgrund von unvorhersehbaren Vorkommnissen ist es für die meisten produzierenden Unternehmen üblich, kontinuierlich die Produktionsprozesse in der laufenden Produktion anzupassen. Das Ergebnis sind Änderungsanfragen an die Produktionsanlage bzw. an den Produktionsprozess. Vor dem Hintergrund der Ziele dieser Arbeit nehmen abhängig von dem Anwendungskontext unterschiedliche Faktoren Einfluss auf die Ergebnisse der methodischen Phasen. Im Zusammenhang mit der entwickelten Methodik werden diese Informationen als Anforderungen oder Restriktionen an die Produkt- und Planungsspezifikationen aufgefasst und als Fakten und Regeln in die Wissensbasis integriert (siehe Kapitel 4.3.1).

Technologie- und prozessbezogene Anforderungen

Die bereits eingesetzten Fertigungstechnologien legen zum größten Teil die technischen Anforderungen fest, die einen Einfluss auf die Methode der produktionsorientierten Produktuntersuchung haben. Zudem werden diese Anforderungen durch bestimmte Prozesseigenschaften weiterhin bestimmt, sofern ein Mischbetrieb vom alten und neuen Produkt auf der Produktionsanlage betrieben wird, wie beispielsweise die Taktzeit. Diese Anforderungen können grundsätzlich in zwei Hauptklassen eingeteilt werden. Zum einen sind dies produktbezogene Anforderungen, die lediglich die Entwicklung und Konstruktion eines Produktes beeinflussen (Anforderungen an die

Produktmaterialien). Zum anderen sind dies nicht produktbezogene Anforderungen, die vor allem in die Produktionsplanungsphase zurückgeführt werden. Diese Anforderungen werden bei der Planung der Fertigung in Betracht gezogen.

Eine detailliertere Kategorisierung der Anforderungen wird in der Tabelle 10 dargestellt. Hierbei wird zwischen allgemeinen, technologie-, prozess- und materialflussbezogenen Anforderungen unterschieden.

Anforderungskategorien und -arten		Beschreibung
Technologiebezogene	Geometrie	Anforderungen an die Produktgeometrie wie z.B. die geometrische Zugänglichkeit
	Parameter	Produktbezogene Anforderungen wie z.B. an die Materialparameter
	Position	Produktbezogene Anforderungen wie z.B. die Position der Schweißpunkte am Flansch
Prozessbezogene	Zeit	Nicht produktbezogene Anforderungen an die Produktionsplanungsphase, Taktzeit
	Kosten	Nicht produktbezogene Anforderungen an die Produktionsplanungsphase
	Qualität	Nicht produktbezogene Anforderungen an die Produktionsplanungsphase, MTBF/MTTR ¹⁰
	Ablauf	Anforderungen, bedingt durch die Ablauffolge der bestehenden Fertigungsoperationen
	Platz	Nicht produktbezogene Anforderungen, wie die Platzverhältnisse in der Produktionslinie
Materialflussbezogene	Handhabung	Restriktionen, bedingt durch den Handhabungsvorgang
	Transport	Restriktionen, bedingt durch den Transportvorgang
	Lager	Restriktionen, bedingt durch den Lagervorgang
	Ergonomie	Anforderungen an die Produktentwicklung und Produktionsplanung
Allgemeine		Allgemeine Restriktionen wie Blindschweißen sollen vermieden werden

Tabelle 10: Technologie- und prozessbezogene Anforderungskategorien

¹⁰ MTBF – Mean Time Between Failures, MTTR – Mean Time To Repair

Diese Kategorien bilden die Basis für die Erstellung der Validierungsregeln und bestimmen hiermit sog. Validierungskategorien (siehe auch Kapitel 5.4.2). Das Ergebnis ist eine Liste von Anforderungen, die in die Wissensbasis in Form von Fakten umgesetzt und für die Auswertung der Validierungsregeln benutzt werden.

Best Practices

Der erste Schritt der Methodik wird innerhalb der Entwicklungsphase eines Produktes initialisiert. Bei der Durchführung einer produktionsorientierten Produktanalyse können potenzielle Handlungsalternativen von den zuständigen Fachkräften basierend auf deren implizitem Wissen manuell definiert werden, dabei können auch neue Lösungen entstehen. Die Schwierigkeit hierbei ist es, dass dieses Wissen sehr oft nicht nur auf der technischen Expertise, sondern auch auf Lessons Learned von Vorgängerprojekten basiert und das Prozedere nicht konsistent ist mit den zurückgeführten Anforderungen aus den nachfolgenden Prozessen. Zudem ist es notwendig, sofern eine negative Absicherung vorhanden ist, noch eine Iterationsschleife der produktionsorientierten Produktuntersuchung durchzuführen, und zwar auf einem angepassten Datensatz (Template, siehe Kapitel 4.3.2). Hierbei werden die Eigenschaften der Absicherungsvorlage beibehalten und lediglich die Eingangsdaten sowie die erzielten Resultate verändert. Durch die systematische Abbildung, Verwaltung und Auswertung solcher Vorgänge entstehen wertvolle Erkenntnisse für nachfolgende Projekte und Iterationen der Methodik (Lessons Learned).

Mit dem Ziel, die Best Practices digital zu erfassen und diese rechnerunterstützt in Form von Lessons Learned anzuwenden, werden sie in die unternehmerischen Daten- und Wissensverwaltungssysteme, sofern vorhanden, zurückgeführt.

4.4 Lebenszyklus-orientiertes Informationsmodell zur Unterstützung der Methodik

Nachdem die methodischen Schritte aufgezeigt wurden, wird in diesem Kapitel auf die Zusammenführung der entlang des Produktlebenszyklus entstandenen Informationen in ein integriertes Informationsmodell eingegangen.

4.4.1 Ziel und Umfang des Informationsmodells

Ein Modell ist eine Abstraktion des betrachteten Realitätsausschnitts [Hansen2001]. Modelle repräsentieren ein Original immer für die Zwecke eines erkennenden und/oder

handelnden Subjekts. Ein Modell ist demnach ein Abbild eines Originals für einen Verwender bezüglich eines Zwecks [Teubne1999]. Ein Informationsmodell bildet die informationsbezogenen Aspekte des betrieblichen Geschehens ab. Es stellt eine strukturierte Beschreibung von Informationen und Informationsbeziehungen dar und dient somit der formalen Beschreibung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme auf konzeptioneller Ebene [Picot1994]. Zum besseren Verständnis eignet sich am besten der Unified Modeling Language (UML [ISO-9505-1]), der visuell den entsprechenden Sachverhalt verdeutlicht [Scheer2001].

In diesem Abschnitt wird die Integration der algorithmisierten produktionsorientierten Analyse-Methode in ein Informationsmodell betrachtet, um darauf Informationen über die Entwicklung, Planung und die Fertigung abzubilden. Das Ziel ist es, ein integriertes Lebenszyklus-orientiertes Informationsmodell zu bilden, das Produktinformationen von den unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus zusammenführt. Ein zusätzliches Ziel ist deshalb die Abbildung der von der Serienproduktion entstehenden Anforderungen und deren Integration in den früheren Phasen. Somit sollen effiziente und nachhaltige Informationserfassung, -bereitstellung und -austausch ermöglicht und eine kontinuierliche Prozessoptimierung unterstützt werden.

Weiterhin wird durch das Informationsmodell erzielt, dass die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der entlang des Produktlebenszyklus entstandenen Daten durch eine konsistente Informationsbasis formell dargestellt und somit als Basis für eine rechnergestützte Unterstützung der Methodik eingesetzt werden können.

Die vorgestellte Methodik 2REUSE setzt einen durchgängigen und medienbruchfreien Ablauf der Informationsflüsse voraus. Ein weiteres Ziel ist es deshalb, die Integration der einzelnen Schritte der Methodik auf der Basis des Informationsmodells zu ermöglichen. Dabei werden Informationsinhalte aus unterschiedlichen Phasen der Methodik in das Informationsmodell abgebildet.

4.4.2 Architektur des integrierten Informationsmodells

Abbildung 43 stellt die abstrakte Architektur des integrierten Informationsmodells in Anlehnung an Anderl et al. [And07] dar. Es besteht aus den folgenden vier Hauptkomponenten:

- die Darstellung der Lebenszyklusphasen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion,
- die Integration der Lebenszyklusphasen über das Integrationsmodell,

- die Abbildung der Prozessmanagement- und Lebenszyklusmanagementaspekte in das Management-Informationsmodell sowie
- die informationstechnische Unterstützung von operativen Lebenszyklusübergreifenden Methoden und Algorithmen wie z.B. die produktionsorientierte Produktuntersuchung durch das operative Informationsmodell.

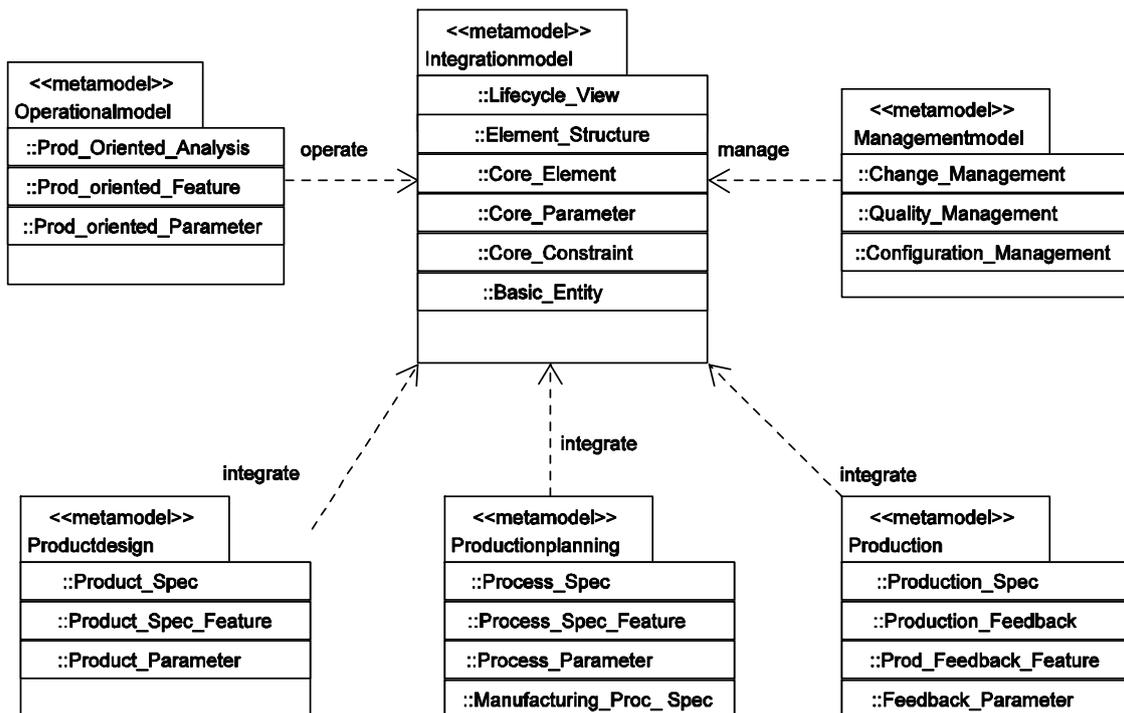


Abbildung 43: Architektur des Lebenszyklus-orientierten Informationsmodells (in Anlehnung an [And07])

Die Produktdesignphase wird durch das Informationsmodell *Productdesign* spezifiziert. Die Produktionsplanungsphase wird durch das Lebenszyklusmodell *Productionplanning* dargestellt, welche wiederum in Prozess- und Ressourcenspezifikation untergliedert ist. Eine weitere Konkretisierung in Fertigungs- und Montageprozesse bzw. in Fertigungs- und Montageressourcen ist für die Zwecke dieser Arbeit sinngemäß und erfolgt analog.

Durch die abstrakten Informationsmodelle *Structure*, *Element*, *Parameter* und *Constraint* im *Integrationsmodell* lassen sich die gemeinsamen Aspekte in den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen ausdrücken. Basierend darauf können informationstechnisch phasenspezifische und phasenübergreifende Informationen aus den Phasen der Produktentwicklung, der Produktionsplanung und der laufenden

Produktion abgebildet werden. Diese schaffen dann die Grundlage für die rechnerunterstützte Durchführung der produktionsorientierten Produktuntersuchung.

Das Informationsmodell *Managementmodel* fasst grundsätzlich Informationen über Lebenszyklus-orientierte Prozess- und Informationsmanagementmethoden zusammen, wie z.B. die Organisations- und Änderungsmanagementprozesse.

Zudem verwaltet das operative Informationsmodell *Operationalmodel* Informationsinhalte über Lebenszyklus-übergreifende operative Methoden und Prozesse. Diese werden lediglich bei der Durchführung von operativen Ingenieur Tätigkeiten eingesetzt, wie die Anwendung der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Methode zur produktionsorientierten Produktuntersuchung.

4.4.3 Integration der Lebenszyklusphasen

Um eine informationstechnische Integration der Lebenszyklusphasen von dem Produktkonzept bis zur Produktfertigung zu erschaffen, ist eine Informationsintegration auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen notwendig [And07]. Die Integration erfolgt auf den Ebenen der Modellstruktur (*Element_Structure*), der Modellelemente (*Core_Element*) sowie auch auf der Ebene der Modellparameter und Restriktionen (*Core_Parameter* bzw. *Core_Constraint*), wie Abbildung 44 zu entnehmen ist.

Die entsprechenden Sichten auf die einzelnen Lebenszyklusphasen lassen sich durch die Abstraktion *Lifecycle_View* in Form von Projektionen spezifizieren. Eine solche Projektion beispielsweise auf die Produktentwicklungsphase kann durch die Spezifikation *Product_Design* realisiert werden. Analog lassen sich die Projektionen auf die anderen Lebenszyklusphasen ableiten.

Lebenszyklusphasen-spezifische Informationen können auf der Modellelementebene durch die Klasse *Element* dargestellt werden. Diese wird wiederum beispielsweise in produktbezogene Modelle weiter spezifiziert (*Product_Spec_Feature*). Eine feinere Granulierung erfolgt auf der nächsten Abstraktionsebene, die Modellparameterebene, und wird durch die Klasse *Core_Parameter* umgesetzt. Lebenszyklusphasen-übergreifende Restriktionen, beispielsweise produktionsbezogene Anforderungen aus der laufenden Produktion an die Produktentwicklung (siehe Kapitel 4.3.4), lassen sich dann durch die Abstraktion *Core_Constraint* ausdrücken.

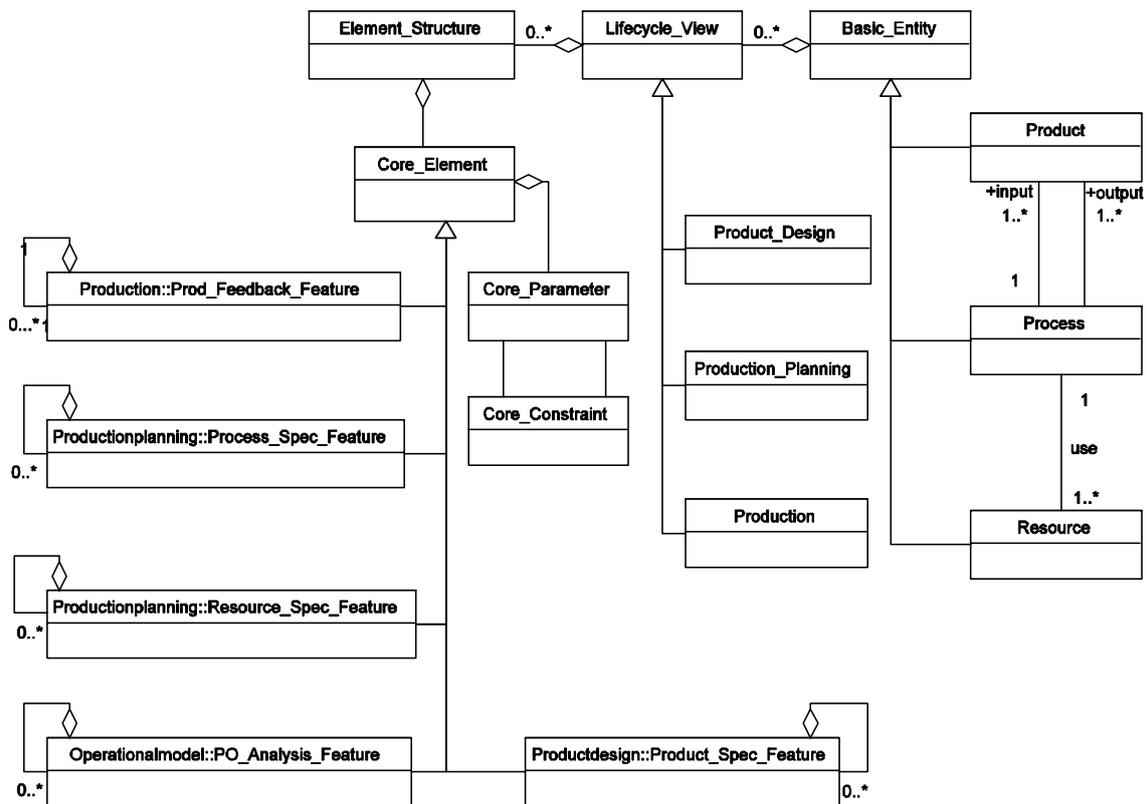


Abbildung 44: Modell zur Integration der Lebenszyklusphasen [Stanev09c]

4.4.4 Informationsmodell der Lebenszyklusphasen

Zur Unterstützung von Lebenszyklusphasen-übergreifenden Methoden und Prozessen müssen geeignete Repräsentationen der phasenspezifischen Strukturen und Elemente in den entsprechenden Informationsmodellen spezifiziert werden.

Abbildung 45 illustriert die relevantesten Informationsblöcke und deren Zusammenhänge zur Repräsentation der konzeptrelevanten Informationen entlang der Lebenszyklusphasen Produktentwicklung, Produktionsplanung und laufende Produktion. In jeder Lebenszyklusphase werden die Produkt-, Prozess- und Ressourcenspezifikationen durch die entsprechenden Produkt-, Prozess- und Ressourcenfeatures repräsentiert. Dabei werden Produktgeometrie sowie Produktstruktur als Features betrachtet. Analog dazu wird der Informationsblock des Produktionsfeedbacks aufgebaut. Konkrete Anforderungen von der laufenden Produktion auf die Produktspezifikation lassen sich in Form von Restriktionen zwischen den Produkt- und Feedbackparametern modellieren (siehe Kapitel 4.3.4). Vergleichbar lassen sich Zusammenhänge zwischen Produktionsressourcen und Produktionsprozessen bzw. zwischen Produktionsprozessen und Produkten abbilden.

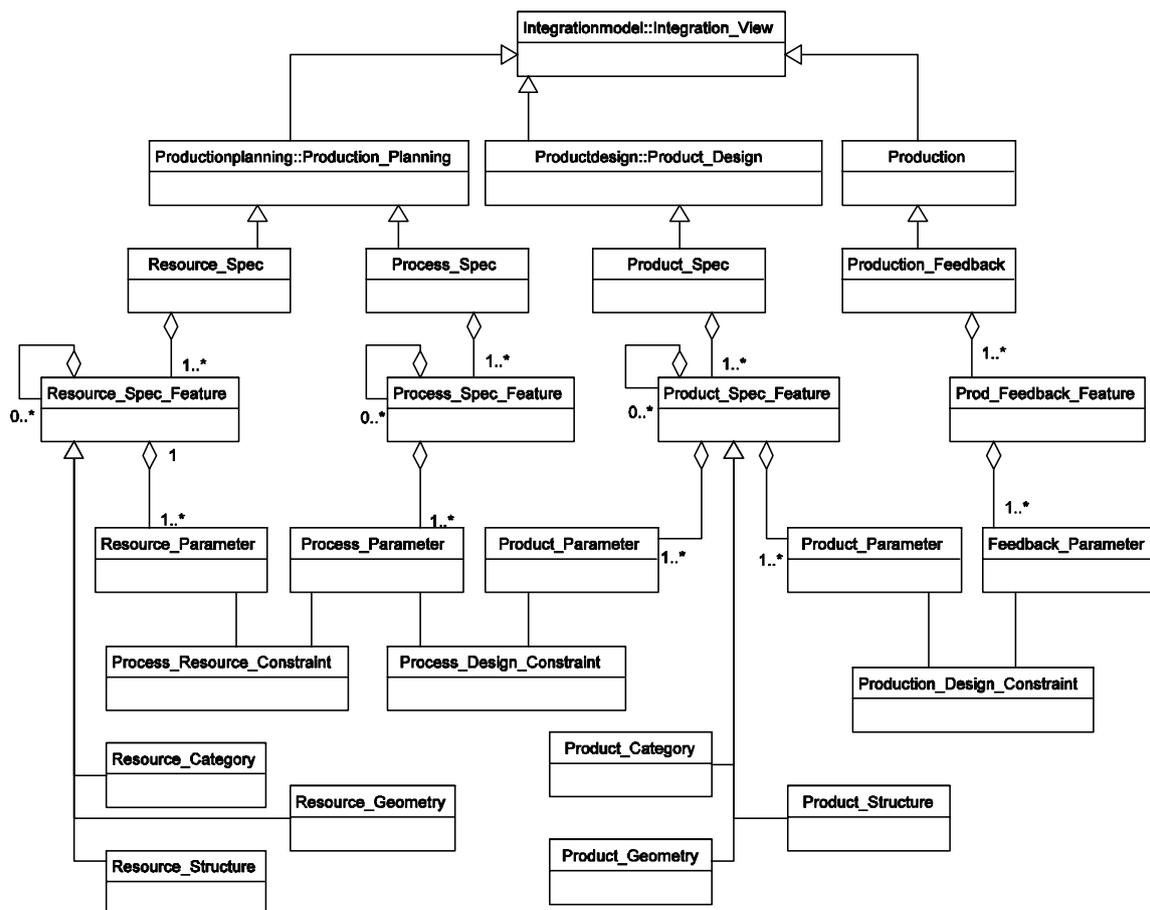


Abbildung 45: Abbildung von Produktdaten im Produktlebenszyklus [Stanev09c]

4.4.5 Informationsmodell für die produktorientierte Analyse

Die produktorientierte Produktuntersuchung ist eine operative Lebenszyklusphasen-übergreifende Methode. Für deren Durchführung werden Informationen aus den späteren Phasen des Lebenszyklus benötigt. Deshalb wird der entsprechende Informationsblock *PO_Analysis* mit allen anderen Phasen assoziiert, um diese Beziehung auszudrücken. Entscheidend hierbei sind die weiteren Assoziationen zu den Phasen der Produktentwicklung und der Phase der Serienproduktion (*POAnalysis_Design_Constraint* bzw. *POAnalysis_Production_Constraint*). Somit lassen sich die produktbezogenen Anforderungen und Restriktionen aus der laufenden Produktion an die Produktentwicklung abbilden. Abbildung 46 stellt die erforderlichen Entitäten und deren Beziehungen dar.

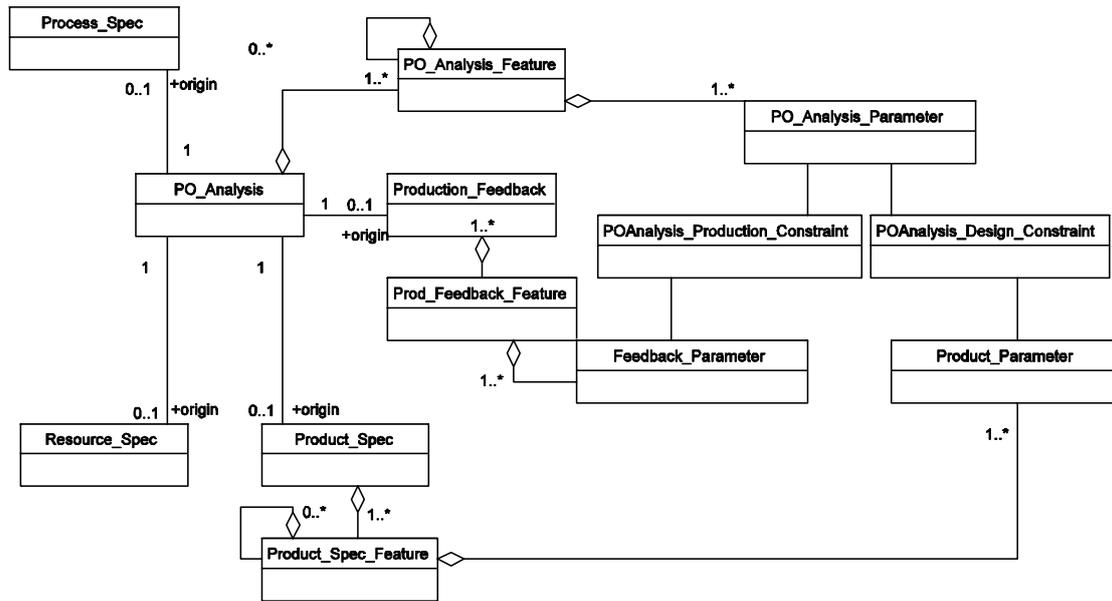


Abbildung 46: Informationsmodell für die produktionsorientierte Analyse [Stanev09c]

4.5 Beitrag der Methodik

In diesem Abschnitt wird der Beitrag der Methodik diskutiert. Zunächst wird auf den wissenschaftlichen Beitrag eingegangen und im Anschluss werden die Nutzen der Industrie dargelegt.

4.5.1 Wissenschaftlicher Beitrag

Der in der vorliegenden Arbeit geleistete wissenschaftliche Beitrag wird in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- Es wurde eine neue Methode zur durchgängig digitalen produktionsorientierten Produktanalyse entwickelt, die ganzheitlich die Prozesskette der produktionsgerechten Produktgestaltung im Kontext der Wiederverwendung von Produktionssystemen unterstützt.
- Es wurden die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der aus den unterschiedlichen Produktlebenszyklusphasen stammenden Daten und Informationen in ein Lebenszyklus-orientiertes Informationsmodell definiert und abgebildet.
- Ein effektives Informationsmanagement von fahrzeugbezogenen Daten wurde mit Hilfe eines Lebenszyklus-orientierten Informationsmodells realisiert, um

Entwicklungs- und Lebenszyklusphasen-übergreifende Erfassung, Bereitstellung und Informationsaustausch zu ermöglichen.

- Es wurde eine Methode zur Kosten-Nutzen-Analyse in Hinblick auf die Wiederverwendung und Flexibilisierung von Produktionssystemen entworfen, um den Entscheidungsfindungsprozess bei der Bewertung unterschiedlicher Handlungsalternativen zu unterstützen.
- Zudem wurde die entwickelte Methodik in den Entscheidungs- und Änderungsmanagementprozess integriert. Weiterhin wurde eine zeitliche Einordnung in den Fahrzeugsentstehungsprozess gegeben.

Mit dem oben erzielten Beitrag erbringt diese Arbeit neue wissenschaftliche Erkenntnisse, welche aus der Anwendung der entwickelten Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Wiederverwendung von Produktionssystemen hervorgehen.

4.5.2 Nutzen für die Industrie

Bei einer durchgängig systematischen Nutzung der vorgestellten Methodik im Rahmen der produktionsgerechten Produktgestaltung kann ein Innovationssprung auf diesem Gebiet erzielt werden. Es kommt zu einer Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz bei gleichzeitiger Steigerung der Flexibilität hinsichtlich Fertigung neuer Produkte der entsprechenden Produktionsanlage. Diese Optimierung wird in den folgenden Punkten deutlich:

- Durch die Anwendung der in Kapitel 4.3.1 vorgestellten Methode können Segmente in der Produktion identifiziert werden, die aufgrund technologischer Restriktionen die Fertigung einer Produktkomponente einschränken. Durch die iterative Verwendung der Methodik können für diese Segmente Lösungen identifiziert werden, die der Unternehmensstrategie und der Marktsituation gerecht werden und somit zur Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz beitragen.
- Durch die systematische Anwendung der produktionsorientierten Produktanalyse wird noch in den frühen Phasen der Produktentwicklung sichergestellt, dass der optimale Produktionsprozess gefunden wird, und weiterhin, dass die Produktspezifikation aus Sicht der Produktion optimal ist.

Im Hinblick auf die geänderte Marktsituation werden derzeit die Wiederverwendung bestehender Produktionssysteme und die Steigerung in der Produktvarietät als sehr

wichtige Wettbewerbsfaktoren von produzierenden Unternehmen betrachtet. In diesem Sinne werden die folgenden industriellen Nutzen hinsichtlich des Informationsaustauschs zwischen den Lebenszyklusphasen Produktentwicklung, Produktionsplanung und Serienproduktion durch die neue Methodik 2REUSE erbracht:

- Die Bereitstellung einer einheitlichen Informationsbasis und das Verständnis für Daten entlang des Produktlebenszyklus. Damit kann das gleiche Wissen der involvierten Personen und Abteilungen zur Verfügung gestellt und somit können redundante und oftmals widersprüchliche Datenbestände abgeschafft werden.
- Die informationstechnische Unterstützung des Feedbacks von Informationen aus der Serienproduktion in die Entwicklungsphasen trägt zur Abschaffung von Redundanzen und überflüssigen Iterationen in den Informationsmanagementprozessen bei.
- Die Bereitstellung einer Lebenszyklusphasen-übergreifenden Informationsbasis hat starke Auswirkungen auf die Unternehmenskultur und das Management. Mit diesem neuen Verständnis können Unternehmensprozesse effizienter und effektiver gestaltet werden.

4.6 Zusammenfassung

In Kapitel 4 wurde die Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Unterstützung der Wiederverwendung von Produktionssystemen – 2REUSE – behandelt. Zunächst wurden die an die Methodik gestellten Ziele zusammengefasst und die zu Grunde liegenden Begriffe vorgestellt. Anschließend wurde der methodische Grundaufbau von 2REUSE im Detail präsentiert.

Die Detaillierung der methodischen Schritte bildet die Kernaufgabe dieses Kapitels. Dabei wurden die benötigten Produkt-, Prozess- und Ressourcenmerkmale durch einen mathematischen Formalismus beschrieben, welcher Grundlage für den Entwurf der neuen Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse dargestellt. Danach wurde die Integration von 2REUSE in den Entscheidungs- und Planungsprozess der Automobilindustrie präsentiert. Anschließend wurde das Lebenszyklus-orientierte Informationsmodell dargestellt, das die relevanten Daten aus den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen informationstechnisch zusammenfasst und als Basis für eine rechnergestützte Umsetzung dient. Im letzten Abschnitt wurden neue wissenschaftliche Erkenntnisse sowie auch der industrielle Beitrag dieser Arbeit diskutiert.

Kapitel 5

5 Validierung der Methodik

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die neue Methodik dargestellt wurde, wird im Folgenden die Validierung anhand eines Fallbeispiels präsentiert. Ziel ist es, die Anwendung der Methodik im industriellen Umfeld in der Automobilindustrie zu demonstrieren und die Verwendbarkeit und Realisierbarkeit im Rahmen der Prozesskette der produktionsgerechten Produktgestaltung anhand eines Software-Prototyps zu validieren. Hierzu werden zunächst

- in Abschnitt 5.1 die Vorgehensweise und die Rahmenbedingungen diskutiert,
- in Abschnitt 5.2 der Software-Prototyp gezeigt,
- in Abschnitt 5.3 die fallbeispielbezogene Anwendung definiert,
- in Abschnitt 5.4 die Anwendung der Methodik vorgestellt und schließlich
- in Abschnitt 5.5 das Kapitel zusammengefasst.

5.1 Vorgehensweise und Rahmenbedingungen

Mit dem Ziel, die Anwendbarkeit der erarbeiteten Methodik in der Industrie zu demonstrieren, wurde ein Software-Prototyp konzipiert und realisiert, in dem die im vorherigen Kapitel beschriebene Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse implementiert ist. Der erste Themenschwerpunkt dieses Kapitels befasst sich mit der Beschreibung des Software-Prototyps in Bezug auf seine Architektur, seine Implementierung und seine Funktionsweise. Mit diesem Software-Prototyp soll die Integration mit den operativen Systemen und den End-Usern umgesetzt sowie die Einbettung in die unternehmerischen Geschäftsprozesse realisiert werden.

Der zweite Themenschwerpunkt orientiert sich an der Validierung der theoretischen Grundlagen durch die Ausführung einer Iteration der neuen Methodik. Hierzu wird zunächst ein anwendungsbezogenes Fallbeispiel aus der industriellen Praxis definiert und im Detail vorgestellt. Um die Tragfähigkeit der Methodik unter realen Bedingungen nachzuweisen, wird anschließend der Software-Prototyp anhand des Fallbeispiels getestet. Aufgrund einer bestehenden Geheimhaltungsvereinbarung im Rahmen des Forschungsprojekts MyCar werden lediglich normalisierte Informationen zugänglich gemacht.

5.2 Prototypische Implementierung der Methodik

Zur Realisierung der Methodik im Rahmen eines Software-Prototyps wurden moderne Technologien wie webbasierte Programmierung, Webservices und XML gewählt. Somit können verschiedene technische und ökonomische Vorteile wie einfache Erweiterungsmöglichkeiten, reibungslose und schnelle Installation, höhere Skalierbarkeit und benutzerfreundliche Bedienung in verteilter Umgebung erreicht werden.

5.2.1 Architektur des Software-Prototyps

Das Hauptaugenmerk des Software-Prototyps ist es, das in Kapitel 4.3.1 geschilderte Vorgehen weitgehend zu automatisieren und somit die notwendigen Funktionen in Form von Software-Funktionalitäten den End-Usern zur Verfügung zu stellen. Hierzu wurde ein modular aufgebauter Software-Demonstrator konzipiert und mit Fokus auf die benutzergerechte Realisierung der neuen Methodik umgesetzt. Der Software-Demonstrator unterstützt die folgenden aufeinander aufbauenden Schritte:

- Definition und Konfiguration des Produkt-, Prozess-, Ressource- und Validierungsmodells als abstraktes Abbild des zu untersuchenden Gegenstands
- Erfassung und Aufbereitung von konzeptrelevanten produktzentrischen und ressourcenorientierten Informationen als Grundlage für die produktionsorientierte Produktanalyse
- Bewertung des aktuellen Produktentwicklungsstandes hinsichtlich seiner Herstellbarkeit in einem vordefinierten Produktionssystem durch Anwendung der neuen Methode für eine produktionsorientierte Produktanalyse und schließlich
- automatische Erkennung von Defiziten in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation, die aufgrund technologischer oder prozesstechnischer Restriktionen die Fertigung von Produktkomponenten verhindern.

Ein weiterer Teilschritt in der Methodik ist die automatische Identifizierung und Generierung von Handlungsalternativen, welche die Fertigung der jeweiligen Produktkomponenten ermöglichen und gleichzeitig zur Flexibilisierung des Produktionssystems beitragen. Eine solche Funktionalität wird softwaretechnisch bislang nicht unterstützt und wird im jetzigen Entwicklungsstand des Software-Prototyps allein den Fachkräften vorbehalten. Die nachfolgende Abbildung 47 stellt die Systemarchitektur der modular aufgebauten Anwendung vor.

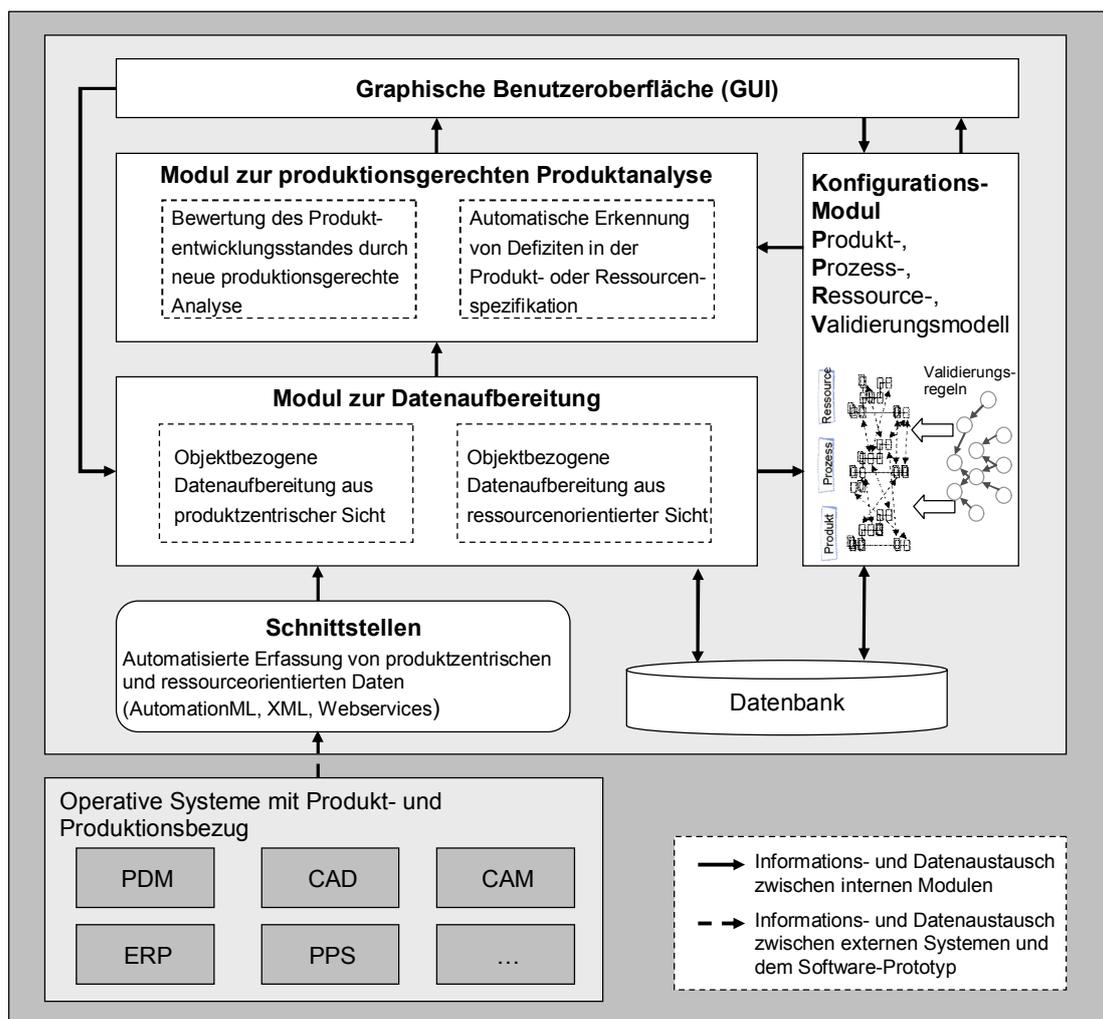


Abbildung 47: Systemarchitektur des Software-Prototyps und die Einbindung in die IT-Landschaft der Anwenderunternehmen

Die Systemarchitektur des Software-Prototyps bilden das Modul zur produktionsgerechten Produktanalyse, das Konfigurationsmodul (Produkt-, Prozess-, Ressource- und Validierungsmodell), das Modul zur Datenaufbereitung, die Schnittstellen zur Datenintegration sowie die graphische Benutzeroberfläche (GUI) und die Datenbank zusammen. Im Folgenden sollen einige Schlüsselfunktionalitäten erläutert werden.

Datenintegration und Datenaufbereitung

Der größte Teil an Daten für die Durchführung der produktionsorientierten Produktanalyse liegt in verschiedenen betrieblichen Planungs-, Entwicklungs- und Datenverwaltungssystemen. Daher bietet es sich an, entsprechende Schnittstellen zur Datenintegration von diesen Systemen bereitzustellen. Mit dem Ziel, einen weitgehend standardisierten Zugriff auf die unternehmensinternen Systeme zu realisieren, wurden AutomationML als Datenaustauschformat implementiert und moderne Technologien wie Webservices und XML eingesetzt. Das Systemmodul zur Datenaufbereitung bildet die Datengrundlage für das nachfolgende Modul zur produktionsorientierten Produktanalyse, welches für die Erfassung, Strukturierung und Normalisierung von konzeptrelevanten Daten zuständig ist. Als Basis hierfür dient das von dem Konfigurationsmodul initialisierte Produkt-, Prozess-, Ressource- und Validierungsmodell (PPRV-Modell). An dieser Stelle wird lediglich zwischen den zwei Arten des Datenursprungs unterschieden, weshalb das Modul in zwei weitere Teilmodule unterteilt wird (siehe Kapitel 3.3.1). Zum einen stammen die Daten aus produktzentrischer Sicht aus Strategie, Forschung und Entwicklung, Dokumentation und Arbeitsvorbereitung, bis hin zur Herstellung und Nutzung. Die konsistente Datenhaltung aus dieser Sicht wird durch PDM-Systeme gewährleistet. Systeme für die digitale Planung, Entwicklung und Absicherung wie CAD-, CAM- und CAQ-Systeme halten ebenso notwendige Informationen für die produktionsorientierte Produktanalyse bereit. Zum anderen haben die Daten aus ressourcenorientierter Sicht ihren Ursprung in der Materialwirtschafts- und Auftragsplanung. Konzeptrelevante Systeme im Produktionsumfeld sind ERP-, PPS-, SCM- und BDE-Systeme. Mit diesen findet aus den dort vorliegenden Daten die Informationsrückführung über aktuelle Prozesskennzahlen, wie z.B. Auslastung, Taktzeiten etc., statt.

Konfigurationsmodul

Dieses Modul unterstützt die Konfiguration und Initialisierung des Produkt-, Prozess-, Ressource- und Validierungsmodells (PPRV-Modell), welches als abstraktes Abbild des zu untersuchenden Gegenstands dient. Aus den in den digitalen Planungs- und Entwicklungssystemen aufgebauten CAD-Modellen lassen sich die hierarchischen Strukturen der zu untersuchenden Produkte, Prozesse und Ressourcen automatisch nachbilden. Somit können Systemobjekte aus Produktsicht wie Produktmodule, Baugruppen und Produktteile, aus Ressourcensicht wie Linie, Zelle, Station, Roboter und Werkzeug, aus Prozesssicht wie Teilprozess und Prozessschritt sowie auch deren

gegenseitigen Abhängigkeiten repräsentiert werden. Eine weitere Funktionalität dieses Moduls ist die Konfiguration des Validierungsmodells in Form von Validierungsregeln, um die produktionsbezogenen Restriktionen und Abhängigkeiten abzubilden. Das Konfigurationsmodul bietet entsprechende Funktionen an, sofern ein manueller Nachbearbeitungsbedarf seitens des Benutzers besteht. Weiterhin können über dieses Modul benutzerabhängige Berechnungsparameter eingegeben sowie die Spezifikation von benutzerindividuellen Szenarioalternativen definiert werden.

Modul zur produktionsorientierten Produktanalyse

Dieses Systemmodul ist in zwei Teilmodule unterteilt und unterstützt einerseits die Anwendung der neuen Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse, um die Bewertung des aktuellen Produktentwicklungsstandes hinsichtlich seiner Herstellbarkeit in einem vordefinierten Produktionssystem zu gewähren. Dies erfolgt durch Auswertung der Validierungsregeln (Validierungsmodell) auf den Attributen des durch das Konfigurationsmodell initialisierten Produkt-, Prozess-, Ressource-Modells (siehe Kapitel 4.3.1). Darauf aufbauend ermöglicht das zweite Submodul die automatische Erkennung von Defiziten in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation, um technologische oder prozesstechnische Restriktionen zu erkennen und somit die Ausgangsbasis für die Identifizierung von Handlungsalternativen zu bilden.

Graphische Benutzeroberfläche (GUI)

Grundsätzlich unterstützt das Graphical User Interface (GUI) zwei Hauptaufgaben. Auf der einen Seite werden das im Konfigurationsmodul erzeugte PPRV-Modell und die durch das Modul zur produktionsorientierten Produktanalyse produzierten Ergebnisse visualisiert. Auf der anderen Seite hat der Benutzer durch interaktive Zugriffsmechanismen über die Benutzerschnittstelle die Möglichkeit, Einfluss auf das zu konfigurierende PPRV-Modell und die daran gekoppelte Datenzuweisung zu nehmen. Somit kann ein bidirektionaler Informations- und Datenaustausch von Benutzern zum Konfigurationsmodul und dem Modul zur Datenaufbereitung bereitgestellt werden.

5.2.2 Implementierung des Software-Prototyps

Die Anwendungslogik des Demonstrators wird durch ein Software-Framework mit einer 4-Schichten-Architektur umgesetzt. Jede Schicht stellt verschiedene Aspekte der Anwendung dar. Die Implementierung basiert hauptsächlich auf JavaEE, wobei jede der

vier Schichten anwendungsgerechte Technologien einsetzt. Die Kopplung der unterschiedlichen Technologien erfolgt durch das aspektorientierte Framework „Spring“¹¹. Spring stellt grundsätzlich Schnittstellen zur Verfügung, um die Integration der Technologien zu ermöglichen.

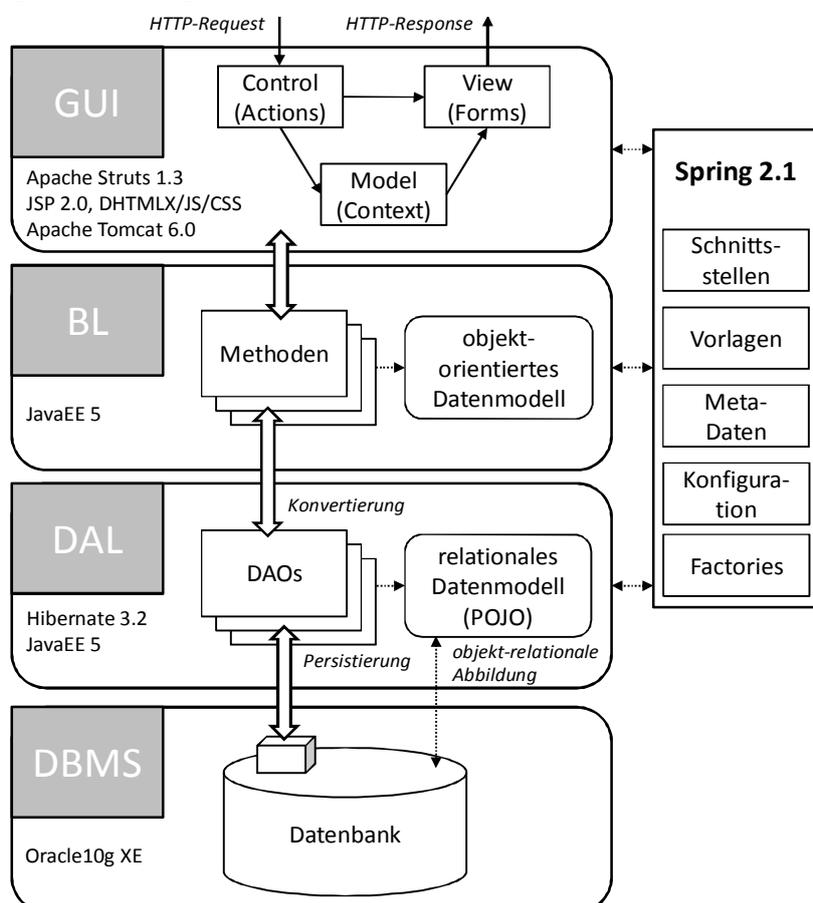


Abbildung 48: Die Schichten des Frameworks mit eingesetzten Technologien [MyCar]

Die grundlegenden Schichten des Software-Frameworks bilden die Präsentationsschicht (GUI), die Anwendungslogik (BL), die obere Persistierungsschicht (DAL) sowie die untere Persistierungsschicht (DBMS), welche in Abbildung 48 dargestellt werden und sich wie folgt erklären:

- **Die Präsentationsschicht:** Das GUI dient als graphische Schnittstelle mit dem Benutzer und zur Steuerung der Benutzerinteraktion, indem die Ergebnisse der Berechnungen in der BL benutzergerecht aufbereitet und präsentiert werden. Hierbei wird viel Wert auf Interaktivität, Plattformunabhängigkeit und Sicherheit gelegt, damit die Algorithmen der Anwendung intuitiv und benutzerfreundlich genutzt werden können. Dies wurde hier durch eine verteilte, webbasierte

¹¹ <http://www.springsource.org/about>

Anwendung erreicht, die auf der Client-Server-Architektur aufgebaut ist. Dadurch ist die graphische Oberfläche der Applikation von praktisch jedem Arbeitsplatz im Idealfall ohne Installationsvorgänge aus zugänglich. Durch dieses Konzept ist es auch sehr einfach, eine Rechteverwaltung für unterschiedliche Benutzer und Rollen einzubauen. Die Präsentationsschicht basiert auf dem Model-View-Controller-Pattern und wurde implementiert durch das Struts-Framework¹² von Apache zur Entkopplung der Beschaffung, Aufbereitung und Präsentation von Daten. Zum Erzielen optimaler Ergebnisse kommen bei den einzelnen Aspekten wiederum verschiedene Technologien zum Einsatz. Das GUI baut auf der Grundlage von Java Server Pages (JSP) auf in Kombination mit DHTMLX-Standardkomponenten, basierend auf AJAX und JS/CSS, und dynamisch generierten Vektorgrafiken (SVG). Damit können Web-Inhalte dynamisch, reaktiv und detailgerecht dargestellt werden. Zur Inbetriebnahme der Web-Anwendung wird Tomcat¹³ von Apache eingesetzt. Dieses unterstützt die Spezifikationen JSP 2.1 und JavaServlet 2.5 und erlaubt somit die Ausführung von Java-Code auf der Serverseite.

- **Die Anwendungslogik:** In der Anwendungslogik werden alle Prozesse auf den Daten durchgeführt, die über die GUI eingegeben oder geordert wurden. Dieser Programmteil bildet den eigentlichen Kern der Software-Anwendung durch die Realisierung der im vorherigen Kapitel definierten Funktionalitäten. Weiterhin definiert dieser Teil der Anwendung das objektorientierte Datenmodell und führt alle Berechnungen auf diesem durch. Hier wurde als Entwicklungsumgebung das JDK für JavaEE 5 und als Ausführungsumgebung das entsprechende JRE eingesetzt.
- **Die obere Persistierungsschicht:** Die obere Persistierungsschicht ist eine temporäre Übergangsschicht zwischen der BL und der dauerhaften Persistierung (Datenbank). Sie beinhaltet alle Data Access Objects (DAOs), die den Datenzugriff durch das Erzeugen, Ändern und Löschen von Daten regeln. Die DAOs ihrerseits übersetzen das objektorientierte Datenmodell aus der Anwendungslogik in ein relationales Zwischenformat Plain Old Java Object (POJO), das zur Übersetzung in die Sprache der relationalen Datenbank erforderlich ist. Die Kerntechnologie in dieser Schicht ist Hibernate¹⁴. Hibernate ermöglicht die Realisierung der Abbildung zwischen dem POJO-Modell und dem

¹² <http://struts.apache.org/>

¹³ <http://tomcat.apache.org/tomcat-6.0-doc>

¹⁴ <http://www.hibernate.org/>

relationalen Datenbankmodell. Auf Grundlage dieser Abbildung werden dynamische Anfragen zwischen den beiden Modelle aus HQL-Anfragen im Code generiert.

- **Die untere Persistierungsschicht:** Als Persistenzmedium wird eine Datenbank eingesetzt, die einen effizienten Zugriff auf alle gespeicherten Daten erlaubt. Der Einsatz von Hibernate in der oberen Persistierungsschicht ermöglicht eine starke Entkopplung der Datenbankkomponente aus der gesamten Anwendung, sodass sie mit fast jeder anderen relationalen Datenbank ausgetauscht werden könnte. Als Datenbank wurde Oracle¹⁵ eingesetzt, welches auf Basis von standardisierten Anfragesprachen zur engeren Kopplung mit der Datenbank führt. Das relationale Datenbankmodell dient der strukturierten Beschreibung der anwendungsrelevanten Daten. Als Grundlage für die zu verwaltenden Inhalte wurden standardisierte Beschreibungssprachen wie CAEX¹⁶ verwendet.

Anforderungen an das Datenmodell

Basierend auf den zu Grunde liegenden Basisinformationen wurde ein objektorientiertes Datenmodell konzipiert, welches den effizienten Zugriff auf die Daten ermöglicht. Die im Folgenden geschilderten Anforderungen an das Datenmodell müssen bei der Modellierung berücksichtigt werden:

- Die Abbildung von produkt-, prozess- und ressourcenbezogenen Daten sowie auch deren gegenseitigen Abhängigkeiten
- Semantische Annotation von Komponenten mit Attributen
- Klassenhierarchien als Komponentenkataloge zur effizienten Traversierung der Objektstrukturen sowie als Vorlagen zur Vererbung von Attributen
- Instanziierung der hierarchischen Strukturen der zu untersuchenden Systemobjekte für die Abbildung der realen Strukturen
- Berechnungsmodelle mit einfachen und komplexen Operatoren zur Aggregation, zum Ableiten sowie zum Auswerten von Parameterwerten sowie Kataloge mit Vor- und Nachbedingungen für Validierungsregeln

¹⁵ <http://www.oracle.com/technology/xe/documentation/index.html>

¹⁶ <http://www.automationml.org/>

Modellierung des Datenmodells

Mit dem Ziel der Implementierung des im Kapitel 4.4 vorgestellten integrierten Informationsmodells zur informationstechnischen Unterstützung der neu entwickelten Methodik und ausgehend von den oben aufgelisteten Anforderungen wurde ein Datenmodell abgeleitet, welches in den nachfolgenden Abbildungen ausschnittsweise und idealisiert skizziert wird. Hierzu beschreibt Abbildung 49 die notwendigen Strukturen zur Abbildung der Komponentenhierarchien.

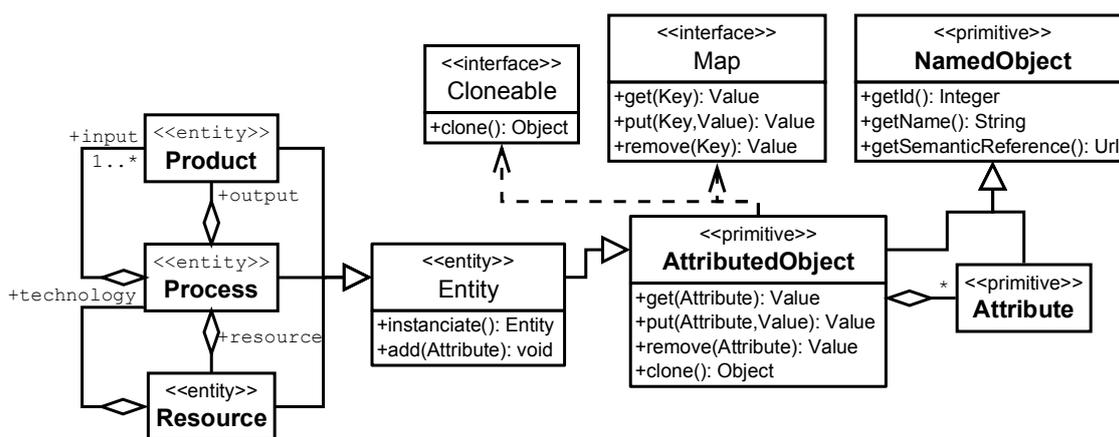


Abbildung 49: Assoziation von Entitäten mit Attributen und deren Werten [MyCar]

Die grundlegenden Bestandteile im Datenmodell bilden die Klassen *Product*, *Process* und *Ressource* sowie auch die abstrakte Oberklasse *Entity*. Alle Objekte können eindeutig über eine entsprechende Kennnummer identifiziert werden und sind zusätzlich mit einem mehrdeutigen Namen für einen intuitiven Umgang versehen. Dazu können jedem Element typisierte Attribute und Werte zugeordnet werden.

Prozesse ermöglichen die Fertigung von Produkten auf Produktionslinien (siehe Kapitel 2.1.1). Die daraus resultierenden informationstechnischen Objekte besitzen lediglich Attribute mit einem Link auf die entsprechenden Eingangsbauteile und die daraus resultierende Baugruppe sowie auch auf die korrespondierende Ressource. Aus Sicht der Ressource wird diese Relation gespiegelt, denn diese implementieren einen bestimmten Prozess. Ressourcen werden mit vordefinierten Konfigurationen instanziiert, um die entsprechenden Strukturen und Attributwerte festzulegen.

Um den effizienten Zugriff auf die Objektstrukturen zu unterstützen, wird eine Strukturierung der Menge aller Entitäten benötigt. Abbildung 50 stellt die Informationsstrukturen zu deren effektiven Verwaltung entsprechend mit ihren Attributen dar. Die Datenstruktur *StringTreeMap* ordnet die Komponenten und deren

Attribute in einer Hierarchie. Durch solche Hierarchien können auf der einen Seite Klassenhierarchien und auf der anderen Instanzhierarchien abgebildet werden.

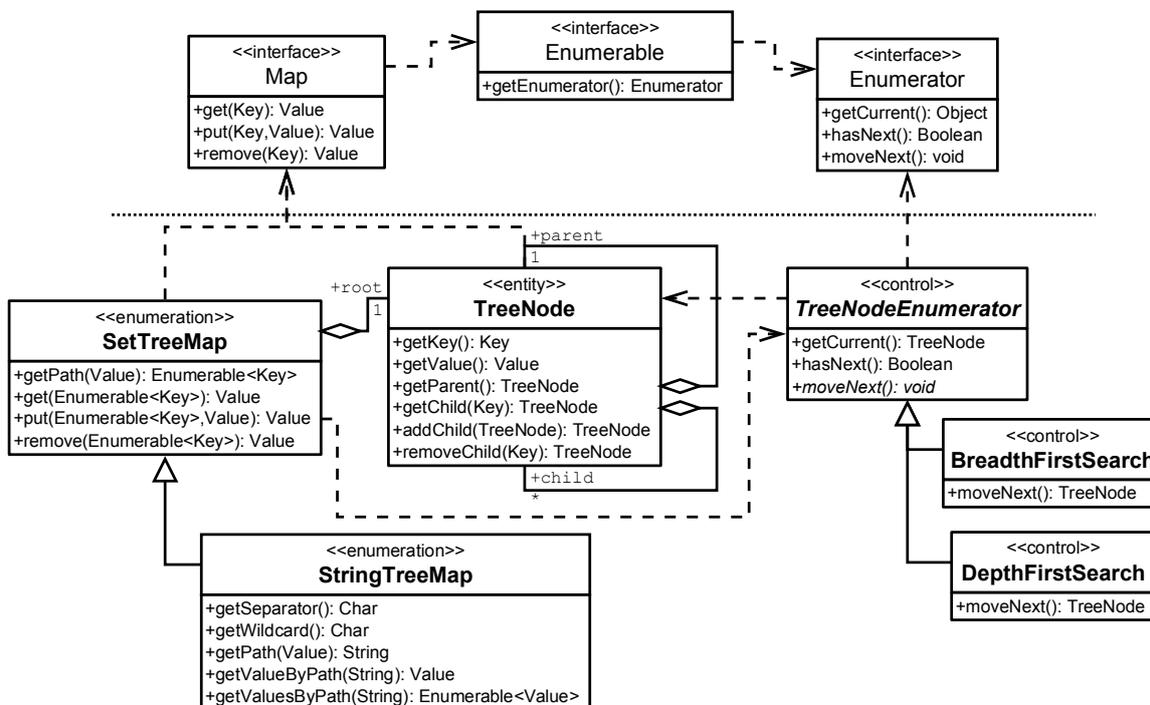


Abbildung 50: Komponenten zur hierarchischen Verwaltung von Daten [MyCar]

Die Klassenhierarchien dienen zur Vererbung von Attributen, während die Instanzhierarchien die Strukturen in der Realität abbilden. Hier wird das gleiche Ziel verfolgt wie bei der objektorientierten Modellierung. Klassen sollen als Vorlage für bestimmte abstrakte Sachverhalte dienen und somit als Vorlage für die Instanzen. Die Instanzen belegen die noch nicht spezifizierten Attributwerte und repräsentieren somit einen bestimmten Zustand. Zum Beispiel müssen Ressourcen eine bestimmte Konfiguration auswählen. Technisch können Instanzen von Entitäten durch das Klonen via *Cloneable* gewonnen werden. Dabei werden alle Attribute der Klasse in eine neue Instanz kopiert und bleiben erhalten. Laufzeitänderungen an einer Klasse haben dadurch keinen Einfluss auf ihre Instanzen.

Zur Beschreibung der Validierungsregeln wird eine informationstechnische Abbildung von arithmetischen und logischen Ausdrücken benötigt, die die Attributwerte benutzt. Diese werden durch die abstrakte Klasse *Operator* umgesetzt, welche einen automatisierten Algorithmus zur Auswertung einer Validierungsregel anwendet. Zur Abbildung von Mengenoperationen sind zum Beispiel Operatoren zur Vereinigung und für die Teilmengenrelation notwendig.

Zur Anwendung eines Validierungsmodells werden nun eine oder mehrere Operatoren/Validierungsregeln mit einer Sequenz von Attributen ausgewertet. Hierfür wird durch das Konfigurationsmodul die entsprechende Sequenz von Entitäten aufgebaut und an das Modul zur produktionsorientierten Produktanalyse übergeben. Die Evaluierung führt dann zur Auflösung der Attribute durch die Wertebelegungen.

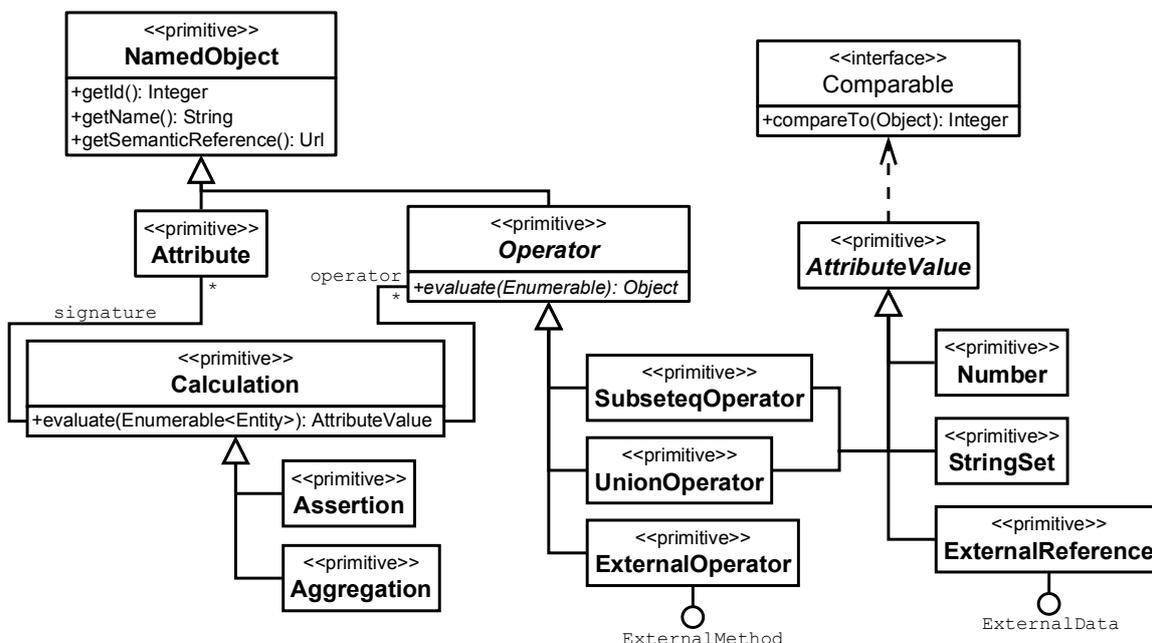


Abbildung 51: Strukturen zur Berechnung von Bedingungen [MyCar]

Die Integration der Validierungsergebnisse externer Anwendungen erfolgt über das Interface *ExternalMethod*. Sofern ein entsprechender Nachbearbeitungsbedarf besteht bzw. kein automatisierter Aufruf der Anwendungen möglich ist, enthält die Schnittstelle eine Beschreibung zur manuellen Eingabe der Ergebnisse über das GUI.

Dieses Datenmodell dient vor allem zur Verdeutlichung der Beziehungen zwischen den zu untersuchenden Sachverhalten. Es soll lediglich als ein Metamodell betrachtet werden, denn es steckt viel Formalismus und Aufwand in der praxisbegleitenden Modellierung der Entitäten.

5.2.3 Funktionsweise des Software-Prototyps

Das folgende Unterkapitel beschreibt den Aufbau der graphischen Benutzerschnittstelle des Software-Prototyps sowie die Abbildung der im Kapitel 5.2.1 geschilderten Schritte in die Software. Der Prototyp zur produktionsorientierten Produktanalyse ist eine webbasierte Anwendung, welche der Client-Server-Architektur folgt und somit auf einem Server installiert werden kann. Sofern bestimmte Bedingungen auf dem

Benutzerrechner erfüllt sind, wie das Vorhandensein eines Webbrowsers, kann die Software über das Internet aufgerufen und genutzt werden.

Aufbau der graphischen Benutzerschnittstelle

Mit dem Starten der Anwendung wird der Benutzer aufgefordert sich zu authentisieren. Hierzu werden mittels einer Anmeldemaske Benutzerkennung und -passwort abgefragt. Nach erfolgreichem Einloggen öffnet sich das Programmfenster der Applikation. Aus funktionaler Sicht setzt sich die graphische Benutzeroberfläche aus vier sogenannten Funktionsfeldern zusammen, wie der Abbildung 52 entnommen werden kann.

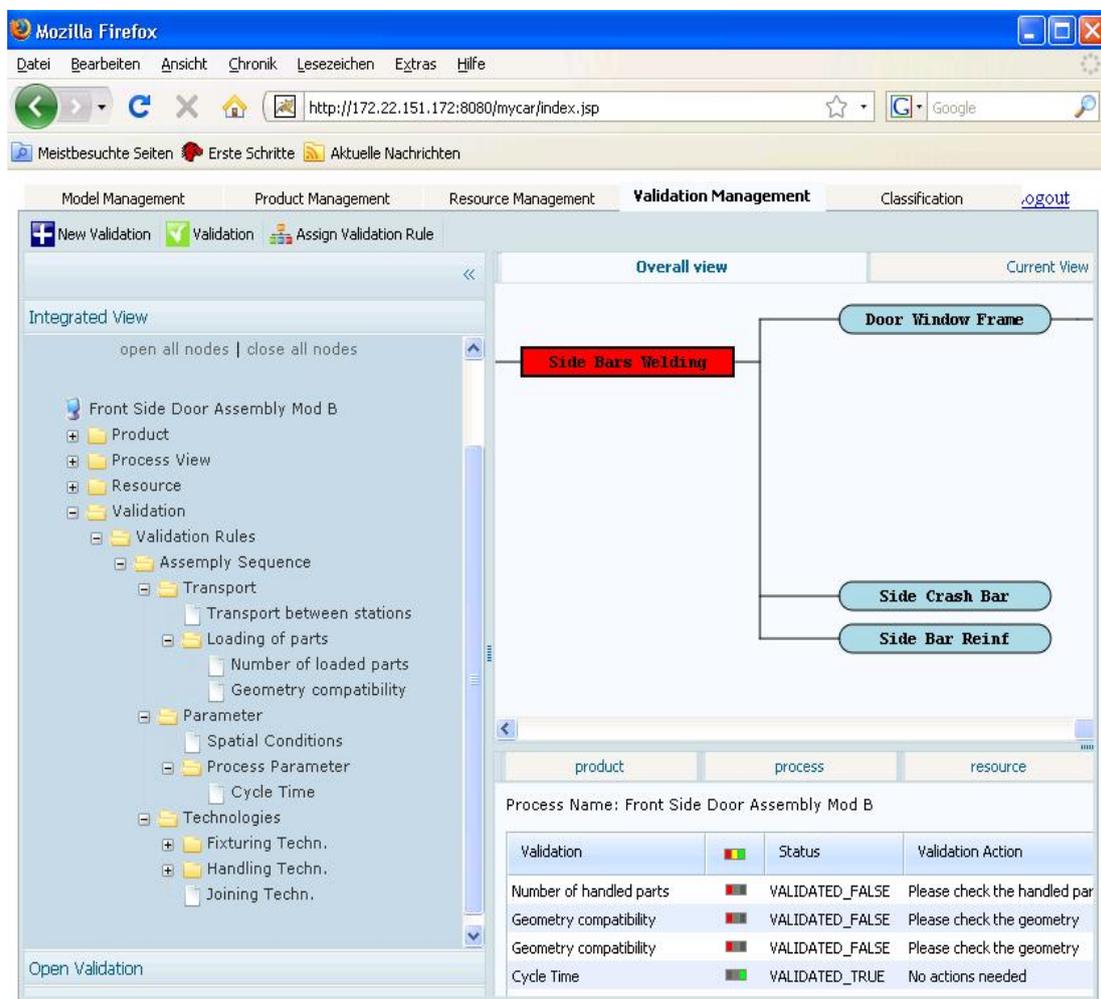


Abbildung 52. Die graphische Benutzeroberfläche des Software-Prototyps

Über das obere Feld (1) können verschiedene Sichten auf die zu untersuchenden Daten gewonnen werden. Die Registerkarte mit dem Namen *Product Management* erlaubt dem Benutzer, eine produktzentrische Sicht auf die Daten zu bekommen, wo er die

produktbezogenen Informationen begutachten kann. Sofern manueller Nachbearbeitungsbedarf besteht, wie z.B. Anpassung der Produktstruktur, Anfügen und Löschen von Produktattributen, hält diese Sicht auch die entsprechenden Funktionen bereit, um interaktiv Änderungen in der Produktkonfiguration vorzunehmen. Analog zu der produktzentrischen Sicht wurde die ressourcenorientierte Sicht in der Registerkarte *Resource Management* aufgebaut. In Abbildung 52 wird die Sicht der produktionsorientierten Produktanalyse dargestellt, die unter der Registerkarte *Validation Management* zugänglich ist. Hier können die dazugehörigen Funktionalitäten ausgeführt werden.

Im linken Feld (2) lassen sich die zu einer produktionsorientierten Produktuntersuchung gehörenden Informationen in einer baumartigen Struktur darstellen. Dazu zählen Strukturinformationen über das abzusichernde Produkt, über die zu untersuchende Produktionseinrichtung, über den dazugehörigen Prozess sowie auch über die Validierungsregeln. Die so gewählte Visualisierungsform der Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur (PPR-Struktur) ist von gängigen digitalen Planungswerkzeugen, wie z.B. DELMIA¹⁷, bekannt und hat den Vorteil, einen schnellen und einfachen Zugriff auf die entsprechenden Komponenten zu gewähren. Die Darstellung der Validierungsregeln erfolgt auch in diesem Funktionsfeld und entspricht der Kategorisierung aus der Tabelle 11. Mit dem Ziel der effektiven und effizienten Verwaltung der produktionsbezogenen Absicherungen wurden unterschiedliche Zustände, abhängig vom Status des Absicherungsvorgangs, den letzten zugeordnet. Der Zugriff auf die unterschiedlichen Validierungen erfolgt über eine zusätzliche Registerkarte, wobei folgende Sichten zu finden sind:

- *Open Validation* enthält die Absicherungen, die noch durchgeführt werden sollten.
- *Faulty Validation* beinhaltet die Validierungen, die bereits ausgeführt wurden, jedoch Defizite in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation aufweisen.
- *Integrated View* integriert zusätzlich die Informationen über das Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodell.
- *Closed Validation* umfasst die erfolgreich abgeschlossenen Absicherungen.

Das rechte Feld (3) fasst den Analysebereich zusammen. Hier werden die Ergebnisse der produktionsorientierten Produktanalyse optimalerweise gebündelt und benutzergerecht visualisiert. Dabei wurde eine gemischte Form der Visualisierung ausgewählt. Zusätzlich zu der Operationsfolge des Produktionsprozesses wurden zu

¹⁷ DELMIA Digital Manufacturing Solutions ist ein Produkt von DASSAULT SYSTEMES

jedem Prozessschritt in der Darstellung die Eingangs- sowie die Ausgangskomponenten integriert. Somit sind die Ausgangskomponenten eines Prozessschrittes die Eingangskomponenten des nachfolgenden Schrittes. Ein Prozessschritt wird hierbei als ein Rechteck dargestellt, während die dazugehörigen Produktkomponenten als gerundetes Rechteck abgebildet werden.

Das letzte Funktionsfeld (4) repräsentiert den Parameterbereich und setzt sich im Sinne einer strukturierten Datenauflistung aus mehreren Registerkarten zusammen. In diesem Feld werden sämtliche für die produktionsorientierte Produktuntersuchung erforderlichen Daten erfasst. Darüber hinaus werden hier die in Entwicklungs- und Planungssystemen (CAD und CAM) aufgebauten digitalen CAD-Modelle dargestellt. Speziell für die Zwecke der Absicherung wurde die Registerkarte *validation* eingeordnet, sodass der Benutzer auf die Defizite in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation hingewiesen werden kann. Zur Verbesserung der intuitiven Nutzung wurden die Ergebnisse der Validierungsregeln in Form eines Ampelsystems visualisiert (siehe Abbildung 52).

Um die durch den Software-Prototyp abgebildeten Funktionalitäten aufzurufen, wurde im oberen Bereich der Benutzeroberfläche eine Symbolleiste integriert, die alle Benutzerfunktionen abgebildet hat.

Vorgehen bei der produktionsorientierten Produktanalyse

Die Durchführung einer produktionsorientierten Produktuntersuchung wird im Rahmen des Software-Demonstrators als eine Validierung bezeichnet. Um eine Validierung durchgängig auszuführen, wird lediglich nach den in Kapitel 5.2.1 vorgestellten Schritten vorgegangen. Hierzu muss der Benutzer mit der Definition des PPRV-Modells beginnen. Dieser Vorgang wird grundsätzlich in zwei Teilschritte unterteilt:

- **Aufbau der benötigten Produkt- und Ressourcenmodelle:** Dabei stehen dem Benutzer zwei Alternativen zur Verfügung. Auf der einen Seite kann der Benutzer über die angebotene Import-Funktionalität auf bereits in digitalen Entwicklungs-, Planungs- oder Datenverwaltungssystemen vorhandene CAD-Modelle zugreifen, um die dort hinterlegten Daten automatisiert in die softwareinterne Datenstruktur zu übertragen. Die daraus generierten Produkt- und Ressourcenstrukturen werden in den Sichten *Product Management* und *Resource Management* dargestellt. Sofern das Produkt- oder das Ressourcenmodell nicht vollständig spezifiziert wurde, oder gar nicht vorhanden ist, besteht für den Benutzer die Möglichkeit, die benötigten Modelle komplett von Hand aufzubauen.

- **Konfiguration des PPRV-Modells:** Die Initialisierung des PPRV-Modells erfolgt, indem zunächst das im ersten Teilschritt aufgebaute Produktmodell dem entsprechenden Ressourcenmodell zugeordnet wird. Die Zuordnung erfolgt über ein Prozessmodell, welches automatisch aus vorhandenem Wissen über die Vorgängerprozesse generiert werden soll. Falls ein geeignetes Prozessmodell in der Datenbasis identifiziert wird, wird dieses genommen. Nach der Erstellung des PPR-Modells werden die Validierungsregeln diesem zugeordnet, womit auch der Aufbau des PPRV-Modells abgeschlossen ist (siehe Abbildung 52).

Nachdem das PPRV-Modell vollständig erstellt ist, werden die für die produktionsorientierte Produktuntersuchung erforderlichen Daten den einzelnen Informationsobjekten zugeordnet (Schritt zwei in Kapitel 5.2.1). Hierzu hat der Benutzer ebenfalls zwei Möglichkeiten. Zum einen erfolgt die Zuordnung automatisiert über die implementierte Import-Funktionalität. Dabei werden die untersuchungsrelevanten Daten aus den Unternehmenssystemen ausgelesen, über eine interne Implementierung von AutomationML eingelesen und den Informationsobjekten zugeordnet. Falls kein automatisierter Datenimport durchführbar ist, können die benötigten Informationen manuell über die graphische Benutzerschnittstelle eingepflegt werden.

Nach der Durchführung der ersten zwei Schritte folgt die Bewertung des Produktentwicklungsstandes hinsichtlich seiner Herstellbarkeit auf der vorkonfigurierten Produktionsressource (Schritt drei in Kapitel 5.2.1). Hierfür steht die Funktion *Validation* in der Symbolleiste bereit, mit deren Ausführung die Algorithmen in dem Modul zur produktionsorientierten Produktanalyse für die Auswertung der Validierungsregeln angestoßen werden. Hiermit wird als letzter der vier Schritte die automatische Erkennung von Defiziten in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation vorbereitet.

Zur Abwicklung dieses letzten Schrittes werden die Ergebnisse aus dem vorherigen Schritt gebündelt und in einer benutzergerechten Form visualisiert. Diesem Zweck dient die integrierte Darstellung im Analysebereich (Feld 3). Sofern Defizite in der Produkt- oder Ressourcenspezifikation identifiziert sind, werden diese Informationen zu den korrespondierenden Prozessschritten hochaggregiert und somit diesen zugeordnet. Falls so ein Defizit aufgetreten ist, wird dann der jeweilige Prozessschritt in Rot dargestellt, sodass der Benutzer darauf hingewiesen wird. Dies deutet darauf hin, dass entweder das Produkt oder die Ressource Defizite aufweisen. Eine nachfolgende detaillierte Untersuchung der Ergebnisse der Validierungsregeln kann anschließend den konkreten Grund für das Problem herausfinden. Dazu wird jede Regel einzeln ausgewertet, wobei

die Resultate der Berechnung lokal den Regeln zugesichert werden. Im unteren Parameterbereich des GUIs werden diese Untersuchungsergebnisse dargestellt, wie der Abbildung 52 zu entnehmen ist.

5.3 Business Case

In den nachfolgenden Abschnitten soll untersucht werden, ob das theoretische Rahmenwerk der vorgesehenen praktischen Zielsetzung dienen kann. Hierzu wird in diesem Abschnitt ein Business Case eines Automobilherstellers aufgebaut, um die entwickelte Methodik hinsichtlich der im Rahmen des Anwendungsbeispiels definierten Beispieldaten zu evaluieren. Bei den Demonstrationen und Berechnungen, die insbesondere unternehmensspezifische, sensible Daten betreffen, beispielweise bei konkreten technischen Angaben oder Kostensätzen, wurden entsprechende fiktive Annahmen getroffen.

5.3.1 Ausgangssituation beim Unternehmen

Die Validierung der Methodik erfolgt in der operativen Umgebung eines namhaften Automobilherstellers. Zum Kerngeschäft dieses OEMs zählen Planung, Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Fahrzeugen jeden Typs. Zunehmender Kostendruck in Verbindung mit einem hohen Innovations- und Qualitätsgrad, hohe Variantenvielfalt und steigende Fertigungskomplexität bei verkürzten Realisierungszeiten fordern kontinuierliche Verbesserungen der Geschäftsprozesse und führen zu einer größeren Planungsunsicherheit in den Unternehmen. Zusätzlich verstärkt wird diese Unsicherheit durch die globalen Überkapazitäten in der Produktion bei gleichzeitigen Wachstumsrückgängen, die aufgrund der weltweiten Finanzkrise seit dem Jahr 2008 die Automobilbranche zunehmend belasten. Dadurch werden produzierende Unternehmen zu kostenoptimierten Bauweisen gezwungen, sodass sie in der Lage sind, die verfügbaren Handlungsspielräume in der Produktion der vielfältigen Marktnachfrage optimal anzupassen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der grundsätzlichen Wiederverwendung von Produktionsanlagen und insbesondere nach dem Integrationspotenzial der neu zu entwickelnden Produkte in sich bereits in Betrieb befindlichen Produktionseinrichtungen.

In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass der besagte Automobilhersteller VERI¹⁸ bereits ein Produkt *Demo-1* auf einer Produktionsanlage *Lauf-1*

¹⁸ „VERI“ ist ein fiktives Unternehmen

produziert. Der Automobilhersteller agiert in einer globalen und konkurrenzbedingten Marktsituation und hat geplant ein weiteres Produkt *Demo-2* auf den Markt zu bringen. Der Produktionsstandort von *Demo-2* wurde vom Programmmanager bereits festgelegt. Für den Karosseriebau von *Demo-2* soll das Rohbau-Segment der bereits existierenden Produktionseinrichtung *Lauf-1* wiederverwendet werden. Für diese Entscheidung spielen unterschiedliche Faktoren eine wichtige Rolle: zum einen die aufgrund der Finanzkrise gekürzte Budgetierung und zum anderen der Fakt, dass die Produktion von *Demo-1* ein Jahr nach dem Start der Produktion von *Demo-2* eingestellt werden sollte. Zu dieser Fragestellung hat der Programmmanager die Information von seiner Planungsabteilung bekommen, dass die Integration von *Demo-2* prinzipiell möglich ist. Als ein wichtiges Kriterium wurde hierbei die Tatsache betrachtet, dass die Karosserie der beiden Modelle aus den gleichen Materialien besteht und somit zumindest der Zusammenbau technologisch machbar ist. Ein weiteres wichtiges Faktum ist, dass das Rohbau-Segment von *Lauf-1* ein Jahr lang im Mischbetrieb von *Demo-1* und *Demo-2* betrieben werden soll. Die Produktion von *Demo-2* soll in 18 Monaten starten. Seitens der Planungsabteilung stellt sich die Frage, wie sie bei den beschriebenen Sachverhalten sicherstellen kann die Projektziele gerecht zu erfüllen. Ein systematisches Vorgehen zur umfangreichen Beherrschung vergleichbarer Problemstellungen unter wirtschaftlichen Aspekten ist durch Verwendung verfügbarer Methoden kaum zu bewerkstelligen. Hierzu soll die im vorherigen Kapitel beschriebene Methodik eingesetzt werden.

5.3.2 Rahmenbedingungen des Anwendungsbeispiels

Zur Validierung der Gesamtmethodik wird mit dem Fronttürmodul des Modells *Demo-1* beziehungsweise des Modells *Demo-2* eine typische Karosseriebaugruppe verwendet. Abbildung 53 zeigt den Zusammenbau und die einzelnen Bauteile der linken Fronttür der verwendeten Produktmodelle.

Für die Anwendung der Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse ist die prinzipielle technologische Herstellbarkeit der betrachteten Produktkomponente entscheidend. Diese prinzipielle Herstellbarkeit im Rahmen der Prozesskette der produktionsorientierten Produktgestaltung subsumiert die grundsätzliche, fertigungstechnische Anwendbarkeit der durch die Fertigungslinie implementierten Fertigungsmethoden zur Herstellung der entsprechenden Produktkomponente. Sofern die prinzipielle Herstellbarkeit nicht gewährleistet ist, kann die neue Methodik nicht angewandt werden. Wenn beispielsweise die einzelnen Teile einer Produktbaugruppe aus Aluminium und Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoffen bestehen, kann die besagte Baugruppe nicht mit dem gleichen Fertigungsverfahren bzw. mit den gleichen

Fertigungswerkzeugen zusammengebaut werden wie eine Produktbaugruppe, deren Bestandteile komplett aus Stahl zusammengesetzt sind.

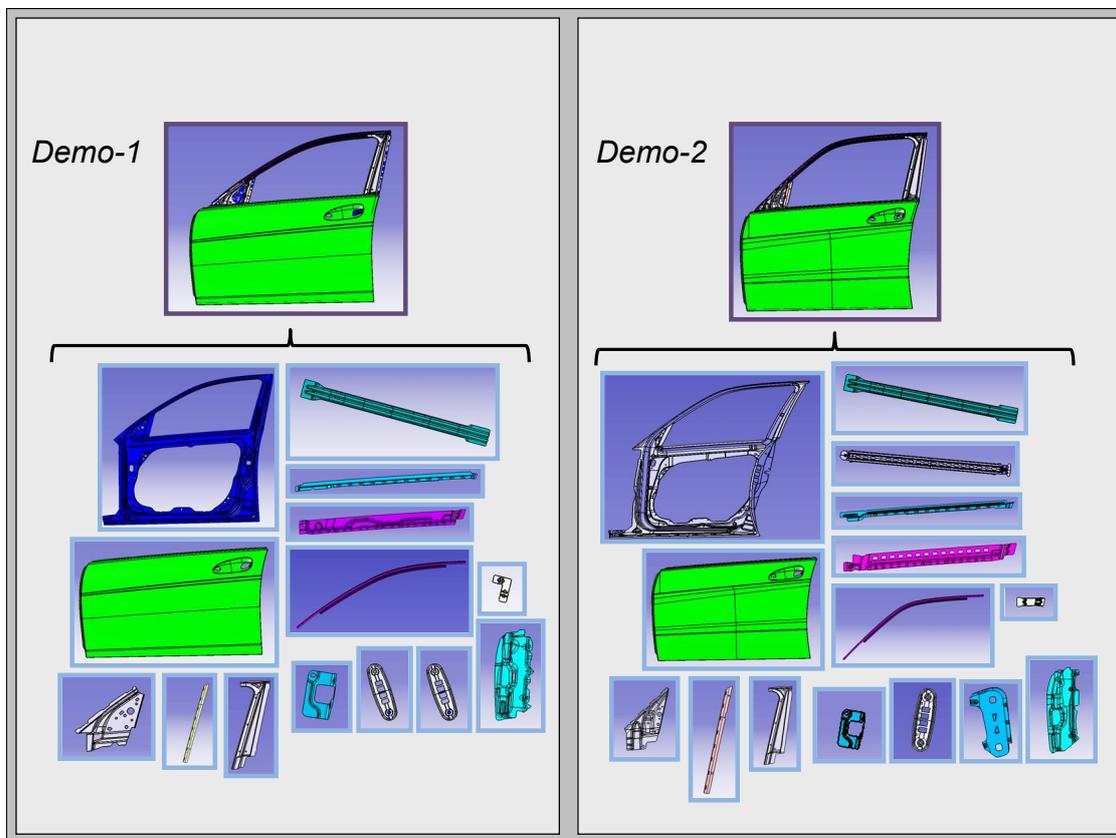


Abbildung 53: Zusammenbau der Fronttürmodule von *Demo-1* bzw. *Demo-2* [MyCar]

Die einzelnen Bauteile der verwendeten Validierungsmodelle *Demo-1* und *Demo-2* bestehen aus einem hochfesten, dreifach legierten Stahl. Weitere Fakten, welche die prinzipielle Herstellbarkeit beeinflussen, sind die Anzahl der Bauteile in den zu untersuchenden Produktmodulen sowie die Komplexität von deren Geometrien. Hier ist zu beachten, dass die Anzahl der Teile nicht unbedingt gleich sein muss. In Anlehnung an praktische Untersuchungen ist eine Differenz von bis zu 25 % für die prinzipielle Herstellbarkeit akzeptabel.¹⁹ Die verwendeten Materialien und die Anzahl der Bauteile in einer Produktkomponente bei der gleichen Fertigungstechnologie bestimmen die Anzahl und Länge der Schweißpunkte bzw. der Schweißnähte, die wiederum das Gewicht des gesamten Moduls beeinflussen. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wird im Rahmen der Validierung davon ausgegangen, dass die prinzipielle Herstellbarkeit der beiden Türen gegeben ist, was sich andererseits aus den oben aufgeführten Erläuterungen ableiten lässt.

¹⁹ MyCar – EU-gefördertes Forschungsprojekt mit der Automobilindustrie

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden beispielhaften Türmodulen ist die zusätzliche Stahlstrebe mit Versteifungsfunktion, die neben der Funktion zur Erfüllung der Kennwerte zur Strukturfestigkeit auch die Funktion eines ergänzenden Seitenaufprallschutzes erfüllt (vgl. Abbildung 53).

Für die Fertigung der linken Seitentür von *Demo-1* wird die flexible Rohbaulinie *Rohbau-1* der Produktionsanlage *Lauf-1* verwendet. Abbildung 54 stellt das Layoutmodell der dem Rohbau zu Grunde liegenden Produktionslinie dar.

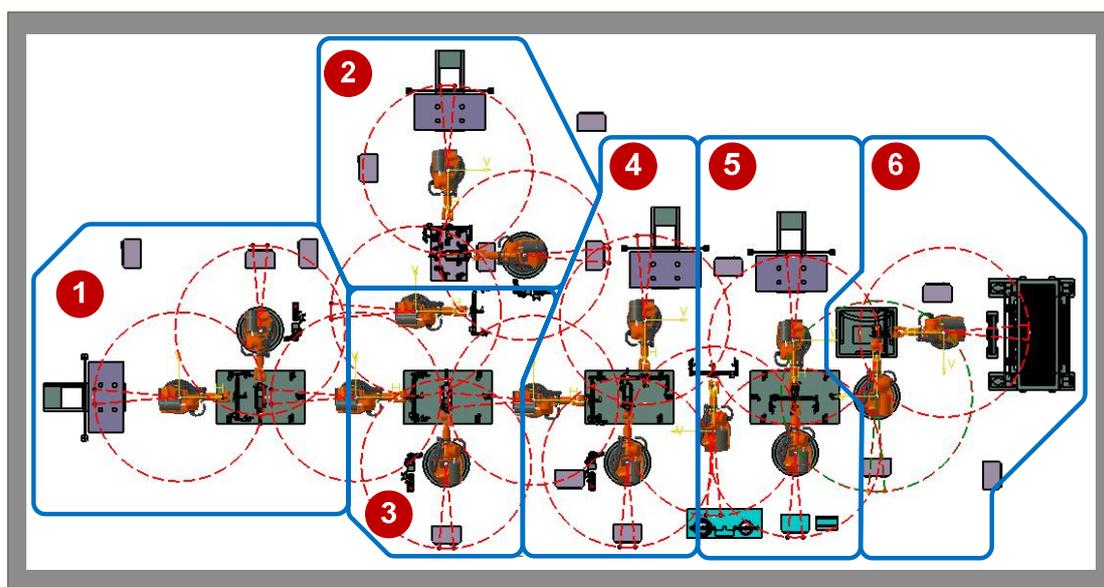


Abbildung 54: Die Rohbaulinie für die Fertigung der Fronttür von *Demo-1* [MyCar]

Die im Fallbeispiel evaluierte Fertigungslinie ist voll automatisiert, besteht aus sechs roboterbasierten Stationen und folgt dem Ablaufprinzip der Fließanordnung. Dadurch besteht zwischen den einzelnen Fertigungsstationen eine direkte zeitliche Abstimmung, sodass keine Puffer zwischen den Stationen benötigt werden. Der dadurch bestimmte Materialfluss wird über ein automatisches Überwachungs- und Steuerungssystem gesteuert.

Die ersten zwei Stationen von *Rohbau-1* operieren im Parallelbetrieb und sind für den Zusammenbau des Fensterrahmens bzw. für den Zusammenbau des Innenteils zuständig. Die Station drei bringt den Fensterrahmen und das Innenteil zum Türrahmen zusammen, während die nächste Station den Seitenaufprallschutz in den bereits aufgebauten Türrahmen einbaut. In diesen vier ersten Stationen ist die Fügetechnologie Widerstandspunktschweißen, die durch kooperierende Robotereinheiten mit installierten Schweißzangen implementiert wird. Die äußere Blechschicht wird in der nachfolgenden Station zunächst geklebt und danach werden in der letzten (sechsten)

Nachbearbeitungsstation Falzvorgänge sowie abschließende Nachbearbeitungsschritte durchgeführt.

Die korrespondierende Fügefolge der Seitentür von *Demo-1* auf der Linie *Rohbau-1* ist in Abbildung 55 abgebildet. Die Zahlen entsprechen den Stationen in Abbildung 54.

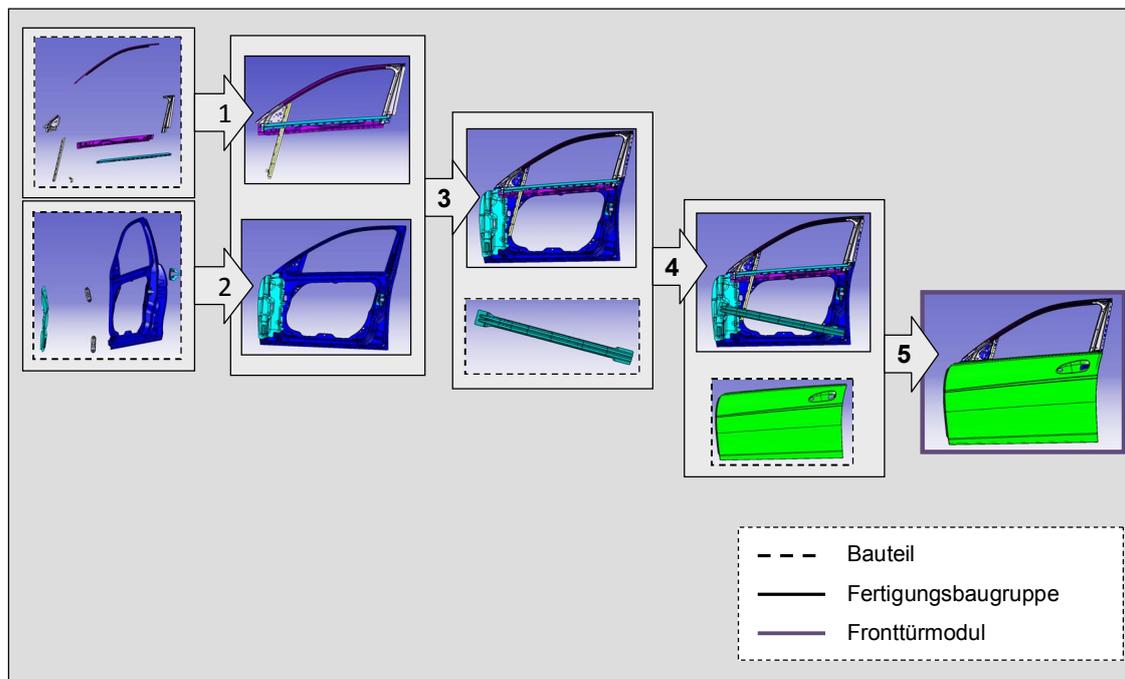


Abbildung 55: Fügefolge der Fronttür von *Demo-1* auf *Rohbau-1* [MyCar]

Jede der Fertigungsstationen in der besagten Rohbaulinie besteht grundsätzlich aus Handlingsrobotern, Spann- und Fixiervorrichtung sowie mehreren Robotereinheiten oder anderen Maschinen, welche die jeweilige Fertigungstechnologie umsetzen. Dieser Aufbau bestimmt den Typ der ausgeführten Operationen, die in Kombination mit der Spezifikation der Werkzeuge und Roboter die wichtigsten Prozessparameter beeinflussen. Für *Rohbau-1* lassen sich die folgenden Werte für die wichtigsten Operationen ableiten:

- **Taktzeit:** Die Zeit zwischen der Fertigstellung des letzten und des darauf folgenden Produkts. Die Taktzeit der Rohbaulinie beträgt **130 [s]**.
- **Wartezeit:** Die Zeit für Laden und Entleeren einer Station beträgt ≈ 10 [s].
- **Durchschnittliche Zeit für das Setzen eines Widerstandsschweißpunktes:** Diese Zeit wird bestimmt durch die dynamischen Charakteristiken der Roboter und der entsprechenden Werkzeuge ≈ 8 [s].

5.4 Anwendung der Methodik im Rahmen des Fallbeispiels

Mit dem Ziel, die Forschungsergebnisse zu validieren, werden die oben beschriebenen Beispieldaten einer praktischen Untersuchung unterzogen. Hierbei orientiert sich die Vorgehensweise bei der Validierung an dem Grundaufbau der im Kapitel 4.3 vorgestellten Methodik. Zunächst erfolgt die Durchführung der produktionsorientierten Produktuntersuchung. Anschließend werden geeignete Handlungsalternativen identifiziert, einer wirtschaftlichen Untersuchung unterzogen und bewertet. Zum Schluss wird die am besten geeignete Lösungsalternative umgesetzt, die im Rahmen eines Entscheidungsfindungsprozesses bestimmt wurde.

5.4.1 Produktionsorientierte Produktuntersuchung

Für die praktische Evaluierung der theoretischen Forschungsergebnisse soll das linke Fronttürmodul von *Demo-2*, wie in Abbildung 56 zu sehen, auf der Rohbaulinie *Rohbau-1* geplant werden. Die Durchführung des ersten Schrittes, die produktionsorientierte Produktuntersuchung, wird vom Software-Prototyp unterstützt. Diese erfolgt nach den vier Schritten, die in Kapitel 5.2.1 skizziert sind.

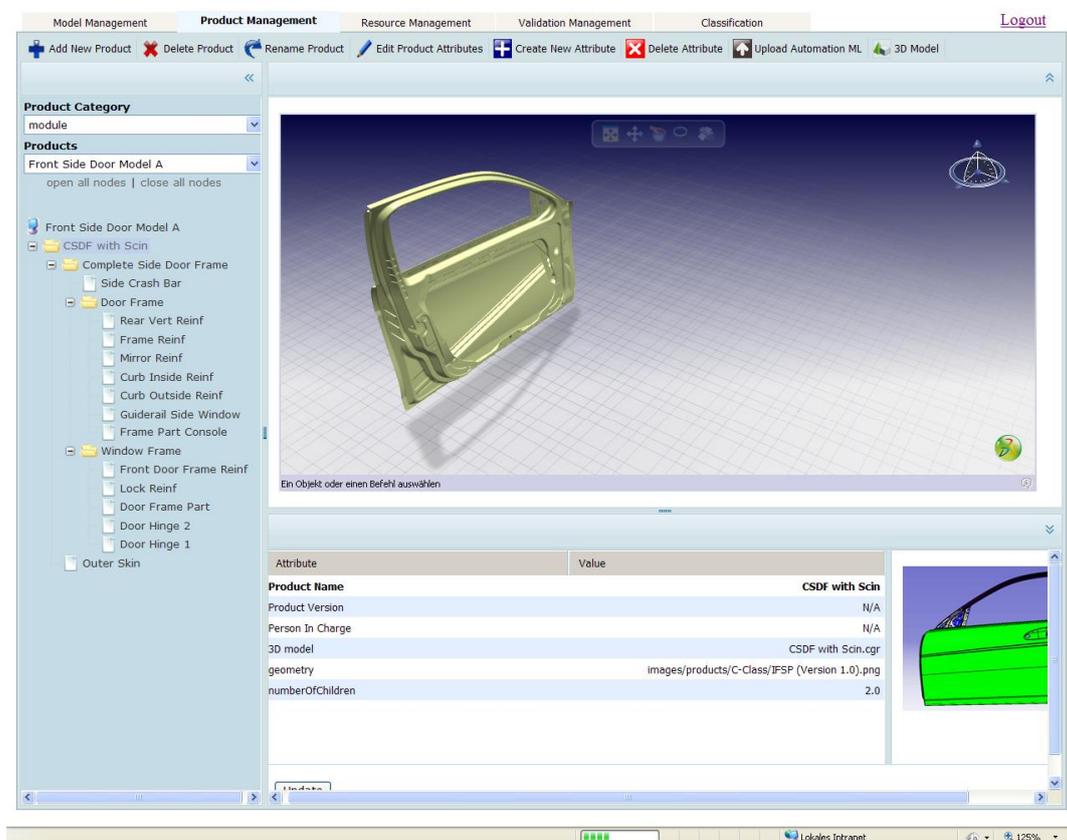


Abbildung 56: Fronttürmodul vom Demo-2 im Software-Prototyp

Zunächst müssen die Daten des Fronttürmoduls von *Demo-2* sowie der Rohbaulinie *Rohbau-1* in die Software-Plattform eingepflegt werden. Abbildung 57 illustriert die Konfiguration der Rohbaulinie über das GUI.

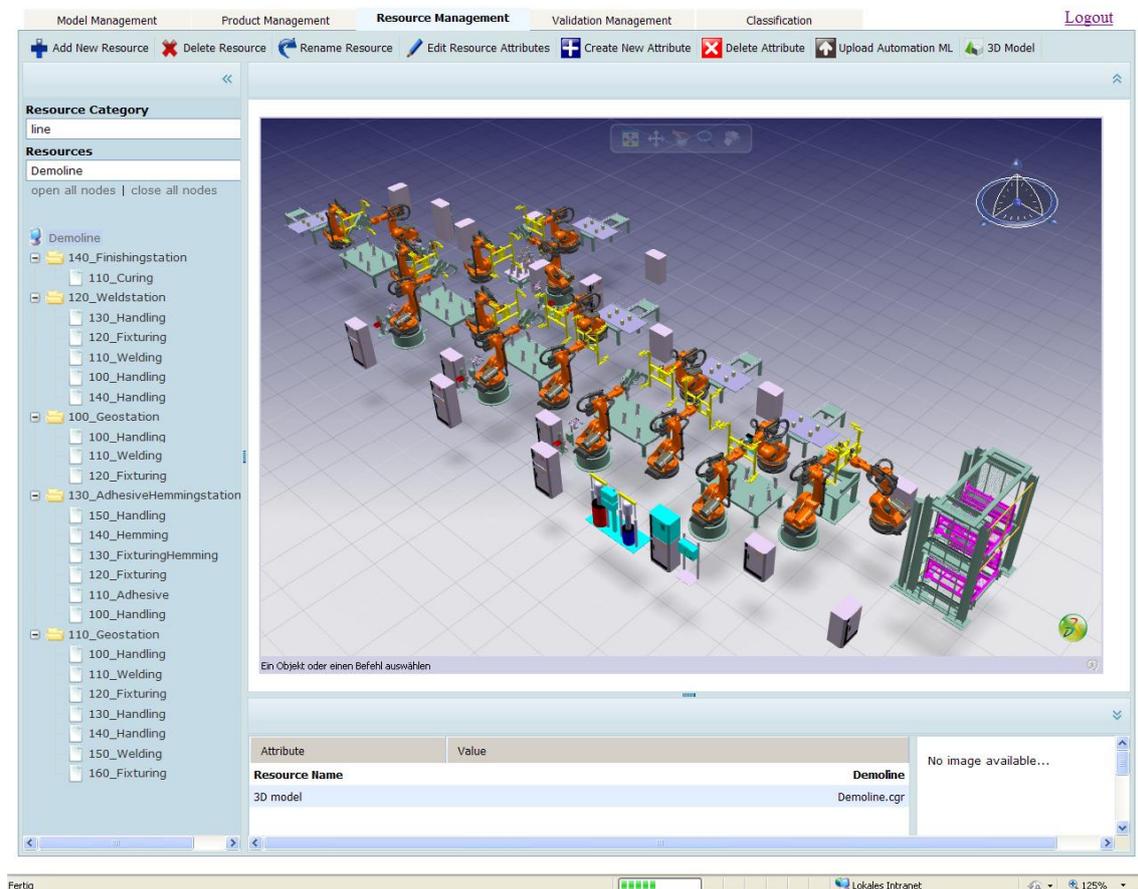


Abbildung 57: *Rohbau-1*, abgebildet im Software-Prototyp

Die Fronttür von *Demo-2* unterscheidet sich in einigen Punkten von der Fronttür von *Demo-1*, z.B. durch Geometrie und Anzahl der Bauteile. Der wesentlichste Unterschied ist jedoch die zusätzliche Stahlstrebe mit Versteifungsfunktion, die in den Türrahmen geschweißt wird (vgl. Abbildung 58). Aus Vereinfachungsgründen wird zur Anwendung der Validierungsmethodik die Einbauuntersuchung dieser zusätzlichen Stahlstrebe durchgeführt. Dieser Einbau impliziert alle für die produktionsorientierte Analyse wichtigen Aspekte wie Untersuchung der Fertigungstechnologien, des Fertigungsprozesses sowie des Materialflusses (vgl. Tabelle 11). Infolgedessen ist diese Untersuchung aussagekräftig für die gesamte Rohbaulinie.

Nach der Konfiguration der Produkt- und Ressourcenmodelle muss noch das Prozessmodell spezifiziert werden. Die zusätzliche Stahlstrebe wird, wie in Abbildung 58 gezeigt, in Station 4 neben dem Seitenaufprallschutz eingebaut. Somit werden in

Station 4 der innere Türrahmen, der Seitenaufprallschutz und die zusätzliche Stahlstrebe zusammengebaut.

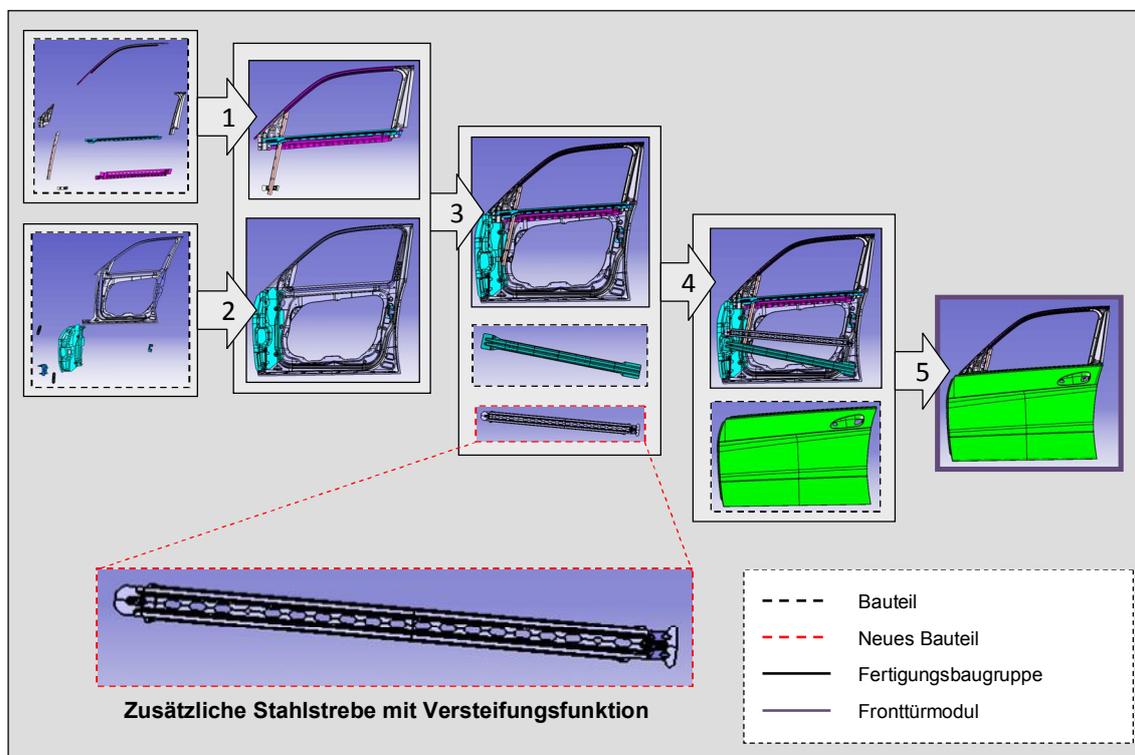


Abbildung 58: Fügefolge der Fronttür von *Demo-2* auf der Linie *Rohbau-1* [MyCar]

Im Folgenden wird im Detail untersucht, ob die so geplanten Operationen in Station 4 durchgeführt werden können. Es werden im Konkreten Analysen hinsichtlich des Fertigungsverfahrens, des Fertigungsprozesses sowie des Materialflusses durchgeführt.

Um ein passendes Validierungsmodell spezifizieren zu können, müssen zu Beginn einer produktionsorientierten Untersuchung Rahmenbedingungen, Umfang und Ausrichtung der Absicherung festgelegt werden. Das Letztere lässt sich durch die Spezifikation von Validierungszielen realisieren. Das Validierungsziel im Rahmen des Fallbeispiels lässt sich wie folgt verbalisieren:

Validierungsziel: Absicherung des Einbaus einer zusätzlichen Stahlstrebe und somit Absicherung eines vorläufigen Fügeprozesses auf Basis von Produkt- und Ressourcenspezifikation in Bezug auf Fertigungstechnologie, Fertigungsprozess und Materialfluss.

Ausgehend hiervon können nun geeignete Validierungsregeln spezifiziert und entsprechend ihrer Anwendung in Form eines Validierungsmodells zusammengefasst

werden. Eine zentrale Rolle spielen in diesem Zusammenhang die zum jeweiligen Absicherungszeitpunkt zur Verfügung stehenden Daten, da sich aus diesen der Detailgrad der durchführbaren mathematischen Berechnungen ableiten lässt (siehe Kapitel 4.3.1). Diese Berechnungen umfassen beispielsweise Informationen aus der Stückliste des zu fertigenden Produkts über die groben Produktgeometrien inklusive der darin enthaltenen Geopunkte (als vorläufige Fügepunkte), über die konkreten Fertigungstechnologien bzw. über die Ressourcen der eventuell geeigneten Produktionslinie, über die Spezifikationen der Fügeverfahren mit Parametern und zugehörigen Vor- und Nachbedingungen.

Mit dem Ziel der systematischen Strukturierung und Wiederverwendung von Validierungsregeln werden diese in sogenannten Validierungskategorien organisiert. Die Auswahl und Gliederung der Validierungskategorien orientiert sich nach den in Kapitel 2.1.1 identifizierten Hierarchien der Bezugsobjekte Produkt und Ressource. Aufgrund der innerhalb der betrieblichen Praxis durchgeführten Untersuchungen sowie nach einer dem Autor als sinnvoll erachteten Form ergibt sich eine Form der Kategorisierung, die in Tabelle 11 zusammengefasst wird. Zwecks der Gewährleistung einer weitgehend allgemeingültigen, unternehmens- und branchenunabhängigen Repräsentierung der Validierungsregeln wurde hierbei eine hohe Abstraktionsebene gewählt.

Zur Überprüfung des oben spezifizierten Validierungsziels wird schließlich jede Regel durchlaufen und mittels Rückwärtsverkettung ausgewertet. Hierbei werden die zu Grunde liegenden Produkt-, Prozess- und Ressourcenattribute benutzt, um die abschließenden Berechnungen zur Absicherung oder Widerlegung der jeweils übergeordneten Prämisse durchzuführen (vgl. Kapitel 4.3.1).

Validierungskategorien \ Bezugsobjekt		Produkt			Ressource		
		Modul	Baugruppe	Einzelteil	Linie	Station	Werkzeug
Fertigungs- Technologie	Fügetechn.		X	X		X	X
	<i>Geom. Zugänglichkeit</i>		X	X		X	X
	<i>Position</i>		X	X		X	X
	<i>Parameter</i>		X	X		X	X
	Handlingtechn.		X	X		X	X
	<i>Geom. Zugänglichkeit</i>		X	X		X	X
	<i>Position</i>		X	X		X	X
	<i>Parameter</i>		X	X		X	X
	Spann- und Fixiertechn.		X	X		X	X
	<i>Geom. Zugänglichkeit</i>		X	X		X	X
	<i>Position</i>		X	X		X	X
	<i>Parameter</i>		X	X		X	X
Fertigungs- Prozess	Parameter	X	X	X	X	X	X
	<i>Zeitparameter</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Kostenparameter</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Qualitätsparameter</i>	X	X	X	X	X	X
	Ablaufvorgang	X	X		X	X	
	Platzverhältnisse	X	X		X	X	
Materialfluss	Handhabungsvorgang		X	X		X	X
	<i>Geom. Zugänglichkeit</i>		X	X		X	X
	<i>Position</i>		X	X		X	X
	<i>Parameter</i>		X	X		X	X
	<i>Ergonomie</i>		X	X		X	X
	Transportvorgang	X	X		X	X	
	Lagervorgang	X	X		X	X	

Tabelle 11 Bezugsobjekt und Bezugshierarchie bezogene Einordnung grundsätzlicher Validierungskategorien innerhalb des validierungstechnischen Bezugsrahmens

Der nächste Schritt ist die Bewertung des Entwicklungsstandes der Fronttür von *Demo-2* hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit auf der Linie *Rohbau-1*. Dies erfolgt durch systematische Auswertung der im Validierungsmodell spezifizierten Validierungsregeln und die Ausführung der entsprechenden Berechnungen. Diese Evaluierung wird vom Software-Prototyp durch das Klicken auf *Validation* unterstützt (vgl. Abbildung 59). Nach der Ausführung der produktionsorientierten Analyse werden die Ergebnisse in einer intuitiven und benutzergerechten Form visualisiert. Hierfür werden die Informationen entsprechend vorbereitet, zu den korrespondierenden Prozessschritten hochaggregiert und zum Schluss diesen zugeordnet. Sofern ein Prozessschritt in Rot dargestellt wird, ist der Benutzer darauf hingewiesen, dass die Spezifikation der Bezugsobjekte Defizite aufweist. So wie in Abbildung 59 dargestellt wird, ist der Prozessschritt *Zusammenbau des Seitenaufprallschutzes und der Stahlstrebe* in Rot markiert. Daraus folgt, dass der Einbau der zusätzlichen Stahlstrebe in Station 4 der Linie *Rohbau-1* mit dem verfügbaren Produktionsequipment nicht erfolgreich durchgeführt werden kann.

Validation	Status	Validation Action
Number of handled parts	VALIDATED_FALSE	Please check the handled par
Geometry compatibility	VALIDATED_FALSE	Please check the geometry
Geometry compatibility	VALIDATED_FALSE	Please check the geometry
Cycle Time	VALIDATED_TRUE	No actions needed

Abbildung 59: Aggregation und Visualisierung der Ergebnisse nach der Ausführung der produktionsorientierten Produktuntersuchung

Tabelle 12 fasst die im Rahmen der produktionsorientierten Produktanalyse vom Software-Prototyp automatisch ermittelten Problembereiche der analysierten Bezugsobjekte zusammen.

Ressourceobjekt	Produktkomponente	Validierungskategorie	Defizite
Linie L1	Türrahmen: <i>Demo-2</i>	Zeitparameter/Taktzeit	Anzahl der Schweißpunkte
Station L1.S4	Türrahmen: <i>Demo-1</i> & <i>Demo-2</i>	Handhabungsvorgang	Anzahl der Baugruppen
Station L1.S4	Stahlstrebe & Seitenaufprallschutz	Zufuhrfenster	Anzahl der Teile
Station L1.S4	Türrahmen: <i>Demo-1</i> & <i>Demo-2</i>	Spann- & Fixier-technologie	Anzahl der Teile
Station L1.S4	Stahlstrebe & Seitenaufprallschutz	Handhabungsvorgang	Anzahl der Teile
Werkzeug L1.S4.W1	Türrahmen: <i>Demo-2</i>	Spann- & Fixiertechnologie	Geometrie
Werkzeug L1.S4.W2	Türrahmen: <i>Demo-2</i>	Handhabungsvorgang	Geometrie
Werkzeug L1.S4.W3	Stahlstrebe	Zufuhrfenster	Geometrie
Werkzeug L1.S4.W4	Stahlstrebe	Handhabungsvorgang	Geometrie
RB.L1.S4 – <i>Rohbau-1</i> , RB.L1.S4 – Station 4 in <i>Rohbau-1</i> , RB.L1.S4.W_K – Werkzeug K in Station 4			

Tabelle 12: Ermittelte Problembereiche durch die Anwendung der produktionsorientierten Produktanalyse der untersuchten Bezugsobjekte

Laut der oben aufgeführten Tabelle weisen die untersuchten Bezugsobjekte, die Fronttür von *Demo-2* sowie die Linie *Rohbau-1*, einige Problembereiche auf. Auf der Fertigungsseite existieren Engpässe beim Spann- und Fixierkonzept, bei dem Handhabungsvorgang, beim Zufuhrfenster sowie beim Prozessparameter Taktzeit. Ein Problem beim Handhabungsvorgang ist, dass sich die Geometrie der Fronttür von *Demo-2* von der Geometrie der Fronttür von *Demo-1* unterscheidet. Dies führt zu einem Unterschied bei den Greifkoordinaten für den Greifer *L1.S4.W2*. Weiterhin muss das Handlingequipment in der Lage sein, zwei unterschiedliche Türrahmen, den von *Demo-1* und den von *Demo-2*, in die Station zuzuführen. Dieses ist mit dem starren Greifer *L1.S4.W2* nicht zu erfüllen. Das Zufuhrfenster *L1.S4.W3* ist auch ein Engpass, bedingt

dadurch, dass in die Station 4 nur ein Teil, der Seitenaufprallschutz, durch das Fenster eingeschleust werden kann. Somit gibt es Beschränkungen einerseits durch die Anzahl der Teile und andererseits durch die Geometrie der zusätzlichen Stahlstrebe. Die Spann- und Fixiervorrichtung ist ebenso nur für eine Produktvariante geplant, weshalb es Probleme auch durch die Anzahl der Teile und der Geometrie gibt. Zuletzt muss noch sehr genau die Taktzeit überprüft werden, da die zusätzlichen Widerstandsschweißpunkte für den Einbau der Stahlstrebe die Taktzeit von 130 [s] verletzen.

5.4.2 Identifikation geeigneter Handlungsalternativen

Nach der Durchführung der technischen Absicherung folgt die Identifizierung von Handlungsalternativen, welche die Fertigung der jeweiligen Produktkomponenten ermöglichen und gleichzeitig zur Flexibilisierung des Produktionssystems beitragen sollen. Diese Funktionalität wird vom Software-Prototyp bislang nicht unterstützt und ist allein den Fachkräften vorbehalten. Dieser Schritt wird aufgrund der im vorherigen Schritt erzielten Ergebnisse durchgeführt. Nach der Analyse der in der Tabelle 12 zusammengefassten Daten wurden nur zwei mögliche Alternativen ausgearbeitet.

Die erste Alternative A beinhaltet lediglich Umbaumaßnahmen in der Station 4, wie der Abbildung 60 zu entnehmen ist.

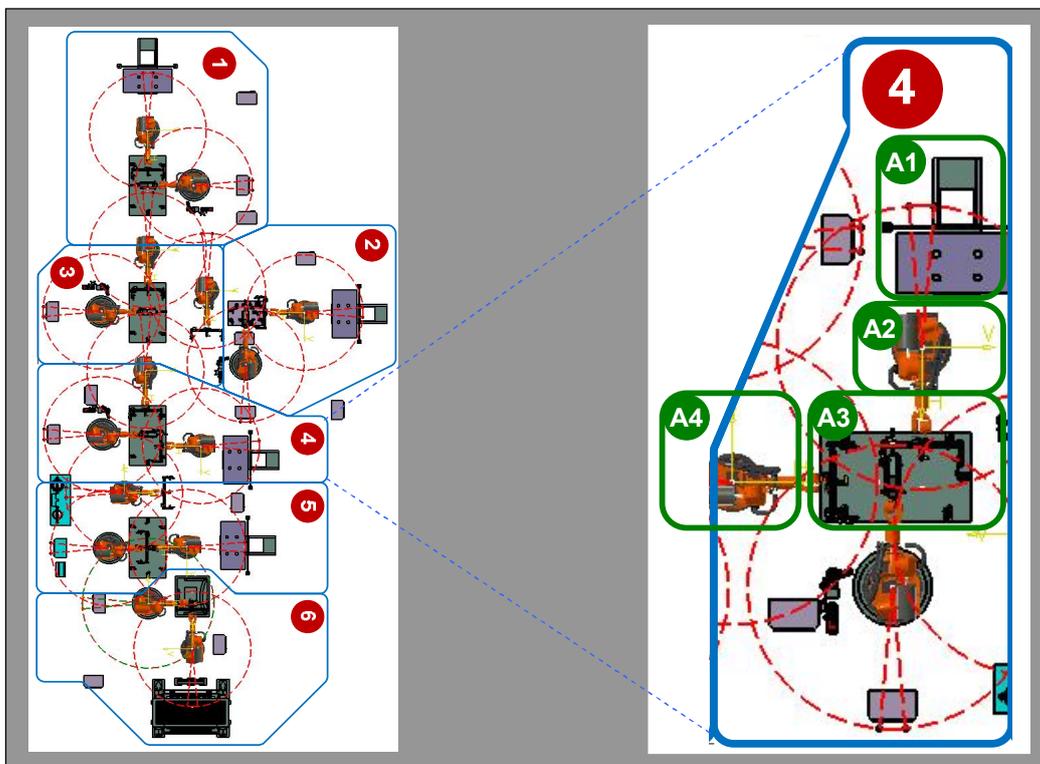


Abbildung 60: Änderungen bei der Station 4 in der ersten Alternative [MyCar]

Tabelle 13 fasst die Änderungen zusammen, die an der Station 4 bei der ersten Alternative durchgeführt werden müssen. Wie in Abbildung 60 gezeigt, sind bei Alternative A in Station 4 Änderungen an den Greifern, *L1.S4.W2* und *L1.S4.W4*, der Handhabungsroboter, am Fenster zum Einlegen der Teile, *L1.S4.W3*, sowie auch am Rundschalttisch, *L1.S4.W1*, notwendig.

Änderung	Bezugsobjekt	Beschreibung
Änderung A1	L1.S4.W3	Umbau des Zufuhrfensters
Änderung A2	L1.S4.W4	Umbau des Handhabungsequipments
Änderung A3	L1.S4.W1	Einbau eines Drehtisches
Änderung A4	L1.S4.W2	Umbau des Handhabungsequipments
Änderung A5	L1.S4	Zusätzlich benötigter Platz

Tabelle 13: Notwendige Änderungen bei der Alternative A

Die Änderung am Greifer *L1.S4.W2* beinhaltet das Umrüsten der Roboter und ermöglicht damit einen Werkzeugwechsel im laufenden Betrieb. Somit können zwei unterschiedliche Türrahmen in die Station eingeführt werden. Sofern das zusätzliche Werkzeug nicht in Betrieb ist, wird es in einem Werkzeugwagen in der Station abgelegt. Der Greifer *L1.S4.W4* wird durch einen anderen Greifer ersetzt, der in der Lage ist, den Seitenaufprallschutz und die zusätzliche Stahlstrebe in die Station einzuführen. Das Zufuhrfenster muss auch umgetauscht werden, sodass die zwei Bauteile der Station zugeführt werden können. Die Änderung A3 ist der Ausbau der alten Spann- und Fixiervorrichtung und der Einbau eines Drehtisches, sodass die zwei Türvarianten gespannt und fixiert werden können. Aufgrund des Einbaus des Werkzeugwagens und des neuen Drehtisches wird zusätzlicher Platz in der Station benötigt. Hieraus ergibt sich die Änderung A5, welche die gesamte Station 4 betrifft und diesen zusätzlichen Platz repräsentiert. Zu beachten ist, dass durch den Greiferwechsel eine zusätzliche Umrüstzeit hinzukommt, welche die Taktzeit der gesamten Linie beeinflusst. Daher müssen noch die Schweißpunkte in Bezug auf die anderen Stationen entsprechend ausbalanciert werden.

Die Alternative B impliziert den Neubau einer weiteren Station, welche die zusätzliche Stahlstrebe montiert und zwischen den Stationen 4 und 5 eingefügt wird. Abbildung 61 stellt das Layout der geplanten Rohbaulinie bei der zweiten Alternative dar.

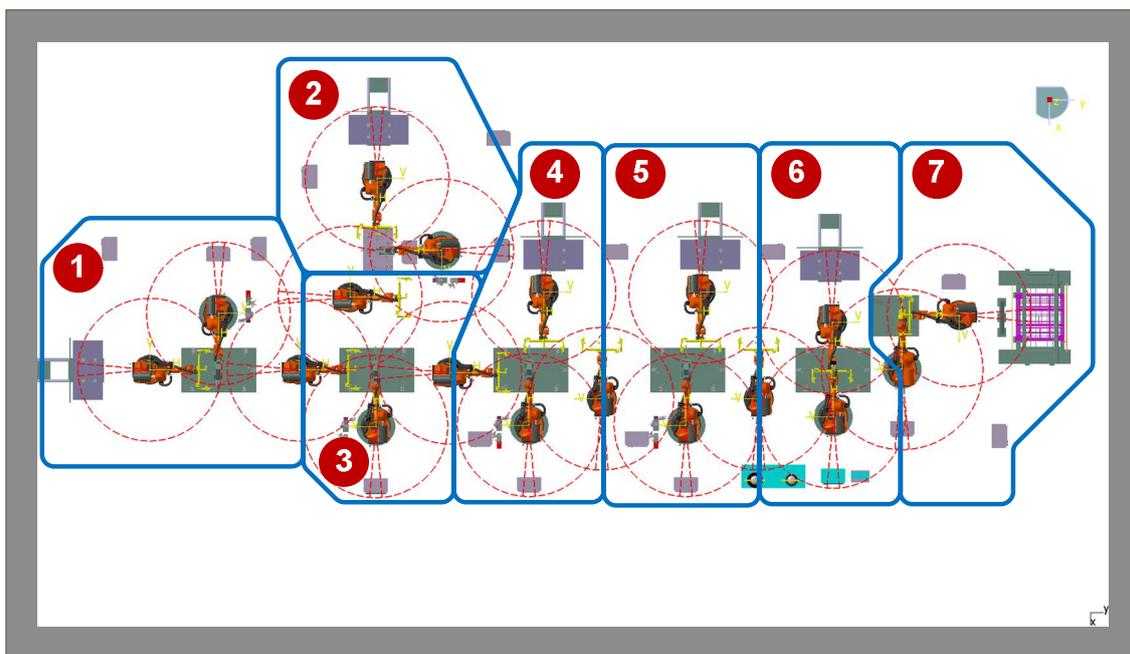


Abbildung 61: Layout der gesamten Rohbaulinie bei der Alternative B [MyCar]

Die zusätzliche Station übernimmt komplett den Einbau der weiteren Stahlstrebe bei der zweiten Türvariante. Somit sind keine Engpässe bezüglich der Taktzeit wie bei der Alternative A zu erwarten. Allerdings wird im Vergleich zu der in Abbildung 60 dargestellten Alternative noch mehr Platz benötigt.

5.4.3 Analyse und Bewertung der Handlungsalternativen

In diesem Schritt findet die abschließende Bewertung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Änderungsalternativen A und B statt. Hierfür werden die zwei Handlungsalternativen gemäß der im Kapitel 4.3.2 vorgestellten Methode in einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenübergestellt, um die wirtschaftlichen Aspekte zu untersuchen und somit eine quantitative Basis für den nachfolgenden Entscheidungsfindungsprozess zur Verfügung zu stellen. Im Anschluss werden die zwei Alternativen einer Nutzwertanalyse unterzogen, um weitere nicht monetäre Faktoren, wie z.B. Flexibilität bezüglich der Typenvielfalt, in die Entscheidungsbasis einzubeziehen.

Für die Berechnung der Investitionskostenumlage ist zudem die Laufzeit der neuen Fahrzeugreihe wichtig. Für die nachfolgenden Ausführungen wird von einer Nutzungsdauer von sechs Jahren ausgegangen, was durchaus eine realistische Annahme darstellt. Im Rahmen der nachstehenden Untersuchungen wird von einer fiktiven Ausbringungsmenge von 50.000 Fahrzeugen vom Typ *Demo-2* im ersten Jahr und von

150.000 Fahrzeugen pro Jahr für die nachfolgenden fünf Jahre ausgegangen. Dies bedeutet, dass durch die geplanten Umbaumaßnahmen die Lebensdauer der Rohbaulinie *Rohbau-1* um insgesamt fünf Jahren verlängert werden sollte.

Quantitative Bewertung der Alternativen

Tabelle 14 fasst die errechneten Nutzenpotenziale nach der Normalisierung pro Fahrzeug für beide Änderungsalternativen A und B anhand der beispielhaften Kostenaufstellung aus Tabelle 15 zusammen.

Nutzenpotenzial	Alternative	
	Alternative A	Alternative B
NP1	0,80 €/vec ²⁰	0,72 €/vec
NP2	1,79 €/vec	1,49 €/vec
NP3	0,78 €/vec	0,74 €/vec
NP4	0,03 €/vec	0,02 €/vec
$\sum_{q=1}^Q NPq$	3,40 €/vec	2,97 €/vec
Investitionskosten	2,57 €/vec	2,89 €/vec
	NP1 – Reduzierung von Planungskosten für zusätzliches Equipment NP2 – Reduzierung von zusätzlichen Investitionskosten NP3 – Optimierung der Produktionsfläche NP4 – Reduzierung der Nachbearbeitungskosten in der Anlaufphase	

Tabelle 14 Nutzenpotenziale der Änderungsalternativen

Für die Berechnung des Nutzenpotenzials NP1 wird die im Kapitel 4.3.2 aufgestellte Gleichung 4.5 verwendet. Bei der Lösungsalternative A werden 20 % der Planungskosten und 20 % der Installationskosten im Vergleich zur Planung einer konventionellen Fertigungslinie erspart. Auf der anderen Seite reduziert sich diese Ersparnis bei der Alternative B wegen der Neuplanung der zusätzlichen Station um 18 % bei den Planungskosten und 18 % bei den Installationskosten.

Das Nutzenpotenzial NP₂ wird wie in Gleichung 4.6 errechnet. Beim Umbau der Produktionsanlagen (Alternative A) ergeben sich zusätzliche Investitionskosten für Produktionsequipment von 571.000 € und Modifikationskosten von 1.329.000 €. Beim

²⁰ Pro produziertes Fronttürmodul

Einbau einer zusätzlichen Station entstehen geringere Modifikationskosten an den Produktionsanlagen, dafür sind die Investitionskosten aber ungleich höher. Deshalb betragen die Modifikations- und Investitionskosten bei der Alternative B 2.140.000 €. Das Nutzenpotenzial ergibt sich aus der Differenz zwischen den Investitionskosten bei der konventionellen Planung (heutiger Stand der Technik) und einer der vorgestellten Handlungsalternativen.

Kostenkategorien und Kostenarten		Konventionell	Alternative A	Alternative B
Anschaffungskosten AK [€]	Kosten für Roboter	2.200.000	2.200.000	2.200.000
	Werkzeugkosten	640.000	640.000	640.000
	Spann- & Fixiervorrichtungskosten	320.000	320.000	320.000
	Produktionsflächenkosten	780.000	780.000	780.000
	Sonstige Anschaffungskosten	820.000	820.000	820.000
	<i>Zusätzliche Anschaffungskosten – NP2</i>	3.332.000	1.900.000	2.140.000
	<i>Zusätzliche Produktionsflächenkosten – NP3</i>	780.000	156.000	179.400
Summe der Anschaffungskosten AK [€] /Nutzungszeitraum [Jahre]		1.478.800	1.136.000	1.179.900
Fixkosten FK [€]	Produktentwicklungskosten	1.800.000	1.800.000	1.800.000
	Prozessplanungskosten	1.200.000	1.200.000	1.200.000
	Sonstige Fixkosten	2.500.000	2.500.000	2.500.000
	<i>Zusätzliche Planungs- und Inbetriebnahmekosten – NP1</i>	3.200.000	2.560.000	2.624.000
	<i>Zusätzliche Kosten in der Anlaufphase – NP4</i>	76.800	51.456	57.600
Summe der Fixkosten FK [€] /Nutzungszeitraum [Jahre]		1.462.800	1.351.900	1.363.600
Gesamtanschaffungs- und Fixkosten [€/Jahr]		2.941.600	2.487.900	2.543.500

Tabelle 15: Kostenvergleichsrechnung der Änderungsalternativen A und B sowie einer konventionellen Alternative innerhalb des kostenrechnerischen Bezugsrahmens

In Bezug auf die in Anspruch genommene zusätzliche Produktionsfläche benötigt die Änderungsalternative A 20 % mehr Platz als die ursprüngliche Linie Rohbau-1. Im Gegensatz dazu wird bei der Änderungsalternative B noch eine zusätzliche Station eingeführt, daher ist hierfür mehr Platz erforderlich: $\approx 24\%$. Bei den konventionellen Linien werden in der Regel 100 % Platz mehr gebraucht, um die nächste Baureihe fertigen zu können. Aus diesen Rahmenbedingungen ergeben sich die Werte aus der Tabelle 14.

Das Nutzenpotenzial NP4 errechnet sich, wie in Kapitel 4.3.2 gezeigt. Bei konventionellen Linien wird eine Anlaufzeit von drei Monaten erwartet. Aufgrund mangelhafter Produktionsqualität entstehen hierbei 76.800 € Nachbearbeitungskosten. Durch den Anteil des wieder verwendbaren Equipments reduzieren sich diese Kosten bei der Alternative A um etwa 33 %. Bei der zweiten Alternative verkürzen sich die Kosten aufgrund des neuen Equipments in der zusätzlichen Station um etwa 25 %.

Tabelle 14 stellt den Gesamtnutzen für je ein produziertes Fronttürmodul als die Summe aller Nutzenpotenziale dar. Darüber hinaus enthält sie auch die umgelegten Investitionskosten auf die zu produzierenden Stückzahlen. Aus den Ergebnissen folgt, dass beide Alternativen wirtschaftlich sind und somit umgesetzt werden können.

5.4.4 Umsetzung der geeignetsten Handlungsalternative

Bei beiden Änderungsalternativen ist die Wirtschaftlichkeit an sich vorhanden, da ein monetärer Nutzen von ca. 0,83 € pro produziertem Fronttürmodul für die Alternative A und 0,12 € pro produziertem Fronttürmodul für die Alternative B zu erwarten ist (nach Gleichung 4.9 im Kapitel 4.3.2). Der Nutzen der Alternative A ist somit höher als der Nutzen der kostspieligeren Alternative B. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis und der Gesamtnutzwert der Alternativen sind in Abbildung 62 veranschaulicht.

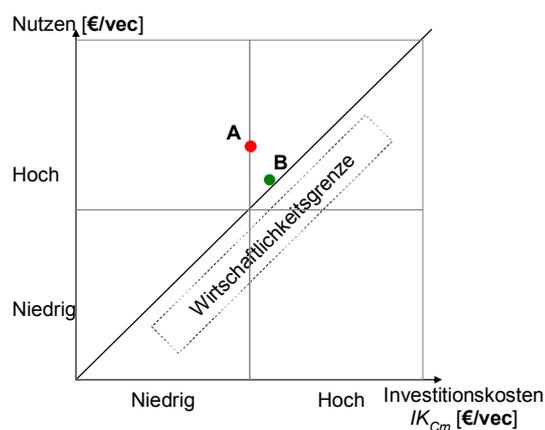


Abbildung 62: Kosten-Nutzen-Verhältnis der beiden Änderungsalternativen

Aus den oben aufgeführten Graphiken folgt, dass die Änderungsalternative A sowohl hinsichtlich der quantitativen als auch der qualitativen Bewertungskriterien der Alternative B überlegen ist.

Hiermit ist der Entscheidungsfindungsprozess abgeschlossen und die Änderungsalternative A wird in die Rohbaulinie *Rohbau-1* umgesetzt. Die Umsetzung erfolgt zwischen den Quality Gates J und F (vgl. Kapitel 4.3.3) durch die Integration der Methodik in den entsprechenden Entwicklungs- und Planungsabteilungen. In der letzten Feedback-Phase der Methodik werden die neu generierten Lösungsalternativen entsprechend der unternehmensspezifischen Kategorisierung in die Wissensbasis des Unternehmens zurückgeführt, sodass sie beim nächsten Anlauf der Methodik der automatischen Identifizierung zur Verfügung stehen.

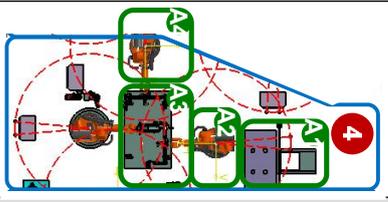
Alternative	A		Produkt	Fronttür	Ressource	Rohbau-1	
Baureihe	BR: 20						
Zeit	niedrig		Kosten	mittel		Flexibilität	hoch
Beschreibung	Lediglich Umbaumaßnahmen in Station 4: Umbau des Zufuhrfensters und eines Handhabungsequipments, Einbau eines Drehtisches, zusätzlich benötigter Platz. Umbau der anderen Stationen.						
Nutzen	P1	0,80 €					
	P2	1,79 €					
	P3	0,78 €					
	P4	0,03 €					
	Summe	3,40 €					
	Insgesamt	0,83 €	Investition	2,57 €			

Abbildung 63: Lösungstemplate für die Änderungsalternative A

5.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die erarbeitete Methodik zur produktionsorientierten Produktanalyse anhand eines Fallbeispiels aus der Industrie validiert. Hiermit wurde bewiesen, dass die entwickelten theoretischen Konzepte auch in industrieller Umgebung eine passende Anwendung finden.

Für die Demonstration der Anwendbarkeit der neuen Methodik in der Industrie wurde zunächst der Software-Prototyp dargestellt. Dieser setzt die im Kapitel 4.3.1 beschriebene Methode zur produktionsorientierten Produktuntersuchung in einem digitalen Software-Werkzeug mit Schnittstellen zu gängigen CAD- und CAM-Systemen um. Der erste Teil des vorliegenden Kapitels befasst sich mit der Beschreibung des Software-Prototyps bezüglich seiner Architektur, seiner Implementierung sowie auch seiner Funktionsweise. Mit diesem Software-Prototyp wurde operativ die Integration in die unternehmensspezifischen Systeme sowie die Einbettung in die unternehmerischen Geschäftsprozesse realisiert. Für die Realisierung des Software-Prototyps wurden moderne Technologien wie Webprogrammierung, Webservices und XML eingesetzt. Somit lassen sich verschiedene technische und ökonomische Vorteile wie einfache Erweiterungsmöglichkeiten, reibungslose und schnelle Installation, höhere Skalierbarkeit und benutzerfreundliche Bedienung erreichen.

Der zweite Teil im Kapitel beinhaltet die Validierung der theoretischen Grundlagen durch die Durchführung einer Iteration der neuen Methodik. Zunächst wurde ein anwendungsbezogenes Fallbeispiel aus der industriellen Praxis definiert und vorgestellt. Im Anschluss wurde der Software-Prototyp anhand des Fallbeispiels getestet, um die Tragfähigkeit der Methodik unter realen Bedingungen zu belegen. Die Vorgehensweise bei der Validierung orientiert sich am Grundaufbau der erarbeiteten Methodik. Zunächst wurde die produktionsorientierte Produktuntersuchung durchgeführt. Anschließend wurden geeignete Handlungsalternativen identifiziert sowie einer wirtschaftlichen Untersuchung unterzogen und bewertet. Das Kapitel wurde abgeschlossen mit der Umsetzung der geeignetsten Lösungsalternative, die im Rahmen des im vorherigen Kapitel beschriebenen Entscheidungsfindungsprozesses bestimmt wurde.

Kapitel 6

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Anforderungen an die heutigen Industrieunternehmen ändern sich ständig. In Zeiten immer kürzer werdender Produktlebenszyklen, stetig steigender Produkt- und Variantenvielfalt sowie einer Beschleunigung des Produktentstehungsprozesses setzen Unternehmen im internationalen Wettbewerb auf neue technologische und informationszentrierte Innovation, um bei steigendem Kostendruck wettbewerbsfähig zu bleiben. Die seit Mitte des Jahres 2008 weltweit herrschende Finanzkrise in Verbindung mit schwankender Marktnachfrage und globalen Produktionsüberkapazitäten intensiviert diesen Innovationsdruck. Vor diesem Hintergrund haben Methoden und Ansätze zur Unterstützung einer akuten Anpassung der Produktion auf geänderte Umwelteinflüsse eine hohe Bedeutung.

6.1 Zusammenfassung der Arbeit

Im Rahmen dieser Dissertation wird ein maßgeblicher Beitrag zur Bewältigung der oben geschilderten Herausforderungen geleistet. Das Kernelement dabei ist die neu erarbeitete Methodik 2REUSE zur Wiederverwendung von Produktionssystemen in der Fertigung und Montage bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktvarietät und Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz. Eine Übersicht über die grundlegenden Entwicklungsschritte der neuen Methodik ist Abbildung 33 in Kapitel 4.2 zu entnehmen. Vor diesem Hintergrund wurden folgende Ergebnisse erbracht (vgl. Ziel 1.2, Kapitel 1.2).

Ergebnis: Es wurde eine neue auf der Grundlage von wissensbasierten Techniken entwickelte Methode im Rahmen der Prozesskette der produktionsgerechten

Produktgestaltung zur Bewertung des Produktentwicklungsstandes hinsichtlich technischer Produktherstellbarkeit in einem vordefinierten Produktionssystem konzipiert.

Mit dieser neuen Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse wird eine frühzeitige Untersuchung und Absicherung von produktbestimmenden Anforderungen aus der Phase der Serienproduktion vollzogen. In Hinblick auf hohe Qualität und minimalen technischen Änderungsbedarf nach dem Produkt-Markteintritt ist dies ein wichtiger Bestimmungsfaktor, gemäß dem Motto „Do it right the first time“. Zur Konzipierung und Realisierung der Methode gehört eine Formalisierung der benötigten Produkt-, Prozess- und Ressourcenmerkmale durch wissensbasierte Modellierung der untersuchungsrelevanten Analyseziele. Die Auswertung der Ergebnisse wurde durch den Einsatz der aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz stammenden Methode der Rückwärtsverkettung vollzogen. Aufgrund der sich im Rahmen der Arbeit ergebenden Notwendigkeit hinsichtlich der Anwendung einer solchen Methode im industriellen Umfeld wurde die Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse in Form eines Software-Prototyps realisiert.

Die Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse wird im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit in die Methodik 2REUSE eingebunden, mit dem Ziel, die Wiederverwendung von Produktionssystemen und die damit einhergehende Steigerung der Produktvarietät zu ermöglichen (vgl. Ziel 1.1, Kapitel 1.2).

Ergebnis: *Die erarbeitete Methodik 2REUSE unterstützt die Wiederverwendung eines sich bereits in Betrieb befindlichen Produktionssystems. Die sich daraus ergebende Steigerung der Flexibilität bestimmt weitere Einspar- und Nutzenpotenziale als Folge einer erhöhten Produktvarietät der Montage- bzw. Fertigungslinien.*

Die Wiederverwendung einer Produktionslinie führt unmittelbar zur Erhöhung der entsprechenden Produktvarietät und der damit verbundenen qualitativen Flexibilität dieser Linien. In Kombination mit der Methode zur produktionsorientierten Produktanalyse führt dies zu einer Steigerung der Qualität in der Anlaufphase der Produktion. Daraus ergibt sich eine Reduktion der Planungs- und Inbetriebnahmezeit und somit auch eine Reduzierung der Zeit zum Produkt-Markteintritt (Time-to-Market). Im Hinblick auf diese Zeiteinsparungen ergibt sich weiterhin eine Reduktion der Produktentwicklungs- und Nachbearbeitungskosten. Als Folge der Flexibilisierung der Produktion reduziert sich die benötigte Produktionsfläche im Vergleich zur

konventionellen Linie, sofern die freie Fläche für andere wertschöpfungsbringende Tätigkeiten eingesetzt werden kann.

Infolge des Aufrufs zu Innovationen sowie des steigenden Grads des Kundenindividualismus und der damit wachsenden Anzahl der Varianten- und Modellvielfalt ergibt sich eine ständig zunehmende Komplexität der Produkte und der Prozesse. Die Methodik 2REUSE trägt hierbei zur Bewältigung der stetig zunehmenden Produktkomplexität sowie zur ganzheitlichen Optimierung der Kosten- und Ressourceneffizienz bei gleichzeitiger Steigerung des Ausmaßes der Kundenindividualisierung bei.

Zur Meisterung dieser Komplexität setzen die Methoden und Konzepte dieser Arbeit noch in den frühen Phasen der Produktentwicklung an. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen von 2REUSE Entwicklung und Produktionsplanung im Sinne des Concurrent bzw. Simultaneous Engineering verzahnt. Zur ganzheitlichen Optimierung des gesamten Entwicklungsprozesses werden auch das im Rahmen von Vorgängerprojekten aufgebaute Wissen und die Expertisen herangezogen und in Form von Best Practices und Lessons Learned wieder eingesetzt.

Zur kontinuierlichen Steigerung der Innovationsfähigkeit eines Unternehmens, welche ein Garant für Wachstum und Unternehmenserfolg ist, muss im Rahmen von heutigen Lösungen eine systematische und nachhaltige Umsetzung der Konzepte durch entsprechende informationstechnische IT-Umgebung erzielt werden (vgl. Ziel 1.3, Kapitel 1.2).

***Ergebnis:** Ein weiteres Ergebnis ist die Konzipierung und Umsetzung einer entsprechenden informationstechnischen Unterstützung zur Entwicklungs- und Lebenszyklusphasen-übergreifenden Erfassung und Aufbewahrung sowie dem Austausch von relevanten Informationen und zur Rückführung von Feedbackinformationen aus der Phase der Serienproduktion in die früheren Phasen der Produktentstehung.*

Das in dieser Arbeit zu Grunde gelegte Informationsmanagement basiert auf einer Lebenszyklus-orientierten Informationsmodellierung. Hierzu wurden die unterschiedlichen Kernelemente – Produkt, Prozess, Ressource sowie produktionsbezogene Anforderungen und Restriktionen – unter Berücksichtigung der Produktlebenszyklusaspekte in das Informationsmodell abgebildet. In diesem Zusammenhang nimmt eine entsprechende informationstechnische Unterstützung zur Gestaltung optimaler Engineering-Prozesse und zur Förderung des operativen Managements bei

den Entscheidungen über den weiteren Prozessverlauf eine entscheidende Rolle ein. Des Weiteren war die Integration der Methodik 2REUSE in die Änderungsmanagementprozesse und die zeitliche Einordnung in den Gesamtentwicklungsprozess ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit, wie in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellt wird.

Mit dem Ziel, die Praxistauglichkeit der Methodik 2REUSE im industriellen Umfeld zu demonstrieren, wurden die erarbeiteten Methoden und Informationsmodelle in Form eines webbasierten Software-Prototyps umgesetzt. Zur Validierung der theoretischen Grundlagen wurde in Kapitel 5.4 die Tragfähigkeit von 2REUSE am besonderen Beispiel des Fronttürrohbaus anhand des Software-Prototyps getestet. Die in diesem Rahmen durchgeführte Validierung hebt die Nutzensvorteile sowie die zielsetzungskonforme Verwendbarkeit der erarbeiteten Methodik hervor und verdeutlicht die erfolgreiche Umsetzung in der Industrie.

6.2 Ausblick - Ansätze für weiterführende Forschung

Wie durch Kapitel 4.3 und Kapitel 5.4 belegt wurde, lassen sich anhand der vorgestellten Methodik 2REUSE Defizite in sich bereits in Betrieb befindlichen Produktionssystemen für deren Wiederverwendung identifizieren und zielgerichtet beheben. In der Konsequenz steigert sich die Flexibilität des entsprechenden Produktionssystems hinsichtlich der zu erzielenden Produktvarietät. Der vorliegende Abschnitt behandelt einige unter Nutzung der erzielten Ergebnisse aufbauende Ansätze für die weiterführende Forschung.

Infolge der sich ständig ändernden Anforderungen in der Industrie hinsichtlich der Veränderungen des Produkt- und Variantenmixes sind bei Anwendungen der Methodik 2REUSE häufige Anpassungen und Änderungen des PPRV-Modells unvermeidbar. Vor diesem Hintergrund nimmt insbesondere ein spezieller Algorithmus für *die automatische Generierung von Prozessalternativen* im Rahmen der PPRV-Modellkonfiguration einen bedeutenden Stellenwert ein (vgl. Kapitel 5.2.3). Dieser Algorithmus könnte aufgrund von semantischen, von Vorgängerprojekten bekannten Prozessbeschreibungen mit Hilfe des Case-Based-Reasoning-Ansatzes zu einem durch 2REUSE zu untersuchenden Produkt-/Ressourcenpaar das zugeordnete Prozessmodell automatisch ableiten. Die Auswertung des CBR-Ansatzes könnte auf Basis eines lokal zu definierenden Ähnlichkeitsmaßes für die CBR-Ähnlichkeitsfunktion erfolgen, deren spezifische Attribute Voraussetzung für die Alternativengenerierung sind. Die Attribute

sollten hierbei möglichst unabhängige Merkmale der Betrachtungsobjekte repräsentieren.

Aufbauend auf dem in Kapitel 4.3.1 vorgestellten Algorithmus, der Defizite in sich bereits in Betrieb befindlichen Produktionssystemen für deren Wiederverwendung erkennt, sollte ein darauf basierender Ansatz für die *automatische Identifikation von Lösungsalternativen* weiterverfolgt werden. Im Interesse einer allgemeinnützlichen Lösung ist auch die Einbindung einer Ontologie zur Verwaltung der Wissensbasis denkbar, in der Informationen über bereits vorhandene Lösungen abgeschlossener Vorgängerprojekte liegen. Eine Herausforderung ist dabei der Umgang mit fehlerhaften oder sogar fehlenden Informationen und unscharfen Zusicherungen in der Wissensbasis. Den Fachkräften würde durch die Anwendung dieses Algorithmus die Entscheidung bei der Suche der Handlungsalternativen nicht gänzlich abgenommen, dennoch würde sich der Aufwand bei der Identifikation geeigneter Alternativen enorm reduzieren.

Im Hinblick auf die Etablierung der Methodik in der industriellen Praxis und um den allgemein gültigen Charakter von 2REUSE zu gewährleisten, ist zunächst eine Implementierung der in dieser Arbeit konzipierten Validierungsmodelle in gängige Standards anzustreben. Eine derartige Standardisierung könnte sich in der Ergänzung des AutomationML-Datenmodells²¹ ausdrücken. Des Weiteren müssen die erarbeiteten Konzepte im Interesse der Generalisierung weiter auf andere Produktbereiche und gegebenenfalls auf andere Industrien ausgedehnt und angewendet werden.

²¹ Die geplante AutomationML- Normenreihe beinhaltet Grundsätze, Beschreibungstechniken und Datenmodelle zum Austausch und zur Speicherung von Anlagenplanungsdaten [Drat10].

Literatur

- [Abd03] **Abdullah, F.:** Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel. Dissertation, University of Pittsburgh, 2003
- [ALW06] **Abele, E.; Liebeck, T.; Wörn, A.:** Measuring Flexibility in Investment Decisions for Manufacturing Systems. Annals of the CIRP 55, S. 433–436, 2006
- [Abr06a] **Abramovici, M.; Schulte, S.:** PLM – Stand der Technik und Entwicklungsperspektive, Tagungsband zum Industriekolloquium des SFB 396: Robuste, verkürzte Prozessketten für flächige Leichtbauteile, Erlangen, 2006
- [Abr06b] **Abramovici, M.; Schulte, S.:** PLM – State of the Art and Trends, Inovacoes Tecnologicas no Desenvolvimento do Produto, 11. Internationales Hochtechnologie Symposium „Technologische Innovationen Produktentwicklung“, Piracicaba, S. 27–49, 2006
- [Ach05] **Achammer, C. M. (Hrsg):** Industrieraum Europa 2010, Neue Lösungen für neue Prozesse. Praxisreport 2005, 2005.
- [And07] **Anderl, R.; Wu, Z.; Rollmann, T.; Kormann, M.:** Lifecycle Information Model for Higher Order Bifurcated Sheet Metal Products. In: F.-L. Krause (Editor): The Future of Product Development, Springer Verlag, Berlin, 2007
- [Andr06] **Andreasen, M. M.; Kvist, M.; Pedersen, R.; Fiil-Nielsen, O.:** What happened to DFX? – 17 years of DfX-symposia. In: Proceedings of 17. Symposium Design for X, Neukirchen, 2006
- [Andr88] **Andreasen, M. M.; Kähler, S.; Lund, T.; Swift, K. G.:** Design for Assembly. Zweite Auflage, Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 1988

-
- [ArMa05] **Arnheiter, E. D.; Maleyeff, J.:** The integration of lean management and Six Sigma, *The TQM Magazine*, Vol. 17(1), S. 5–18, 2005
- [Bär05] **Bär, T.; Kiefer, J.; Schmidgall, G.; Burr, H.:** Objectives of a Seamless Digital Process Chain in the Automotive Industry. In *Proceedings of the International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, Munich, 2005
- [Bauer07] **Bauer, S.:** Konzept und Umsetzung eines Systems zur strukturierten Sammlung und Bereitstellung von DfX-Richtlinien. In: Meerkamm, H. (Editor): *Design for X – Beiträge zum 18. Symposium*, Neukirchen, 2007
- [Baum06] **Baum, H.; Coenenberg, A.; Günther, T.; Fischer, J.:** Strategisches Controlling, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2006
- [BCT06] **BCT Technology (Hrsg.):** Product Lifecycle Management: So rechnet sich PLM, *BCT Report*, Vol. 1, 2006
- [Bie05] **Bierschenk, S.:** Digitale Fabrik jenseits von 2007. *Intelligenter produzieren*, Vol. 1, S. 38–41, 2005
- [Bley06] **Bley, H.; Fritz, J.; Zenner, C.:** Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik, In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 101(1/2), S. 19–23, 2006
- [BoA192] **Boothroyd, G.; Alting, L.:** Design for Assembly and Disassembly. *Annals of the CIRP*, Vol. 41(2), S. 625–636, 1992
- [BoDe83] **Boothroyd, G.; Dewhurst, P.:** Design for Assembly: A designer's handbook. Boothroyd and Dewhurst Inc. Wakeerfield; Rhode, 1983
- [Boot01] **Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight W.:** Product Design for Manufacture and Assembly. Marcel Dekker Ltd., New York, 2001
- [Brac02] **Bracht, U.:** Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik, Tagungsband Simulation und Visualisierung. Magdeburg, 2002

-
- [Brac05] **Bracht, U.; Eckert, C.; Masurat, T.:** Ein umfassender Ansatz für Planung und Betrieb. In: Intelligenter produzieren, VDMA Verlag, Vol. 1, S. 8–10, 2005
- [Bran07] **Brandt, O.:** Intelligente Produktion mit Methoden der Digitalen Fabrik. In CAD-CAM Report, Vol. 1, Dressler Verlag, 2007
- [Brec04] **Breckner, C.:** E-Innovationsmanagement in der Automobilindustrie, EUL Verlag, 2004
- [Brown06] **Brown, E.:** "Drive Fast, Drive Hard", Forbes, New York, S. 92, 2006
- [Burr08] **Burr, H.:** Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau, Dissertation, Schriftenreihe Produktionstechnik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2008
- [Chac04] **Chacko, J.:** Aus der „Digitalen Fabrik“ in die „Reale Fabrik“ – und zurück. In: 1. Fachkongresses „Digitale Fabrik“, Ludwigsburg, 2004
- [Chao04] **Chao, L. P.; Ishii, K.:** Product Platform Design and the Gate Model – Lessons from Industry Case Studies. In: Proceedings of the 4th International Mechanical Engineering Congress (ASME), Anaheim, California, USA, 2004
- [Chryss06] **Chryssolouris, G.:** Manufacturing Systems: Theory and Practice; 2nd Edition, Springer Verlag, New York, 2006
- [Cis02] **Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.:** Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 9, S. 441–445, 2002
- [CoTh06] **Coffey, D. J.; Thornley, C.:** Automotive assembly – Automation, motivation and lean production reconsidered. Journal of Assembly Automation, Vol. 26(2), S. 98–103, 2006

-
- [Dank95] **Dankert, U.:** Planung des Designs flexibler Fertigungssysteme. Dissertation, Reihe Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung, Universität Hamburg, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1995
- [Dav05] **Davies, J.; Studer, R.; Sure, Y.; Warren, P. W.:** Next generation knowledge management, BT Technology Journal, Vol. 23(3), 2005
- [DavPR98] **Davenport, T. H.; Prusak, L.:** Wenn Ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß. Das Praxisbuch zum Wissensmanagement, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1998
- [Domb01] **Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.:** Visionen für die Digitale Fabrik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 96(3), S. 96–100, 2001
- [Drat10] **Drath, R. (Hrsg.):** Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML. Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA, Springer Verlag, Berlin, 2009
- [Dvor94] **Dvorak, P.:** Manufacturing Puts a New Spin on Design. Machine Design, Vol. 67, S. 67–74, 1994
- [Ehrl03] **Ehrlenspiel, K.:** Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Zweite Auflage, Hanser Verlag, München, 2003
- [Eig07] **Eigner, M.; Bitzer, M.; Burr, H.:** Produktlebenszyklus mit Unterbrechungen – Abstimmungsbedarf zwischen Konstruktion und Produktion, PLM-Strategien, 2007
- [EigOv07] **Eigner, M.; Ovtcharova, J.:** Produktentstehung im 21. Jahrhundert: Anforderungen an die IT für die Konstruktion der Zukunft, Digital Engineering Magazin, Vol. 3, S. 33–37, 2007
- [End03] **Endres, A.:** Die Wissensgesellschaft und ihr Bezug zur Informatik, Spektrum der Informatik, Vol. 26 (3), S. 195–200, 2003

-
- [Ever96] **Eversheim, W.:** Produktionstechnik und -verfahren. In: W. Kern, H.-H. Schröder und J. Weber (Editor): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Schäffer-Poeschel Verlag, 1996
- [Geis06] **Geis, S.:** Integrated Methodology for Production related Risk Management of Vehicle Electronics, Dissertation, Reihe Informationsmanagement im Ingenieurwesen, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2006
- [Glög06] **Glögler, C.; Herfter, M.; Bär, T.; Wurst, D.:** Integration von Fertigungsabweichungen zur Optimierung toleranzbehafteter Baugruppen. In: Proceedings of 17. Symposium Design for X, Neukirchen, 2006
- [GoKa05] **Gottschalk, B.; Kalmbach, R.:** Markenmanagement in der Automobilindustrie. Die Erfolgsstrategien internationaler Top-Manager. Auflage 2, Gabler Verlag, 2005
- [Gottlob1990] **Gottlob, G.; Frühwirt, T.; Horn, W.:** Expertensysteme; Springer Verlag, Wien, 1990
- [Haa99] **Haasis, S.; Frank, D.; Rommel, B.; Weyrich, M.:** Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozessgestaltung und Ressourcenplanung. In: VDI-Bericht 1497, Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI-Verlag, S. 333–348, 1999
- [Hall01] **Haller, E.:** Digitale Fabrik, EDM-Forum, Fellbach, 2001
- [Hansen2001] **Hansen, H. R.; Neumann, G.:** Wirtschaftsinformation – Grundlagen und Anwendung; UTB Verlag, Stuttgart, 2001
- [HaRi02] **Hanßen, D.; Riegler, T.:** Studie Digitale Fabrik – Zentrales Innovationsthema in der Automobilindustrie, Pressegespräch Digitale Fabrik, Leinfelden, 2002.

-
- [HaWa06] **Hab, G.; Wagner, R.:** Projektmanagement in der Automobilindustrie: Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette, Auflage 2, Gabler Verlag, 2006
- [Hell05] **Hellingrath, B.:** Future Automotive Industry Structure 2015. In: 6. Jahrestagung Automobillogistik 2005, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 19–30, 2005
- [HerHi08] **Herron, C.; Hicks, C.:** The transfer of selected lean manufacturing techniques from Japanese automotive manufacturing into general manufacturing (UK) through change agents. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 24(4), S. 524–531, 2008
- [Hong04] **Hong, P.; Doll, W. J.; Nahm, A. Y.; Li, X.:** Knowledge Sharing in Integrated Product Development, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 7(2), S. 102–112, 2004
- [How06] **Howard, M., Miemczyk, J., Graves, A.:** Automotive supplier parks: an imperative for build-to-order. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 12, S. 91–104, 2006
- [HüBa07] **Hüttenrauch, M.; Baum, M.:** Effiziente Vielfalt: Die dritte Revolution in der Automobilindustrie. Auflage 1, Springer Verlag, Berlin, 2007
- [Ivip] **Integrated Virtual Product Creation (iViP):** <http://www.ivip.de>
- [Janssen1993] **Janssen, R.:** Multiobjective decision support for environmental management; Kluwer Academic, Dordrecht, Boston, 1993
- [Kar06] **Karcher, A.:** Ganzheitliches Product Lifecycle Management (PLM) - Vom notwendigen Übel zum strategischen Erfolgsfaktor, *Projekt Management aktuell*, Vol. 4, S. 32–41, 2006
- [Katz06] **Katzenbach, A.:** Informationstechnik und Wissensverarbeitung in der Produktentwicklung, Vorlesungsskript, Steinbeis Universität Berlin, Berlin, 2006

-
- [Komo98] **Komorek, C.:** Integrierte Produktentwicklung, Dissertation, Universität Duisburg, Steuer- und Wirtschaftsverlag, Duisburg, 1998
- [Kop08] **Koppenborg, M.:** Automobilindustrie – Trends in der Produkt- und Prozessgestaltung. In: Die Entwicklung der Automobilindustrie bis zum Jahr 2015, MBtech Consulting, 2008
- [Kra07] **Kraftfahrtbundesamt:** Statistik – Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Marken und Modellreihen. Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, 2007
- [Lik04] **Liker, J.:** The Toyota Way: Fourteen Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. Tata Mcgraw-Hill Verlag, New Delhi, 2004
- [Linn99] **Linner, S.; Geyer, M.; Wunsch, A.:** Optimierte Prozesse durch Digital Factory Tools, VDI-Berichte 1489, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 187–198, 1999
- [LoSchi94] **Lotter, B.; Schilling, W.:** Manuelle Montage. Planung, Rationalisierung, Wirtschaftlichkeit. Springer Verlag, Berlin, 1994
- [Mand78] **Mandelbaum, M.:** Flexibility in Decision Making: An Exploration and Unification. Dissertation, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, 1978
- [Mar05] **Marion, T. J.:** Adopting Product Platform Methodology to a Start-Up: A Case Study at the Innovation Factory. Innovations in Product Development Conference – Product Families and Product Platforms: From Strategic Innovation to Implementation, Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2005.
- [Mato57] **Matousek, R.:** Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaus. Springer Verlag, Berlin, 1957
- [Mbt04] **MBtech Consulting Analyse Worldclass Launch:** Experten-Interviews, 2004

-
- [Meerk95] **Meerkamm, H.; Storath, E.; Rösch, S.:** Konstruktionssystem mfk. In: Report 6. Symposium fertigungsgerechtes Konstruieren, Erlangen-Nürnberg, 1995.
- [Mot03] **Motwani, J.:** A business process change framework for examining lean manufacturing – A case study. *Industrial Management and Data System*, Vol. 103, S. 339–346, 2003
- [Muff99] **Muffatto, M.:** Introducing a platform strategy in product development. *International Journal of Production Economics*, Vol. 60/61, S. 145–153, 1999
- [Müll07] **Müller, M.:** Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen, Dissertation, Schriftenreihe Produktionstechnik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2007
- [Müll90] **Müller, J.:** Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Springer Verlag, Berlin, 1990
- [MyCar] **EU funded integrated project MyCar:** Flexible Assembly Processes for the Car of the 3rd Millenium, <http://www.mycar-project.eu>
- [Nak98] **Nakamura, M.; Sakakibara, S.; Schroeder, R.:** Adoption of just-in-time manufacturing methods at US- and Japanese-owned plants – Some empirical evidence, *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol. 45(3), S. 230–240, 1998
- [NonKo98] **Nonaka, I.; Konno, N.:** The Concept of "Ba": building a foundation of knowledge creation, *California Management Review*, Haas School of Business, University of Kalifornia, Berkeley, Vol. 40 (3), S. 40–55, 1998
- [NonTa98] **Nonaka, I.; Takeuchi, H.:** A Theory of the Firm's Knowledge-Creation Dynamics. In: Dupont, A.; Hagstrom, P.; Solvell, O. (Editor): *The Dynamic Firm: The Role of Technology, Strategy, Organization, and Regions*, Oxford Univ Pr, New York, 1998

-
- [North98] **North, K.:** Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998
- [Nöth04] **Nöth, G.:** Optimierung der automobilen Wertschöpfungskette mit Hilfe eines Genetischen Algorithmus. Shaker Verlag, Aachen, 2004
- [Nyh08] **Nyhuis, P.; Reinhart, G.; Abele, E.:** Wandlungsfähige Produktionssysteme: Heute die Industrie von morgen gestalten, PZH Produktionstechnisches Zentrum Verlag, 2008
- [Oem91] **Oemig, F.; Armin, B. C.; Gerhard, H.:** Wissensbasierte Textverarbeitung: Satz und Typographie; Möglichkeiten einer intelligenteren Textverarbeitung, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1991
- [Ovtch05] **Ovtcharova, J.; Weigt, M.; Seidel, M.:** Virtual Engineering – Handlungsbedarf und Lösungsansätze zur Prozess- und Systemintegration. In: Virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung. Tagungsband 7. Magdeburger Maschinenbau-Tage, Magdeburg, S. 9–14, 2005
- [Ovtch08] **Ovtcharova, J.:** Virtual Engineering – Teil I und II. Vorlesungsskript, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2008
- [PaBe07] **Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K-H.:** Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Entwicklung. Methoden und Anwendungen. Siebte Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007
- [Papa10] **Papakostas, N.; Efthymiou, K.; Chryssolouris, G.; Stanev, S.; Ovtcharova, O.; Schäfer, K.; Conrad, R. P.; Eytan, A.:** Assembly Process Templates for the Automotive Industry. In: Proceeding of the 3rd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, S. 151–156, 2010
- [Park08] **Park, J.; Simpson, T. W.:** Toward an activity-based costing system for product families and product platforms in the early stages of

-
- development. *International Journal of Production Research*, Vol. 46(1), S. 99–130, 2008
- [Paulz00] **Paulzen, O.:** Qualitätsorientierte Entwicklung von betrieblichen Wissensmanagement-Systemen, Universität Frankfurt am Main, Frankfurt, 2000
- [Picot1994] **Picot, A.; Maier, M.:** Ansätze der Informationsmodellierung und ihre betriebswirtschaftliche Forschung. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Vol. 46 (2), S. 107–126, 1994.
- [Port00] **Porter, M.:** Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten. Auflage 6, Campus Fachbuch Verlag, 2000
- [Prob97] **Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.:** Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1997
- [Puppe1991] **Puppe, F.:** Einführung in Expertensysteme; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1991.
- [Remu02] **Remus, U.:** Prozessorientiertes Wissensmanagement – Konzepte und Modellierung, Dissertation, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Regensburg, 2002
- [Rog09] **Rogalski, S.:** Entwicklung einer Methodik zur Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen, Dissertation, Reihe Informationsmanagement im Ingenieurwesen, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2009
- [Rous07] **Rouse-Talley, N.:** Can PLM make you lean, Society of Manufacturing Engineers, 2007
- [Sapu05] **Sapuan, S. M.:** Concurrent design and manufacturing process of automotive composite components, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 25(2), S. 146–152, 2005

-
- [Sapu06] **Sapuan, S.; Osman, M.; Nukman, Y.:** State of the art of the concurrent engineering technique in the automotive industry, Journal of Engineering Design, Vol. 17(2), S. 143–157, 2006
- [Sauer04] **Sauer, O.:** Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung, wt Werkstattstechnik online, Vol. 1/2, , S. 31–34, 2004
- [SaUz97] **Sanderson, S. W.; Uzumeri, M.:** Managing product families: The case of the Sony Walkman. Research Policy Journal, Elsevier, Vol. 24(5), S. 761–782, 1997
- [Schap05] **Schäppi, B.; Radermacher, F. J.; Andreasen, M.; Kirchgeorg, M.:** Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag, München Wien, 2005.
- [Scheer2001] **Scheer, A.-W.;** ARIS-Modellierungs-Methoden, Metamodelle, Anwendungen; Springer, Berlin, 2001
- [Schi02] **Schiller, E.:** Bis 2005 haben wir alle wesentlichen Eckpfeiler der Digitalen Fabrik. In: Pictures of the Future, Erlangen, S. 13–15, 2002
- [Schimm02] **Schimmelpfeng, K.:** Lebenszyklus-orientiertes Produktionssystemcontrolling – Konzeption zur Verfügbarkeitssicherung hoch automatisierter Produktionssysteme. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002
- [Schmidt00] **Schmidt, S.:** Innovative Produktentwicklungsstrategie: Design for Manufacture, Assembly, Service, Environment. In: TU International, Vol. 48/49, Berlin, 2000
- [Schmit94] **Schmitz, M.:** Flexibel automatisierte Fertigungssysteme. Bewertungsprobleme und Lösungsansätze., Dt. Univ.-Verlag, Wiesbaden, 1994
- [Schwa01] **Schwarze, J.:** Projektmanagement mit Netzplantechnik, Neue Wirtschafts-Briefe Verlag, Herne, 2001

-
- [Seu98] **Seufert, A.:** Wissensgenerierung und -transfer in Knowledge Networks. Knowledge Networks als Basis für die Steigerung der Lernfähigkeit von Unternehmen. In: IO Management, Handelszeitung Verlag, Zürich, Vol. 67(10), S. 76–84, 1998
- [Sihn05] **Sihn, W., Bischoff, J., Esterházy, M.:** Intelligent logistics for innovative product technologies as part of the EU 5-day-car initiative. In: Proceedings of the 38th International Seminar on Manufacturing Systems, Florianopolis, Brazil, 2005
- [Simp04] **Simpson, T. W.:** Product Platform Design and Customization- Status and Promise, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 18(1), S. 3–20, 2004
- [Simps06] **Simpson, T. W.; Marion, T.; de Weck, O.; Hölttä-Otto, K.; Kokkolaras, M.; Shooter, S. B.:** Platform-Based Design and Development: Current trends and needs in industry. In: Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences (IDETC)/Computers and Information in Engineering Conference (CIE), Philadelphia, 2006
- [Stanev08] **Stanev, S., Krappe, H., Abul Ola, H., Georgoulis K., Papakostas, N., Chrysolouris, G. and Ovtcharova, J.:** Efficient Change Management for the Flexible Production of the Future, In: Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 19(6), S. 712–726, 2008.
- [Stanev09a] **Stanev, S.; Awad, R.; Prieur, M.; Walla, W.; Pölz, S.; Ovtcharova, J.:** Production-oriented Product Validation Method as Support for the Reuse of Production Lines in the Automotive Industry. In: 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production, München, 2009
- [Stanev09b] **Stanev, S.; Walla, W.; Ovtcharova, J.:** Formal Method for Validation of Product Design through Knowledge Modelling. In: International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, Madeira, 2009

-
- [Stanev09c] **Stanev, S., Walla, W., Awad, R., Bittel, V., Ovtcharova, J.:** Formal Lifecycle Oriented Information Model to Support the Production Driven Product Validation. In: 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology, Springer Berlin/Heidelberg, S. 277–288, 2009
- [Stie99] **Stiegler, G.:** Produktionsplanung und Produktionssysteme im Fahrzeugbau, Manz Schulbuch Verlag, Wien, 1999
- [Teubne1999] **Teubner, A.:** Organisations- und Informationssystemgestaltung. Theoretische Grundlagen und integrierte Methoden; Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Tryp95] **Trybula, W.:** Development of Design of Manufacture. In: IEEE International Electronics Manufacturing Technology Symposium, S. 442–445, 1995
- [Vaj94] **Vajna, S.; Weber, C.; Schlingensiepen, J.:** CAD/CAM für Ingenieure. Hardware, Software, Strategien. Teubner Verlag, Braunschweig Wiesbaden, 1994.
- [Vit04] **Vitrián, E. S.:** Beitrag zur Ermittlung von Kosten und Nutzen der präventiven Qualitätsmethoden QFD und FMEA, Dissertation, Technische Universität Berlin, 2004
- [Vliet99] **Vliet, J.; Luttervelt, C.; Kals, H.:** State-of-the-art report on Design for Manufacturing. In: Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, Las Vegas, 1999
- [Web02] **Weber, F.; Wunram, M.; Kemp, J.; Pudlatz, M., Bredehorst, B.:** Knowledge as standard: Towards a common approach to KM in Europe – Part One. In: Knowledge Management, Vol. 5(9), S. 26–31, 2002
- [West03] **Westkämper, E.; Bierschenk, S.; Kuhlmann, T.:** Digitale Fabrik – nur was für die Großen? In: wt Werkstattstechnik, Nummer 1/2, S. 22–26, 2003

-
- [WeSu06] **De Weck, O.; Suh, E. S.:** Flexible Product Platforms: Framework and Case Study. In: Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences (IDETC)/Computers and Information in Engineering Conference (CIE), Philadelphia, USA, 2006
- [Wey08] **Weyand, L.; Bley, H.; Kaiser, J-M.; Meißner, R.; Bär, T.:** Production Oriented Design-Checks in Car Manufacturing – Not Only a Question of Powerful Validation Tools. In: Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 6th Conference, Neapel, 2008
- [Wien02] **Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Heger, C.:** Kontextsensitiver Einsatz von Virtual Reality im Rahmen der Digitalen Fabrik. 1-er Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung, HNI-Verlagsschriftreihe, Paderborn, 2002.
- [Wien93] **Wiendahl, H.-P.:** Betriebsorganisation für Ingenieure., Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993
- [Wilh97] **Wilhelm, B.:** Platform and Modular Concepts at Volkswagen – Their Effect on the Assembly Process. In: Shimokawa, K.; Jürgens, U.; Fujimoto, T. (Editor): Transforming Automobile Assembly: Experience in Automation and Work Organization. Springer Verlag, New York, S. 146–156, 1997
- [Winston1993] **Winston, P. H.:** Artificial intelligence; Addison-Wesley Verlag Reading, 1993.
- [Wöhe00] **Wöhe, G.; Döring, U.:** Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre; Franz Vahlen Verlag, München, 2005
- [WoSch05] **Wöhlke, G.; Schiller, E.:** Digital Planning Validation in automotive industry. In: Computers in Industry: The Digital Factory: An Instrument of the Present and the Future, Vol. 56(4), S. 393–405, 2005
- [Wom90] **Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.:** The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. HarperPaperbacks Verlag, New York, 1991

-
- [Zang70] **Zangemeister, C.:** Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Wittemann Verlag, München, 1970
- [ZetKa06] **Zetzl, K.; Käuper, V.:** Product Lifecycle Management: Informationsdrehzscheibe für den Produktlebenszyklus, HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, Heft 249, dpunkt.verlag, 2006

Standards und Normen

- [DIN-33400] **DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.** (Hrsg.): DIN 33400 – Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen; Begriffe und allgemeine Leitsätze.
- [DIN-66001] **DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.** (Hrsg.): DIN 66001 – Informationsverarbeitung: Sinnbilder und ihre Anwendung; Beuth Verlag, Berlin, 1983
- [DIN-8402] **DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.** (Hrsg.): DIN ISO 8402 – Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung, Begriffe, Beuth Verlag, Berlin, 1992
- [DIN-9000] **DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.** (Hrsg.): DIN EN ISO 9000 – Grundlagen und Begriffe zu Qualitätsmanagementsystemen; Beuth Verlag, Berlin, 1987
- [DIN-9001] **DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.** (Hrsg.): DIN EN ISO 9001 – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen; Beuth Verlag, Berlin, 2008
- [ISO-9505-1] **ISO, International Organization for Standardization: ISO/IEC** DIS 19505-1 – Information technology -- OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Version 2.1.2 -- Part 1: Infrastructure, 2008
- [REFA-85] **REFA, Verband für Arbeitsgestaltung und Betriebsorganisation e. V.** (Hrsg.): Methodenlehre des Arbeitsstudiums: Teil 3 Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung, Hanser Verlag, München, 1985

-
- [VDI-2221] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- [VDI-2223] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2223 – Methodisches Entwerfen technischer Produkte. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004.
- [VDI-2815] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): VDI-Norm 2815 – Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung: Einführung, Grundlagen, VDI Verlag, Düsseldorf, 1978
- [VDI-3633] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633 – Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen. VDI Verlag, Düsseldorf, 2006
- [VDI-4499] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure** (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4499 – Digitale Fabrik. Grundlagen. VDI Verlag, Düsseldorf, 2006
- [VDI-3905] **VDI, Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.):** Für durchgängige Prozesse fehlen klare Verantwortliche, VDI News, Vol. 39, S. 16, Düsseldorf, 2005