

Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Dalibor Dudic

aus Bietigheim-Bissingen

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult.
Engelbert Westkämper

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

Tag der mündlichen Prüfung: 11.11.2010

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2010

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

Dalibor Dudic



Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produkt- planung und -entwicklung

Nr. 499

Dr.-Ing. Dalibor Dudic

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN 978-3-939890-65-2

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2010.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart und am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung in Stuttgart.

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Engelbert Westkämper, der durch die Übernahme der Betreuung dieser Arbeit und seine herausfordernden Fragestellungen und kritischen Diskussionen zu aktuellen Themen aus Forschung und Industrie entscheidend zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen hat. Herrn Prof. Dieter Spath danke ich für die bereitwillige Übernahme des Mitberichts und die Durchsicht der Arbeit.

Für die fachliche und organisatorische Betreuung dieser Arbeit, die konstruktiven Diskussionen und die uneingeschränkte Unterstützung und Förderung meiner Person bin ich den Herren Dr. Andreas Bachhofer und Dr. Alexander Schloske zu besonderem Dank verpflichtet.

Stellvertretend für alle Personen, die mich während der Erstellung dieser Arbeit in Deutschland, Japan und den USA begleitet haben, gilt mein Dank den Herren Dr. Patrick Kim, Oliver Mannuß, Christian Mössner und Dr. Jörg Roscher. Nicht nur für Ihre fachlichen Anregungen und Hilfestellungen sondern vor allem für die gute Zeit.

Die Hilfe der Herren Jörg Sieverding und Willi Sopp – ohne die es nie zu dieser Arbeit gekommen wäre – bleibt unvergessen.

Meinen Eltern Zdenka und Jozo Dudic sowie meinem Bruder Dr. Ivan Dudic und dessen Frau Silke Dudic von Herzen Danke.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	16
Abkürzungsverzeichnis	17
1 Einleitung	22
1.1 Ausgangssituation	22
1.2 Problemstellung	26
1.3 Zielsetzung	27
1.4 Aufgabenstellung	29
1.5 Vorgehensweise	31
2 Gestaltung von Produkten und Montagesystemen im Umfeld dynamischer Märkte	32
2.1 Begriffliche Grundlagen	32
2.1.1 Definition des Produktbegriffs aus Markt- und Produktionssicht	33
2.1.2 Produktionssysteme als Zentrum des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses	35
2.1.3 Montagesysteme als zentrale Schnittstelle zwischen Markt und Produktentwicklung	36
2.1.4 Flexibilität als zentraler Wettbewerbsfaktor moderner Montagesysteme	39
2.1.5 Lerneffekte als systeminterne Wandlungstreiber in flexiblen Montagesystemen	41
2.1.6 Die Digitale Fabrik als Werkzeug für die Planung und Optimierung von Montagesystemen	46

2.2	Markt- und produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategien als Faktoren für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit	47
2.2.1	Das Modell des Produktlebenszyklus	48
2.2.2	Erfolgskritische Faktoren im Produktentstehungsprozess	50
2.2.3	Fazit: Markt- und produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategien als Faktoren für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit . . .	51
2.3	Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung	52
2.3.1	Klassische Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung	52
2.3.2	Kombinierte Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung	57
2.3.3	Fazit: Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung	57
2.4	Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung	59
2.4.1	Produktfokussierte Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung	60
2.4.2	Prozessfokussierte Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung	64
2.4.3	Fazit: Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung	66
2.5	Produktentwicklungsstrategien im Kontext der effizienten Nutzung von Flexibilitätsangeboten bestehender Montagesysteme	69
2.5.1	Anpassungsbefähiger als Gestaltungsparameter von Systemflexibilitäten in Montagesystemen	70
2.5.2	Personalflexibilität als strategieübergreifendes Flexibilitätsangebot von Montagesystemen	70
2.5.3	Volumenflexibilität und Flexibilitätsstrategien für Montagesysteme	70
2.5.4	Fazit: Produktentwicklungsstrategien im Kontext der effizienten Nutzung von Flexibilitätsangeboten in bestehenden Montagesystemen	72
2.6	Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierten Planung und Optimierung von Produktionssystemen	75
2.6.1	Entscheidungsunterstützungssysteme für Entscheidungen durch Optimierung	75
2.6.2	Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen	77
2.6.3	Fazit: Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen . . .	79

2.7	Zusammenfassung der Handlungsbedarfe und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	81
2.7.1	Zusammenfassung der Handlungsbedarfe	81
2.7.2	Eingrenzung des Untersuchungsbereichs der Arbeit	83
3	Konzeption des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung	85
4	Ausarbeitung des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung	92
4.1	Ausarbeitung des Marktmodells.	92
4.1.1	Definition der Eingangsgrößen des Marktmodells	93
4.1.2	Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Marktmodells	94
4.1.3	Modellierung der Ausgangsgrößen des Marktmodells	97
4.2	Ausarbeitung des Produktmodells.	98
4.2.1	Integration des EHPV-Verfahrens in das Produktmodell	99
4.2.2	Modellierung des produktkonzeptspezifischen Produktions- programms	100
4.3	Ausarbeitung des Montagesystemmodells	101
4.3.1	Definition der Eingangsgrößen des Montagesystemmodells	102
4.3.2	Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Montagesystemmodells.	103
4.3.3	Modellierung der Ausgangsgrößen des Montagesystemmodells	111
4.4	Ausarbeitung des Szenariomodells	113
4.4.1	Modellierung optionaler Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem	114
4.4.2	Modellierung szenariospezifischer Lerneffekte.	116
4.5	Ausarbeitung des Optimierungsmodells	118
4.5.1	Definition der Eingangsgrößen des Optimierungsmodells.	119
4.5.2	Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Optimierungsmodells.	120
4.5.3	Modellierung der Ausgangsgrößen des Optimierungsmodells	121
4.6	Ausarbeitung des Maßnahmenmodells	121
4.7	Umsetzung der Modellstruktur im Entscheidungsunterstützungssystem PULS	122
5	Validierung des Modells am Fallbeispiel.	129

5.1	Verifizierung des EHPV-Verfahrens im Rahmen von drei Studien in der Automobilindustrie.	130
5.1.1	Beschreibung der organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen bei der Durchführung der drei Studien	130
5.1.2	Beschreibung der Ergebnisse der drei Studien	131
5.2	Validierung des Modells am Beispiel der Neuentwicklung eines LKW-Cockpits . . .	141
5.2.1	Beschreibung der markt-, produkt- und montagesystemseitigen Rahmenbedingungen des Fallbeispiels	141
5.2.2	Abbildung des Fallbeispiels im Modell	145
5.2.3	Auswertung der Ergebnisse des Fallbeispiels.	152
5.3	Kritische Bewertung des Modells auf Basis der Ergebnisse des Fallbeispiels	159
6	Zusammenfassung und Ausblick	162
	Summary	167
	Literaturverzeichnis	169

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit westlicher Fabriken im 20. Jhd. durch das kontinuierliche Implementieren von Prinzipien der Lean Production (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE 2005)	23
Abb. 2	Neue Herausforderungen für Europas Fabriken im 21. Jhd. (PETRI 2004, VDA 2006, WESTKÄMPER 2006A, WESTKÄMPER 2007A)	24
Abb. 3	Ziele Vorgaben, Vorteile und Grenzen des Toyota Produktionssystems in Bezug auf die Herausforderungen des 21. Jhd. (BECKER 2006, DAIMLERCHRYSLER 2006, LIKER AT AL. 2007, TOYOTA 2006, ULE 2004, WESTKÄMPER 2006B)	25
Abb. 4	Regelkreis bestehender Systeme des Fabrik Life Cycle Managements gekennzeichnet durch fehlende Integration markt- und produktseitiger Stellhebel	27
Abb. 5	Integration der Wandlungstreiber Markt und Produkt als Stör-, Regel- und Steuergrößen in den Regelkreis des Fabrik Life Cycle Management	28
Abb. 6	Produkte aus der Sicht des Marktes und der Produktion	33
Abb. 7	Anteile der Montage an der Fertigungszeit und den Fertigungskosten bei der Herstellung industrieller Güter (CHOI ET AL. 2002)	36
Abb. 8	Allgemeine Montagefunktionen am Beispiel der Cockpit-Montage in der Automobilindustrie (in Anlehnung an REFA 1993)	37
Abb. 9	Mikro- und Makro-Arbeitssysteme als Subsysteme der Struktur von Montagesystemen.	38
Abb. 10	Betrachtete Flexibilitätsarten in Montagesystemen	40
Abb. 11	Schematische Darstellung von Lernkurven (KUNOW 2006)	43
Abb. 12	Anlaufkurve in einer produktflexiblen Montagelinie eines Nutzfahrzeugherstellers (EIGENE DATENAUFZEICHNUNG 2007)	45
Abb. 13	Ziele der Digitalen Fabrik (PETRI 2004, KLAUKE 2002)	46
Abb. 14	Das Modell des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an ARNOLD 2005, GAUSEMEIER ET AL. 2001)	48

Abb. 15	Einfluss der Produktentwicklung auf verschiedene Dimensionen des Fabrik Life Cycles (EHRENSPIEL ET AL. 2007, EIGENE DATENAUFZEICHNUNG 2008)	49
Abb. 16	Einflussfaktoren auf den Produkterfolg (GEISINGER 1999)	50
Abb. 17	Bewertung der Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung	58
Abb. 18	Bewertung der Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung	67
Abb. 19	Flexibilitätsstrategien für Montagesysteme	71
Abb. 20	Bedeutungsprofile der Produktentwicklungsstrategien im Kontext optionaler Flexibilitätsstrategien von Montagesystemen	73
Abb. 21	Bewertung der verschiedenen Entscheidungsunterstützungssysteme	80
Abb. 22	Konzeptionelle Struktur des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung	87
Abb. 23	Ablaufschema des Marktmodells	93
Abb. 24	Ablaufschema des Produktmodells	99
Abb. 25	Vereinfachte Darstellung des Produktlebenszyklus durch eine Exponentialfunktion	101
Abb. 26	Ablaufschema des Montagesystemmodells	102
Abb. 27	Ablaufschema des Szenariomodells	114
Abb. 28	Referenzmodell zur Modellierung szenariospezifischer Lerneffekte	117
Abb. 29	Ablaufschema des Optimierungsmodells	118
Abb. 30	Ablaufschema des Maßnahmenmodells	122
Abb. 31	PULS (Produktplanung und Fabrik Life Cycle Synchronisierung – Software und Entscheidungsunterstützungssystem)	123
Abb. 32	Optionale Marktlebenszyklusmodelle im PULS-Modul „Produkt“	124
Abb. 33	Optionale Flexibilitätsstrategien im PULS-Modul „Szenario“	126
Abb. 34	Identifikation Life Cycle-bezogene Maßnahmen zur dynamischen Anpassung kostenrelevanter Betriebsparameter.	127
Abb. 35	Überlagerung von entscheidungsrelevanten Größen für die Identifikation optimaler Konstellationen des Systems Markt-Produkt-Produktionssystem	128
Abb. 36	EHPV-Gesamtwerte der drei Untersuchungsobjekte CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienprodukt aus Studie 1	132
Abb. 37	EHPV-Werte der Montagefunktionen der drei Untersuchungsobjekte CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienprodukt aus Studie 1	133
Abb. 38	Untersuchungsobjekte der Studie 2	135
Abb. 39	EHPV-Gesamtwerte der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2	136
Abb. 40	EHPV-Werte der Montagefunktionen und Anzahl der Bauteile der Funktionsbaugruppe Türverkleidung der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2	137

Abb. 41	EHPV-Gesamtwerte, MV-Gesamtwerte und Gesamtmontagezeiten der Untersuchungsobjekte aus Studie 3	139
Abb. 42	EHPV-Werte, MV-Werte und Montagezeiten auf Arbeitsplatzebene des Untersuchungsobjekts 3 aus Studie 3	140
Abb. 43	Prognostizierte Stückzahlen der drei aktuellen im Montagesystem produzierten Cockpitvarianten	144
Abb. 44	Für die Kundenbefragung isolierte 16 Produktkonzepte des teilfaktoriellen Designs	145
Abb. 45	Ergebnisse der Kundenbefragung	146
Abb. 46	Nutzenwerte und EHPV-Gesamtwerte der Produktkonzepte einschließlich markt- und kundenoptimalem und EHPV-optimalem Produktkonzept	149
Abb. 47	Resultierende Stückzahlverläufe der Produktkonzepte	149
Abb. 48	Ausprägungen zentraler Betriebsgrößen vor und nach Optimierung des Produktionsbetriebs in PULS (Produktkonzept 124, vollflexibles Linienkonzept)	151
Abb. 49	Gegenüberstellung von Kundennutzen und Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten der Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem	152
Abb. 50	Gegenüberstellung von Kundennutzen und Basisinvest für die Installation neuer Montagelinien für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem	153
Abb. 51	Gegenüberstellung von Kundennutzen und Kosten für die Neuinstallation und den Umbau von Montage- und Prüfstationen für die Szenarien	153
Abb. 52	Gegenüberstellung von Kundennutzen und Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem	154
Abb. 53	Darstellung flexibilitätsstrategieinduzierter Synergiepotentiale zwischen Markt, Produkt und Montagesystem am Beispiel des Produktkonzepts 73	155
Abb. 54	Identifizierung produktinduzierter Synergiepotentiale zwischen Produkt und Montagesystem am Beispiel der PK 15, 4, 45, 79, 20, 58, 68, 73	155
Abb. 55	Abhängigkeiten zwischen produktkonzeptinduzierten EHPV-Gesamtwerten und durchschnittlichen Stückkosten für die PK 15, 4, 45, 79, 20, 58, 68, 73	156
Abb. 56	Gegenüberstellung von EHPV-Gesamtwerten und durchschnittlichen Stückkosten für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem	157
Abb. 57	Gegenüberstellung von Kundennutzen und durchschnittlichen Stückkosten für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem	157
Abb. 58	Montagezeitbezogene Lernkurven des Fabrik Life Cycle-optimalen, markt- und kundenoptimalen und EHPV-optimalen Produktkonzepts	157
Abb. 59	Gegenüberstellung von markt- und kundenoptimalen, stückkostenminimalen, EHPV-optimalen und Fabrik Life Cycle-optimalen Produktkonzepten	158

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Statische und dynamische Eingangsgrößen des Montagesystemmodells als Basis für die Ermittlung der periodenspezifischen Betriebskosten	103
Tab. 2	Steuergrößen des Optimierungsmodells zur Definition des nutzenbezogenen Freiheitsgrads möglicher Anpassungen des Montagebetriebs	119
Tab. 3	Komplexitätsreduktion durch organisatorische und technische Rahmenbedingungen des Montagebetriebs	120
Tab. 4	EHPV-Werte der Funktionsbaugruppen der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2	136
Tab. 5	Baugruppen und deren optionale Ausprägungen für die Generierung optionaler Produktkonzepte	142
Tab. 6	Detailergebnisse der Conjoint Analyse	147
Tab. 7	EHPV-Analyse der Wettbewerbsprodukte als Basis für die Definition von EHPV-Zielwerten auf Baugruppenebene	148

Abkürzungsverzeichnis

a	Ausprägung der Baugruppe		unabhängigen Mitarbeitern
A	Angebot	CAAPP	Computer-Aided Assembly Process Planning
\bar{a}	Konstruktive Ähnlichkeit [%]		
Abb.	Abbildung	CAD	Computer Aided Design
abh	abhängig	CAFD	Computer Aided Factory Design
ADAM	Assisted Design for Assembly	C_B	Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern
AI	Artificial Intelligence	$C_{B,AF}$	Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Fehlstandsausgleich
$A_{M,j}$	Marktanteil eines Produktkonzepts j [%]	$C_{B,B}$	Basisbedarf an Mitarbeitern
AP	Arbeitsplatz	$C_{B,dir}$	Kapazitätsbedarf an direkten Mitarbeitern
ASPEN	Assembly Sequence Planning and Evaluation System	$C_{B,indir}$	Kapazitätsbedarf an indirekten Mitarbeitern
$A_{L,j,q}$	Periodenspezifische Allokation der Produkte auf die Montagelinien	$C_{B,SS}$	Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Ausgleich von Stillstandszeiten
b	Lernparameter (WRIGHT)	$C_{B,TV}$	Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Ausgleich von Taktausgleichsverlusten
B	Bedarf	$C_{B,t_T-unabh}$	Kapazitätsbedarf an taktzeit-unabhängigen Mitarbeitern
c	Erfahrungsorientierter Lernparameter (SRI)	CFD	Computational Fluid Dynamics
CA	Conjoint Analyse	d	Tag
C_A	Kapazitätsangebot an Mitarbeitern	DACON	Design for Assembly Consultation
$C_{A,BT}$	Anzahl an Betriebstagen [d]	DES	Discrete Event Simulation
$C_{A,BN}$	Betriebsnutzungszeit des Montagesystems [h]	DFA	Design for Assembly
C_{A,t_T-abh}	Kapazitätsangebot an taktzeit-abhängigen Mitarbeitern	dir	direkt
$C_{A,t_T-unabh}$	Kapazitätsangebot an taktzeit-		

DMU	Digital Mock-up	j_{FLC}	Fabrik Life Cycle-optimales Produktkonzept
D_n	Entscheidung	j_{k_e}	Stückkostenminimales Produktkonzept
DYNAMO	Dynamic Digital Mock-Up	j_{Markt}	Markt- und kundenoptimales Produktkonzept
EHPV	Engineered Hours Per Vehicle	$k(n)$	Kosten der n-ten produzierten Einheit (WRIGHT) [EUR]
$EHPV_j$	EHPV Gesamtwert des Produktkonzepts j [min]	k_2	Situationspezifische Konstante (WRIGHT)
$EHPV_{v_{jp}}$	EHPV Wert der Baugruppe p des Produktkonzepts j [min]	$K_{Anpassung, FLC}$	Fabrik Life Cycle-bezogene Anpassungskosten [EUR]
e_i	Regeldifferenzen	$K_{Anpassung, operativ, t}$	Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs in der Periode t [EUR]
EUR	Euro	$K_{Anpassung, Umbau}$	Kosten für den Umbau des bestehenden Montagesystems [EUR]
f	Flexibilitätsstrategie des Montagesystems	$K_{Anpassung, y_i}$	Anpassungskosten bei der Variation der Steuergröße y_i [EUR]
F&E	Forschung und Entwicklung	$K_{Betrieb, t}$	Periodenbezogene Betriebskosten des Montagesystems [EUR]
$F(y_{Per})$	Minimierungsfunktion der Steuergrößen des Modells	K_e	Durchschnittliche Stückkosten über den Life Cycle [EUR]
FLC	Fabrik Life Cycle	$K_{L,neu}$	Basisinvest für die Installation einer neuen Montagelinie [EUR]
$f_p(v_{jp})$	Bewertungsfunktion für die Baugruppe p	$K_{MA, dir}$	Kosten für einen direkten Mitarbeiter je Periode [EUR]
GMZ	Gesamt-Montagezeit	$K_{MA, indir}$	Kosten für einen indirekten Mitarbeiter je Periode [EUR]
H	Hersteller	$K_{Station,neu}$	Kosten für Neuinstallation einer Montagestation [EUR]
H&S	HERNANI & SCARR	$K_{Station, Umbau}$	Kosten für den Umbau einer bestehenden Montagestation [EUR]
i	Befragter, potentieller Kunde	KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
ID	Identification	L	Montagelinie
IDAERS	Integrated Design For Assembly Evaluation And Reasoning System	LC	Life Cycle
IDAP	Integrated Design and Assembly Planning		
IKoF	Modell der integrierten Konzeptfindung		
IMAPS	Integrated Manufacturing Assembly Planning System		
$indir$	indirekt		
IT	Information Technology		
j	Produktkonzept		
J	Maximale Anzahl von Produktkonzepten		
j_{EHPV}	EHPV-optimales Produktkonzept		

L_{tarif}	Zu leistende tariflich festgelegte Löhne und Gehälter [EUR]	PPS	Produktionsplanung und -steuerung
MA	Mitarbeiter	ProKon	Produktionsgerechte Konstruktion
MAEs	Maschinen, Anlagen und Einrichtungen	ProSerf	Prozessstrukturierungshilfe zur Produkt- und Servicekonzept-Findung
MarkPro	Marktorientierte Produktentwicklung	PULS	Produktplanung und Fabrik Life Cycle Synchronisierung – Software und Entscheidungsunterstützungssystem
max	Maximum	q	Produkt des aktuellen Produktprogramms
min	Minimum	$Q(n)$	Aktuell produzierter Output (LEVY)
MOKOKO	Montagegerechte Konstruktion	q_0	Produzierter Output zum Zeitpunkt des Anlaufs (LEVY)
MTM	Methods Time Measurement	R	Regler
MUC	Maximum-Utility-Choice	Ref	Experimentell ermittelte Referenz-Einflussfaktoren
MV	Manufacturing Variable [min]	S	Schicht
n	Anzahl	S_R	Regelstrecke
n_E	Kumulierte Stückzahl zum Start der Steady-State-Phase (BALOFF)	S_M	Schichtmodell
n_s	Anzahl an Schichten	SO	Standort
$n_{Stationneu}$	Anzahl neu installierter Montagestationen	SOP	Start Of Production
$n_{StationUmbau}$	Anzahl umgebauter Montagestationen	spez.	Spezifisch
o	Szenario	SPSS	Superior Performing Software Systems
O	Maximale Anzahl von Szenarien	SRI	STANFORD-RESEARCH-INSTITUT
OEM	Official Equipment Manufacturer	S-S-P	Steady-State-Phase
\vec{o}_f	Szenario-Eigenschaftsvektor der Flexibilitätsstrategie f	STAAT	STANford Assembly Analysis Tool
\vec{o}_j	Szenario-Eigenschaftsvektor des Produktkonzepts j	STEP	STANDARD for the Exchange of Product model data
\vec{o}_q	Szenario-Eigenschaftsvektor des aktuellen Produkts q	Tab.	Tabelle
$\vec{o}_{j, q, f}$	Szenariovektor	t	Zeit, Periode
OLS	Ordinary Least Squares	$t_{A, tarif}$	Tariflich festgelegtes Kapazitätsangebot an Arbeitszeit [min]
P	Maximal produzierbarer Output (LEVY)	t_B	Kapazitätsbedarf an Arbeitszeit [min]
p	Baugruppe	t_e	Montagezeit einer Einheit [min]
p.a.	Pro Jahr	$t_{e, aktuell}$	Aktuelle Montagezeit [min]
PDES	Product Data Exchange using STEP	$t_{e, j}$	Montagezeit des Produktkonzepts j [min]
PLM	Product Life Cycle Management		

$t_{e, q}$	Montagezeit des Produkts q [min]		der Periode t
$t_{e, v_{jp}}$	Montagezeit der Baugruppe p des Produktkonzepts j [min]	$V_{M, glatt, max, t}$	Maximal zulässige Programmverschiebung in der Periode t
$t_{e, S-S-P}$	Montagezeit zum Eintritt in die Steady-State-Phase [min]	$V_{M, j}$	Gesamt-Absatzmenge des Produktkonzepts j
TQM	Total Quality Management	$V_{M, q}$	Gesamt-Absatzmenge des aktuellen Produkts q
t_S	Produktionszeit je Schicht [min]	$V_{M, t}$	Produktionsvolumen in der Periode t
t_{S-S-P}	Szenariospezifischer Startzeitpunkt der Steady-State-Phase [d]	$V_{M, t, j}$	Produktionsvolumen des Produktkonzepts j in der Periode t
$t_{T, L}$	Taktzeit der Montagelinie [min]	$V_{M, t, j, L}$	Absatzmenge des Produktkonzepts j montiert auf der Montagelinie L
$t_{T, min, L}$	Minimale Taktzeit der Montagelinie [min]	$V_{M, t, q}$	Produktionsvolumen des Produkts q in der Periode t
t_{tarif}	Tariflich festgelegte Arbeitszeit je Mitarbeiter [min]	$V_{M, t, q, L}$	Absatzmenge des aktuellen Produkts q montiert auf der Montagelinie L
t_{ver}	Real verfügbare Arbeitszeit [min]	w	Wettbewerber
t_{ZK}	Je Periode auf das Arbeitszeitkonto verbuchte Über- beziehungsweise Unterstunden [h]	W_i	Führungsgrößen
$t_{ZK, max}$	Maximal zulässiger Betrag des Arbeitszeitkontos [h]	x_{ajp}	Binärvariable des Teilnutzenwertmodells
UAS	Universelles Analysier-System	x_i	Regelgrößen
U_{ij}	Nutzen des Produktkonzepts j für den potentiellen Kunden i	y_i	Steuergrößen
\hat{U}_{ij}	Schätzung des Gesamtnutzenwerts, den der Kunde i dem Produktkonzept j zuschreibt	$y_{i, t}$	Periodenbezogener Zustand der Steuergrößen
<i>unabh</i>	unabhängig	$y_{i, t-1}$	Zustand der Steuergrößen in der Periode $t-1$
UO	Untersuchungsobjekt	Z_i	Störgrößen
VBA	Visual Basic for Applications	Z_S	Zu leistende Schichtzuschläge je Periode [EUR]
vgl.	Vergleiche	$Z_{\hat{U}}$	Zu leistende Überstundenzuschläge je Periode [EUR]
V_{glatt}	Programmverschiebung	α_L	Plattformbelegung der Montagelinie [%]
\vec{v}_j	Eigenschaftsvektor des Produktkonzepts j	$\hat{\beta}_{i0}$	Geschätzter Basisnutzen
v_{jp}	Ausprägung der Baugruppe p bei Produktkonzept j	β_{iap}	Teilnutzen der Ausprägung a der Baugruppe p
V_M	Potentiell Gesamt-Marktvolumen		
$V_{M, glatt, t}$	Geglättetes Produktionsvolumen in		

$\hat{\beta}_{iap}$	Geschätzter Teilnutzwert der Ausprägung a der Baugruppe p für den potentiellen Kunden i
β_L	Bandvorlauf der Montagelinie [%]
δ_{ind}	Anteil indirekter Mitarbeiter [%]
ε	Fehlstand an Mitarbeitern [%]
κ	MV-basierter Montage-Effizienzfaktor [%]
λ	Faktor zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholungszeiten [%]
μ	Lernspezifischer Parameter (LEVY)
ϕ_L	Operative Auslastung der Montagelinie [%]
φ_L	Verfügbarkeit der Montagelinie [%]
χ_L	Taktausgleichsverlust der Montagelinie [%]
ψ	Funktionale Beziehung der Bewertungsfunktionen $f_p(v_{ijp})$

1 Einleitung

Die Umwelten, in denen produzierende Unternehmen agieren, haben sich in den vergangenen drei Jahrzehnten drastisch verändert (EVERSHEIM ET AL. 2005). Ein zentraler Auslöser dieser Entwicklungen ist die zunehmende Migration von Produktion und Konsum technischer Produkte aus den traditionellen Triademärkten USA, Westeuropa und Japan in sich entwickelnde Regionen wie Osteuropa, China und Indien (JOVANE ET AL. 2009, WESTKÄMPER 2006A). Galten zu Beginn der neunziger Jahre fast ausschließlich niedere Lohnkosten als Grund für Produktionsverlagerungen kommen heute Verlagerungsentscheidungen immer höhere strategische Bedeutung zu (KINKEL ET AL. 2007). Marktforschungen zeigen, dass globale Produktionsnetzwerke und -verlagerungen als Optionen betrachtet werden, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, Arbeitsplätze im Inland zu sichern und die Markterschließung durch kundennahe Produktion vor Ort zu verbessern (ABELE ET AL. 2006, ERNST & YOUNG 2004, KPMG 2005, LAY ET AL 2004).

1.1 Ausgangssituation

Seit Beginn der siebziger Jahre ist eine kontinuierliche Zunahme des Marktanteils japanischer Automobilhersteller an den zuvor durch US und europäischen OEMs dominierten globalen Absatzmärkten zu verzeichnen (BECKER 2006). Diese Entwicklung in einem von FORD geprägten Zeitalter der Massenproduktion brachte Anfang der achtziger Jahre Druck auf die westlichen Industrien und Regierungen auf, die Gründe für den Erfolg japanischer OEMs zu ermitteln und Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit zu definieren (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE 2005). Die Antworten auf die Fragen nach dem Erfolg japanischer Hersteller lieferten vier große Studien: The Production Cost Benchmarking (1980), The HARBOUR Report

Hersteller	Jap.OEM	Lernbereiche (Beispiele)		
		Produktion	F&E	Lieferantenmngt.
General Motors	Toyota	X		
	Isuzu			
	Suzuki			
Chrysler	Mitsubishi	X		
	Honda	X	X	X
Ford	Mazda	X	X	X
	Toyota	X		
	Nissan	X	X	

- ◆ Lernfenster
- Aneignen von Methoden
- ▲ Durchdringen des Marktes

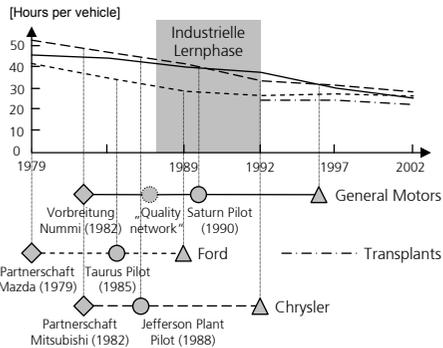


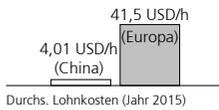
Abb. 1: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit westlicher Fabriken im 20. Jahrhundert durch das kontinuierliche Implementieren von Prinzipien der Lean Production (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE 2005)

(1980-heute), The International Vehicle Project (IMVP) (1990) und die J.D. POWER Quality Survey (1980-heute). Die in den Studien aufgezeigte Produktivitätskluft zu den Fabriken japanischer OEMs läutete das Ende der Massenproduktion ein und trug entscheidend zum weltweiten Aufstieg der von TOYOTA geprägten Lean Production bei (FUJIMOTO 2004, KENNEDY 2003).

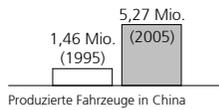
Als einer der zentralen Faktoren des Unternehmenserfolgs TOYOTAS ist das von TAIICHI OHNO in den fünfziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts eingeführte TOYOTA Produktionssystem aufzuführen (FUJIMOTO 2004, KENNEDY 2003, LIKER ET AL. 2007, SPEAR ET AL. 1999, WOMACK ET AL. 1990). Der Grundsatz des TOYOTA Produktionssystems ist es, durch die frühzeitige und gründliche Beseitigung von Verschwendung, die kontinuierliche Verbesserung und Konzentration auf die Wertschöpfung sowie die Standardisierung von Arbeitsprozessen und Produkten die Kosten in der Produktion bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität permanent zu reduzieren (BECKER 2006, MCBRIDE 2004, OHNO 1993, SPEAR ET AL. 1999, VAGHEFI 2001). Um zu TOYOTA aufzuschließen, integrierten die nordamerikanischen und europäischen Hersteller in den vergangenen Jahrzehnten die Prinzipien, Instrumente und Praxisroutinen des TOYOTA Produktionssystems in ihre eigenen Fabriken (WILK ET AL. 2008). Die dadurch realisierten Effizienzsteigerungen trugen nachhaltig zu einer Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Volumenproduktion bei (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE 2005).

Heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, stehen Europas Fabriken neuen Herausforderungen gegenüber: Steigende Lohnkosten, rasante Industrialisierung von Entwicklungsländern, zunehmender globaler Konkurrenzdruck, steigende Nachfrage nach individualisierten Produkten und eine kontinuierliche Migration von Produktion, Verbrauch und Technologie sind hier repräsentativ

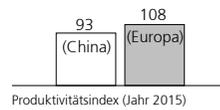
Steigende Lohnkosten in den westlichen Industriestaaten



Steigende Industrialisierung von Entwicklungsländern



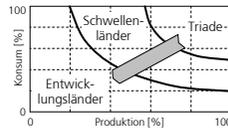
Steigender Konkurrenzdruck aus dem In- und Ausland



Fabrik als Produkt



Steigende Migration von Produktion und Verbrauch



Steigende Anforderungen an die Individualisierung der Produkte

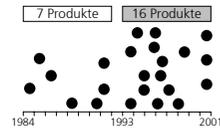


Abb. 2: Neue Herausforderungen für Europas Fabriken im 21. Jhd. (PETRI 2004, VDA 2006, WESTKÄMPER 2006A, WESTKÄMPER 2007A)

für eine Vielzahl veränderter Rahmenbedingungen zu nennen (ABELE ET AL. 2007, JOVANE ET AL. 2009, MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE 2005, PETRI 2004, VDA 2006, WESTKÄMPER 2006A). Unter diesen Rahmenbedingungen wird es für die westlichen Industriestaaten trotz Implementierung TOYOTAs Lean Prinzipien in zunehmendem Maße schwieriger, in den Bereichen wettbewerbsfähig zu bleiben, in denen die Lohnkosten einen hohen Anteil an den Herstellungskosten ausmachen (MANUFUTURE 2006). Die Produktion einfacher, modular aufgebauter Produkte, die standardisierte Arbeitsinhalte und eine fließende Produktion ermöglichen, wird zunehmend in Billiglohnländer ausgelagert. Sich auf Produktionsbereiche zu konzentrieren, die hoch spezifisches Fachwissen benötigen und bei denen die Lohnkosten keinen Hauptfaktor darstellen wird der beste Weg sein, den produzierenden Sektor in Hochlohnländern wie Deutschland zu erhalten (KUIVANEN 2006). Dies wird am ehesten im Bereich der kundenindividualisierten, innovativen Gebrauchs- und Investitionsgütern gelingen (JENDOUBI 2007, VDA 2006).

Einzel- und Kleinserienfertigungen, geringe Produktionsvolumina, große Variantenvielfalt, der Bedarf an erhöhter Wandlungsfähigkeit von Strukturen sowie innovativen Produkt- und Fertigungstechnologien sind dabei charakteristisch für die in diesem Marktsegment vorliegenden Rahmenbedingungen (WEBER ET AL. 2006). Wie in Abbildung 3 dargestellt weisen die Vorgaben des TOYOTA Produktionssystems jedoch genau unter diesen Bedingungen ihre Grenzen hinsichtlich der Schaffung nachhaltiger Wettbewerbsvorteile auf (WESTKÄMPER 2007B). Eine volle Umsetzung des auf Standardisierung und Vereinfachung von Produkten und Abläufen basierenden TOYOTA Produktionssystems ist somit nur noch bedingt möglich (LÖLLMANN ET AL. 2007, WILK ET AL. 2008).

Für den Wandel der europäischen Industrie weg von einer ressourcenintensiven hin zu einer

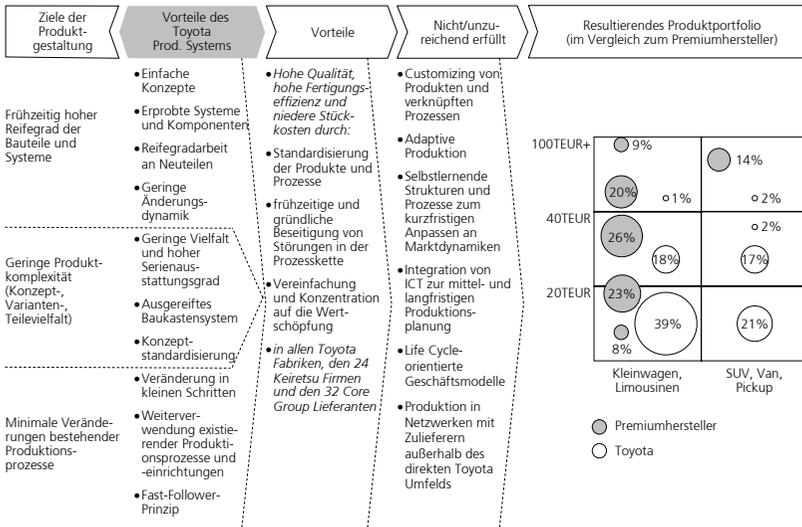


Abb. 3: Ziele, Vorgaben, Vorteile und Grenzen des TOYOTA Produktionssystems in Bezug auf die Herausforderungen des 21. Jhd. (BECKER 2006, DAIMLERCHRYSLER 2006, LIKER AT AL. 2007, TOYOTA 2006, ULE 2004, WESTKÄMPER 2006b)

wissensbasierten und nachhaltigen industriellen Umgebung, bedarf es deshalb neuer Ansätze für die Produktion der Zukunft, mit denen die Grenzen von TOYOTAs Lean Production Paradigmas überschritten werden können (KAPP ET AL. 2006, WESTKÄMPER 2007b). Der Schlüssel zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit liegt dabei in der Entwicklung von neuen, ganzheitlichen Konzepten für wissensbasierte Fabriken, die selber als Produkte anzusehen sind (MANUFUTURE 2007). Angesichts der langen Lebensdauer des Produkts „Fabrik“ müssen sich diese selbstständig und kontinuierlich an die Anforderungen und Aufgaben sich permanent ändernder Marktanforderungen, sowie ändernder Produkt- und Produktionstechnologien anpassen, um bestehen zu können (IFF 2007, MANUFUTURE 2007). Für eine wirtschaftliche Nutzung der betrieblichen Produktionssysteme ergibt sich daraus das Problem, den externen Wandlungsdruck durch kontinuierliche Anpassungen des Produktspektrums als auch der innerbetrieblichen Ressourcen auffangen zu müssen (ROSCHER 2008, WESTKÄMPER 2003).

1.2 Problemstellung

Wesentlich bei der Fabrik Life Cycle-orientierten Planung und Optimierung von Produktionen ist die Frage nach dem Verhalten der Systeme in der Zukunft: Welche Auswirkungen haben globale Ereignisse sowie externe und interne Wandlungstreiber auf die Produktion und welche Änderungen sind zu welchem Zeitpunkt am System notwendig, um auch unter verschärften Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig produzieren zu können (WESTKÄMPER 2007C)? Als zentrale markt- und entwicklungsinduzierte Wandlungstreiber agieren dabei die im Verlauf des Fabrik Life Cycles zu produzierenden Produkte (EVERSHEIM ET AL. 2005). Durch deren konstruktive Gestalt und marktseitig geforderten Produktionsvolumen werden maßgeblich der Änderungsbedarf, Anforderungen an die Flexibilität installierter Kapazitäten sowie die Betriebskosten bestehender Produktionssysteme bestimmt (ROSCHE 2008, WEMHÖNER 2005, WESTKÄMPER ET AL. 2005). Um gezielt Synergiepotentiale zwischen den Produkttechnologien und den technischen Strukturen und Ressourcen bestehender Produktionssysteme zu aktivieren sind zukunftsorientierte Produktionsstrukturen auf eine hohe Integration der strategischen Produktplanung und -entwicklung ausgerichtet (WESTKÄMPER 2007C). Ein nachhaltiges, den gesamten Produktentstehungsprozess erfassendes Fabrik Life Cycle Management und Controlling kann somit nur realisiert werden, wenn die im realen Betrieb erfassten Informationen und gewonnenen Erfahrungen als Input und Richtungsgeber bei der strategischen Planung und Entwicklung neuer Produkte agieren (IFF 2007).

Die Basis des heutigen Fabrik Life Cycle Management bilden die Methoden, Werkzeuge und Systeme der Digitalen Fabrik und des digitalen Engineering. Diese im Rahmen verschiedener wissenschaftlicher Veröffentlichungen beschriebenen Systeme sind darauf ausgelegt, Fabriken bei der Sicherstellung ihrer kurz-, mittel- und langfristigen Wirtschaftlichkeit und einer schnellen Entscheidungsfindung zu unterstützen (NIEMANN 2007, ROSCHER 2008, WEMHÖNER 2005). Im Mittelpunkt der Systeme steht dabei das echtzeitfähige digitale Unternehmensmodell, das so genannte Fabrikcockpit. Dieses stellt eine hierarchische Abbildung aller im Unternehmen vorhandenen Strukturen und Ressourcen dar und ist dynamisch und selbstadaptierend (KAPP ET AL. 2006). Ziel der Anwendung ist eine Verkürzung der Planungsprozesse bei gleichzeitiger Reduktion der Stückkosten durch permanente Adaption der Strukturen und Ressourcen des Produktionssystems an die sich dynamisch ändernden Rahmenbedingungen (NIEMANN 2007).

Als wesentlicher Nachteil der bestehenden Systeme für das Fabrik Life Cycle Management ist die fehlende Integration markt- und entwicklungsbezogener Sichtweisen und Stellhebel in den ganzheitlichen Optimierungsprozess aufzuführen (SCHUBERT 2007, WEMHÖNER 2005). Vom Markt geforderte und von der Produktentwicklung konstruktiv umgesetzte Produkte werden als unveränderliche Wandlungstreiber behandelt. Dies führt dazu, dass die zentralen Wandlungstreiber des Fabrik Life Cycles nicht frühzeitig identifiziert, bewertet und vor dem Hintergrund einer präventi-

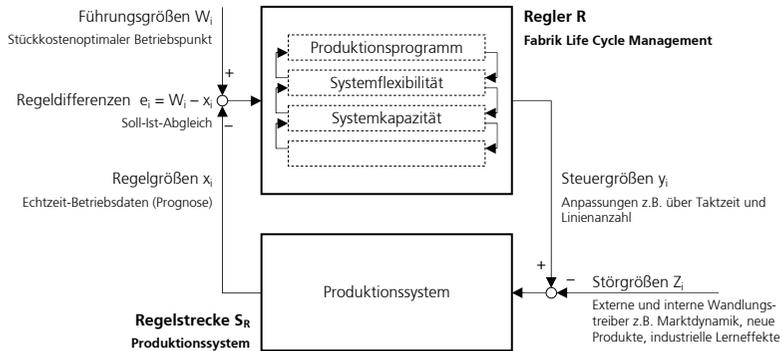


Abb. 4: Regelkreis bestehender Systeme des Fabrik Life Cycle Managements gekennzeichnet durch fehlende Integration markt- und produktseitiger Stellhebel

ven Optimierung der Effizienz bestehender Produktionssysteme angepasst werden können. Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass eine auf den dynamischen, markt- und produktgetriebenen Fabrik Life Cycle bezogene Bewertung, Auswahl und konstruktive Anpassung von Produktkonzepten in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses durch die heute existierenden Modelle des Fabrik Life Cycle Management nicht unterstützt wird.

Um vor dem oben beschriebenen Hintergrund frühzeitig richtige Entscheidungen über kostenoptimale Konfigurationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem zu treffen, müssen die zentralen externen und internen Wandlungstreiber auf den Fabrik Life Cycle modelliert und in den Regelkreis mit einbezogen werden (WEMHÖNER 2005). Entscheidungen, in welchem Maße in die Umsetzung von Kundenanforderungen investiert werden soll, erfordern als Grundlage eine Analyse und Gegenüberstellung des produktinduzierten Kundennutzens und der zur Erstellung dieses Kundennutzens im bestehenden Produktionssystem entstehenden Mehrkosten.

1.3 Zielsetzung

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, die Forderungen nach permanenter Adaption und Optimierung von Produktionssystemen als Antwort auf sich turbulent ändernde Marktbedingungen frühzeitig in den Produktentstehungsprozess zu integrieren. Dazu soll im Rahmen dieser

Arbeit ein operables Instrumentarium entwickelt werden, mit dessen Hilfe der Planungs- und Entwicklungsprozess innovativer, kundenindividueller Produkte in Bezug auf die Anforderungen des Marktes und der produktinduzierten, Life Cycle-bezogenen Anpassungs- und Betriebskosten des Produktionssystems optimiert wird. Mit dem zu entwickelnden Instrumentarium sollen die Auswirkungen zentraler markt- und produktinduzierter Wandlungstreiber auf den Life Cycle bestehender Produktionssysteme in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses identifiziert und systematisch Maßnahmen zur Erzielung bestmöglicher Synergien zwischen Produktstrukturen und den Strukturen bestehender Produktionssysteme abgeleitet werden.

Zur Aktivierung von Synergiepotentialen zwischen den zukünftig zu produzierenden Produkten und den technischen Strukturen und Ressourcen bestehender Produktionssysteme sollen die externen Wandlungstreiber Markt und Produkt als Stör-, Regel- und Steuergrößen in den Regelkreis des Fabrik Life Cycle Management integriert werden.

Um die durch die Integration eines in der strategischen Planungsphase generierten Produktkonzepts resultierenden, Fabrik Life Cycle-bezogenen Aufwendungen quantifizieren zu können, muss die Leistungsfähigkeit des zu untersuchenden Produktionssystems durch das aktuelle Niveau der Anpassungs- und Betriebskosten ausgedrückt werden.

Prognosen zur stückkostenoptimalen Konstellation des Systems Produkt-Produktionssystem sollen zur Ableitung konstruktiver, echtzeitbasierter Empfehlungen für die Reduktion von Fertigungskosten der generierten Produktkonzepte verwertet werden.

Neben dem Einsatz im Kontext einer Fabrik Life Cycle-orientierten Produktplanung und -entwicklung soll das Instrumentarium gleichermaßen zur präventiven, kontinuierlichen Systemoptimierung bestehender Produktionssysteme verwendet werden.

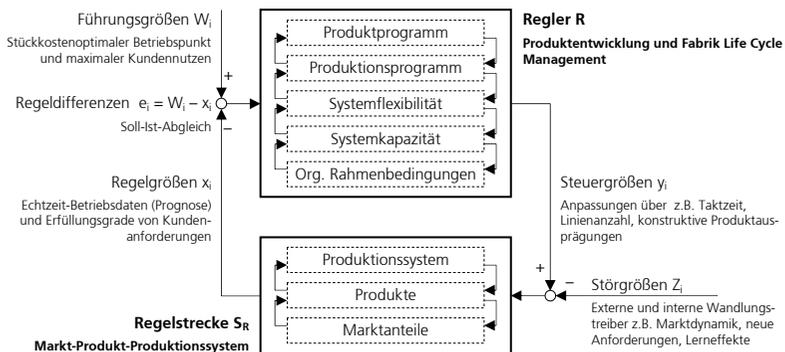


Abb. 5: Integration der externen Wandlungstreiber Markt und Produkt als Stör-, Regel- und Steuergrößen in den Regelkreis des Fabrik Life Cycle Management

Zur Sicherstellung einer hohen Akzeptanz bei dem interdisziplinären Anwenderkreis soll zur Umsetzung des Instrumentariums auf bestehende Systeme und Werkzeuge der markt- und produktionsorientierten Produktentwicklung sowie des Life Cycle Managements von Produktionssystemen zurückgegriffen werden.

Auf Grund der Vielschichtigkeit und der Komplexität der zu berücksichtigenden Systemzusammenhänge soll das zu entwickelnde Instrumentarium in einer Simulationsumgebung umgesetzt werden. In dieser sollen die Wirkzusammenhänge des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem IT-gestützt modelliert und bewertet werden.

1.4 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung ergibt sich als Aufgabenstellung die Entwicklung eines Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung. Mit Hilfe des zu entwickelnden Modells soll der Einfluss verschiedener Produktkonzepte auf den Life Cycle bestehender Produktionssysteme frühzeitig bewertet werden. Als Bewertungsgrundlage soll hierfür die Prognose erforderlicher Anpassungs- und Betriebskosten dienen. Die Prognose konzeptspezifischer Anpassungs- und Betriebskosten soll dabei auf der Simulation des kostenoptimalen Entscheidungsverhaltens der operativen Produktionsplanung über der Zeit basieren. Aufbauend auf den Prognoseergebnissen sollen konstruktive, produktkonzeptbezogene Verbesserungsmaßnahmen identifiziert werden. Der Fokus soll hierbei auf der Erhöhung des produktkonzeptspezifischen Kundennutzens bei gleichzeitiger Optimierung der Synergien zu den Strukturen und Ressourcen des bestehenden Produktionssystems liegen. Zur Schaffung einer validen Bewertungsgrundlage sollen neben der Berücksichtigung marktinduzierter Dynamiken der Nachfrage die im realen Betrieb von Produktionssystemen erfassten Daten, verfügbare produktionsseitige Flexibilitätsangebote und optionale Anpassungsmöglichkeiten vorhandener Strukturen und Kapazitäten berücksichtigt werden. Um dieses Ziel zu erreichen muss das Modell die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

Das zu entwickelnde Modell muss in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses anwendbar sein. Da das Modell sowohl Aspekte der Produktplanung und -entwicklung beleuchtet als auch für das operative Controlling des Betriebs von Produktionssystemen geeignet sein muss, muss das Modell gleichermaßen von Strategen und Entwicklern sowie Controllern und Produktionsplanern anwendbar sein.

Zur Prognose des Verhaltens des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem, unter

Einwirkung externer und interner Wandlungstreiber, bedarf es einer Synchronisierung der drei Subsysteme Markt, Produkt und Produktionssystem. Hierzu müssen Referenzmodelle generiert und in einem Regelkreis verknüpft werden. Im Vordergrund muss hierbei die Standardisierung der Methodensprache stehen, die die Basis für den Informationsaustausch zwischen den Modellen bildet. Des Weiteren müssen die Modelle so formuliert werden, dass die Integration bestehender Systeme und Werkzeuge der markt- und produktorientierten Produktentwicklung sowie des Life Cycle Managements von Produktionssystemen über systeminterne Schnittstellen gewährleistet ist.

Das Modell muss als primäre Eingangsgröße ein kundenorientiertes Abbild des Absatzmarktes bereitstellen. Neben den Informationen zu zukünftigen Absatzzahlen der aktuell im betrachteten Produktionssystem gefertigten Produkte müssen die an neue Produkte gestellten Kundenanforderungen identifiziert werden. Basierend auf den identifizierten Anforderungen müssen Produktkonzepte generiert und Prognosen zu konzeptspezifischen Marktanteilen und zeitlich bezogenen Stückzahlen geliefert werden.

Zur Prognose der durch verschiedene Produktkonzepte im Produktionssystem induzierten Fertigungszeiten müssen die markt- und kundenbezogenen Eingangsinformationen in produktionsbezogene Informationen auf Baugruppenebene konvertiert werden.

Die Life Cycle-orientierte Modellierung des Produktionssystems muss auf einer Abbildung der im Realbetrieb auftretenden Interaktionen zwischen markt-, produkt- und standortspezifischen Einflussgrößen sowie industriellen Lerneffekten basieren. Hierzu müssen die zeitabhängig verfügbaren Kapazitäten und Flexibilitäten der Ist-Konstellation des Produktionssystems abgebildet werden. Vor dem Hintergrund der Integration neuer Produkte in das Produktionssystem ist der Freiheitsgrad möglicher Anpassungen der installierten Kapazitäten durch die jeweils vorliegenden technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen einzuschränken. Zur Modellierung aufkommender Lerneffekte müssen markt-, produkt- und organisationsinduzierte Veränderungstreiber in ihrer wechselseitigen Beziehung erfasst und bewertet werden.

Um die zukünftigen Sollkapazitäten des Produktionssystems prognostizieren zu können, müssen im Modell alle ressourcenrelevanten Informationen über zukünftige Produktionsprogramme aufgelöst werden. Hierzu müssen Szenarien generiert werden, die den Einfluss von Marktdynamiken auf die zu produzierenden Stückzahlen darstellen.

Um die Life Cycle-orientierte, stückkostenoptimale Systemkonfiguration des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem zu bestimmen, muss im Modell eine Bewertung von Lösungsalternativen hinsichtlich resultierenden Anpassungs- und Betriebskosten erfolgen.

Aufbauend auf den Ergebnissen müssen konstruktive Verbesserungsmaßnahmen identifiziert werden, mit denen die generierten Produktkonzepte unter Berücksichtigung der Anforderungen des Fabrik Life Cycles und der Kunden optimiert werden.

Um aufgrund der Komplexität den Zeitaufwand für die Lösungsfindung zu reduzieren, muss

das Modell in eine Simulationsumgebung integriert und in einem anwenderfreundlichen Entscheidungsunterstützungssystem umgesetzt werden.

Das Modell soll für das Beispiel der Montageplanung ausgearbeitet werden, jedoch auch eine generische Struktur aufweisen, um eine Übertragbarkeit auf andere Produktionsbereiche zu ermöglichen.

1.5 Vorgehensweise

Nach der Beschreibung der Ausgangssituation sowie der daraus resultierenden Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit sollen in Kapitel 2 die zur Entwicklung des Modells relevanten Grundlagen erarbeitet werden. Zunächst sollen hierfür zentrale Begriffe aus den Bereichen der Marktforschung, der Produktentwicklung und der Produktionstechnik definiert werden. Daran anknüpfend sollen die erfolgskritischen Faktoren innerhalb des Produktentstehungsprozesses identifiziert und deren Bedeutung für das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Modell bewertet werden. Durch die Analyse bestehender Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung soll geprüft werden, zu welchem Umfang die formulierten Anforderungen an das Modell durch den Einsatz der beschriebenen Verfahren erfüllt werden können. Auf Grund des hohen Stellenwertes der Anpassungsfähigkeit von Produktionssystemen im Umfeld dynamischer Märkte sollen im Anschluss daran die wechselseitigen Beziehungen zwischen Produktentwicklungsstrategien und optionalen Flexibilitätsstrategien für Montagesysteme beschrieben werden. Danach sollen heute existierende Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen beschrieben und hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit für die Problemstellung dieser Arbeit bewertet werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 2 soll in Kapitel 3 das Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung konzipiert werden. Das Konzept wird anschließend in Kapitel 4 ausgearbeitet. Hierzu sollen die benötigten Datenmodelle für die drei Subsysteme Markt, Produkt und Produktionssysteme im Detail formuliert werden. Die Modellierung relevanter Eingangsgrößen, systeminterner Wechselwirkungen und resultierender Ausgangsgrößen soll hierbei im Mittelpunkt stehen. In Kapitel 5 soll das entwickelte Modell anhand eines Fallbeispiels aus der Industrie validiert werden. Abschließend sollen in Kapitel 6 die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für zukünftige Forschungsbedarfe gegeben werden.

2 Gestaltung von Produkten und Montagesystemen im Umfeld dynamischer Märkte

In diesem Kapitel werden die zur Entwicklung des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung relevanten Grundlagen erarbeitet. Neben der Definition zentraler Begriffe bildet die Analyse des aktuellen Standes aus Forschung und Industrie zu den Themen markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung, Flexibilitätsstrategien für Montagesysteme und das Life Cycle Controlling von Produktionssystemen den inhaltlichen Schwerpunkt des Kapitels. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung der aus dem Grundlagenteil resultierenden Handlungsbedarfe und der inhaltlichen Eingrenzung des Untersuchungsbereichs der Arbeit ab.

2.1 Begriffliche Grundlagen

Der Erfolg eines Produkts am Markt hängt entscheidend davon ab, ob und wie das Produkt vom Kunden akzeptiert wird. Eine hohe Akzeptanz des Produkts ergibt sich nur, wenn das Produkt die Anforderungen der Kunden des Zielmarktes vollständig erfüllt (BULLINGER 1994). Um dies zu gewährleisten wird heute eine kundenfokussierte Produkt- und Programmpolitik der Unternehmen vom Markt gefordert (ARNOLD 2005).

Der Anspruch eines Unternehmens, alle Anforderungen der Kunden in ihren Produkten abzubilden, ist jedoch mit einem Risiko aus produktionstechnischer Sicht verbunden. Aus diesem Grund bedarf es einer systematischen Erweiterung des Produktbegriffs aus der Sicht der Produktion. Nur durch eine Synchronisierung der vom Unternehmen strategisch definierten Produkteigenschaften und der in den bestehenden Produktionssystemen vorhandenen Ressourcen kann eine wettbewerbsfähige Produktion gewährleistet werden (EVERSHEIM ET AL. 2005, WESTKÄMPER 2007C).

Verschärft wird diese Situation durch die permanent zunehmende Dynamik der Märkte, wodurch die Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit von Produkten und Produktionssystemen steigen.

Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen dieses Teilkapitels die begrifflichen Grundlagen für den weiteren Verlauf der Arbeit erarbeitet und hinsichtlich der definierten Aufgabenstellung diskutiert. Hierzu wird im ersten Schritt der Produktbegriff aus der Sicht des Marktes und der Produktion erläutert. Im Anschluss daran wird der Begriff des Produktionssystems als Zentrum des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses definiert. Darauf aufbauend wird auf den Aufbau, die Funktion und die Struktur von Montagesystemen eingegangen, die neben dem Produkt das zentrale Gestaltungsobjekt dieser Arbeit darstellen. Im Zusammenhang mit der Änderungsdynamik heutiger Märkte wird die Flexibilität von Montagesystemen als zentraler Wettbewerbsfaktor identifiziert und die Rolle industrieller Lerneffekte bei der Prognose Fabrik Life Cycle-bezogener Anpassungsbedarfe von Montagesystemen beschrieben. Abschließend wird auf das Konzept der Digitalen Fabrik als ein Werkzeug zur Beherrschung steigender Marktdynamiken und Produktkomplexitäten eingegangen.

2.1.1 Definition des Produktbegriffs aus Markt- und Produktionssicht

Nach ARNOLD wird ein Markt als die Summe aller Gelegenheiten definiert, bei denen Angebot und Nachfrage für bestimmte Wirtschaftsgüter aufeinandertreffen (ARNOLD 2005). Das Produkt als technisches Gebilde ist ein konkretes System, das aus einer geordneten Gesamtheit von Elementen besteht, die aufgrund ihrer Eigenschaften durch Beziehungen verknüpft sind (BEITZ ET AL. 2001). Zur weiteren Differenzierung des Produktbegriffs wird in der Literatur mit dem substantiellen, dem erweiterten und dem generischen Produktbegriff eine Spezifikation des Produktbegriffs geliefert. Während sich der substantielle Produktbegriff auf das Kernprodukt als ein Bündel von physisch-technischen Eigenschaften bezieht, bezieht sich der erweiterte Produktbegriff auf ein Leistungspaket, das aus physischen und/oder immateriellen Leistungen besteht. Der generische Produktbegriff bezieht sich auf sämtliche materiellen und immateriellen Produktfacetten, aus denen Kundennutzen resultieren kann (ARNOLD 2005).

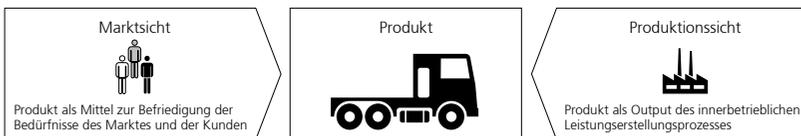


Abb. 6: Produkte aus der Sicht des Marktes und der Produktion

Vor dem Hintergrund der im Fokus dieser Arbeit stehenden Entwicklung von markt- und produktionsorientierten Produkten ist der Produktbegriff je nach Betrachtungsschwerpunkt anzupassen. So sind Produkte aus produktionstechnischer Sicht das Ergebnis betrieblicher Leistungsprozesse, womit der Fokus auf dem substantiellen und erweiterten Produktbegriff liegt. Aus der Sicht des Marktes hingegen sind Produkte ein Mittel zur Befriedigung von Bedürfnisse der Kunden des Unternehmens (PLESCHAK ET AL. 1996).

Im Kontext dieses Sachverhalts wird in den folgenden beiden Teilkapiteln die Rolle des Produktes aus der Sicht des Marktes und der Produktion für den weiteren Verlauf der Arbeit konkretisiert.

2.1.1.1 Produkte aus der Sicht des Marktes

Ein Produkt stellt aus der Perspektive des Marktes ein Mittel zur Befriedigung der Bedürfnisse der Kunden dar, wobei darunter sowohl Sachgüter als auch Dienstleistungen verstanden werden (STEFFENHAGEN 2004). Zur Erfüllung der Anforderungen des Marktes und der definierten Zielgruppe müssen Produkte bestimmte Eigenschaften aufweisen, die sich im Kundennutzen widerspiegeln und die Grundlage des Erfolgs am Markt darstellen (BROCKHAUS 2006A). Je nach Ausprägung des Kundennutzens können sich Unternehmen mit ihren Produkten spezifisch am Markt positionieren und niedrig- oder hochpreisige Produkte anbieten. Das jeweilige Preisniveau kann dabei durch Produkteigenschaften wie Zuverlässigkeit und Marken-Image gerechtfertigt sein (ERLACH 2007).

2.1.1.2 Produkte aus der Sicht der Produktion

Aus Sicht der Produktion sind Produkte der Output des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses, wobei materielle und immaterielle Produkte sowie Dienstleistungen unterschieden werden (DANGELMAIER 1999). Im Fokus dieser Arbeit steht die Herstellung materieller Produkte im übergeordneten Sinne. Diese resultieren aus dem direkten Übergang von Rohmaterialien, Halbzeugen, Information und Energie in die zu fertigenden Produkte (WESTKÄMPER ET AL. 2006).

Zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Produkt und Produktionssystem wird in den folgenden Teilkapiteln auf den Prozess der Leistungserstellung in Produktionssystemen näher eingegangen.

2.1.2 Produktionssysteme als Zentrum des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses

Die Erfolgsfaktoren von Produkten und die Zieldimensionen einer Produktion weisen analoge Strukturen auf. Die Potentiale eines jeden Produktionssystems können nur dann optimal entfaltet werden, wenn die dort angestrebten produktionsbezogenen Zielsetzungen auf die vom Unternehmen strategisch festgelegten Ausprägungen der Produkteigenschaften abgestimmt sind (ERLACH 2007). Da die Forderungen der Kunden uneingeschränkt in dem Absatzobjekt abgebildet werden müssen, ist es deshalb für ein Unternehmen unumgänglich zu prüfen, ob es in der Lage ist, diese produktionstechnisch umzusetzen (EVERSHEIM ET AL. 2005). Diese ins Innere des Unternehmens gerichtete, produktionsbezogene Sichtweise wird in der Literatur unter dem Stichwort „resourcebased view“ beschrieben (BAMBERGER ET AL. 1996, BARNEY 1995, BLACK ET AL. 1994).

Vor diesem Hintergrund werden in den nachfolgenden Teilkapiteln die grundlegenden Begrifflichkeiten bezüglich Produktionssystemen und der Produktion unter dem Blickwinkel des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses erläutert.

2.1.2.1 Definition des Begriffs der Produktionssysteme

Ein Produktionssystem ist eine technisch, organisatorisch und kostenrechnerisch selbstständige Allokation von Potentialfaktoren zu Produktionszwecken (KERN 1979). In Bezug auf die Leistungserstellung innerhalb eines Unternehmens lassen sich Produktionssysteme in die drei Subsysteme Beschaffung, Produktion und Vertrieb gliedern (WESTKÄMPER ET AL. 2006). Diese drei Subsysteme beinhalten unter dem Blickwinkel einer ganzheitlichen Wertschöpfungskette planende als auch durchführende und kontrollierende Teilbereiche (BOKRANZ ET AL. 2006, WESTKÄMPER ET AL. 2006).

Heute wird der Begriff des Produktionssystems vermehrt dazu verwendet, um ein Konzept für die Organisation und Führung von produzierenden Unternehmen zu beschreiben (SENGOTTA 2002, SPATH 2003). Diese in der Literatur beschriebenen Ganzheitlichen Produktionssysteme sind in diesem Zusammenhang als Modelle zur Generierung einer den gesamten Wertschöpfungsprozess eines Unternehmens erfassende Gesamtheit von Standards zum Gestalten und Betreiben von Arbeitssystemen anzusehen (BOKRANZ ET AL. 2006, BRITZKE 2008, IFAA 2002).

2.1.2.2 Produktion als betrieblicher Umwandlungs- und Transformationsprozess

Innerhalb eines Produktionssystems stellt die Produktion den betrieblichen Umwandlungs- und Transformationsprozess dar (PIBERNICK 2001). Im fertigungstechnischen Sinn ist unter dem Begriff

der Produktion die Erzeugung von Fertigteilen und Produkten durch Einsatz der betrieblichen Produktionsfaktoren zu verstehen, die durch die Leistungsinstanz des Produktionsprozesses kombiniert werden (BROCKHAUS 2006c, WESTKÄMPER ET AL. 2006). Die Leistungsfähigkeit einer Produktion wird dabei durch die vier voneinander unabhängigen Zieldimensionen Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit bestimmt (ERLACH 2007). Aufgabe der Produktionsoptimierung ist es, die Effizienz der Produktion in Hinblick auf diese vier einander entgegenwirkenden Zieldimensionen permanent zu steigern (RUDOLF 2006). Auf Grund der Tatsache, dass im Bereich der Montage nach wie vor der größte Anteil des Humankapitals von produzierenden Unternehmen gebunden ist, kommt der Produktionsoptimierung hier ein besonderer Stellenwert zu (MCKINSEY & COMPANY 2005).

2.1.3 Montagesysteme als zentrale Schnittstelle zwischen Markt und Produktentwicklung

Im Folgenden werden die zentralen Begriffe zu Montagesystemen erläutert. Neben der Erläuterung des Aufbaus und der Funktion von Montagesystemen werden durch die Beschreibung der Arten und Strukturen von Montagesystemen die für die Eingrenzung des Untersuchungsbereichs der Arbeit erforderlichen Informationen geliefert.

Bezogen auf den Produktstehungsprozess in der Fabrik umfasst die Produktion die Teilefertigung, die Montage und die Prüfung von Teilen (WESTKÄMPER ET AL. 2006). Dabei stellt die Montage als zentrale Schnittstelle zwischen Entwicklung und Vertrieb die letzte Stufe des Herstellungsprozesses dar. In ihr erfolgt eine technologie- und ablaufbezogene Koordination der produktiven Faktoren (BEITZ ET AL. 2001).

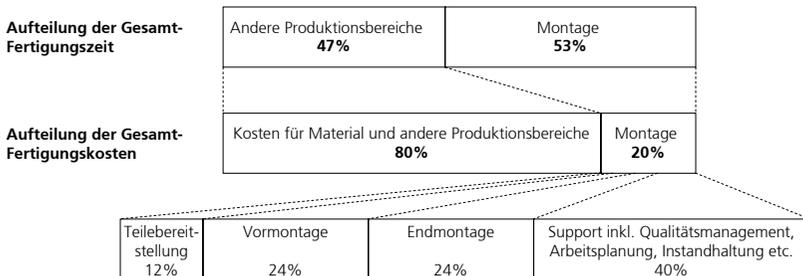


Abb. 7: Anteile der Montage an der Fertigungszeit und den Fertigungskosten bei der Herstellung industrieller Güter (CHOI ET AL. 2002)

Analysen zeigen, dass bei industriellen Gütern die in Bezug zur Montage stehenden Aktivitäten bis zu 50 % der Gesamtfertigungszeit (CHOI ET AL. 2002, NEVINS ET AL. 1999), und bis zu 40 % der Herstellungskosten ausmachen können (HIRD ET AL. 1988, MARTIN-VEGA ET AL. 1995). Durchschnittlich sind etwa ein Drittel der Mitarbeiter eines produzierenden Unternehmens in montagebezogene Tätigkeiten involviert. In der Automobilindustrie sind es sogar etwa die Hälfte aller direkten Mitarbeiter, die im Bereich der Montage beschäftigt sind (LOTTER AT AL. 2006, WARNECKE ET AL. 1992).

2.1.3.1 Aufbau von Montagesystemen

Auf organisatorischer Ebene umfasst ein Montagesystem alle Ressourcen, die zur Ausführung der Montagefunktionen erforderlich sind. Innerhalb eines Montagesystems werden hierbei in Abhängigkeit des Umfangs der ausgeführten Arbeitsaufgabe mit Makro- und Mikro-Arbeitssystemen zwei weitere Hierarchieebenen definiert (LANDAU 2001, PICKER 2006, REFA 1993, SALWICZEK 1982). Makro-Arbeitssysteme umfassen als Arbeitsaufgabe einen in sich abgeschlossenen Montagevorgang wie beispielsweise die Vormontage und/oder Endmontage in einer Produktion (REFA 1993).

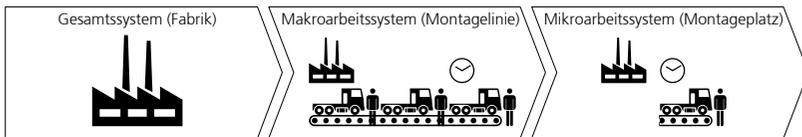


Abb. 8: Mikro- und Makro-Arbeitssysteme als Subsysteme der Struktur von Montagesystemen

Bei zunehmender Komplexität des Montageumfangs werden die Arbeitsaufgaben in Subaufgaben unterteilt (PICKER 2006). Die entstehenden Subaufgaben können ihrerseits wieder eigenständige Arbeitsaufgaben darstellen, die im unabhängigen so genannten Mikro-Arbeitssystem erfüllt werden können (BOKRANZ ET AL. 2006). Die in Montagesystemen zu erbringende Leistung wird durch die Funktion abgebildet, die nachfolgend näher erläutert wird.

2.1.3.2 Funktion von Montagesystemen

Unter dem funktionsbezogenen Begriff des Montierens wird die Gesamtheit aller Vorgänge, die zum Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen, verstanden (BEITZ ET AL. 2001). Als Hauptfunktion des Montierens ist das in DIN 8580 definierte Fertigungsverfahren Fügen

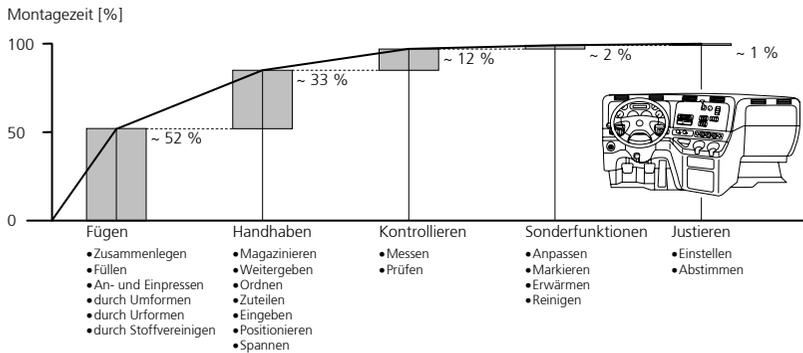


Abb. 9: Allgemeine Montagefunktionen am Beispiel der Cockpit-Montage in der Automobil-industrie (in Anlehnung an REFA 1993)

aufzuführen (NORM DIN 1985). Neben dem Fügen beinhaltet das Montieren die Nebenfunktionen Handhaben, Justieren, Kontrollieren und Sonderoperationen. Vor diesem Hintergrund vollzieht sich der Montageprozess im Zusammenwirken von produkt-, betriebsmittel- und ablaufbezogenen Einflussgrößen (BEITZ ET AL. 2001).

In Abhängigkeit von der Anzahl der automatisiert ausgeführten Funktionen werden manuelle, hybride und automatisierte Arbeitssysteme unterschieden (LOTTER 1999). Die wechselseitigen Beziehungen zwischen Mikro- und Makro-Arbeitssystem werden dabei in der Struktur des Montagesystems abgebildet. Der Begriff der Struktur von Montagesystemen wird im folgenden Teilkapitel erläutert.

2.1.3.3 Struktur von Montagesystemen

Der Material- und Informationsaustausch zwischen den Mikro- und Makro-Arbeitssystemen eines Montagesystems sowie zu Systemen außerhalb der Montagesystemgrenze legt die Struktur eines Montagesystems fest. Zur Gewährleistung eines koordinierten Austausches ist die Aufteilung der Montageaufgaben auf die verschiedenen Mikro- und Makro-Arbeitssysteme sowie das räumliche und zeitliche Zusammenwirken dieser Systeme zu planen (LOTTER ET AL. 2006). Das Schaffen eines aufgabengerechten, koordinierten Zusammenwirkens von Arbeitssystemen wird in diesem Zusammenhang als Arbeitsorganisation bezeichnet (REFA 1991A).

Die Organisationsform beschreibt die Ausprägung des Arbeitsablaufes und somit die konkrete Gestaltung des räumlichen und zeitlichen Zusammenwirkens der Produktionsfaktoren im Montagesystem (BERTHOLD 2002). Nach der Bewegung des Montageobjekts lassen sich hierbei Montagesysteme in Organisationsformen mit unbewegten Montageobjekten (Baustellenmontage, Einzel-

platzmontage) und solchen mit bewegten Montageobjekten (Reihenmontage, Fließmontage, Taktstraßenmontage) unterscheiden. Während letztere ihre Anwendung primär in der Massenfertigung findet, sind Montagesysteme mit unbewegten Montageobjekten vor allem im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung anzutreffen (LOTTER ET AL. 2006).

2.1.4 Flexibilität als zentraler Wettbewerbsfaktor moderner Montagesysteme

Angesichts der zunehmend unvorhersehbaren Marktentwicklungen, steigender Konkurrenz und Produktvarianz sowie der Verkürzung von Produktlebenszyklen und -lieferzeiten ist eine Zunahme an Flexibilitätsbedürfnissen und der hiermit einhergehenden Flexibilitätsangebote in Montagesystemen zu verzeichnen (BENJAAFAR 1994, PARKER ET AL. 1999, ROSCHER 2008). Bereits Ende der achtziger Jahre wurde die Flexibilität von Produktionssystemen als einer der zentralen Erfolgsfaktoren im zukünftigen globalen Wettbewerb identifiziert (BOLWIJN ET AL. 1990, DE MEYER ET AL. 1989, WOMACK ET AL. 1990). Japanische Unternehmen realisierten in diesem Wettbewerbskampf frühzeitig, dass die Implementierung von flexiblen Montagesystemen mit der Markt-, Produkt- und Produktionsstrategie des Unternehmens übereinstimmen muss, um den gewünschten Mehrwert für den Kunden kosteneffizient zu erreichen (PARKER ET AL. 1999).

Vor diesem Hintergrund werden in den folgenden Teilkapiteln die Grundlagen zum Thema Flexibilität dargestellt und für den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit aufbereitet. Nach der Definition des Flexibilitätsbegriffs werden hierzu im zweiten Schritt die montage- und arbeitsrelevanten Flexibilitätsarten beschrieben und hinsichtlich ihrer primären Zielsetzungen erläutert.

2.1.4.1 Definition des Flexibilitätsbegriffs

Flexibilität ist eine der meist untersuchten und bewerteten Eigenschaften moderner Produktionssysteme. Allein in der Literatur existieren über siebzig verschiedene Definitionen und Arten produktionswirtschaftlicher Flexibilitäten (SHEWCHUK ET AL. 1998). Trotz der Vielzahl an Auffassungen über die Bedeutung des Begriffs teilen alle wissenschaftlichen Beiträge die Ansicht, dass Flexibilität als Fähigkeit eines Systems anzusehen ist, sich an ändernde Randbedingungen und Anforderungen anzupassen (BENJAAFAR 1994, NILSSON ET AL. 1995, SCHAUERHUBER 1998, WESTKÄMPER ET AL. 2000).

Die Bedeutung von Flexibilität für ein Produktionssystem ist kontextspezifisch über dessen Flexibilitätsbedarf bestimmt (HALLER 1999). Dieser durch Veränderungen im Systemumfeld induzierte Flexibilitätsbedarf wird im Wesentlichen durch die drei Wandlungstreiber Marktdynamik, Produkt- und Prozessänderungen bestimmt. Um den geforderten Flexibilitätsbedarf zu decken und somit eine hohe Reaktionsfähigkeit des Produktionssystems auf die Wandlungstreiber zu gewährleisten,

muss bei der Systemplanung in ein Flexibilitätsangebot investiert werden (ROSCHE 2008). Das Flexibilitätsangebot kann dann im Betrieb des Produktionssystems im Sinne eines Flexibilitätsbeziehungsweise Reaktionspotentials genutzt werden (SCHNEEWEIB 1992, WESTKÄMPER ET AL. 2000).

2.1.4.2 Flexibilitätsarten in Montagesystemen

Die Definition der Flexibilitätsarten nach BROWNE ET AL. stellt heute die Grundlage der meisten Arbeiten dar (BROWNE ET AL. 1984, PARKER ET AL. 1999). Angesichts der Vielzahl der in BROWNES Arbeit enthaltenen Definitionen wird jedoch auf eine vollständige Darstellung verzichtet und nachfolgend nur auf die montagerelevanten Volumen-, Produkt-, Routen-, Nachfolge- und Expansionsflexibilität eingegangen (DE TONI ET AL. 1998).

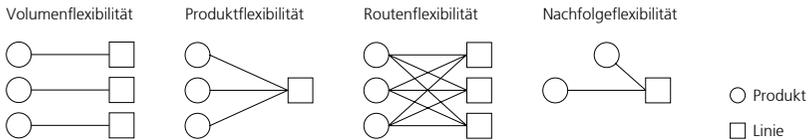


Abb. 10: Betrachtete Flexibilitätsarten in Montagesystemen

Die Volumenflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Montagesystems effizient bei variierenden Produktionsvolumen zu operieren. Primäres Ziel der Volumenflexibilität ist es, sich gegen Unsicherheiten der Marktnachfrage zu schützen (PARKER ET AL. 1999).

Die Produktflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Montagesystems wirtschaftlich und schnell auf die Produktion anderer Produkte beziehungsweise Produktvarianten umzustellen, d.h. den Mix an Produkten in der laufenden Serie zu variieren (BROWNE ET AL. 1984, PARKER ET AL. 1999). Produktflexibilität wird in der wissenschaftlichen Literatur als eine der wichtigsten Arten von Flexibilität in Montagesystemen bezeichnet (GOYAL ET AL. 2006, JORDAN ET AL. 1995). Die Fähigkeit, verschiedene Produktgestalten auf der selben Produktionslinie zu fertigen, ermöglicht es Unternehmen, sich sowohl gegen Nachfrageunsicherheiten zu schützen als auch auf aufkommenden Wettbewerb zu reagieren. Ziel dabei ist die Nutzung von Skaleneffekten und eine Reduktion der erforderlichen Volumenflexibilität bei reduzierter Gesamtkapazität.

Die Routenflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Montagesystems, ein Produkt auf unterschiedlichen Wegen durch das System zu schleusen. So können durch die Existenz redundanter Wege Produkte auf mehreren Montagelinien gefertigt werden (WEMHÖNER 2005). Primäres Ziel der Routenflexibilität ist es Kapazitätsengpässe in Montagesystemen zu umgehen (PARKER ET AL. 1999).

Die Nachfolgeflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Montagesystems, das bestehende Sys-

tem ohne großen Änderungsbedarf an Strukturen und Kapazitäten für neue Produkte zu nutzen (BROWNE ET AL. 1984). Primäres Ziel der Nachfolgefähigkeit ist die Vermeidung von Investitionen bei der Integration neuer Produkte in ein bestehendes Montagesystem (PARKER ET AL. 1999).

Die Expansionsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit eines Montagesystems, zusätzliche Kapazitäten einem bestehenden System zuzuführen. Die Expansionsfähigkeit erlaubt es Unternehmen ihre Produktionskapazität schrittweise zu erweitern, anstelle alle, zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft benötigten Kapazitäten, gleich in der Startphase zu installieren. Dadurch können Investitionen portionsweise über die Anlaufphase freigegeben werden, wodurch die finanzielle Verwundbarkeit des Unternehmens reduziert wird, da singuläre hohe Kapitalausschüttungen vermieden werden (PARKER ET AL. 1999).

Die wahre Herausforderung bei der Analyse, Planung und Optimierung vorhandener Flexibilitätsoptionen und geforderter Flexibilitätsoptionen ist das Erkennen, Verstehen und gezielte Steuern der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Flexibilitätsoptionen (BROWNE ET AL. 1984, GUPTA ET AL. 1992, PARKER ET AL. 1999, ROSCHER 2008).

2.1.5 Lerneffekte als systeminterne Wandlungstreiber in flexiblen Montagesystemen

Der Bedarf zur Anpassung von Systemkonfigurationen bestehender Produktionssysteme resultiert zum einen aus externen Wandlungstreibern (NIEMANN 2007). Als Beispiele sind hier die sich ändernden Anforderungen des Marktes und der Kunden zu nennen. Zum anderen tritt in Abhängigkeit von der kumulierten Produktionsmenge eine systeminterne, zeitlich abhängige Zunahme an Erfahrung innerhalb der Systemgrenzen bestehender Produktionssysteme auf. Dieser primär durch systeminterne Wandlungstreiber hervorgerufene Effekt drückt sich durch eine kontinuierliche Zunahme der Effizienz von Prozessen und der Reduzierung der Stückkosten aus (EPPLER ET AL. 1991, WERNER 2001, WESTKÄMPER 2003, WILDEMANN 2004). Dieser Sachverhalt wird in der wissenschaftlichen Literatur durch den Begriff des industriellen Lernens beschrieben.

Der Begriff „Lernen“ bezeichnet den dynamischen Prozess der Verwertung von Informationen zur quantitativen und qualitativen Umgestaltung von betrieblichen Strukturen und Prozessen (HENFLING 1978). In Anlehnung an LEVY werden drei verschiedene Arten des Lernens unterschieden: induziertes, exogenes und autonomes Lernen (LEVY 1965). Unter dem Begriff des induzierten Lernens werden alle Tätigkeiten eines Unternehmens zusammengefasst, die zur Steigerung des Outputs führen. Als exogenes Lernen wird die Verbesserung des Produktionsprozesses durch Einwirkung nicht geplanter Ereignisse bezeichnet. In Abhängigkeit von Ausbildung, Geschlecht und Alter des Übenden stellt das autonome Lernen den individuellen Zuwachs an Erfahrung durch zunehmende Übung vorliegender Produktionsabläufe dar. Neben den genannten Grundarten des

Lernens ist zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Steigerung der Produktionseffizienz ein besonderes Augenmerk auf organisationsbedingte Auslöser von Lerneffekten zu richten. Hierzu zählen das gemeinsame Lernen von Produktentwicklung und Produktion im Kontext der produktionsorientierten Produktentwicklung, der Erfahrungstransfer zwischen verschiedenen Schichten eines Produktionsstandortes oder nacheinander folgende Produktionsanläufe eines Produkts an verschiedenen Produktionsstandorten sowie Serienproduktionen in Produktionsnetzwerken (ADLER 1990, EPPLE ET AL. 1991).

Das Phänomen des industriellen Lernens in Produktionssystemen wird seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts durch das Modell der Lernkurve beschrieben (BOKRANZ ET AL. 2006, DAR-EL 2000). Nachfolgend werden die Grundlagen zu dem Begriff der Lernkurve beschrieben, ausgewählte Lernkurvenmodelle vorgestellt und auf ausgewählte Studien zu Lernkurven in der Automobilindustrie eingegangen.

2.1.5.1 Das theoretische Konzept der Lernkurve

In ihrer klassischen Ausprägung bildet eine Lernkurve den Zusammenhang zwischen den direkten Fertigungsstückkosten und der über der Zeit kumulierten Produktionsmenge ab (BAUMGART 2001). Die Steigung der Lernkurve ist dabei von Faktoren wie dem Ausgangswissen, den individuellen Fähigkeiten, der objektiven Schwierigkeit des Lernstoffs und der Lernmethode abhängig (BOKRANZ ET AL. 2006).

In Zusammenhang mit der mathematischen Beschreibung von Lernkurveneffekten wurde bereits früh erkannt, dass der Aufbau eines deterministischen, allgemein gültigen Lernkurvenmodells für den industriellen Einsatz auf Grund der Schwierigkeit alle Randbedingungen, Einflussfaktoren und Lernarten zu spezifizieren nur bedingt möglich ist (ADLER ET AL. 1991, ALCHIAN 1959, HIRSCH 1952, KUNOW 2006, STOBAUGH ET AL. 1975). Aus diesem Grund beruhen bestehende Lernkurvenmodelle bis heute auf der statistischen Auswertung experimentell erfasster Daten und der Formulierung logisch-deduktiver Aussagensysteme (HIEBER 1991, LAARMANN 2005). Nachfolgend werden die in der Literatur und Praxis am weitesten verbreiteten Lernkurvenmodelle diskutiert.

2.1.5.2 Lernkurvenmodelle in der Produktionstheorie

Die von WRIGHT entwickelte Linearhypothese basiert auf der Annahme, dass der auf Lerneffekten zurückzuführende Rückgang der Produktionskosten bei einer Verdopplung der hergestellten Stückzahl durch einen konstanten Prozentsatz angegeben werden kann (KUNOW 2006, SCHNEIDER 1965, WRIGHT 1936). Die Linearhypothese von WRIGHT wird durch eine Kostenfunktion der Form

$$k(n) = k_2 \cdot n^{-b} \quad (1-1)$$

beschrieben. Dabei bedeuten:

$k(n)$: Kosteninformation der n-ten produzierten Einheit

k_2 : Situationspezifische Konstante

b : Lernparameter mit $0 < b \leq 1$

Als Nachteile der Linearhypothese von WRIGHT sind zwei zentrale Faktoren zu nennen: Zum einen konvergiert die Lernkurve für hohe Produktionsmengen gegen Stückkosten von 0 (DAR-EL 2000). Zum anderen wird der Erfahrungstransfer aus der Produktion ähnlicher Produkte in dem Lernkurvenmodell nicht erfasst (KUNOW 2006).

Um den Nachteil der fehlenden Berücksichtigung organisationsbezogener Erfahrungen zu eliminieren, entwickelte das STANFORD-RESEARCH-INSTITUT (SRI) ein auf WRIGHTS Modell aufsetzendes, modifiziertes Lernkurvenmodell (LAARMANN 2005).

$$k(n) = k_2(n + c)^{-b} \quad (1-2)$$

Durch die Integration des erfahrungsorientierten Parameters c ($0 \leq c \leq 10,4$) wird die vor Beginn des Produktionsprozesses vorhandene Erfahrung als Einflussfaktor auf die Geschwindigkeit der Kostendegression abgebildet. Dies wird durch den niederen Anfangswert der Stückkosten und die asymptotische Annäherung der SRI-Lernkurve an die Lernkurve nach WRIGHT in Abbildung 11 verdeutlicht.

Die konvexe Lernkurve nach BAUR und BALOFF eliminiert den Nachteil der Konvergenz der

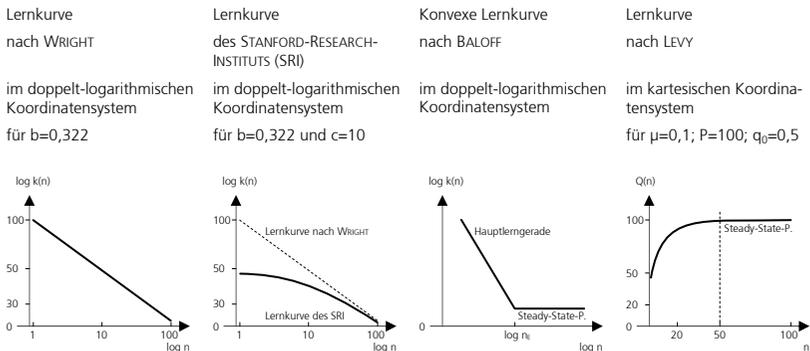


Abb. 11: Schematische Darstellung von Lernkurven (KUNOW 2006)

Lernkurve von WRIGHT gegen Stückkosten von 0 (KUNOW 2006). Dies wird bei BAUR durch die Einführung von Nebenlerngeraden als Derivate der WRIGHT'schen Lernkurve mit variabel sinkenden Lernparametern b umgesetzt (BAUR 1967). BALOFF verzichtet in seinem Lernkurvenmodell auf zusätzliche Lerngeraden, die den dynamischen Verlauf des Lernprozesses abbilden (BALOFF 1971). Er geht von einem Abbruch des Lernprozesses ab einer bestimmten produzierten kumulierten Stückzahl aus (siehe Abbildung 11).

$$k(n) = \begin{cases} k_2 \cdot n^{-b} & \text{für } n < n_E \\ k_2 \cdot n_E^{-b} & \text{für } n \geq n_E \end{cases} \quad (1-3)$$

Die Phase der Konvergenz des Lernprozesses wird in der Literatur als Steady-State-Phase bezeichnet (BALOFF 1971, HIEBER 1991, ROSCHER 2008). Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Steady-State-Phase werden zum einen Vorgabewerte der Planung, zum anderen das Ende der natürlichen Lernprozesse aufgeführt (HIEBER 1991).

Auch das Adaptionsmodell nach LEVY vermeidet durch die Annäherung an eine fixe Produktivitätsgrenze die Konvergenz von Produktionskosten gegen den Wert 0. Das von LEVY entwickelte Modell basiert dabei auf zwei Hypothesen. Bei zunehmender kumulierter Ausbringungsmenge nehmen bestimmte Faktoreinsatzmengen und Kostengrößen ab und streben einem bestimmten Grenzwert zu. Unter Berücksichtigung eines lernspezifischen Parameters μ ist die Abnahme dieser Größen proportional zu der Differenz aus dem maximal produzierbaren Output P und dem aktuell produzierten Output $Q(n)$ (LEVY 1965). Mathematisch lassen sich diese beiden Hypothesen wie folgt beschreiben:

$$\frac{\partial Q(n)}{\partial n} = \mu(P - Q(n)) \quad (1-4)$$

2.1.5.3 Studien zu Lernkurveneffekten in der Automobilindustrie

Um einen Einblick in die in der Automobilindustrie aufkommenden Lerneffekte zu erhalten, werden nachfolgend Resultate von ausgewählten Studien vorgestellt.

HIEBER analysiert in seiner Studie Lernkurveneffekte für automatisierte und flexible Montagesysteme (HIEBER 1991). Für die untersuchten direkten Montagetätigkeiten werden Lernkurvenfaktoren von 72 % bis 82 % nachgewiesen. Für die im Rahmen der Studie untersuchte Solitärlinie tritt eine Steady-State-Phase nach acht Monaten ein. Bei automatisierten und flexiblen Montagelinien tritt die Steady-State-Phase hingegen bereits nach drei beziehungsweise vier Monaten ein.

Ein ähnlicher Sachverhalt wird in der TOYOTA-Studie von NIIMI und MATSUDAIRA aufgezeigt (NIIMI ET AL. 1997). Die Steady-State-Phase tritt in dem betrachteten TOYOTA Produktionswerk fünf Monate nach Produktionsstart ein.

BALOFF analysiert in seiner Studie die Lernkurveneffekte während der Anlaufphase von vier verschiedenen Produkten in einer Montagelinie (BALOFF 1971). Die hierbei ermittelten Lernkurvenfaktoren betragen zwischen 80 % und 90 %.

ROSCHER analysiert in seiner Studie die Kapazitätsentwicklungen und die Montagezeiten nach Anläufen für solitär-, nachfolge- und produktflexible Montagelinien (ROSCHER 2008). In Bezug auf die Kapazitätsentwicklung werden für produktflexible Montagelinien geringfügig höhere Lernkurveneffekte und somit ein schnelleres Erreichen der Steady-State-Phase als bei Solitärlinien nachgewiesen. Demgegenüber erweist sich das Flexibilitätskonzept der Solitärlinie hinsichtlich der Entwicklung der Montagezeiten als effizienter. Für Solitärlinien werden Lernkurvenfaktoren zwischen 96 % und 98 % für neue Arbeitsumfänge nachgewiesen. Der Lernkurvenfaktor bei produktflexiblen Linien liegt in den präsentierten Studien bei 96 % für neue Arbeitsumfänge.

Die in den oben beschriebenen Studien nachgewiesenen Lernkurveneffekte bei Neuanläufen konnten im Rahmen einer im Verlauf dieser Arbeit durchgeführten Studie bestätigt werden. In der Studie wurde der Produktionsstart eines Neuprodukts in einer produktflexiblen Montagelinie eines global operierenden Nutzfahrzeugherstellers untersucht. Wie in Abbildung 12 dargestellt konnte die Zielkapazität nach Integration eines Neuprodukts in die bestehende Montagelinie nach sechs Wochen erreicht werden. Als wesentliche Faktoren für das schnelle Erreichen der Steady-State-Phase sind die geringere Komplexität und die erhöhte Montagefreundlichkeit des Neuprodukts gegenüber dem aktuell produzierten Produktprogramm zu nennen.

Die beschriebenen Studien zeigen auf, dass sowohl die Flexibilitätsstrategie als auch die kon-

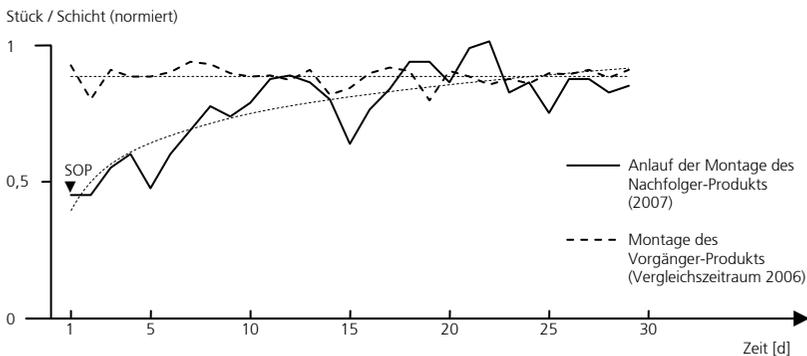


Abb. 12: Anlaufkurve in einer produktflexiblen Montagelinie eines Nutzfahrzeugherstellers (EIGENE DATENAUFZEICHNUNG 2007)

struktive Gestalt des zu produzierenden Produkts Einfluss auf die resultierenden Lerneffekte, Kapazitätsentwicklungen und Montagezeiten in Montagesystemen haben. Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung dieser Arbeit bedarf es deshalb einer situationsgerechten, von der Flexibilitätsstrategie abhängigen Berücksichtigung industrieller Lerneffekte bei der Prognose des Einflusses der konstruktiven Produktgestalt auf die Fabrik Life Cycle-bezogenen Anpassungsbedarfe von Montagesystemen.

2.1.6 Die Digitale Fabrik als Werkzeug für die Planung und Optimierung von Montagesystemen

Nach VDI 4499 wird die Digitale Fabrik als „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen und Methoden, unter anderem Simulation und 3D-Visualisierung“ definiert (RICHTLUNIE VDI 4499 2006). Als Abbild der realen Fabrik in digitalen dynamischen Modellen werden mit Hilfe der Digitalen Fabrik Strukturen und Fertigungsprozesse visualisiert, simuliert und im Vorfeld der Realisierung zugänglich gemacht (BIERSCHENK 2004, SAUER 2004). Innerhalb des Konzepts der Digitalen Fabrik liefert das Fabrikcockpit die hierarchische und echtzeitfähige Abbildung aller im Unternehmen vorhandenen Strukturen und ist dynamisch und selbstadaptierend (KAPP ET AL. 2006).

Zentrales Element der Digitalen Fabrik ist die Simulation. Der Einsatz verschiedener Simulationswerkzeuge, wie Computer Aided Design (CAD), Digital Mock-up (DMU), Computer Aided Factory Design (CAFD), Product Lifecycle Management (PLM), Discrete Event Simulation (DES), Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bis hin zu Computational Fluid Dynamics (CFD) und

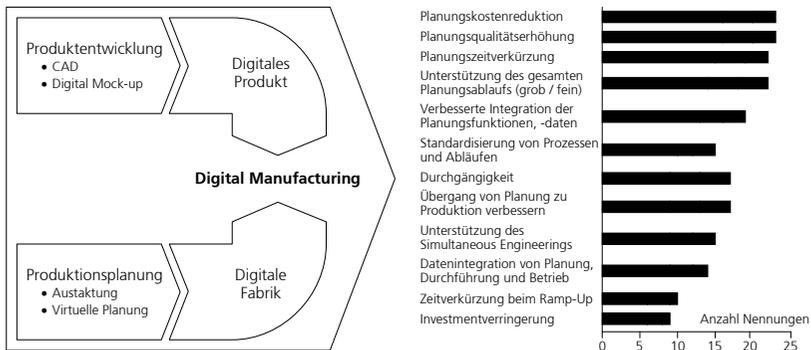


Abb. 13: Ziele der Digitalen Fabrik (PETRI 2004, KLAUKE 2002)

Virtual Reality Applikationen (VR) machen es möglich, bestehende und neue Konzepte für Prozesse und Produktionsszenarien frühzeitig darzustellen, zu analysieren und zu optimieren (KLAUKE 2002, BIRSCHENK 2004).

Die Zeit- und Kostenoptimierung von Planungs-, Realisierungs- und Anlaufprozessen, die Erhöhung der Planungsqualität sowie die Standardisierung und ganzheitliche Komplexitätsbeherrschung der Produktionsprozesse entlang der Wertschöpfungskette stellen das wesentliche Nutzungspotential der Digitalen Fabrik dar (ALZAGA ET AL. 2005, GERWALD ET AL. 2005, KLAUKE 2002, RUDOLF 2006, RUNDE 2007, WESTKÄMPER 2006C).

Trotz der genannten Vorteile sind heute je nach Einsatzbereich große Unterschiede im industriellen Integrationsgrad von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik zu verzeichnen. Während der Integrationsgrad in der Produktplanung bereits Werte von 60 % bis 85 % erreicht, liegt dieser in der Prozessplanung lediglich bei etwa 15 % (RUDOLF 2006). Als Grund hierfür ist der geringe Grad an Standardisierung zu nennen, der im Bereich der Prozessplanung zu einer Vielzahl isolierter Insellösungen führt (BLEY ET AL. 2005, WESTKÄMPER 2006D). So gehen Fachleute davon aus, dass die Potentiale der Digitalen Fabrik lediglich zu 40 % bis 80 % ausgeschöpft werden (HANBEN ET AL. 2002). Die volle Ausschöpfung der Potentiale mittels einer durchgängigen Integration von Produktentwicklung und Produktionsplanung entlang des Produktentstehungsprozesses wird so erst für das Jahr 2012 prognostiziert (AUERBACH 2005).

2.2 Markt- und produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategien als Faktoren für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit

Zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und Erhöhung des Gewinns stehen Unternehmen zwei zentrale Stellhebel zur Verfügung. Als wesentlicher strategischer Stellhebel für die Investitions- und Gebrauchsgüterindustrie in Hochlohnländern wie Deutschland ist das Angebot marktgerechter, innovativer Produkte zu nennen (GAUSEMEIER ET AL. 2000). Diese sichern durch die Erfüllung der vom Markt gestellten Anforderungen den Erfolg des Unternehmens. Der zweite Stellhebel liegt in der Reduktion der Selbstkosten. Um dieses Potential zu realisieren, können entweder der Produktentstehungsprozess rationalisiert werden oder präventiv bei der Entwicklung neuer Produkte auf eine produktionsorientierte, den Ressourcen von bestehenden Produktionssystemen angepasste Produktgestalt geachtet werden (LINDEMANN 2007). Bei letzt genannter produktionsorientierter Produktentwicklung steht das kostengünstige Produktkonzept, die Verringerung der

Teilevielfalt, die fertigungs-, montage- und materialkostengünstige Gestaltung von Produkten sowie die innerbetriebliche Normung im Zentrum der Aktivitäten (BRITZKE 2008, DOMBROWSKI ET AL. 2005, SCHMIDT 1998). Im Gegensatz zu produktionsbezogenen Rationalisierungsmaßnahmen, die kurzfristig zum Tragen kommen, zeigt die Entwicklung kostengünstiger, produktionsorientierter Produkte mittel- und langfristige Wirkung.

Nach der Einführung des Modells des Produktlebenszyklus werden im nachfolgenden Teilkapitel die erfolgskritischen Faktoren innerhalb des Produktentstehungsprozesses dargestellt. Darauf aufbauend wird die Rolle der markt- und kundenorientierten Produktentwicklungsstrategien für die Absicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen beschrieben und deren Bedeutung für das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Modell erläutert.

2.2.1 Das Modell des Produktlebenszyklus

Während seiner Lebensdauer durchläuft ein Produkt mehrere Phasen (WESTKÄMPER 2006c). Der Produktlebenszyklus liefert für diesen Sachverhalt ein Modell zur Darstellung der Entwicklung von Umsätzen, Absatzvolumina, Deckungsbeiträgen und Gewinnen einzelner Produkte im Zeitablauf (ARNOLD 2005, GAUSEMEIER ET AL. 2004). Wie in Abbildung 14 dargestellt lässt sich der Produktle-

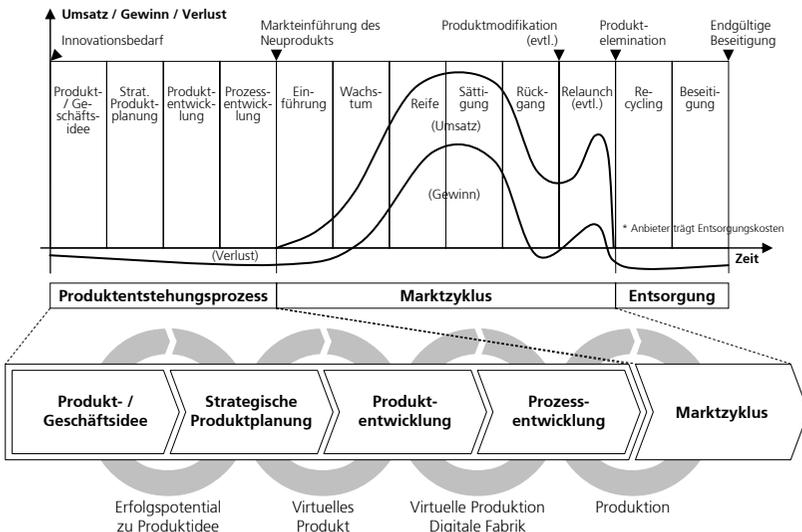


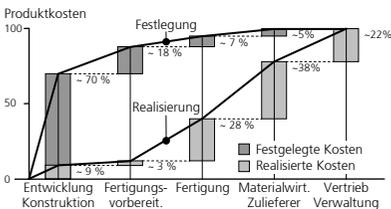
Abb. 14: Das Modell des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an ARNOLD 2005, GAUSEMEIER ET AL. 2001)

benszyklus in die drei Phasen Produktentstehungs-, Marktpräsenz- und Entsorgungsphase gliedern. Abhängig von dem Konkretisierungsgrad des Produkts wird der Produktentstehungsprozess dabei in die vier Abschnitte Produkt-/Geschäftsidee, Geschäftsplanung, Produktentwicklung und Prozessentwicklung aufgeteilt (BEITZ ET AL. 2001, EHRENSPIEL ET AL. 2007, GAUSEMEIER ET AL. 2004).

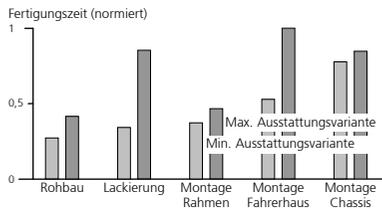
Es gilt als allgemeingültig bekannt, dass mit dem Abschluss der Produktentwicklungsphase die Herstell-, Betriebs- und Entsorgungskosten ebenso wie die Auswirkungen des Produkts auf den Life Cycle des Produktionssystems weitestgehend definiert sind (EHRENSPIEL ET AL. 2007, GEISINGER 1999, WESTKÄMPER 2006c). Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 15 durch das Aufzeigen des Einflusses der Produktentwicklung auf verschiedene Dimensionen des Fabrik Life Cycles verdeutlicht.

Im Rahmen der Produktion kann lediglich eine Optimierung einzelner Prozesse zur Reduktion der Kosten erfolgen. Da jedoch der größte Kostenanteil in einem Unternehmen in den Bereichen der Fertigung und Beschaffung entstehen, konzentrieren sich die meisten Rationalisierungsaktivitäten in Zusammenhang mit dem Lean Production Paradigma nach wie vor auf diese Bereiche (EHRENSPIEL ET AL. 2007). Da die Optimierung der Teilfertigungs- und Montageprozesse jedoch schon bei der Festlegung der Produktgestalt selbst am wirkungsvollsten und aufwandsärmsten ist, muss die Einbindung der Fertigung und der Beschaffung in Planung, Projektierung und Entwicklung neuer Produkte von Beginn an organisiert werden (BRITZKE 2008).

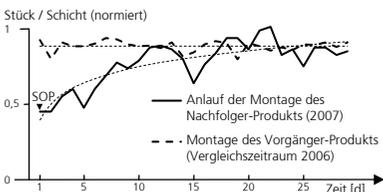
Einfluss der Produktentwicklung auf die Fertigungskosten



Einfluss der Produktentwicklung auf die Fertigungszeiten



Einfluss der Produktentwicklung auf die industriellen Lerneffekte



Einfluss der Produktentwicklung auf die Anpassungsbedarfe

Auswirkungen auf Prozessstruktur	Häufigkeit	Aufwand
Montagebänder		
Geometrie o. Anzahl der Stationen	monatl.	+++
Arbeitsinhalte, Material, MAEs	monatl.	+++
Vormontage ohne Fördertechnik		
Verlegen Vormontage	~ 5-6 p.a.	++
Umbau/Installation neue Vormontage	~ 0,5 p.a.	++
Veränderung Materialzonen/Fahrstraßen	~ 8-10 p.a.	+
Veränderung Kommissionierbereiche	~ 2-5 p.a.	+
Veränderung Direktlager/Logistikflächen	~ 6-8 p.a.	+

Abb. 15: Einfluss der Produktentwicklung auf verschiedene Dimensionen des Fabrik Life Cycles (EHRENSPIEL ET AL. 2007, EIGENE DATENAUFZEICHNUNG 2007)

2.2.2 Erfolgskritische Faktoren im Produktentstehungsprozess

In Abbildung 16 sind die wesentlichen marktseitigen, produktseitigen und organisatorischen Einflussfaktoren auf den Produkterfolg und deren Zuordnung zu den jeweiligen Produktentstehungsphasen dargestellt. Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass der Erfolg eines Produkts am Markt zu einem großen Teil in den frühen Phasen der Produktentstehung durch eine gezielte Analyse und Umsetzung der marktseitig definierten Anforderungen festgelegt wird (vgl. Kapitel 2.1). Die Erfassung und die produktseitige Umsetzung von Kundenanforderungen zählen so auch zu den wesentlichen Elementen der marktorientierten Produktentwicklungsstrategie. Der aus dieser Entwicklungsstrategie resultierende Wettbewerbsvorteil ist dabei als die Orientierungsgröße für markt- und kundenorientiertes Handeln innerhalb des Produktentstehungsprozesses anzusehen. Dieses Verständnis definiert potentielle Kundenvorteile als zentrale Zielgröße für die marktorientierte Produktentwicklung, da diese unmittelbar wettbewerbswirksam sind und es ermöglichen, Konkurrenzangebote vom Markt zu verdrängen oder kurzfristig neue Märkte zu erschließen (GEISINGER 1999).

Das alleinige Reagieren auf Markt- beziehungsweise Kundenanforderungen greift jedoch zu kurz und drängt Unternehmen angesichts hoher potentieller Umsätze zu voreiligem Aktionismus (GAUSEMEIER ET AL. 2004). Aus diesem Grund bedarf es einer frühzeitigen, planerischen Integration und entwicklungsseitigen Berücksichtigung der einer Unternehmung produktionsseitig zur Verfügung stehenden Ressourcen. Die durch eine produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategie realisierbaren Potentiale stellen sich im Vergleich zur marktorientierten Produktentwicklungsstrategie primär als Anbietervorteil dar. Dieser Anbietervorteil ermöglicht die präventive Rentabilisierung von Unternehmungen und stärkt die Wettbewerbsposition mittelbar, beispielsweise durch

Entstehungsphase	Einflussfaktoren auf den Produkterfolg
Produkt-planung	<ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis der Kundenanforderungen und -urteile • Kenntnis des Wettbewerbs • Screening der Marktsituation bzgl. Wettbewerbsstärke, Marktbedarf und Marktdynamik • Güte und Systematik des Projektmanagements • Vorgehensmodelle/Teilmethoden zur Kundennutzen- und Marktorientierung • gute Abstimmung zwischen Produktentwicklung und Marketing • Schaffung von Synergien zwischen internen Kompetenzen und externen Marktchancen • Ideengenerierung vom Absatzmarkt/ Unternehmen her • Kostentransparenz, Kostenbewusstsein • Realisierung erkennbarer Produktvorteile für den Kunden • hoher relativer Preis und hoher Innovationsgrad • kurze Einwicklungszeit • Ausrichtung auf Spitzenqualität • Management der Kundeneinbindung • Zusammenarbeit mit Zulieferern • Abstimmung mit Produktion • Niveau der Marketinganstrengungen und Qualität der Produkteinführung
Produkt-konzeption	
Produkt-entwurf	
Produktion	

Abb. 16: Einflussfaktoren auf den Produkterfolg (GEISINGER 1999)

höhere Stückgewinne oder in Form niedrigerer Produktpreise. Der durch die produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategie fokussierte Anbietervorteil wirkt sich mittelfristig aus und ist insbesondere in sich dynamisch entwickelnden Märkten ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Verteidigung und den Ausbau von Produktvorsprüngen (GEISINGER 1999).

2.2.3 Fazit: Markt- und produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategien als Faktoren für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit

Im Rahmen dieses Kapitels wurden die markt- und die produktionsorientierte Produktentwicklungsstrategie als zwei entwicklungsbezogene Ansätze zur Absicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen identifiziert. Die beiden Entwicklungsstrategien verfolgen hierbei zwei unterschiedliche Ziele. Die markt- und kundenorientierte Produktentwicklungsstrategie konzentriert sich auf die Erfüllung der marktseitig definierten Kundenanforderungen mit dem Ziel, den für das Produkt am Markt erzielbaren Preis zu maximieren. Demgegenüber liegt der Fokus der produktionsorientierten Produktentwicklungsstrategie auf einer nachhaltigen Reduzierung der Herstellungskosten durch die präventive Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen produktionsseitigen Ressourcen.

Angesichts der im Rahmen dieser Arbeit stehenden Zielsetzung „der Planung und Entwicklung markt- und Fabrik Life Cycle-orientierter Produkte“ ist die eindimensionale, isolierte Betrachtung der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Produkterfolg und der damit einhergehenden markt- und produktionsorientierten Entwicklungsstrategien über den Produktentstehungsprozess hinweg nicht ausreichend. Vielmehr geht es darum, die im Gesamtsystem Markt-Produkt-Produktionssystem auftretenden wechselseitigen Beziehungen ganzheitlich zu erfassen, in ihrer Wirkung zu analysieren und frühzeitig als Input in dem Produktentstehungsprozess bereitzustellen, um so gezielt Maßnahmen zur nachhaltigen Optimierung des Gesamtsystems definieren zu können. Erst diese ganzheitliche, systemtheoretische Betrachtungsweise ermöglicht die Erarbeitung effektiver Lösungsstrategien, die den Erfolg produzierender Unternehmen nachhaltig sichern.

Die Analyse bestehender Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung sowie deren Bewertung hinsichtlich den in der Einleitung dieser Arbeit definierten Anforderungen an ein Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktentwicklung stehen im Mittelpunkt der nachfolgenden Teilkapitel.

2.3 Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung

Der Erfolg produzierender Unternehmen hängt wesentlich davon ab, wie schnell diese auf neue Marktanforderungen reagieren können (BUCHNER ET AL. 2008, DASBERG 2005). Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, spielt die marktnahe Abbildung der Kundenanforderungen in die Eigenschaften der Produkte eine zentrale Rolle bei der nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Sättigung der traditionellen Absatzmärkte der Triade bei gleichzeitiger Zunahme der Individualisierung der Kundenanforderungen wird die Entwicklung markt- und kundengerechter Produkte zu einer immer größer werdenden Herausforderung. Zur Bewältigung dieser Herausforderung stehen den Unternehmen heute verschiedene Verfahren und für die Entwicklung markt- und kundenorientierter Produkte zur Verfügung.

Anhand der Analyse bestehender Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung wird in diesem Kapitel zum einen ermittelt, in welchem Umfang die in Kapitel 1.4 definierten Anforderungen an das zu entwickelnde Modell durch den Einsatz bestehender Verfahren erfüllt werden können. Zum anderen wird ermittelt, welches der beschriebenen Verfahren am besten für die Abbildung markt- und kundenseitiger Anforderungen und Einflussfaktoren im Subsystem Markt-Produkt geeignet ist. Hierbei stellt die Analyse der bestehenden Verfahren bezüglich Vor- und Nachteilen im Kontext einer Fabrik Life Cycle-orientierten Produktplanung und -entwicklung den Schwerpunkt dieses Kapitels dar.

2.3.1 Klassische Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung

In den folgenden Teilkapiteln werden die klassischen Verfahren der markt- und kundenorientierten Produktentwicklung beschrieben. Die vorgestellten Verfahren stellen bis heute die in Forschung und Industrie am weitesten verbreiteten Werkzeuge für die Entwicklung funktions-, kosten- und zielgruppenoptimierter Produkte dar.

2.3.1.1 Der konstruktionsmethodische Ansatz

Der konstruktionsmethodische Ansatz der Produktentwicklung wurde in allgemeiner Form sowie branchen- und produktunabhängig in den Richtlinien VDI 2221 und 2222 (RICHTLINIE VDI 2221 1993, RICHTLINIE VDI 2222-1 1996, RICHTLINIE VDI 2222-2 1982) erarbeitet. Primäres Ziel bei der Anwendung des Ansatzes ist die zielgerichtete, methodische Unterstützung bei der Lösung komplexer Problem-

stellungen (EHRENSPIEL ET AL. 2007, PAHL ET AL. 1997).

In Abhängigkeit vom Konkretisierungsgrad der Produkteigenschaften gliedert sich der Konstruktionsprozess in die vier Phasen Planen und Klären der Aufgabe (informative Festlegung), Konzipieren (prinzipielle Festlegung), Entwerfen (gestalterische Festlegung) und Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung) (RICHTLINIE VDI 2221 1993).

Die Vorteile des primär auf die Entwicklung neuer Produkte ausgerichteten Ansatzes liegen in der allgemeingültigen, methodischen Unterstützung von Problemlösungsprozessen. Durch die Funktionsorientierung des Ansatzes werden dabei insbesondere unerfahrene Anwender bei der Lösungssuche unterstützt (GEISINGER 1999).

Der konstruktionsmethodische Ansatz ist im Wesentlichen eine personen- und organisationsneutrale Sachmethodik. Die für den Produktentstehungsprozess erfolgsrelevanten interdisziplinären Organisationsformen werden durch den Ansatz nicht ausreichend erfasst. Auf Grund ihres allgemeingültigen Charakters ist die Anpassung der Methodik an die konkrete Problemstellung in der Regel mit einem hohen geistigen und organisatorischen Aufwand verbunden (EHRENSPIEL 1995, GEISINGER 1999). Für bestehende Produkte, die hinsichtlich ihres Kundennutzens optimiert werden sollen, liefert der Ansatz keine kurzfristig und schnell einsetzbare Vorgehensweise (HASLER 1997). Des Weiteren erfolgt keine systematische, methodisch gestützte Übertragung der Kundensicht in die Unternehmenssicht. Dadurch wird der grundlegende Schritt der Kundenforderungs- und Kundenurteilsmessung vernachlässigt (SCHMIDT 1996).

2.3.1.2 Der qualitätsorientierte Ansatz

Total Quality Management (TQM) stellt ein umfassendes, lebensphasenübergreifendes Führungskonzept dar, das sich auf die Mitwirkung aller Mitarbeiter eines Unternehmens stützt, Qualität in den Mittelpunkt der Aktivitäten stellt und durch die daraus resultierende Kundenzufriedenheit den langfristigen Erfolg eines Unternehmens sichert (SCHLOSKE 2004). Auf den Prozess der Produktentstehung bezogen, impliziert der Qualitätsbegriff die Erfüllung der explizit formulierten und implizit geforderten Kundenwünsche (EHRENSPIEL 1995). Eine Methode zur ganzheitlichen Anforderungsbearbeitung bis hin zur Serienreife von Produkten ist die in den 60er Jahren von AKAO entwickelte Quality Function Deployment (QFD) (AKAO 1992). Primäres Ziel der QFD ist die systematische Umsetzung von Kundenanforderungen in messbare technische und qualitative Produktmerkmale, wodurch die Herstellung von wettbewerbsfähigen, kundenorientierten Produkten gewährleistet werden soll (EVERSHEIM ET AL. 2005, PFEIFER 2001).

Der QFD Prozess gliedert sich in die vier Phasen Forderungsanalyse, Bestimmung technischer Merkmale, Systemdefinition und die Erstellung relevanter Prozess- und Prüfablaufpläne (LESMEISTER 2001). Zur Bestimmung der technischen Produktmerkmale wird als Hilfsmittel das „House of Quali-

ty“ eingesetzt. Dieses stellt eine Matrix dar, die Anforderungen technischen Merkmalen gegenüberstellt und gleichzeitig die Durchführung von Wettbewerbsvergleichen ermöglicht (SCHLOSKE 2004).

Die nachhaltige Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit von Produktentwicklung, Fertigung und Vertrieb stellt den zentralen Vorteil des Ansatzes dar (WILDEMANN 1999). Weitere Vorteile des qualitätsorientierten Ansatzes liegen in der klaren Dokumentationsstruktur begründet, die eine funktions- und bereichsübergreifende Kommunikation fordert, Kundenanforderungen in die jeweiligen Sprachen der betroffenen Unternehmensbereiche übersetzt und somit die Zusammenarbeit und Konsensbildung zwischen allen Beteiligten unterstützt (GRIFFIN 1993).

Der Verzicht auf eine marktforschungsgestützte, quantitative Ermittlung und Gewichtung von Kundenanforderungen wird in der Literatur als eine Hauptfehlerquelle in der QFD Anwendung genannt. Des Weiteren ist im Gewichtungsprozess des House of Quality eine ausreichende Berücksichtigung von zwingend zu erfüllenden Kundenanforderungen nicht situationsgerecht umsetzbar (SCHMIDT 1996).

2.3.1.3 Das Verfahren der Wertanalyse

Das von MILES im Jahre 1947 entwickelte Verfahren der Wertanalyse ist nach DIN 69910 als „ein System zum Lösen komplexer Probleme, die nicht vollständig algorithmierbar sind“ definiert (NORM DIN 69910 1987). Primäres Ziel der Wertanalyse ist die kostenoptimale Produkterstellung bei höchster Qualitätssicherheit und maximalem Nutzenwert für den Kunden (EHRENSPIEL ET AL. 2007, STIPPEL ET AL. 1998, WILDEMANN 1999).

Die Vorgehensweise der Wertanalyse wird in die sechs Phasen Projekt vorbereiten, Objektsituation analysieren, Zustand beschreiben, Lösungsideen entwickeln, Lösungen festlegen und Lösungen verwirklichen gegliedert (NORM DIN 69910 1987). Ähnlich wie bei dem konstruktionsmethodischen Ansatz stellt auch bei der Wertanalyse die abstrakte Definition des Problems in Form von Funktionen den Ausgangspunkt des Lösungsprozesses dar. Auf Basis des im Vorfeld definierten Kostenziels werden die entsprechenden zulässigen Funktionskosten ermittelt und im Verlauf des Prozesses mit den Kosten der generierten Lösungskonzepte verglichen. Auswahlkriterium für die beste Lösung ist dabei die maximale Funktionalität bei geringsten Kosten (GEISINGER 1999).

Als wesentlicher Vorteil der Wertanalyse ist die allgemeine Problemlösungsmethodik durch Funktionsorientierung und Abstraktion innerhalb des Verfahrens aufzuführen. Durch die in dem Verfahren abgebildete wertanalytische Vorgehensweise wird eine schnelle Realisierung von Lerneffekten ermöglicht und die präventive Identifikation von nachhaltigen Kostensenkungspotentialen unterstützt (WILDEMANN 1999).

Als Nachteil der Wertanalyse ist der fehlende Marktinput aufzuführen. Durch die Fokussierung auf die kostenseitige Bewertung und Kontrolle der Produktfunktionen tritt die marktorien-

tierte Definition und Bewertung in den Hintergrund (GEISINGER 1999). Bedingt durch den hohen Aufwand bei der Anwendung findet die Wertanalyse heute in den meisten kleinen und mittelständischen Unternehmen keine durchgängige Anwendung über den Produktentstehungsprozess hinweg (BULLINGER 1994).

2.3.1.4 Das Verfahren des Target Costing

Das von TOYOTA im Jahre 1965 entwickelte Verfahren des Target Costing dient der Bestimmung von Teilprodukt- oder -prozesskosten und der Ableitung erforderlicher Maßnahmen zur Reduktion der Kosten (EVERSHEIM ET AL. 2005, KLEIN 1999, PFEIFER 2001, WILDEMANN 1999). Primäre Ziele des Target Costing sind die konsequente Marktorientierung hinsichtlich des Preises unter Beachtung der anzustrebenden Kosten und die präventive Kostenregelung und -steuerung (RÖSLER 1996, SCHILD 2005, WEIß 2006).

Die Vorgehensweise des Target Costing gliedert sich in die drei Phasen Zielkostenfestlegung, Zielkostenspaltung und Zielkostenrealisierung (EVERSHEIM ET AL. 2005).

Als zentraler Vorteil des Verfahrens des Target Costing ist die systematische Überführung der Marktsicht in Form unternehmensinterner Transparenz in die zulässigen Produktkosten aufzuführen (GEISINGER 1999, WEIß 2006). Dadurch wird eine nachhaltige Umsetzung und Kontrolle der vom Markt geforderten monetären Produkteigenschaften über den Produktentstehungsprozess hinweg gewährleistet (STÖBER 1999).

Schwierigkeiten bei der Anwendung des Target Costing in der Praxis liegen primär bei der Zielkostenspaltung. Der Grund hierfür ist, dass die Zieldefinition in der Regel nur hinsichtlich des Gesamtprodukts oder wenigen aggregierten Hauptkomponenten erfolgt. Dabei beziehen sich die Zielkosten in der Regel nur auf das Gesamtprodukt beziehungsweise wenige komplexe Hauptkomponenten (GEISINGER 1999, WEIß 2006). Ebenso erfolgt beim Target Costing keine eindeutige Ermittlung des Nutzenwertes beziehungsweise der Wertschätzung von Funktionen und Eigenschaften durch den Kunden, aus denen die am Markt zulässigen Komponentenkosten resultieren (GAISER ET AL. 1993).

2.3.1.5 Das Verfahren der Conjoint Analyse

Die Conjoint Analyse (CA) ist ein dekompositionelles Verfahren, mit dem auf Basis empirisch erhobener Gesamtnutzwerte von Produktkonzepten, der Beitrag einzelner Produktmerkmale zum Gesamtnutzen der Produktkonzepten ermittelt wird (EVERSHEIM ET AL. 2005, HILLIG 2004, ROSENKRANZ 2006). Primäres Ziel der CA ist die systematische Unterstützung des Produktentstehungs-

prozesses bei der Planung und Entwicklung von Produkten mit maximalem Kundennutzen. Im Zentrum der Methodik steht dabei die Frage, welche Produkteigenschaften eine besondere Bedeutung für den Kunden haben und welchen Ausprägungen der jeweiligen Produkteigenschaften welche Teilpräferenz bei der Kaufentscheidung zugerechnet wird (GUSTAFSSON ET AL. 2007, WILDEMANN 1999).

Die CA wird in die sechs Phasen Definition der Anforderungen und Anforderungsausprägungen, Erhebungsdesign, Bewertung der Stimuli, Schätzung der Nutzwerte, Aggregation der Nutzwerte und Analyse gegliedert (ROSENKRANZ 2006). Der Prozess beginnt mit der Definition von Produktanforderungen und deren Ausprägungen (EVERSHEIM ET AL. 2005). Im Anschluss daran werden aus der Kombination unterschiedlicher Produkteigenschaftsausprägungen Produktkonzepte (Stimuli) generiert und den Probanden im Rahmen von Kundenbefragungen zur Nutzen-schätzung vorgelegt (ROSENKRANZ 2006). Im Vordergrund der Kundenbefragung steht dabei die Bewertung der Produktkonzepte und nicht die explizite Bewertung der einzelnen Produkteigenschaften durch die Probanden (GEISINGER 1999, GUSTAFSSON ET AL. 2007). Auf Basis der erfassten Daten erfolgt im vierten Schritt eine Schätzung der Teilnutzwerte der Ausprägungen der verschiedenen Produkteigenschaften (WILDEMANN 1999). Durch die Annahme, dass der Gesamtnutzen eines Produktes aus den additiven Teilnutzen der einzelnen Produkteigenschaften resultiert, lassen sich im Anschluss gezielt nutzenwertorientierte Produktkonzepte bestimmen, die den Probanden nicht explizit zur Bewertung vorgelegt wurden (EVERSHEIM ET AL. 2005). Dadurch wird die Konstruktion eines nutzenmaximalen Leistungskonzeptes (Idealkonzept) möglich (CALL 1997, EVER-SHEIM ET AL. 2005).

Im Vergleich zu anderen beschriebenen Ansätzen liegen die Vorteile der CA in der Validität der ermittelten Ergebnisse und in der detaillierten Bestimmung eigenschaftsausprägungsbezogener Nutzwerte, die die Grundlage für eine profitabilitätsorientierte Leistungskonzeptfindung bilden (EVERSHEIM ET AL. 2005, FISCHER 2001, GUSTAFSSON ET AL. 2007, SCHMIDT 1996). Ebenso liefern die Ergebnisse der CA die Basis für die Erstellung von Prognosen zu Marktanteilen und Absatzmengen von Produktkonzepten (MUC-Regel) (EVERSHEIM ET AL. 2005, HENRICHSMIEIER 1998, ROSENKRANZ 2006).

Als Nachteil der CA ist die unzureichende Verknüpfung des Kundennutzens mit den zur Realisierung des Nutzens verantwortlichen Produktkomponenten aufzuführen. Aus diesem Grund wird die CA häufig in Kombination mit anderen funktionsorientierten Ansätzen durchgeführt (EVERSHEIM ET AL. 2005, GEISINGER 1999, WILDEMANN 1999).

2.3.2 Kombinierte Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung

SCHMIDT präsentiert mit IKoF (Modell der integrierten Konzeptfindung) einen auf dem QFD basierenden Ansatz der marktorientierten Produktkonzeptfindung (SCHMIDT 1996). Durch die methodische Zusammenführung von Verfahren der Marktforschung werden die methodischen Defizite des QFD bei der Erfassung der Marktsituation eliminiert.

RÖSLER entwickelte einen Ansatz zur Umsetzung einer marktorientierten Zielkostenkostenspaltung innerhalb des Target Cost Prozesses (RÖSLER 1996). Zur differenzierten Abbildung der Markt- und Kundenanforderungen innerhalb des Zielkostenspaltungsprozesses greift RÖSLER auf das KANO-Modell der Anforderungsbewertung zurück.

Im Kontext der marktorientierten Zielkostenkostenspaltung wird von BETZ ein ähnlicher Ansatz präsentiert (BETZ 1995). Dieser greift zur Erhöhung der Qualität des Zielkostenspaltungsprozesses auf das Konzept der Erfahrungskurven zurück.

Zur Integration markteinführungsbezogener Planungs- und Entscheidungsabläufe in den Produktentwicklungsprozess entwickelte CALL eine Methode, die auf einer Kombination des QFD, des Target Costing und der Conjoint Analyse beruht (CALL 1996).

Zur Erweiterung der Methode der Wertanalyse um den Prozess der Transponierung von Kundenanforderungen in Produktmerkmale integriert SEKIMOTO das House of Quality des QFD in den Value Engineering Prozess (SEKIMOTO 1993).

GEISINGER entwickelte mit MarkPro (Marktorientierte Produktentwicklung) ein Modell für die marktorientierte Produktentwicklung, mit dem Informationen zu Kunden- und Wettbewerbssituationen für die Steuerung der Entwicklungstätigkeiten eingesetzt werden (GEISINGER 1999). Inhaltlich basiert das Modell auf der Verknüpfung der Verfahren des Target Costing, der Wertanalyse und des QFD.

EVERSHEIM ET AL. präsentieren mit ProSerF (Prozessstrukturierungshilfe zur Produkt- und Servicekonzept-Findung) ein Modell für die QFD-basierte Konzipierung markt- und serviceorientierter Produkte (EVERSHEIM ET AL. 2005). Zur Erfassung der Anforderungen des Produktlebenszyklus einschließlich umweltbezogener und kreislaufwirtschaftlicher Rahmenbedingungen erfolgt eine Kombination der QFD-Methode und der Conjoint Analyse. Hierdurch wird die Integration von Absatz- und Kostenseite vollzogen.

2.3.3 Fazit: Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung

Als zentrale Führungsgröße für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung agieren die Kundenanforderungen. Deren Erfassung und konstruktive Umsetzung in neue Produkte steht im

Mittelpunkt der in diesem Kapitel diskutierten Verfahren.

Als wesentliche Vorteile der bestehenden Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung ist die systematische Erarbeitung von Kundenvorteilen zu nennen. Durch die Schaffung von Transparenz innerhalb des Produktentstehungsprozesses, der Förderung von Innovation und Kreativität, der Verkürzung der Entwicklungszeiten sowie einer Berücksichtigung definierter Zielkosten wird der methodische Rahmen für die Entwicklung erfolgreicher Produkte aufgezeigt.

Defizite bestehen jedoch in der Ganzheitlichkeit der diskutierten Verfahren, dem Fehlen von systemübergreifenden Schnittstellen sowie der mangelnden Berücksichtigung von produktionsseitigen Anforderungen. Zwar versuchen neue Verfahren wie die QFD-gestützten Konzeptfindungshilfen ProSerF und MarkPro (vgl. Kapitel 2.3.2) durch eine Kombination der klassischen Verfahren (vgl. Kapitel 2.3.1) diese Nachteile zu umgehen. Die methodisch gestützte Erarbeitung von Anbietervorteilen durch die Berücksichtigung der im Produktionssystem vorhandenen Ressourcen tritt jedoch auch hier in den Hintergrund. Aus diesem Grund finden die beschriebenen Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung ihren Einsatz primär bei der strategischen, kundenorientierten Planung und Konzeption von Produktkonzepten. Wechselwirkungen zum bereits im Montagesystem gefertigten Produktionsprogramm ebenso wie die vom Markt induzierten flexibilitätsseitigen Anforderungen und Strategien, die in den vorherigen Kapiteln als zentrale Wettbewerbsfaktoren heutiger Unternehmen identifiziert wurden (vgl. Kapitel 2.1.5, 2.2.5), werden mit den Verfahren nicht berücksichtigt.

Eine auf den dynamischen, marktgetriebenen Life Cycle des Montagesystems bezogene Bewertung, Auswahl und konstruktive Anpassung von Produktkonzepten unter Berücksichtigung von

Bezugsobjekt	Anforderungen/ Identifikation/ Berücksichtigung von	Verfahren				
		VDI 2221/2	QFD	Wert- analyse	Target Costing	Conjoint Analyse
Markt / Kunde	Ermittlung von Kundenanforderungen	○	●	○	●	●
	Bewertung von Kundenanforderungen	◐	●	○	○	●
	Erarbeitung von Kundenvorteilen	○	◐	○	◐	●
Kosten	Monetäre Aspekte	○	○	●	●	○
Entwicklungs- prozess	Systematische Problemlösung	●	◐	●	○	◐
	Innovation und Kreativität	●	○	●	○	◐
	Verkürzung der Entwicklungszeit	◐	○	○	○	○
Life Cycle Montagesystem	Vorhandenen Ressourcen	○	○	○	◐	○
	Flexibilitätsstrategien	○	○	○	○	○
	Erarbeitung von Anbietervorteilen	○	○	○	◐	○

○ nicht erfüllt
 ◐ teilweise erfüllt
 ● erfüllt

Abb. 17: Bewertung der Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung

markt-, produktions- und flexibilitätsseitigen Anforderungen ist durch die heute existierenden Verfahren für die markt- und kundenorientierte Produktentwicklung somit nicht ganzheitlich möglich.

In Bezug auf die Abbildung markt- und kundenseitiger Anforderungen und Einflussfaktoren im Subsystem Markt-Produkt ist das Verfahren der Conjoint Analyse als besonders vorteilhaft zu bewerten. Als zentrale Gründe hierfür sind die Validität der im Prozessverlauf ermittelten und bewerteten Kundenanforderungen sowie die Möglichkeit über nachgelagerte Prozesse Prognosen zu Marktanteilen und Absatzmengen von Produktkonzepten zu erstellen aufgeführt.

2.4 Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Der Produktentstehungsprozess ist traditionell durch die Trennung von Produktentwicklung und Produktionsplanung gekennzeichnet. Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben folgt dabei aus der organisatorischen und inhaltlichen Trennung dieser beiden Bereiche, dass nachträgliche, konstruktive Produktänderungen in der Regel nur mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand umgesetzt werden können (DUMBROWSKI ET AL. 2005). Zur Lösung dieses Problems wurden in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene Konzepte entwickelt, die durch eine Überlappung von Entwicklungs- und Planungstätigkeiten die Entwicklungszeiten und Änderungskosten reduzieren (WITTENSTEIN 2007). Als Beispiele sind hier das Concurrent Engineering (ANDREASEN 2005, CLARK 1991), das Simultaneous Engineering (KROTTMAIER 1995, LINCKE 1995) und die Integrierte Produktentwicklung (BULLINGER ET AL. 1995, EHRENSPIEL ET AL. 2007, LINNER 1995) aufzuführen.

Zur Gewährleistung einer effizienten Umsetzung dieser Konzepte in der Industrie existieren heute eine Vielzahl verschiedener Verfahren und Werkzeuge. In Abgrenzung zu den in Kapitel 2.3 beschriebenen Verfahren der markt- und kundenorientierten Produktentwicklung zielen die Verfahren der produktionsorientierten Produktentwicklung auf die präventive Optimierung von Materialkosten, Produktionsverfahren und Montageprozessen sowie den funktionalen Produktanforderungen innerhalb vorgegebener Kosten-, Qualitäts- und Gewichtsziele ab (ARDAFFIO 1991, DUMBROWSKI ET AL. 2005). In Abhängigkeit ihres Betrachtungsschwerpunktes und der induzierten Systemgrenzen lassen sich die heute existierenden Verfahren der produktionsorientierten Produktentwicklung in produktfokussierte und prozessfokussierte Verfahren unterteilen.

Anhand der Analyse bestehender Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung wird in diesem Kapitel zum einen ermittelt, in welchem Umfang die in Kapitel 1.4 definierten Modellanforderungen durch den Einsatz dieser bestehenden Verfahren erfüllt werden können.

Zum anderen wird ermittelt, welches der beschriebenen Verfahren am besten für die Abbildung produkt- und produktionsseitiger Anforderungen und Einflussfaktoren im Subsystem Produkt-Produktionssystem geeignet ist. Zur Beantwortung dieser beiden Fragestellungen werden ausgewählte Modelle und Werkzeuge von produkt- und prozessfokussierte Verfahren beschrieben und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteilen bewertet.

2.4.1 Produktfokussierte Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Im folgenden Teilkapitel werden heute existierende Methoden und Werkzeuge der produktfokussierten produktionsorientierten Produktentwicklung vorgestellt. Neben der Beschreibung verschiedener kennzahlen- und wissensbasierter Ansätze wird die Integration der produktfokussierten Verfahren in IT-gestützte Systeme dargestellt.

2.4.1.1 Kennzahlen- und wissensbasierte Ansätze von produktfokussierten Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Eines der bekanntesten Werkzeuge zur Unterstützung der bereichsübergreifenden Teamarbeit im Kontext des Simultaneous Engineering ist Design For Assembly (DFA) (SCHMIDT 1998). Die Entwicklung des DFA Verfahrens geht auf Checklisten von BOOTHROYD zurück, mit denen Kosteneinflüsse bei Konstruktionsentscheidungen bestimmt werden konnten (NOF ET AL. 2003, SCHMIDT 1997). Beim DFA werden Bauteile und Baugruppen eines Produktes hinsichtlich Montageaspekten analysiert, bewertet und in mehreren Iterationsschritten optimiert. Als Bewertungsgrundlage agiert ein Fragenkatalog, der sich an Fragestellungen aus der Konstruktionsmethodik orientiert (DUM-BROWSKI ET AL. 2005). Durch die Beantwortung der Fragen und die im Hintergrund arbeitenden, softwareinternen Datenbanken wird der DFA-Index ermittelt (SCHMIDT 1997). Verschiedene konstruktive Maßnahmen wie beispielsweise die Reduzierung der Teilezahl, die Modularisierung und die Eliminierung von Einstellvorgängen führen zu einer Optimierung der Montierbarkeit des Produkts und damit zu einer Erhöhung des DFA-Indexes (ARDAYFIO 1991). Aufbauend auf den Grundsatzuntersuchungen von BOOTHROYD und DEWHURST wurden insbesondere zu Ende der achtziger Jahre eine Vielzahl weiterer kennzahlenbasierter Verfahren entwickelt. Diese werden nachfolgend beschrieben.

Als wichtiger Vertreter der kennzahlenbasierten Verfahren ist die LUCAS DFA aufzuführen (SWIFT 1981, ZHA ET AL.1998). Die Grundstruktur der LUCAS DFA basiert auf einer Unterteilung des Produktentwicklungsprozesses in die drei Phasen Funktions-, Handhabungs- und Einbauanalyse. In der Funktionsanalyse werden die Bauteile des Produkts nach notwendigen und nicht notwen-

digen Bauteilen klassifiziert. Im Anschluss folgt die Handhabungsanalyse, bei der die Eignung der Bauteile hinsichtlich automatischer und manueller Handhabbarkeit untersucht wird. Im Rahmen der Einbauanalyse wird die Aufbaureihenfolge des Produkts im Detail analysiert und bewertet. Die Verfahren von MILES und SWIFT (MILES ET AL. 1992) sowie WARNECKE und BASSLER (WARNECKE ET AL. 1988) sind an dieser Stelle als weitere Verfahren aufzuführen, die auf einer Klassifizierung von Teilen nach Produktfunktionen basieren.

Beim HITACHI Assemblability System wird auf Basis des One Motion Per Part-Grundsatzes, eines definierten Regelwerkes mit Symbolen für jede Art von Montagevorgängen und eines Strafpunktesystems zur Quantifizierung des Schwierigkeitsgrads auftretender Montageoperationen, die zu optimierende Produktgestalt systematisch analysiert und bewertet (MIYAKAWA ET AL. 1981, MIYAKAWA ET AL. 1986, ROSS 2002). Nach der Analyse und Bewertung der Produktgestalt berechnet das System im Anschluss ähnlich wie die DFA einen Montage- sowie einen Kostenindex.

ProKon (Produktionsgerechte Konstruktion) ist ein von der DEUTSCHEN MTM-VEREINIGUNG entwickeltes Verfahren zur Analyse und Bewertung konstruktiver Lösungen (BOKRANZ ET AL. 2006). Der Schwierigkeitsgrad einer Montagearbeit resultiert dabei aus der Summe produktbestimmter Faktoren wie Gewicht, Anzahl der Fügstellen und erschwerte Handhabungsbedingungen bei der Montage. Aus der Bewertung dieser Faktoren auf Basis der häufigkeitsinduzierten ProKon-Kennzahl werden Erkenntnisse über auftretende Montageerschwernisse und deren Relevanz gewonnen. Mit dem errechneten ProKon-Gesamtwert kann so die Verbesserungsrelevanz der konstruktiven Lösung ausgewiesen beziehungsweise Lösungsvarianten miteinander verglichen werden.

STURGES und KILANI (STURGES ET AL. 1992) entwickelten eine halbautomatisierte Methodik, die versucht, einige systembedingte Einschränkungen des Schemas von BOOTHROYD und DEWHURST zu überwinden. Der Schwerpunkt des Systems liegt dabei auf der interaktiven Umgebung, die die Bewertung unterschiedlicher Produktalternativen hinsichtlich möglichen auftretenden Schwierigkeiten bei der Montage untersuchen.

JARED ET AL. (1994) entwickelten ein DFA System, das eine geometrische Beweisführung basierend auf einem mathematischen Modell für den Montageprozess durchführt. Mit Hilfe des Modells wird ein Montageindex für die einzelnen Komponenten und ein Verbauungsindex zwischen den Komponenten berechnet.

Eine in den letzten Jahren vermehrt in Unternehmen der Automobilindustrie zum Einsatz kommende kennzahlbasierte Methode ist EHPV (DOSTAL 2006, KÖTH 2007, LASORDA 2003). Die Kennzahl EHPV steht für Engineered Hours Per Vehicle und dient der Bewertung des konstruktiv festgelegten Arbeitsinhalts eines Produkts auf Basis der Montagezeit. Die Bewertung des konstruktiv festgelegten Arbeitsinhalts, der Komplexität und der Montagegerechtigkeit der zu untersuchenden Produktgestalt basiert dabei auf einer Unterteilung der Gesamtmontagezeit in produkt- und prozessbedingte Montagezeitumfänge. Die durch die Kennzahl EHPV gemessenen Montagezeitumfänge beinhalten alle Tätigkeiten, die notwendig sind, um das Produkt nach den

von der Produktentwicklung in der Produktdokumentation festgehaltenen Eigenschaften und Anforderungen zu montieren. Als Beispiele sind hier die Füge- und Schraubtätigkeiten sowie die bei schwerer Zugänglichkeit und Blindmontage anfallenden Montagezeiten aufgeführt. Demgegenüber misst die Manufacturing Variable (MV) den primär von der Produktionsplanung prozessbedingt festgelegten Anteil der Montagezeit. Hierzu zählen unter anderem die Prozesse des Laufens, des Wartens und der Nacharbeit. Die Berechnung des EHPV und MV Wertes erfolgt durch die Quantifizierung der Montagetätigkeiten mit Hilfe von Systemen vorbestimmter Zeiten wie beispielsweise MTM. Die Berechnung des EHPV Wertes erfolgt hierbei präventiv in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses auf Basis von CAD-Produktmodellen. Im weiteren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses werden Prototypen zur Bewertung der Montagegerechtigkeit auf Basis des EHPV-Verfahrens verwendet. Auf Grund des phasen- und bereichsübergreifenden Charakters des Verfahrens haben die verschiedenen Automobilhersteller damit begonnen das EHPV-Verfahren entlang des gesamten Produktstehungsprozesses zu integrieren. So wird das EHPV-Verfahren in der Produktplanungsphase für die Bewertung von Wettbewerbsprodukten und die frühzeitige Definition von montagezeitbezogenen Zielwerten für die Produktentwicklung eingesetzt. In der Produktionsplanungsphase dient das Verfahren der Definition von Prozesseffizienzzielen, dem Vergleich von Planungsalternativen und der Abschätzung von systembezogenen Montagezeiten auf Basis des Verhältnisses von EHPV zu MV. In der laufenden Produktion agiert das Verhältnis von EHPV zu MV als Bewertungsmaßstab für die aktuelle Prozesseffizienz sowie als Zielwert für kontinuierliche Verbesserungsprozesse.

2.4.1.2 Artificial Intelligence-basierte Ansätze von produktfokussierten Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Die Aktivitäten im Rahmen der Weiterentwicklung der Verfahren zur produktionsorientierten Produktentwicklung haben sich in den vergangenen Jahren primär auf die Integration der Verfahren in Software- und Simulationsumgebungen konzentriert. Drei wesentliche Faktoren sind als Auslöser für diese Entwicklung aufzuführen. Als erster Faktor ist die stetig steigende Komplexität von Produkten zu nennen, die eine Erhöhung der Komplexität der induzierten Montageprozesse verursacht (NOF ET AL. 2003). Des Weiteren resultiert die Notwendigkeit der Integration von Montagewissen in bestehende CAD-Systeme aus der Tatsache, dass die größten Potentiale aus der Berücksichtigung montageseitiger Aspekte in den frühen Phasen der Produktentwicklung liegen. Als dritter Faktor ist die Akzeptanz der Werkzeuge zu nennen, die durch eine gezielte Integration in gängige CAD-Systeme gesteigert werden kann (ZHA ET AL. 1998).

Bereits Ende der achtziger Jahre zeigten Untersuchungen, dass Artificial Intelligence (AI) Technologien wie wissensbasierte Expertensysteme, Fuzzy Logic, Neuronale Netze und generische

Algorithmen in Kombination mit CAD-Systemen im Rahmen der produktionsorientierten Produktentwicklung Einsatz finden können. Nachfolgend werden einige ausgewählte Systeme vorgestellt, in denen die Generierung von Empfehlungen zur Verbesserung des Produktdesigns aus der systematischen Verarbeitung und Bewertung produktseitiger Informationen in einer AI-Umgebung erfolgt (ZHA ET AL. 1998).

JAKIELA und PAPALAMBROS (JAKIELA ET AL. 1989) entwickelten ein intelligentes CAD-basiertes Entwicklungsberatungssystem, das auf Basis der feature-basierten Integration der BOOTHROYD DFA-Systematik den Anwender bei der Optimierung der Montierbarkeit von Produkten durch die autonome Generierung von Verbesserungsvorschlägen unterstützt. Das System liefert dem Anwender eine Bibliothek von vordefinierten Produktfunktionen, aus denen er Produkte erstellen kann. Werden einer Entwicklung neue Funktionen hinzugefügt, so werden diese anhand von Produktionsrichtlinien bewertet und automatisch Vorschläge zur Verbesserung der Montierbarkeit geliefert.

Die Programme DFA (Design For Assembly), DACON (Design for Assembly Consultation) (SWIFT 1987), H&S (Hernani & Scarr) (HERNANI ET AL. 1987), DYNAMO (Dynamic Digital Mock-Up) (CHOI ET AL. 2002) und MOKOKO (Montagegerechte Konstruktion) (BOPP 1995, TRENDER 2000) stellen als erweiterte wissensbasierte Systeme dem Entwickler eine direkte Schnittstelle zu gängigen CAD-Softwarepaketen bereit. Im CAD gezeichnete Bauteile und Baugruppen können mit Hilfe einer systeminternen Datenbank mit Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich der Montierbarkeit bewertet und präventiv Maßnahmen zu Optimierung der Montageeffizienz definiert werden.

ADAM (Assisted Design for Assembly) generiert zur Rationalisierung des Montageprozesses auf Basis detaillierter Bauteile- und Baugruppeninformationen und einer systeminternen Datenbank an Richtlinien Empfehlungen zur Reduzierung der Anzahl von Bauteilen (SACKETT ET AL. 1988). CHEN und PAO erweiterten diesen Ansatz durch die Integration eines neuronalen Netzes wodurch die wissensbasierte Planung des Montageprozesses weiter optimiert wird (CHEN ET AL. 1993).

IDAERS (Integrated Design For Assembly Evaluation And Reasoning System) ist eine CAD basierte Softwarelösung, die die zur Montage eines Produkts benötigte Zeit abschätzt (LI ET AL. 1992, ROSARIO 1988). Die Programme LISP, PROLOG und SHELLS sind in diesem Zusammenhang beispielhaft als weitere Vertreter der regelbasierten Wissensmanagementsysteme aufgeführt (O'GRADY ET AL. 1991).

Des Weiteren sind an dieser Stelle die Constraint-basierten Wissensmanagementsysteme aufzuführen (OH ET AL. 1995). Diese stellen im Vergleich zu den oben aufgeführten Softwarelösungen produktionsbezogenes Wissen nicht über ein Netzwerk von Gestaltungsregeln sondern auf der Basis von Constraint-Objekten dar. Durch diesen Ansatz wird es möglich, den Einfluss von konstruktiven Änderungen auf die Gesamt-Montageeffizienz des Produkts frühzeitig zu quantifizieren.

Neueste Ansätze und Softwarelösungen gehen dazu über, produktionsbezogenes Wissen in zukunftsweisende Technologien wie Virtual Reality und Augmented Reality zu integrieren (HEILALA ET AL. 2007, PATHOMAREE ET AL. 2005, RAJAN ET AL. 1999, SAASKI ET AL. 2007, SAASKI ET AL. 2008).

Verschiedene Forschungsprojekte wie ARVIKA (www.arvika.de, 1999-2003), ARTESAS (www.artesas.de, 2004-2006), SmartFactory (www.smart-factory-kl.de), Wearit@Work (wearitat-work.com) und ULTRA (www.ist-ultra.org) versuchen durch diesen Ansatz die Interaktion im Rahmen der Mensch-Maschine-Schnittstelle vor dem Hintergrund einer präventiven Verifizierung von Montageprozessen zu nutzen.

2.4.2 Prozessfokussierte Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Die in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Verfahren der produktfokussierten produktionsorientierten Produktentwicklung sind darauf ausgelegt, Schwierigkeiten bei der Montage eines Produkts auf der Mikroebene zu identifizieren, um so dem Anwender Informationen zur Bestimmung von konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen bereitzustellen. In der Regel tritt hierbei der direkte Bezug zu den Rahmenbedingungen und den auftretenden Wechselwirkungen im gegebenen Montagesystem in den Hintergrund.

Bereits zu Beginn der achtziger Jahre wurde von BOOTHROYD und ALTING aufgezeigt, dass die Untersuchungen bezüglich der Montagefreundlichkeit von Produkten auf Basis einer detaillierten Analyse des produktinduzierten Montageprozesses und des hiermit in Wechselwirkung stehenden Montagesystems erfolgen sollte (BOOTHROYD ET AL. 1983). Die frühzeitige Integration der Planung und Optimierung von Montageprozessen in den Produktentwicklungsprozess sei deshalb unumgänglich (HIRD ET AL. 1988). Mit den Methoden und Modellen der prozessfokussierten produktionsorientierten Produktentwicklung wird versucht, dem Anwender einen mehr montagesystembezogenen Ansatz bereitzustellen. Durch die systemintegrierte, frühzeitige Verknüpfung von Aspekten der montagegerechten Produktentwicklung mit der Montageprozess- und Layoutplanung soll die Nachhaltigkeit präventiver Optimierungsmaßnahmen weiter gesteigert werden. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend existierende Methoden und Werkzeuge der prozessfokussierten produktionsorientierten Produktentwicklung vorgestellt.

DE FAZIO und WHITNEY entwickelten als eine der ersten die Grundlagen, die zur Bestimmung alternativer Aufbaureihenfolgen auf Basis von Produktinformationen benötigt werden (DE FAZIO ET AL. 1987, DE FAZIO ET AL. 1988). LIU und FISCHER verwenden als Informationsquelle zur Bewertung der Montierbarkeit von Produkten ein PDES/STEP basiertes mechanisches Systemdatenmodell (LIU 1992, LIU ET AL. 1994). Dieses Modell organisiert die prozessbezogenen Informationen mit Hilfe einer feature-basierten Struktur.

Aufbauend auf den Kenntnissen von DE FAZIO und WHITNEY entwickelten LI und HWANG ein halbautomatisiertes System (LI ET AL. 1992). Basierend auf der iterativen, zeitlichen Bewertung alternativer Aufbaureihenfolgen des zu untersuchenden Produkts, identifiziert das System interaktiv diejenigen Elemente, die die Montierbarkeit des Produkts einschränken. Als Resultat liefert das

System Tabellen, die den bekannten Arbeitsplänen entsprechen. Zur Produktoptimierung lehnt sich das System an die von BOOTHROYD und DEWHURST definierten DFA Regeln an.

IMAPS (Integrated Manufacturing Assembly Planning System) ist ein C++ basiertes System, das verschiedene wissensbasierte Techniken integriert, um Prozessplanern bei der Erstellung von Arbeitsplänen aus produkt- und prozessbezogenen Informationen zu unterstützen (ZHA ET AL. 1998). Das System beinhaltet die vier Module Produktdesign, Montageplanung, Austaktung und Zeichnungserstellung des Montagelinienlayouts. Mit Hilfe eines wissensbasierten Moduls werden im System automatisch verschiedene Aufbaureihenfolgen und Arbeitspläne generiert. Die generierten Aufbaureihenfolgen werden durch ein systeminternes Austaktungsmodul hinsichtlich der optimalen Ausnutzung der Montagezeit bewertet.

Das System STAAT (Stanford Assembly Analysis Tool) von LIU generiert und bewertet die optimalen Aufbaureihenfolgen von Produkten von bis zu 40 Teilen und 1500 Oberflächen (LIU 1990). Durch diese Vorgehensweise können Aussagen über die Komplexität des Montageprozesses von Produkten getroffen werden, Schwachstellen identifiziert und Verbesserungsmaßnahmen generiert und bewertet werden.

HSU, LEE und SU entwickelten einen DFA Ansatz der Arbeitspläne auf Basis der drei Kriterien Parallelität, Montierbarkeit und Redundanz untersucht, hinsichtlich potentiellen Problemen bewertet und optimierte Arbeitspläne generiert (HSU ET AL. 1993). Auf Basis der optimierten Arbeitspläne wird die Gestalt des Produkts rückwirkend durch Teilen, Kombinieren oder die Variation von Produktkomponenten modifiziert und optimiert.

MOLLOY, YANG und BROWN entwickelten das Prozessplanungssystem CAAPP (Computer-Aided Assembly Process Planning) (MOLLOY ET AL. 1991). Auf Basis von Informationen über die systemintern generierte Aufbaureihenfolge wird die Durchführung von DFA Analysen ermöglicht. In Abhängigkeit von der konstruktiven Produktgestalt und der hierdurch induzierten Aufbaureihenfolge werden vom System automatisch Vorschläge zur Optimierung des Produkts generiert.

ASPEN (Assembly Sequence Planning and Evaluation System) ist ein computergestütztes Montageprozessplanungs- und Bewertungstool, das in der Lage ist, durch die Zerlegung des 3D CAD-Modells (UNIGRAPHICS) des zu optimierenden Produkts, automatisch nach allen geometrisch möglichen Aufbaureihenfolgen zu suchen (KANAI ET AL. 1996). Nach der Identifikation der optionalen Aufbaureihenfolgen ermittelt das System die optimale Aufbaureihenfolge. Auf Basis von MTM Standardzeiten und der im System hinterlegten DFA Regeln von BOOTHROYD und DEWHURST erfolgt die Optimierung des Produktdesigns, die in eine Optimierung der Aufbaureihenfolge mündet.

IDAP (Integrated Design and Assembly Planning) ist ein operationalisiertes System auf Netzwerkbasis, das die aus der Produktgestalt resultierenden Rahmenbedingungen für die Gestaltung von Montageprozessen widerspiegelt (BULLINGER ET AL. 1991). Das Netzwerk ist in Form eines Graphen abgebildet, der die Wechselwirkungen zwischen den Prozessschritten der DFA Analyse und der Montageprozessplanung aufzeigt. Der Informationsfluss zwischen der zur DFA Analyse

und der für die Montageplanung eingesetzten Software wird durch einen systeminternen Netzwerkkeditor sichergestellt, der die Informationen in einer grafischen Mensch-Maschine-Schnittstelle wiedergibt.

ZHA ET AL. (1999) entwickelten ein Modell, das mit Hilfe eines agentenbasierten Rahmenwerks die Integration multidisziplinärer, wissensbasierter Systeme und Software zur ganzheitlichen Entwicklung und Optimierung von Produkten und Montagesystemen realisiert. Das intelligente Rahmenwerk besteht dabei aus sechs Agenten. Agent 1 wird durch ein wissensbasiertes System für die Phase der Produktkonzeption repräsentiert. Mit Hilfe der objektorientierten Programmierung werden nach Eingabe der funktionalen und fertigungstechnischen Anforderungen unterschiedliche Produktkonzepte generiert. In Agent 2 erfolgt die konstruktive Ausarbeitung der Produktkonzepte. In den Agenten 3 und 4 erfolgt die Überprüfung der generierten Produktmodelle hinsichtlich fertigungs- und montagetechnischen Aspekten. Basierend auf einem regelbasierten, wissensintegrierten Ansatz erfolgt dabei die Untersuchung der Montagefreundlichkeit sowie die Identifikation von produktbezogenen Optimierungsmaßnahmen durch die Generierung und Bewertung optionaler Aufbaureihenfolgen. Durch den prozessorientierten Ansatz der Bewertung der Produktgestalt liefert das Modell automatisiert die optimale Konstellation des Montagesystems auf Mikrosystemebene. Mit Hilfe einer Kombination aus Expertensystem und wissensbasiertem Petrinetz erfolgt in Agent 6 die simulationsbasierte Darstellung und Überprüfung des optimalen Montageprozesses.

DELCHAMBRE entwickelte ein System, das aus einem vorgelagerten, produktbezogenen off-line Programmierungsmodell und einem produktionsbezogenen on-line Controlling Modell für die reale Produktion besteht (DELCHAMBRE 1992). Im off-line Programmierungsmodell werden die vier Disziplinen der DFA, Montageplanung, Ressourcenplanung und Produktionsprogrammplanung über einen systeminternen Regelkreis miteinander verknüpft. Als Datenbasis agiert ein CAD-Modell des zu untersuchenden Produkts. Werden Änderungen am Produkt durchgeführt, so können die Auswirkungen auf die resultierenden Ressourcen und Produktionsprogramme im Montagesystem aufgezeigt werden. Trotz der informationsbezogenen Verknüpfung der verschiedenen Module erfolgt die Optimierung der Produktgestalt und des Montagesystems sequentiell und nicht gekoppelt. Das Modell liefert dem Anwender zwar Feedback darüber wie sich das Montagesystem bei Änderungen des Produkts verändert. Maßnahmen zur konkreten Optimierung des Montagesystems werden im Modell aber nicht automatisch generiert.

2.4.3 Fazit: Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Im Rahmen dieses Kapitels wurden heute existierende Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung beschrieben. Die beschriebenen Verfahren lassen sich dabei in Abhängigkeit

ihres Betrachtungsschwerpunktes in produktfokussierte und prozessfokussierte Verfahren unterteilen (JAYARAM ET AL. 1997). Produktfokussierte Verfahren analysieren die einzelnen Prozessschritte einer vordefinierten Aufbaureihenfolge eines zu optimierenden Produkts im Detail. Auf diese Weise können produktinduzierte Schwachstellen der Montierbarkeit identifiziert und Maßnahmen zur Verbesserung der Montageeffizienz abgeleitet werden. Prozessfokussierte Verfahren ermitteln hingegen durch Simulation und Bewertung optionaler Aufbaureihenfolgen des zu untersuchenden Produkts den optimalen Montageprozess. Eine Veränderung der Konstruktion des Produkts erfolgt in der Regel nicht beziehungsweise erst in einem nachgelagerten Prozessschritt. Als zentrale Eigenschaft teilen sich beide Verfahrenstypen, dass der iterative Optimierungsprozess auf der Mikroebene unter der Annahme statischer Produkt-, Montagesystem- und Marktrahmenbedingungen erfolgt. Dadurch tritt die praxisbezogene Verhaltensbeeinflussung des Konstrukteurs beziehungsweise des Montageplaners bei Detailproblemen in den Mittelpunkt der vorhandenen Systeme.

Die beiden Verfahrenstypen weisen vergleichbare Vorteile auf. Repräsentativ sind hier die präventive Reduzierung der Produktkomplexität und Montagezeit, die frühzeitige Visualisierung des Montagekonzepts und des Produktionsablaufs, die Förderung der interdisziplinären Teamarbeit sowie die Verkürzung des Zeitraums bis zum Markteintritt zu nennen (BOOTHROYD ET AL. 1994, DUMBROWSKI ET AL. 2005, SCHMIDT 1998). Die Vergleichbarkeit der Vorteile der beiden Verfahren liegt dabei in der Tatsache begründet, dass die prozessfokussierten Verfahren zur konstruktiven

Bezugsobjekt	Anforderungen/ Identifikation/ Berücksichtigung von	Orientierung	
		Produkt	Prozess
Produkt	Verbesserungsmaßnahmen Mikroebene	●	●
	Verbesserungsmaßnahmen Makroebene	○	●
	Bewertung von Produktalternativen	●	●
Prozess	Bestimmung der optimalen Aufbaureihenfolge	●	●
	Bewertung von Prozessalternativen	○	●
Life Cycle Montagesystem	Technische Rahmenbedingungen	○	●
	Organisatorische Rahmenbedingungen	○	○
	Marktgetriebene dynamische Aspekte	○	○
	Flexibilitätsbedarf und -angebot	○	●
	Industrielle Lerneffekte	○	○
	Monetäre Bewertung	○	○
Anwender	Frühzeitige Anwendbarkeit	●	●
	Kein Detail-Fachwissen erforderlich	○	○
	Angemessener Zeit- und Ressourcenaufwand	○	○
	Förderung der Interdisziplinären Teamarbeit	●	●
	Angemessenes Aggregationslevel der Ergebnisse	●	●

○ nicht erfüllt
 ● teilweise erfüllt
 ● erfüllt

Abb. 18: Bewertung der Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung

Produktoptimierung produktfokussierten Verfahren als Zusatzmodule in ihre Systemumgebungen integrieren.

Aus den beschriebenen Eigenschaften der Verfahren resultieren systemseitige Einschränkungen, die dazu führen, dass die in Kapitel 1.4 definierten Modellanforderungen durch deren Einsatz nicht ganzheitlich erfüllt werden können. So ist zum einen eine effiziente Nutzung der Verfahren nur bei Vorhandensein detaillierter Produktdaten in Form von Zeichnungen oder CAD-Modellen möglich. In den frühen Phasen der Produktentwicklung, in denen verschiedene Produktkonzepte hinsichtlich ihrer Integrationsfähigkeit in bestehende Montagesysteme verglichen werden sollen und lediglich konzeptionelle Informationen verfügbar sind, erweisen sich die vorgestellten Verfahren als ungeeignet. Zum anderen führt der geforderte Detaillierungsgrad zu einem hohen zeitlichen Aufwand bei der Anwendung. Aus diesem Grund findet der Großteil der beschriebenen Verfahren ihren Einsatz bei der Optimierung eines ausgewählten Produktkonzeptes. Wechselwirkungen zum bereits im Montagesystem gefertigten Produktprogramm ebenso wie die vom Markt induzierten flexibilitätsseitigen Anforderungen, die in den vorherigen Kapiteln als zentrale Wettbewerbsfaktoren identifiziert wurden (vgl. Kapitel 2.1.5), werden nicht berücksichtigt. Das zu optimierende Produkt wird vielmehr als eigenständiges, abgeschlossenes System betrachtet. Des Weiteren erfolgt keinerlei Übertragung der Kundensicht in die Unternehmenssicht. Dadurch wird der im Modell geforderte Schritt der Kundenforderungs- und Kundenurteils-messung während des Optimierungsprozesses außer Acht gelassen. Eine auf den dynamischen, marktgetriebenen Life Cycle des Montagesystems bezogene Bewertung, Auswahl und konstruktive Anpassung von Produktkonzepten unter Berücksichtigung von markt-, produktions- und flexibilitätsseitigen Anforderungen ist durch die heute existierenden Verfahren der produktionsorientierten Produktentwicklung somit nicht ganzheitlich möglich.

In Bezug auf die Abbildung produkt- und produktionsseitiger Anforderungen und Einflussfaktoren im Subsystem Produkt-Produktionssystem ist das EHPV-Verfahren als besonders vorteilhaft zu bewerten. Als zentrale Gründe hierfür sind der phasen- und bereichsübergreifende Charakter des Verfahrens, der klar strukturierte, wettbewerbsorientierte Zielableitungs- und Controllingprozess sowie die zunehmende Verbreitung als Standardverfahren innerhalb der Automobilindustrie aufgeführt. Auf Grund der Neuheit des EHPV-Verfahrens, der schweren Zugänglichkeit valider Daten und der noch nicht erfolgten Standardisierung existiert bis heute jedoch noch keine Verifizierung des Verfahrens in der wissenschaftlichen Literatur. Um mit dem in dieser Arbeit zu entwickelnden Modell eine durch experimentelle Untersuchungen bestätigte, produktionsorientierte Abbildung von Produkten bereitzustellen, wurden zur Verifizierung des EHPV-Verfahrens im Rahmen dieser Arbeit drei Studien durchgeführt. Die in Kapitel 5.1 dargestellten Ergebnisse der Studien zeigen, dass das EHPV-Verfahren als valides Werkzeug zur produktionsorientierten Steuerung und Kontrolle der Produktentwicklung und Produktionsplanung eingesetzt werden kann.

2.5 Produktentwicklungsstrategien im Kontext der effizienten Nutzung von Flexibilitätsangeboten bestehender Montagesysteme

Um eine kosteneffiziente, wettbewerbsfähige Produktion zu gewährleisten stehen Unternehmen permanent vor der Aufgabe, eine situationsgerechte Abstimmung von markt- und produktseitig definiertem Flexibilitätsbedarf und dem zu installierenden Flexibilitätsangebot in ihren bestehenden Montagesystemen zu erreichen. Diesen Zusammenhang haben die Unternehmen branchenübergreifend erkannt und reagieren über eine höhere Gewichtung der Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung als auch der Anpassung der Produkte an die produktionsseitigen Anforderungen (WESTKÄMPER ET AL. 2003). Das zukünftige Markt- und Kundenverhalten ist jedoch auf Grund der zunehmenden Dynamik auf den globalen Märkten schwer vorherzusagen. Eine zielgerichtete Planung des zu implementierenden Flexibilitätsangebots wird vor diesem Hintergrund zur Herausforderung (ROSCHE 2008). Konzepte, mit denen die verschiedenen Hersteller versuchen, diese Herausforderung zu lösen, spiegeln sich in deren markt- und produktbezogenen Flexibilitätsstrategien wider. Hierbei ist ein Zusammenhang zwischen den marktseitig geforderten Produkthanforderungen, den entwicklungsseitig umgesetzten Produkteigenschaften und den Flexibilitätsstrategien von Montagesystemen vorhanden.

Die Analyse bestehender Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung in den Kapiteln 2.3 und 2.4 zeigt, dass flexibilitätsinduzierte Faktoren bei der Planung und Entwicklung von Produkten heute nach wie vor methodenseitig nicht ausreichend Berücksichtigung finden. Um zum einen die Notwendigkeit der Berücksichtigung flexibilitätsinduzierter Faktoren bei der Planung und Entwicklung von Produkten aufzuzeigen und zum anderen deren Relevanz für das in dieser Arbeit zu erarbeitende Modell hervorzuheben, wird im Rahmen dieses Kapitels der Einfluss der Produktentwicklung auf die Anpassungs- und Änderungsbedarfe von Montagesystemen im Kontext unternehmensspezifischer Flexibilitätsstrategien analysiert und bewertet. Im ersten Schritt wird hierzu der Begriff des Anpassungsbefähigers als Gestaltungsparameter zur Anpassung von Montagesystemen an dynamische Markt- und Produktänderungen eingeführt. Darauf aufbauend werden die verschiedenen Flexibilitätsstrategien von Montagesystemen beschrieben. Neben der Analyse und Bewertung hinsichtlich Anwendungsbereich, Zielen sowie Vor- und Nachteilen erfolgt hier eine Untersuchung bezüglich der Zusammenhänge zwischen Produkt- und Entwicklungsstrategien sowie der montagesystemseitigen Flexibilitätsstrategien. Das Kapitel schließt mit einem Fazit ab, in dem eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt und der Bedarf zur Synchronisierung von Produktentwicklung und dem flexibilitätsinduzierten Life Cycle Management von Montagesystemen aufgezeigt wird.

2.5.1 Anpassungsbefähiger als Gestaltungsparameter von Systemflexibilitäten in Montagesystemen

Bei der Life Cycle-orientierten Auffassung von Montagesystemen als veränderliche Produkte mit langen Lebensdauern tritt die kontinuierliche Kontrolle und Anpassung von Flexibilitätsangeboten als Reaktion auf sich permanent ändernde Markt- und Produkthanforderungen in den Vordergrund (vgl. Kapitel 1.2). Die potentiellen Anpassungen bestehender Montagesysteme umfassen dabei neben der Überdimensionierung fünf weitere Dimensionen: Die Mobilität, die Erweiter- und Reduzierbarkeit, die Modularität, die Funktions- und Nutzungsneutralität sowie die Vernetzungsfähigkeit (HERNÁNDEZ 2003). Diese Anpassungsbefähiger ermöglichen die Reaktion eines Montagesystems auf den Personal- und Volumenflexibilitätsbedarf dynamischer Umwelten und determinieren maßgeblich die im Produktionsbetrieb entstehenden Kosten (ROSCHER 2008).

2.5.2 Personalflexibilität als strategieübergreifendes Flexibilitätsangebot von Montagesystemen

Die Personalflexibilität von Montagesystemen ist als zentrales Flexibilitätsangebot bezüglich Stückzahlschwankungen und Produktänderungen anzusehen (MCKINSEY & COMPANY 2005, ROSCHER 2008). Die Variation der Anzahl von Arbeitskräften (Arbeitskräfte-Flexibilität) und die Variation der damit direkt verknüpften Arbeitszeit (Arbeitszeit-Flexibilität) stellen neben der flexiblen Zuordnung von Arbeitskräften auf Arbeitsprozesse die wesentlichen Anpassungsbefähiger der Personalflexibilität dar und erlauben eine Anpassung dieser (GÜNTHER 1989). Die Ein- und Ausstellung von Arbeitskräften sowie die Arbeitskräfteverschiebung zwischen Linien stellen die zentralen Anpassungsbefähiger hinsichtlich der Arbeitskräfte-Flexibilität eines Montagesystems dar.

Während der Abgleich von Personalkapazität und Personalbedarf auf den Ebenen der strategischen bis operativen Personalbedarfsplanung durchgeführt wird, erfolgt die Anpassung der Arbeitszeit auf taktischer bis operativer Ebene (GÜNTHER 1989, MCKINSEY & COMPANY 2005). Letztere genannte Arbeitszeit-Flexibilität ermöglicht eine Entkopplung der tariflichen Arbeitszeit von der Betriebsnutzungszeit (ROSCHER 2008). Als Anpassungsbefähiger sind hier die Schichtlänge, Schichtbetrieb, Freischichten, Zusatzschichten, Absageschichten und Betriebsruhen zu nennen.

2.5.3 Volumenflexibilität und Flexibilitätsstrategien für Montagesysteme

Neben der Personalflexibilität stellt die Volumenflexibilität das zweite zentrale Flexibilitätsangebot von Montagesystemen zur Reaktion auf produkt- und marktinduzierte Flexibilitätsbedarfe dar.

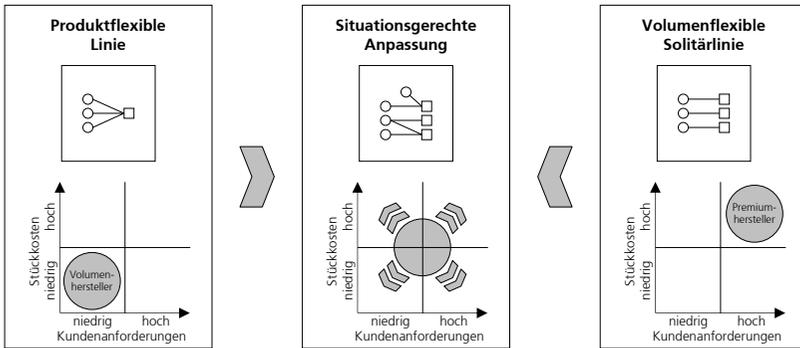


Abb. 19: Flexibilitätstrategien für Montagesysteme

Dabei kann dieses Flexibilitätsangebot durch zwei komplementäre Flexibilitätsstrategien umgesetzt werden: die volumenflexible Solitärlinie und die produktflexible Linie. Nachfolgend werden diese beiden Flexibilitätsstrategien beschrieben.

2.5.3.1 Die Flexibilitätstrategie der volumenflexiblen Solitärlinie

Die volumenflexible Solitärlinie ermöglicht bei geringer Marktdynamik und -unsicherheit, hohem Innovationsgrad und Variantenreichtum des Produktprogramms, sowie hohen Personalkosten eine kosteneffiziente Produktion. Durch ein Anpassen von Takt- und Betriebsnutzungszeit an variierende Stückzahlen wird ein wirtschaftliches Abfangen von Nachfrageschwankungen möglich (ROSCHER 2008).

Wesentlicher Nachteil der volumenflexiblen Solitärlinie ist der hohe Planungsaufwand für Umbau-, Rüst- und Qualifizierungskosten, der bei der Variation der Taktzeit mit der Verschiebung von Arbeitsvorgängen einhergeht. Diese Neuausstattung der Linie führt zu einer kurz- bis mittelfristigen Reduktion der Prozesseffizienz und erhöht somit den Arbeitskräftebedarf. Bei Nachfragerückgang sinkt dann jedoch die Ressourcenauslastung erneut, was zu einem Anstieg des Fixkostenrisikos führt. Die Strategie der volumenflexiblen Solitärlinie eignet sich deshalb nicht für kurzfristige Bedarfsanpassungen, sondern dient der Anpassung an Nachfrage-Trends (ROSCHER 2008).

Angesichts der genannten potentiellen Einschränkungen hinsichtlich des Anpassungspotenti- als an Bedarfschwankungen findet die volumenflexible Solitärlinie selten durchgängige Verbreitung bei Kostenführern. Für Hersteller, deren Fokus auf hochinnovativen, kundenindividualisierten und variantenreichen Produkten liegt, stellt die volumenflexible Solitärlinie die klassische Flexibilitätsstrategie dar. Das bei diesen Premiumherstellern kunden- und entwicklungsgetriebene Produktdesign kann hier kostenoptimal in der Montagelinie umgesetzt werden (WESTKÄMPER ET AL. 2005).

2.5.3.2 Die Flexibilitätsstrategie der produktflexiblen Montagelinie

Die produktflexible Linie bietet bei geringer Personalflexibilität, dynamischen, unsicheren und geringen Stückzahlen sowie kurzen Produktlebenszyklen deutliche Vorteile gegenüber der volumenflexiblen Solitärlinie. Durch den gegenseitigen Ausgleich gegenläufiger saisonaler und lebenszyklusbedingter Nachfrageschwankungen einzelner Produkte erlaubt die Flexibilitätsstrategie der produktflexiblen Montagelinie eine konstant hohe Auslastung der personellen und technischen Ressourcen (ROSCHER 2008).

Den größten Vorteil aus produktionswirtschaftlicher Sicht stellt die hohe Auslastung und die hohe Lieferfähigkeit der produktflexiblen Montagelinie dar. Bedingt durch die in der Regel kleineren Gesamtkapazitäten werden bei der Installation der Montagelinie ebenso geringere Investitionen benötigt (WESTKÄMPER ET AL. 2005).

Im Gegenzug weist die produktflexible Linie angesichts der steigenden Bedeutung von Produkt- und Prozessinnovationen zwei wesentliche Nachteile auf. Bei langer Nutzungsdauer und hoher Varianz der zu fertigenden Produkte ist mit der produktflexiblen Linie nur eine niedrigere Prozesseffizienz im Vergleich zu der volumenflexiblen Solitärlinie erreichbar. Des Weiteren schränken die Vorgaben der Produktion die Freiheit der Produktentwicklung und des Vertriebs stark ein, wodurch häufig negative Auswirkungen bei der Produktattraktivität zu verzeichnen sind (ROSCHER 2008).

Angesichts der genannten möglichen Einschränkungen hinsichtlich des Innovations- und Individualisierungsgrads der Produkte finden produktflexible Linien selten durchgängige Verbreitung bei Premiumherstellern. Diese nutzen produktflexible Linien lediglich für Nischenprodukte mit geringer Stückzahl, für die sich Solitärlinien als nicht rentabel erweisen (ROSCHER 2008, WESTKÄMPER ET AL. 2005). Die produktflexible Linie wird aus diesen Gründen traditionell von den Kostenführern im Markt genutzt, deren Produktdesign auf die Anforderungen und die vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten der Produktion und des Produktionssystems ausgerichtet ist (Roscher 2008). Als Beispiel ist hierfür repräsentativ der japanische Automobilhersteller TOYOTA aufzuführen.

2.5.4 Fazit: Produktentwicklungsstrategien im Kontext der effizienten Nutzung von Flexibilitätsangeboten in bestehenden Montagesystemen

Als zentrale Auslöser für Flexibilitätsbedarfe in Montagesystemen sind sich ändernde Produkte und die Dynamik des Marktes anzusehen. Diese determinieren zukünftige Montagezeiten und die im Montagesystem zu produzierenden Stückzahlen (ROSCHER 2008). Um eine kosteneffiziente, wettbewerbsfähige Produktion zu gewährleisten, sind Unternehmen permanent gefordert eine situationsgerechte Abstimmung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot in ihren bestehenden Montagesystemen zu realisieren. Neben der Nutzung vorhandener Personalflexibilitäten kann

dies durch die richtige Wahl der Volumenflexibilitätsstrategie erreicht werden. Im heutigen Umfeld permanent zunehmender Markt- und Wettbewerbsdynamiken ermöglicht dabei weder das alleinige Solitärkonzept noch die vollständige Produktflexibilität von Montagesystemen eine kostenoptimale Produktion. Dadurch ergibt sich ein Zielkonflikt (FRIESE ET AL. 2004, WESTKÄMPER ET AL. 2000). Aus der Life Cycle-orientierten Sicht des Montagesystems weist die produktflexible Linie klare Vorteile hinsichtlich der Ressourcenauslastung auf. Die durch die Flexibilitätsstrategie geforderte Entwicklung der Produkte nach den Anforderungen des Montagesystems stellt jedoch insbesondere für Premiumhersteller ein deutliches Wettbewerbsrisiko hinsichtlich der Innovationsfähigkeit dar. Aus diesem Grund investieren sowohl Kosten- als auch Innovationsführer in beide Linienkonzepte und generieren standort- und produktspezifische Flexibilitätsstrategien (WESTKÄMPER ET AL. 2005). Hierfür müssen die jeweiligen Flexibilitätsarten unter Berücksichtigung vorhandener Personalflexibilitäten linienübergreifend aufeinander abgestimmt werden.

Die Potentiale, die aus der Installation flexibler Montagesysteme resultieren sind nach Aussage verschiedener Autoren jedoch von den Unternehmen noch nicht vollständig realisiert worden (ROSCHE 2008). Als wesentlicher Grund für diese Situation wird die nicht optimale Nutzung technischer und organisatorischer Flexibilitätsangebote in bestehenden Montagesystemen genannt (MCKINSEY & COMPANY 2005, SESTERHENN 2003). Bei der Planung von Flexibilitätsstrategien sind deshalb markt-, produkt- und standortspezifische Faktoren und Randbedingungen zu be-

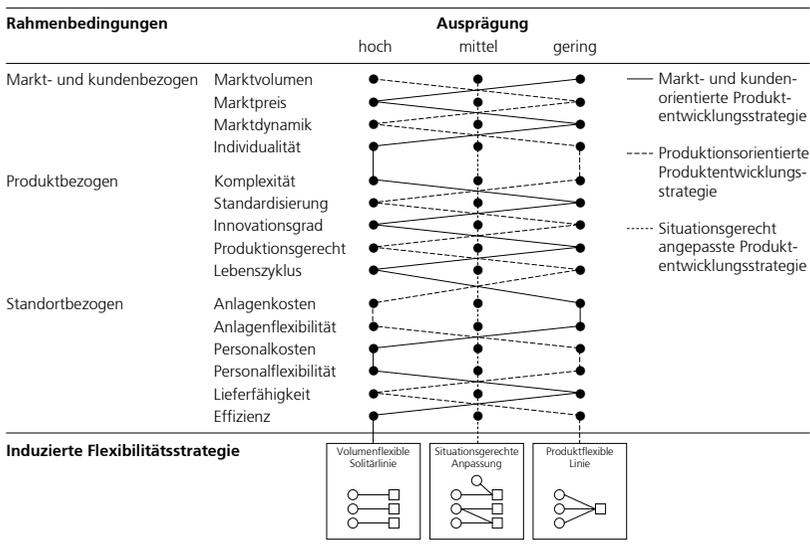


Abb. 20: Bedeutungsprofile der Produktentwicklungsstrategien im Kontext optionaler Flexibilitätsstrategien von Montagesystemen

rücksichtigen (siehe Abbildung 20).

Von zentraler Bedeutung für die Festlegung und Verwertung der Flexibilitätsstrategie ist dabei die Produkt- und Entwicklungsstrategie des Unternehmens. Diese beeinflusst durch ihre strategische Ausrichtung nachträglich das Flexibilitätsangebot und den Flexibilitätsbedarf des Montagesystems und trägt somit entscheidend zur Wirtschaftlichkeit der Produktion bei. Hinsichtlich der Produkt- und Entwicklungsstrategie sind dabei zwei Konzepte zu unterscheiden. Bei dem kunden- und entwicklungsgetriebenen Produktdesign liegt der Fokus auf der Entwicklung von hochinnovativen, kundenindividualisierten und variantenreichen Produkten mit dem Ziel, die Anforderungen der Kunden bestmöglich zu erfüllen (vgl. Kapitel 2.3). Diese primär bei Premiumherstellern wie BMW und DAIMLER umgesetzte markt- und kundenorientierte Entwicklungsstrategie kann traditionell in volumenflexiblen Solitärlinien mit hoher Linieneffizienz kostenoptimal umgesetzt werden (WESTKÄMPER ET AL. 2005). Demgegenüber ist die produktionsorientierte Entwicklungsstrategie auf die Anforderungen und die vorhandenen Flexibilitätsangebote des Montagesystems ausgerichtet (vgl. Kapitel 2.4) (ROSCHE 2008). Angesichts montagesysteminduzierter Einschränkungen hinsichtlich des Innovations- und Individualisierungsgrads der Produkte wird dieses Konzept traditionell von Kostenführern umgesetzt. Diese in der Regel im Bereich der Volumenhersteller angesiedelten Unternehmen setzten dabei primär die Strategie der produktflexiblen Linie um, die eine hohe Auslastung der Kapazitäten ermöglicht.

Die Planung und Entwicklung neuer Produkte ist somit mit allen sie tangierenden Planungsbereichen abzustimmen, damit die aus dem Produktdesign resultierenden Anpassungs- und Flexibilitätsbedarfe mit den Flexibilitätsstrategien und -angeboten bestehender Montagesysteme einhergeht. Nur durch den frühzeitigen Informationsaustausch zwischen Montagesystem und Produktentwicklung kann ein nachhaltiges Life Cycle Management bestehender Systeme und Fabriken vor dem Hintergrund sich permanent ändernder Markt- und Kundenanforderungen kosteneffizient und unter bestmöglicher Ausnutzung bestehender Synergien realisiert werden (WESTKÄMPER 2007c). Die zur Umsetzung dieser Synergiepotentiale relevante methodische Synchronisierung zwischen den zuvor ausgewählten Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung (vgl. Kapitel 2.3 und 2.4) mit bestehenden Entscheidungsunterstützungssystemen für die flexibilitätsorientierte Planung und Optimierung von Montagesystemen wird im nachfolgenden Kapitel analysiert.

2.6 Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen

Angesichts der hohen Komplexität der zu betrachtenden Rahmenbedingungen, Einflussfaktoren und Wechselwirkungen bei der Planung und Entwicklung Fabrik Life Cycle-orientierter Produkte bedarf es zum einen einer gezielten Abstraktion der Systemzusammenhänge. Zum anderen bedarf es zur effizienten, anwenderfreundlichen Lösung des vorliegenden Optimierungsproblems der Integration intelligenter Entscheidungsunterstützungssysteme. Die in Kapitel 2.1.6 beschriebene Digitale Fabrik stellt dem Anwender Methoden und Werkzeuge zur Generierung abstrakter Modelle von Montagesystemen zur Verfügung. Diese ermöglichen es, die realen Probleme in vereinfachter Form abzubilden. Entscheidungsunterstützungssysteme versorgen den Entscheidungsträger mit allen relevanten Informationen und unterstützen ihn somit bei der Findung der optimalen Entscheidung (KLEIN ET AL. 2004, STAHLKNECHT ET AL. 2005). Ausschlaggebend für die Effizienz bei der Entscheidungsfindung und die Qualität der Entscheidung ist dabei die situationsgerechte Wahl des Entscheidungsunterstützungssystems.

In Abhängigkeit der Rahmenbedingungen, die bei der Entscheidungsfindung zugrunde liegen und der daraus resultierenden Fragestellung werden drei grundlegende Typen von Entscheidungssituationen unterschieden: Entscheidungen bei mehreren Zielen, Entscheidungen bei Unsicherheit und Entscheidungen durch Optimierung (KLEIN ET AL. 2004). In Bezug auf die Problemstellung dieser Arbeit gilt es die Frage zu beantworten, wie sich die optimale Lösung bei sich dynamisch ändernden markt-, produkt- und produktionssystemseitigen Rahmenbedingungen zusammensetzt und sich in der Phase der Produktplanung sicher prognostizieren lässt. Diese Entscheidungssituation wird durch den Typ der Entscheidung durch Optimierung charakterisiert.

Für die Auswahl eines geeigneten Entscheidungsunterstützungssystems zur Lösung der Aufgabenstellung dieser Arbeit werden in einem ersten Schritt verschiedene aus der Mathematik bekannte Entscheidungsunterstützungssysteme für Entscheidungen durch Optimierung diskutiert. Darauf aufbauend werden im zweiten Schritt heute existierende Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen beschrieben und hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit für die Problemstellung dieser Arbeit bewertet.

2.6.1 Entscheidungsunterstützungssysteme für Entscheidungen durch Optimierung

In den vergangenen Jahrzehnten wurden im Bereich der Mathematik verschiedene Optimierungsverfahren entwickelt, die durch den Einsatz von Algorithmen den Anwender bei der Lösung

komplexer Entscheidungssituation unterstützen. Nachfolgend werden durch die Beschreibung exakter und heuristischer Optimierungsverfahren die beiden wichtigsten Bausteine heutiger Entscheidungsunterstützungssysteme für Entscheidungen durch Optimierung vorgestellt und im Hinblick auf die Problemstellung der Arbeit bewertet.

In der Literatur wird der Begriff der Optimierung als „Aufsuchen des kleinsten (Minimierung) oder größten (Maximierung) Wertes einer mathematischen Funktion mehrerer Veränderlicher, der Zielfunktion, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen in Form von Gleichungen und/oder Ungleichungen“ definiert (BROCKHAUS 2006B). Die Bestimmung optimaler Systemparameter erfolgt mit Hilfe von Algorithmen (TIMM 2007). Als Algorithmus wird dabei eine Folge von Entscheidungen D_1, \dots, D_k bezeichnet, die zur Lösung des Optimierungsproblems führen (KAPPES 2007).

In Abhängigkeit von der Lösungsqualität lassen sich Optimierungsverfahren in exakte und heuristische Verfahren klassifizieren. Exakte Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass sie entweder eine exakte Lösung für das vorliegende Problem finden oder feststellen, dass das vorliegende Problem unlösbar oder unbeschränkt ist (DIESNER 2006). Als Hauptvertreter der exakten Verfahren sind die lineare (BEITZ ET AL. 2001, BERTSIMAS ET AL. 1997, BIXBY 2002, DANTZIG 1966, KHACHIYAN 1980, SINGH 1997), die ganzzahlige lineare (EISELT ET AL. 2000, KLOSE 2004), die nichtlineare (BEITZ ET AL. 2001) und die mehrstufige Optimierung (BELLMANN 1957, CORMEN ET AL. 2001, DIESENER 2006, DREYFUS 2002, KAPPES 2007, ROSCHER 2008) zu nennen. Heuristische Verfahren sind auf Erfahrungen beruhende Vorgehensweisen, die innerhalb vertretbarer Rechenzeit nach guten Lösungen für ein vorliegendes Problem suchen. Im Allgemeinen ist jedoch keine Aussage darüber möglich, inwieweit die gefundene Lösung der theoretisch optimalen Lösung entspricht (REEVES 1995). Im Gegensatz zu den exakten Verfahren werden heuristische Verfahren in der Regel als Eröffnungsverfahren eingesetzt, die innerhalb kurzer Zeit eine erste annähernde Lösung des Optimierungsproblems liefern (DIESNER 2006). Als Hauptvertreter der heuristischen Verfahren sind das HILL-CLIMBING Verfahren (GLOVER ET AL. 1997, HILLIER ET AL. 2005) und das Verfahren der genetischen Algorithmen (GOLDBERG 1998, POLI ET AL. 2008, RECHENBERG 1994) genannt.

Auf Grund der nicht Eindeutigkeit der ermittelten Optimallösung, der dadurch sinkenden Qualität der resultierenden Planungsergebnisse und der damit in Frage zu stellenden Aussagekraft abgeleiteter Handlungsprämissen sind heuristische Verfahren für die Aufgabenstellung dieser Arbeit als ungeeignet zu bewerten. Die exakten Optimierungsverfahren der linearen, der ganzzahlig linearen und der nichtlinearen Optimierung sind dadurch gekennzeichnet, dass sie das Maximum oder Minimum einer definierten Zielfunktion mit mehreren Variablen auf Basis einer globalen Betrachtungsweise des Gesamtproblems zu ermitteln versuchen. Übertragen auf die in dem Gesamtsystem Markt-Produkt-Produktionssystem auftretenden vielseitigen, komplexen und primär zeitlich dynamischen Wechselwirkungen ist ein Einsatz dieser Optimierungsverfahren jedoch als zeitlich und wirtschaftlich ineffizient zu bewerten.

Im Hinblick auf den in dieser Arbeit im Mittelpunkt stehenden dynamischen Fabrik Life Cycle ermöglicht der Einsatz der mehrstufigen Optimierung die gezielte Unterteilung und sukzessive Optimierung einzelner in Wechselwirkung stehender Phasen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem. Durch eine zeitabhängige, den dynamischen Life Cycle der Fabrik eindeutiger modellierende Vorgehensweise werden die Nachteile der globalen Betrachtungsweise der zuvor genannten Optimierungsverfahren beseitigt und eine zeiteffizientere Nutzung der Algorithmen gewährleistet.

Im folgenden Teilkapitel werden verschiedene Modelle von Entscheidungsunterstützungssystemen für die Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen beschrieben. Das Teilkapitel liefert inhaltlich die Basis für die in Kapitel 2.6.3 zusammenfassende Bewertung der Modelle hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung.

2.6.2 Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen

SCHNEEWEIB entwickelte ein Modell, das basierend auf der dynamischen Programmierung Entscheidungen bei Dynamik und Unsicherheit im Kontext der flexibilitätsorientierten Planung von Produktionssystemen unterstützt (SCHNEEWEIB 1992). Zur Lösung des Optimierungsproblems greift Schneeweiß auf das Konzept des Entscheidungsbaums zurück. Jeder theoretisch möglichen, zeitabhängigen Anpassung des Systems wird ein Erwartungswert des Nutzens zugewiesen. Zur Abbildung externer Einflussfaktoren werden die anpassungsspezifischen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Unsicherheiten im Modell integriert und bei der Ermittlung des Erwartungswertes mit berücksichtigt.

FAIBT, SCHNEEWEIB und GÜNTHER präsentieren einen Ansatz, der durch Zuhilfenahme eines mehrstufigen Optimierungsmodells die operative Betriebsplanung von Produktionssystemen unterstützt. Im Mittelpunkt des Ansatzes steht die Prognose und Optimierung der im Produktionsbetrieb anfallenden Arbeitszeiten (FAIBT ET AL. 1991). Hierzu erfolgt die periodenbezogene Analyse und Optimierung erforderlicher Überstunden, Lagerbestände und Produktionsmenge, die zugleich als Basis für die Modellierung des Produktionssystems agieren. Zur Berücksichtigung dynamischer marktseitiger Effekte stellt das Modell Schnittstellen zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen bereit.

INMAN und JORDAN entwickelten ein Modell, das die strategische Montageplanung unter dem Gesichtspunkt der Minimierung des Arbeitskräftebedarfs unterstützt (INMAN ET AL. 1997). Im Zentrum des Optimierungsproblems steht dabei die arbeitskräfteminimale Allokation gegebener Produkte auf eine definierte Anzahl von Montagelinien. Die Modellierung des Produktionssystems

basiert primär auf den produktinduzierten Montagezeiten. Zur Lösung des Optimierungsproblems erfolgt in einem ersten Schritt die Ermittlung der produktmontagezeitoptimalen Allokation der Produkte auf die Montagelinien. Im zweiten Schritt wird der periodenbezogene Arbeitskräftebedarf optimiert.

CHANDRA, EVERSON und GRABIS präsentieren ein dynamisches Modell, das auf Basis eines generischen Algorithmus und eines linearen Optimierungsmodells den Planer bei der Prognose optimaler Kapazitäten unter Berücksichtigung gegebener Flexibilitätsstrategien, Marketingmaßnahmen, Umweltrichtlinien und Unsicherheiten der Nachfrage im Produktionsverbund unterstützt (CHANDRA ET AL. 2005). Zur Lösung des Optimierungsproblems wird in einem ersten Schritt die optimale Kapazität der Werke und der Zulieferer innerhalb des betrachteten Produktionsverbunds mit Hilfe eines genetischen Algorithmus ermittelt. Im Anschluss daran wird basierend auf dem implementierten linearen Optimierungsmodell für die optionale Kapazitätsstrategie der maximale Gewinn für verschiedene Nachfrageszenarien prognostiziert und für die Entscheidung aufbereitet.

WEMHÖNER entwickelte ein Modell, mit dem alternative Fertigungskonzepte im Automobilrohbau unter Berücksichtigung von dynamischen, Fabrik Life Cycle-bezogenen Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Flexibilität optimiert werden (WEMHÖNER 2005). Dadurch wird es möglich, die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Konzeptalternativen bei Eintritt verschiedener Marktszenarien zu prognostizieren, zu bewerten und zu optimieren. Im Zentrum des Modells steht dabei die Ermittlung des wirtschaftlich optimalen, Fabrik Life Cycle-bezogenen Anpassungspfades systembestimmender Betriebsparameter. In Abhängigkeit von fix ausgewählten Parameterkombinationen (z.B. Anzahl der Linien und optionale Flexibilitätsstrategien) werden hierbei für verschiedene Nachfragekombinationen und -wahrscheinlichkeiten die optimalen Ausprägungen der zeitvariablen Parameter (z.B. Taktzeit, Produktionsmenge und Schichtanzahl) ermittelt. Als primäre Zielgröße für die Optimierung agieren dabei die bei der Produktion entstehenden laufenden Kosten. Der wesentliche Nachteil des Modells besteht darin, dass keine vollständige analytische Ermittlung der Anpassungspfade erfolgt.

ROSCHE präsentiert ein Modell, das auf Basis der dynamischen Programmierung die strategische Montageplanung bei der Bewertung von Flexibilitätsstrategien unter Berücksichtigung Fabrik Life Cycle-bezogener Einflussfaktoren unterstützt (ROSCHE 2008). Wie auch beim Ansatz von WEMHÖNER steht die Ermittlung kostenoptimaler Anpassungspfade des Produktionsbetriebs über der Zeit im Mittelpunkt des Modells. Die Basis wird durch ein detailliertes Modell des Montagebetriebs gebildet, das unter Berücksichtigung aufkommender industrieller Lerneffekte und Unsicherheiten der Marktnachfrage eine Ermittlung der Personalkosten und operativer Anpassungskosten ermöglicht. Der im Modell umgesetzte Optimierungsalgorithmus ermittelt für jedes Nachfrageszenario ein kostenoptimales Entscheidungsverhalten der operativen Planung über der Zeit (Life Cycle Adaptation Planner). Neben der periodenbezogenen Verteilung des Produktionsprogramms auf die Montagelinien werden hierbei die Taktzeiten und Schichtmodelle sowie die erforderlichen

Ressourcen für den Betrieb der Montagelinien optimiert. Als Zielgröße des Optimierungsmodells agiert dabei der Kosten-Kapitalwert, der einen Bezug der Betriebskosten zum Planungszeitpunkt gewährleistet.

2.6.3 Fazit: Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität marktwirtschaftlicher und technischer Rahmenbedingungen gewinnen Entscheidungsunterstützungssysteme zunehmend an Bedeutung. Diese unterstützen den Entscheidungsträger bei der effizienten Ermittlung optimaler Entscheidungen in komplexen Entscheidungssituationen. Im Mittelpunkt der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Problemstellung steht die Frage, wie sich die aus Sicht des Marktes und der Produktion optimale Lösung bei den vorliegenden dynamischen Rahmenbedingungen zusammensetzt. Diese Entscheidungssituation wird durch den Typ der Entscheidung durch Optimierung charakterisiert.

Für die zielorientierte Unterstützung bei der Entscheidungsfindung stellt die Mathematik exakte und heuristische Optimierungsverfahren bereit. Auf Grund der nicht Eindeutigkeit der ermittelten Optimallösung, der dadurch sinkenden Qualität der resultierenden Planungsergebnisse und der damit in Frage zu stellenden Aussagekraft abgeleiteter Handlungsprämissen sind heuristische Verfahren für die Lösung der Problemstellung dieser Arbeit als ungeeignet zu bewerten. Im Hinblick auf den im Mittelpunkt stehenden dynamischen Fabrik Life Cycle ermöglicht die mehrstufigen Optimierung die gezielte Unterteilung und sukzessive Optimierung einzelner in Wechselwirkung stehender Phasen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem.

Aufbauend auf dem Ansatz der exakten Optimierungsverfahren wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen entwickelt. Die in Kapitel 2.6.2 beschriebenen Entscheidungsunterstützungssysteme sind dabei unterschiedlich gut für die Prognose optimaler Betriebsparameter unter den Anforderungen dieser Arbeit geeignet. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 21 durch die Bewertung der verschiedenen Entscheidungsunterstützungssysteme aufgezeigt.

FAIBT, SCHNEEWEIß und GÜNTHER (FAIBT ET AL. 1991) und INMAN und JORDAN (INMAN ET AL. 1997) stellen in ihren Modellen die Prognose und Optimierung benötigter Arbeitskräfte und Arbeitszeiten, die als Haupteinflussfaktor auf die Betriebskosten angesehen werden, in den Mittelpunkt. Wie in Abbildung 21 dargestellt, werden technische Kapazitäten und industrielle Lerneffekte ebenso wie aufkommende Investitions- und Anpassungskosten nicht berücksichtigt. Auf Grund der fehlenden Abbildung potentieller Unsicherheiten in der Marktnachfrage und der Verwendung weniger exakter Optimierungsalgorithmen weisen die Modelle von FAIBT ET AL. und INMAN ET AL.

Bezugsobjekt	Anforderungen/ Identifikation/ Berücksichtigung von	Quellen					
		SCHNEE- WEIB (1992)	FAIBT (1991)	INMANN (1997)	CHANDRA (2005)	WEM- HÖNER (2005)	ROSCHER (2008)
Markt	Kundenanforderungen	○	○	○	○	○	○
	Dynamik	●	●	○	●	●	●
	Unsicherheit der Nachfrage	●	○	○	●	●	●
Produkt	Maßnahmen Mikroebene	○	○	○	○	○	○
	Maßnahmen Makroebene	○	○	○	○	○	○
	Bewertung Produktalternativen	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Life Cycle Montagesystem	Technische Kapazität	◐	○	◐	●	●	●
	Organisatorische Kapazität	◐	●	●	◐	◐	●
	Flexibilitätsbedarf u. -angebot	●	●	◐	●	●	●
	Industrielle Lerneffekte	○	○	○	○	○	●
Kosten	Investitionskosten	●	○	◐	●	●	●
	Betriebskosten	●	●	●	◐	●	●
	Anpassungskosten	◐	◐	○	○	●	●
Ergebnisqualität	Aussagegenauigkeit	●	◐	◐	◐	◐	●

○ nicht erfüllt
◐ teilweise erfüllt
● erfüllt

Abb. 21: Bewertung der verschiedenen Entscheidungsunterstützungssysteme

eine niedere Ergebnisqualität im Vergleich zu den anderen beschriebenen Modellen auf. Während die Modelle von FAIBT ET AL. und INMAN ET AL. primär für die Optimierung des operativen Produktionsbetriebs an einem definierten Standort ausgelegt sind, findet das Modell von CHANDRA, EVERSON und GRABIS (CHANDRA ET AL. 2005) seinen Einsatz bei der strategischen Planung und Optimierung von Produktionsnetzwerken. Hierbei treten die Berücksichtigung von Dynamiken und Unsicherheiten in der Marktnachfrage sowie die gezielte Optimierung technischer Kapazitäten und Investitionskosten in den Vordergrund. Wie Abbildung 21 entnommen werden kann, stellen die Modelle von WEMHÖNER (2005) und ROSCHER (2008) vor dem Hintergrund der Anforderungen dieser Arbeit die am weitest fortgeschrittenen und damit am besten geeigneten Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Optimierung von Produktionssystemen zur Verfügung. Als Vorteile des Modells von ROSCHER gegenüber dem Ansatz von WEMHÖNER ist die gezielte Auslegung des Modells auf die Optimierung von Montagesystemen, die detaillierte Integration organisatorischer Kapazitätsaspekte, die Berücksichtigung industrieller Lerneffekte und der Einsatz eines mehrstufigen Optimierungsalgorithmus zu nennen, die in Summe zu einer höheren Qualität der Prognoseergebnisse führen.

Ein Nachteil, den alle beschriebenen Optimierungsverfahren gemein haben ist, dass die im jeweiligen Produktionssystem zu fertigenden Produkte als unveränderliche externe Wandlungstreiber betrachtet werden. Weder Optimierungen auf der Mikroebene noch auf der Makroebene können durch den Einsatz der beschriebenen Verfahren identifiziert und umgesetzt werden. Des Weiteren erfolgt keine direkte Erfassung und Integration marktseitiger Kundenanforderungen, die

die Basis für die nachhaltige Schaffung von Kundenvorteilen darstellen. Prognosen und Optimierungen konzentrieren sich lediglich auf den kosteneffizienten Betrieb des Produktionssystems. Eine Optimierung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem durch die gezielte Synchronisierung markt-, produkt- und produktionssystemseitiger Anforderungen, Eigenschaften und Wechselwirkungen ist mit den bestehenden Verfahren somit nicht möglich.

Gelingt es, die Dimensionen des Marktes und der Produktentwicklung in die Strukturen bestehender Entscheidungsunterstützungssysteme für die Fabrik Life Cycle-orientierte Optimierung von Produktionssystemen zu integrieren, können gezielt Synergien zwischen konstruktiv festgelegten Produkteigenschaften und den Ressourcen des Produktionssystems in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses prognostiziert und optimiert werden. Damit kann dem Anwender ein effizientes Instrumentarium für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung bereitgestellt werden.

2.7 Zusammenfassung der Handlungsbedarfe und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Als Ausgangspunkt für die Entwicklung des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung wurden im Grundlagenteil der Arbeit inhaltlich relevante Begriffe definiert und die erfolgskritischen Faktoren für die Entwicklung markt- und produktionsorientierter Produkte innerhalb des Produktentstehungsprozesses identifiziert. Im Anschluss daran wurden bestehende Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung sowie Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Montagesystemen beschrieben und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Bezug auf die definierte Aufgabenstellung dieser Arbeit bewertet.

In den beiden folgenden Teilkapiteln werden zunächst die Ergebnisse der Analysen des Grundlagenteils zusammengefasst und die daraus resultierenden Handlungsbedarfe aufgezeigt. Im Anschluss daran wird der Untersuchungsbereich für den weiteren Verlauf der Arbeit eingeschränkt.

2.7.1 Zusammenfassung der Handlungsbedarfe

Zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen im Umfeld turbulenter Märkte wurden die markt- und produktionsorientierten Produktentwicklungsstrate-

gien als erfolgskritische Faktoren innerhalb des Produktentstehungsprozesses identifiziert (vgl. Kapitel 2.2.3). Ebenfalls wurde aufgezeigt, dass durch die Ausrichtung der Produktentwicklungsstrategie der Flexibilitätsbedarf sowie die damit einhergehende situationsgerechte Wahl der Flexibilitätsstrategie von Produktionssystemen maßgeblich determiniert wird (vgl. Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.5). Die beiden Produktentwicklungsstrategien betrachten den Produktbegriff dabei aus zwei unterschiedlichen Sichtweisen. Aus der Sicht der marktorientierten Produktentwicklungsstrategie stellen Produkte Mittel zur Befriedigung der Bedürfnisse potentieller Kunden dar (vgl. Kapitel 2.1.1.1 und Kapitel 2.3). Demgegenüber stellen Produkte aus produktionstechnischer Sicht den Output des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses dar, der im übergeordneten Produktionssystem stattfindet (vgl. Kapitel 2.1.1.2 und Kapitel 2.4). Dieser bereits in der Definition des Produktbegriffs präsente Unterschied spiegelt sich in den Strukturen und Zieldimensionen der beiden Produktentwicklungsstrategien wider.

Die Analyse bestehender Verfahren für die markt- und produktionsorientierten Produktentwicklungsstrategien zeigte, dass markt- und kundenorientierte Verfahren sich auf die Integration der Markt- und Kundenanforderungen in den Produktentwicklungsprozess konzentrieren. Die profitabilitätsorientierte Leistungskonzeptfindung als Basis für die Generierung kundenbezogener Wettbewerbsvorteile steht dabei im Mittelpunkt der Aktivitäten. Die ins Innere des Unternehmens gerichtete, produktionsbezogene Sichtweise tritt hingegen in den Hintergrund (vgl. Kapitel 2.3.3).

Bei Verfahren für die produktionsorientierte Produktentwicklung liegt der Fokus auf einer nachhaltigen Reduzierung der Herstellungskosten durch die präventive, mikroorientierte Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen produktionsseitigen Ressourcen. Wettbewerbsrelevante Faktoren wie die frühzeitige, situationsgerechte Bewertung optionaler Flexibilitätsstrategien sowie aufkommender Lernkurveneffekte werden durch die bestehenden Verfahren nicht im erforderlichen Maße berücksichtigt. Die methodische Integration marktseitiger, produktgestaltbezogener Anforderungen erfolgt bei den analysierten Verfahren ebenfalls nicht (vgl. Kapitel 2.4.3).

Entscheidungsunterstützungssysteme für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen sind zur frühzeitigen Prognose optimaler Betriebspunkte bei gegebenen produkt- und produktionsseitigen Rahmenbedingungen ausgelegt. Die Fabrik Life Cycle-orientierte Abstimmung von Flexibilitätsbedarf und -angebot unter Berücksichtigung organisatorischer, technischer und lernkurvenbezogener Aspekte tritt hier in den Vordergrund. Die zu fertigenden Produkte werden bei den bestehenden Entscheidungsunterstützungssystemen als unveränderliche externe Wandlungstreiber betrachtet. Ebenso erfolgt keine direkte Erfassung und Integration marktseitiger Kundenanforderungen. Methodische und informationstechnische Schnittstellen zu den Verfahren der markt- und produktionsorientierten Produktentwicklung existieren nicht. Die Folge ist, dass bei der Planung und Entwicklung von Produkten eine frühzeitige Bewertung und Beeinflussung von Produktkonzepten unter flexibilitätsorientierten Aspekten nicht erfolgen kann (vgl. Kapitel 2.6.3).

Eine auf den dynamischen, marktgetriebenen Life Cycle des Produktionssystems bezogene Bewertung, Auswahl und konstruktive Anpassung von Produktkonzepten unter Berücksichtigung von markt-, produktions- und flexibilitätsseitigen Anforderungen ist durch die heute existierenden Verfahren somit nicht ganzheitlich möglich.

Für die Entwicklung des Modells ergibt sich daraus der Handlungsbedarf markt-, produkt- und produktionsseitige Anforderungen frühzeitig im Produktentwicklungsprozess gegenüber zu stellen und deren gegenseitige Beeinflussung in Hinblick auf den Markterfolg und resultierende Herstellungskosten zu prognostizieren. Für die Prognose des Fabrik Life Cycle-orientierten Optimums aus Marktkonformität der Produkteigenschaften, resultierendem Flexibilitätsbedarf und stückkostenoptimaler, zeitdynamischer Konfiguration des Produktionssystems bedarf es einer Synchronisierung der Systeme Markt, Produkt und Produktionssystem. Hierzu müssen in einem ersten Schritt Modelle für die drei Subsysteme Markt, Produkt und Produktionssystem entwickelt werden. Im Vordergrund muss hierbei die Standardisierung der Methodensprache stehen, die die Basis für den Informationsaustausch zwischen den Modellen definiert. Des Weiteren müssen die Modelle so formuliert werden, dass die Integration der in den vorherigen Kapiteln als besonders effizient bewerteten Verfahren (vgl. Kapitel 2.3, Kapitel 2.4 und Kapitel 2.6) über systeminterne Schnittstellen gewährleistet ist.

Durch die Abbildung des Modells innerhalb eines IT-basierten Systems zur Entscheidungsunterstützung können dann zur Marktanteil-, Stückkosten- und Fabrik Life Cycle-orientierten Prognose des Realbetriebs verschiedene Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem simuliert und bewertet werden. Durch den im Entscheidungsunterstützungssystem abzubildenden Optimierungsalgorithmus wird es möglich, nachhaltige Maßnahmen zur Sicherstellung der Entwicklung markt- und Fabrik Life Cycle-orientierter Produkte zu ermitteln.

Auf Grund der Komplexität des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem wird wie nachfolgend beschrieben der Untersuchungsrahmen der Arbeit eingegrenzt.

2.7.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Im Rahmen der Arbeit wird das System Markt durch die Zielgruppe potentieller Kunden für eine bestimmte Art von Produkt definiert. Als Marktpotential wird die theoretisch maximale Absatzmenge einer bestimmten Art von Produkt innerhalb des definierten Marktes verstanden. Die marktseitige Bewertung von verschiedenen Produktkonzepten durch die potentiellen Kunden erfolgt auf Basis der Ausprägungen vordefinierter Baugruppen. Nicht betrachtet werden Produkteigenschaften, die sich nicht eindeutig Baugruppen zuordnen lassen.

Zur produktionsseitigen Bewertung verschiedener Produktkonzepte dient im ersten Schritt primär die zur Herstellung des Produktkonzepts am jeweiligen Produktionsstandort anfallende

Montagezeit. Die Bewertung der Gesamtmontagezeit eines Produktkonzepts ergibt sich dabei aus der Summe der Montagezeiten der Baugruppen des Produktkonzepts. Nicht betrachtet werden die in anderen Gewerken des jeweiligen Produktionsstandorts anfallenden Fertigungszeiten und -kosten.

In Bezug auf den Fabrik Life Cycle stellt die Gesamtheit der Montagelinien eines Produktionsstandortes einschließlich der dort integrierten Vormontagelinien den primären Untersuchungsbe- reich dieser Arbeit dar. Bei Zulieferunternehmen erbrachte Leistungen werden ebenso wie die im Produktionsverbund mit anderen Standorten auftretenden Prozesse nicht betrachtet. Bei der Simulation und Optimierung von Montagelinien liegt der Fokus auf den manuellen Montageum- fängen der Makroebene. Die Bereiche der Materialbelieferung und -bereitstellung sowie der Produktionsplanung und -steuerung werden im Rahmen der Arbeit nicht betrachtet. Die am jeweiligen Produktionsstandort abgebildete Flexibilitätsstrategie wird durch die Produkt-, Routen-, Nachfolge- und Volumenflexibilität ihrer Montagelinien definiert.

Zur monetären Bewertung optionaler Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien einschließ- lich der hiermit induzierten Flexibilitätsstrategien, werden alle kostenrelevanten Parameter der Montage, die von der Flexibilitätsstrategie und ihrem Flexibilitätsangebot abhängen, berücksich- tigt. Dies sind die Verteilung des Produktionsprogramms auf die Montagelinien, die Arbeitskräfte- planung und die erforderlichen Anpassungen der Takt- und Betriebsnutzungszeit bei Verände- rung des Flexibilitätsbedarfs. Die zur Anpassung des Montagesystems erforderlichen Investitionen werden im Modell berücksichtigt; die korrespondierenden, detaillierten technischen Aspekte werden jedoch nicht näher beleuchtet.

3 Konzeption des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung

Nach der Darstellung der Grundlagen zur Gestaltung von Produkten und Montagesystemen im Umfeld dynamischer Märkte in Kapitel 2, wird in diesem Kapitel das Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung konzipiert. Gemäß der in Kapitel 1.4 formulierten Aufgabenstellung soll mit dem zu konzipierenden Modell der Planungs- und Entwicklungsprozess innovativer, kundenindividueller Produkte unter Berücksichtigung von markt-, produktions- und flexibilitätsseitigen Anforderungen optimiert werden. Hierzu müssen alle relevanten markt-, produkt- und montagesystemseitigen Einflussfaktoren und Wechselwirkungen im Modell abgebildet werden. Durch die Fabrik Life Cycle-orientierte Prognose des Realbetriebs des Montagesystems soll dann eine Abbildung und Bewertung alternativer Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Montagesystem erfolgen. Zentrale Ausgangsinformationen des zu konzipierenden Modells sollen das markt- und kundenoptimale, das Fabrik Life Cycle-optimale und das stückkostenminimale Produktkonzept einschließlich der stückkostenoptimalen, zeitbezogenen Konfiguration des Montagesystems unter besonderer Berücksichtigung der vorzuhaltenden Flexibilitätsangebote sein.

Im Folgenden wird der konzeptionelle Aufbau des Modells beschrieben, der das Rahmenwerk für die Ausarbeitung des Modells in Kapitel 4 bildet. Dazu werden die Elemente des Modells einschließlich der relevanten Ein- und Ausgangsgrößen sowie der systeminternen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Systemelementen in Bezug auf die Aufgabenstellung der Arbeit aufbereitet.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben ist die Grundlage der gewinnmaximalen Produktentwicklungsstrategie die optimale Abstimmung entwicklungsseitig definierter Produkteigenschaften auf die Anforderungen des Marktes und des bestehenden Montagesystems. Aufbauend auf diesem Sachverhalt gliedert sich die Grundstruktur des Modells in logische, skalierbare Informationseinheiten, die Informationen über den Markt, das Produkt und das zu betrachtende Montagesystem

enthalten und untereinander austauschen. Gemäß Kapitel 2.1.1 erfolgt dabei die Definition und Darstellung der produktbezogenen Informationen aus der Sicht des Marktes und der Produktion. Dadurch wird die Basis für eine markt- und produktorientierte Produktentwicklungsstrategie innerhalb des Modells gelegt, die als wesentlicher Erfolgsfaktor produzierender Unternehmen anzusehen ist (vgl. Kapitel 2.2.3).

Wie in Abbildung 22 dargestellt wird das Referenzmodell anhand von Informationskategorien in die sechs Sub-Datenmodelle Markt-, Produkt-, Montagesystem-, Optimierungs-, Szenario- und Maßnahmenmodell gegliedert. Informationen über die Ausprägungen der Produkteigenschaften bilden die zentrale Schnittstelle zwischen den vier Sub-Datenmodellen Markt-, Produkt-, Montagesystem- und Maßnahmenmodell und agieren als zentrale Eingangsgrößen in dem Szenario- und Optimierungsmodell. Die inhaltliche Konzeption der Datenmodelle wird nachfolgend beschrieben.

Konzeption des Marktmodells

Das Marktmodell, das als zentrale Schnittstelle zwischen Marketing, Produktplanung und Entwicklung agiert, enthält alle systemrelevanten Informationen zur markt- und kundenorientierten Generierung und Bewertung von Produktkonzepten.

Die Definition des Produktbegriffs folgt in dem Marktmodell der in Kapitel 2.1.1.1 beschriebenen Perspektive des Marktes, in der das Produkt als ein Mittel zur Befriedigung der Bedürfnisse der Kunden definiert wird. Aufbauend auf einer Makrosegmentierung des relevanten Marktes erfolgt hier die Ermittlung der Anforderungen des Marktes beziehungsweise der Kunden an das neue Produkt (vgl. Kapitel 2.1). Basierend auf den ermittelten Anforderungen werden verschiedene Produktkonzepte generiert, aus denen, in Abhängigkeit der Ausprägungen konzeptspezifischer Baugruppen und des Erfüllungsgrades der ermittelten Marktanforderungen, Informationen über potentielle Marktanteile und Absatzmengen am Markt gewonnen werden (vgl. Kapitel 2.3.1.5).

Die im Marktmodell ermittelten Informationen über die Marktanforderungen, den daraus abgeleiteten Produktkonzepten und konzeptspezifischen Absatzmengen gehen als zentrale Eingangsgrößen in das Produktmodell zur weiteren Verarbeitung ein. Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.3 beschriebenen markt- und kundenorientierten Entwicklungsstrategie liefert das Marktmodell als Teilmenge der Ausgangsinformationen das markt- und kundenoptimale, umsatzmaximale Produktkonzept.

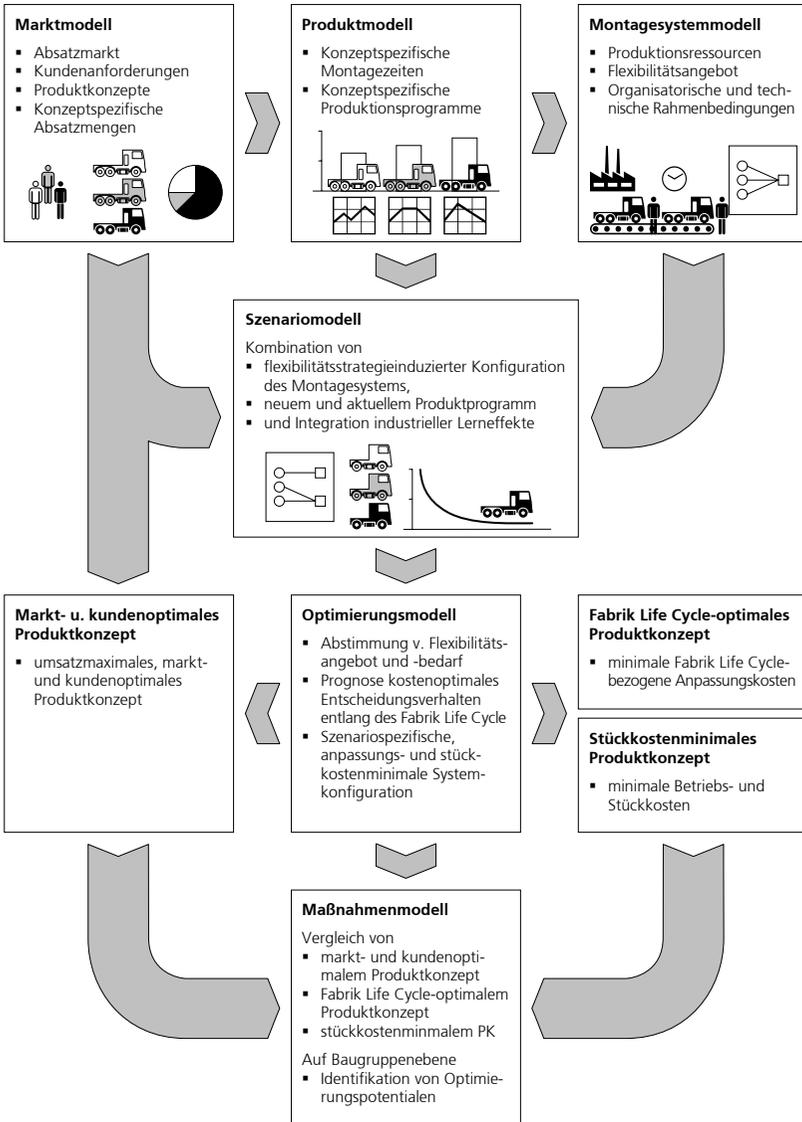


Abb. 22: Konzeptionelle Struktur des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung

Konzeption des Produktmodells

Im Produktmodell erfolgt die Ermittlung der Montagezeiten und der periodenbezogenen Produktionsprogramme der im Marktmodell generierten Produktkonzepte. Das Produktmodell lässt sich hierarchisch in zwei Informationsebenen gliedern, in denen die synchronisierte Definition des Produktbegriffs aus der Verknüpfung der in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Perspektiven des Marktes und der Produktion resultiert.

Die Definition des Produktbegriffs folgt auf der ersten Informationsebene des Produktmodells der in Kapitel 2.1.1.2 beschriebenen Perspektive der Produktion, in der das Produkt als Output des Leistungserstellungsprozesses definiert wird. Zur Schaffung einer Vergleichsbasis zwischen dem aktuellen Produktprogramm und den zuvor im Marktmodell generierten Produktkonzepten werden hier die konzeptbezogenen Eingangsinformationen in montagezeitbezogene Konzeptinformationen auf Baugruppenebene konvertiert. Auf Basis dieser Approximation der Montagezeit auf Baugruppenebene erfolgt eine erste Berechnung der theoretischen Gesamtmontagezeit der Produktkonzepte.

Auf der zweiten Informationsebene erfolgt die marktorientierte Umwandlung gesamtabsatzbezogener Informationen des Marktmodells in die für den Betrieb des Montagesystems konzeptspezifischen, periodenbezogenen Stückzahlen.

Die produktkonzeptspezifischen Montagezeiten und Produktionsprogramme stellen die zentralen Eingangs- und Einflussgrößen für das im nachfolgenden Kapitel beschriebene Szenariomodell dar.

Konzeption des Montagesystemmodells

Im Montagesystemmodell erfolgt die Abbildung der Ist-Konfiguration des Montagesystems einschließlich aller systembestimmenden organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen. Dies beinhaltet neben der aufbau-, funktions- und strukturbezogenen Abbildung des Montagesystems Informationen über das aktuell produzierte Produktprogramm, das Ist-Flexibilitätsangebot sowie die hierdurch induzierte Kostenstruktur des zu betrachtenden Systems (vgl. Kapitel 2.1.3, Kapitel 2.1.4 und Kapitel 2.5).

Da die periodenbezogenen Betriebskosten bei dem Untersuchungsbereich dieser Arbeit primär von dem produkt- und flexibilitätsstrategieinduzierten Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern abhängig sind (vgl. Kapitel 2.7.2), erfolgt die Abbildung des Montagesystems ressourcenorientiert. Der periodenbezogene Kapazitätsbedarf zur Montage eines vom System Markt-Produkt vorgegebenen konzeptspezifischen Produktionsprogramms erfolgt hierbei aus der Betrachtung erforderlicher direkter und indirekter Mitarbeiter. Die monetäre Bewertung des durch das System

Produkt-Produktionssystem induzierten Kapazitätsbedarfs an Mitarbeitern erfolgt auf Basis der im Montagesystem geleisteten Arbeits- und Überstundenzeit.

Die ressourcenorientierte Abbildung der Ist-Konfiguration des Montagesystems einschließlich der Definition organisatorischer und technischer Rahmenbedingungen für die Anpassung des Flexibilitätsangebots zur Integration neuer Produktkonzepte stellt die zentrale Ausgangsgröße des Montagesystemmodells dar.

Konzeption des Szenariomodells

Im Szenariomodell werden die im Markt- und Produktmodell generierten produktkonzeptspezifischen Informationen mit den optionalen flexibilitätsstrategieinduzierten Konfigurationen des Montagesystems unter Berücksichtigung aufkommender betrieblicher Lerneffekte zu Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien verknüpft.

Auf der ersten Ebene des Szenariomodells erfolgt die flexibilitätsstrategieorientierte Generierung optionaler Konfigurationen des Montagesystems. Anlehnend an die im Grundlagenteil beschriebenen Flexibilitätsarten und -angebote von Montagesystemen (vgl. Kapitel 2.1.4.2, Kapitel 2.5.2 und Kapitel 2.5.3) resultieren mögliche Konfigurationen des Montagesystems aus der Variation hinsichtlich Anzahl und Kapazität der Montagelinien sowie der möglichen zu implementierenden Volumen-, Produkt-, Routen- und Nachfolgeflextibilität des Montagesystems.

Auf der zweiten Ebene erfolgt die Zusammenführung und Verknüpfung der eingespielten und generierten Informationen zu integrierten Markt-Produkt-Montagesystem Szenarien. Hierzu werden die zuvor determinierten flexibilitätsstrategieinduzierten Konfigurationen des Montagesystems mit den jeweiligen Produktkonzepten und den daraus resultierenden produktkonzeptspezifischen Montagezeiten, Absatzmengen und Produktionsprogrammen überlagert.

Auf der dritten Ebene liefert der produktgestaltorientierte Vergleich des im Montagesystem zu produzierenden Produktprogramms auf Baugruppenebene sowie die Erfassung zentraler markt- und organisationsinduzierter Einflussfaktoren Informationen für die Abbildung von industriellen Lerneffekten (vgl. Kapitel 2.1.5). Die Integration der industriellen Lerneffekte innerhalb des Szenariomodells liefert die Basis für die Bewertung systeminterner Wandlungstreiber des Montagesystems.

Die im Szenariomodell generierten Szenarien stellen die Eingangsgröße für das Modell zur Optimierung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem dar.

Konzeption des Optimierungsmodells

Basierend auf den zuvor definierten Eingangsinformationen über Markt, Produkt und Montagesystem erfolgt im Optimierungsmodell eine szenariobasierte Simulation und Prognose des Realbetriebs des Montagesystems.

Die Abbildung und Bewertung der alternativen Szenarien im Optimierungsmodell bilden dabei die Basis für die nachhaltige Optimierung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Montagesystem. In Anlehnung an Kapitel 2.5.4 erfolgt hierzu eine Optimierung des Flexibilitätsangebots an den situationsbezogenen Flexibilitätsbedarf im Montagesystem. Hierzu werden im Rahmen der Optimierung die zuvor im Modell des Montagesystems generierten alternativen Szenarien hinsichtlich ihrer Fabrik Life Cycle-bezogenen Wirkung auf das Montagesystem und ihrer Anpassungs- und Betriebskosten bewertet (vgl. Kapitel 2.7.1). Der im Optimierungsmodell integrierte, entscheidungsunterstützende Optimierungsalgorithmus berechnet für jedes Szenario des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem ein kostenoptimales Entscheidungsverhalten der operativen Montageplanung über der Zeit (vgl. Kapitel 2.6.3). Dadurch wird die stückkostenoptimale Systemkonfiguration einschließlich der induzierten, dynamischen Flexibilitätsstrategie und dem dazugehörigen optimalen Betriebspunkt ermittelt (vgl. Kapitel 1.4).

Grundlage des Optimierungsalgorithmus sind die aus dem Modell des Montagesystems eingehenden ressourcenbezogenen, szenariospezifischen Informationen des Montagesystems. Auf Basis dieser Informationen erfolgt im Optimierungsmodell neben einer Verteilung des abzubildenden Produktionsprogramms auf die Montagelinien eine Optimierung der Taktzeiten und Schichtmodelle der Linien sowie eine Optimierung der Personalplanung bezüglich erforderlicher Ein- und Ausstellungen unter gegebenen personalpolitischen Randbedingungen. Im Anschluss werden die Montagezeiten, Personalkosten und die operativen Anpassungskosten für jedes Szenario errechnet. Die ermittelten Ergebnisse bilden die Grundlage für die kostentechnische Bewertung der Systemleistung im untersuchten Planungszeitraum (vgl. Kapitel 1.4).

Durch die beschriebene Vorgehensweise findet für den betrachteten Planungszeitraum eine Synchronisierung der marktseitigen Produkthanforderungen mit den produktionsseitigen Rahmenbedingungen des bestehenden Produktionssystems unter besonderer Berücksichtigung der vorzuhaltenden Flexibilitätsangebote und resultierender Montagekosten statt (vgl. Kapitel 1.4 und Kapitel 2.7.1).

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.4 beschriebenen produktionsorientierten Entwicklungsstrategie liefert das Optimierungsmodell als Ausgangsgröße das Fabrik Life Cycle-optimale und das stückkostenminimale Produktkonzept einschließlich der synchronisierten, stückkostenoptimalen und zeitbezogenen Konfiguration des Montagesystems.

Konzeption des Maßnahmenmodells

Das Maßnahmenmodell enthält alle relevanten Informationen, aus denen Handlungsbedarfe und Maßnahmen zur gewinnmaximierenden Anpassung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem notwendig sind.

Die Informationen resultieren dabei aus dem Vergleich zwischen dem im Marktmodell ermittelten umsatzmaximalen, markt- und kundenoptimalen Produktkonzept und den in dem Optimierungsmodell ermittelten Fabrik Life Cycle-optimalen und stückkostenminimalen Produktkonzepten hinsichtlich den in den Produktkonzepten abgebildeten anforderungsspezifischen Eigenschaften. Über die Rückführung dieser Informationen in das Produktmodell erfolgt eine Zuordnung der isolierten Anforderungsausprägungen des umsatzmaximalen Produktkonzepts zu den entsprechenden konstruktiven Baugruppen. Durch eine produktionsorientierte, konstruktive Anpassung dieser Baugruppen an die systemseitigen Anforderungen wird eine nachhaltige, kosteneffiziente Nutzung der Kapazitäten des Montagesystems gewährleistet.

Durch die gezielte konstruktive Umsetzung der aufgezeigten Handlungsbedarfe und der daraus abgeleiteten Maßnahmen kann der Unternehmenserfolg durch eine Erhöhung des am Markt erzielbaren Umsatzes bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten resultierend aus der Optimierung der Nutzung der Kapazitäten des Montagesystems gesteigert werden.

4 Ausarbeitung des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung

Nach der Konzeption des Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung erfolgt in diesem Kapitel die Ausarbeitung des Modells. Hierzu werden die sechs Sub-Datenmodelle Markt-, Produkt-, Montagesystem-, Szenario-, Optimierungs- und Maßnahmenmodell einschließlich der zentralen Eingangsgrößen, systeminternen Wechselwirkungen und Ausgangsgrößen mathematisch modelliert. Im Anschluss daran wird die Integration des ausgearbeiteten Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung in das im Rahmen der Arbeit entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem beschrieben.

4.1 Ausarbeitung des Marktmodells

Im Marktmodell werden im Kontext der markt- und kundenorientierten Produktentwicklung die Produktkonzepte für einen definierten Absatzmarkt generiert, hinsichtlich ihres individuellen kundenbezogenen Gesamtnutzens bewertet und Prognosen zu potentiellen Marktanteilen und Absatzmengen erstellt. Die Abbildung systemrelevanter Ein- und Ausgangsgrößen sowie systembestimmender Wechselwirkungen erfolgt hierbei in Anlehnung an das in Kapitel 2.3.1.5 beschriebene Verfahren der Conjoint Analyse. In den folgenden Teilkapiteln erfolgt die mathematische Modellierung aller systembestimmenden Zusammenhänge des Marktmodells.

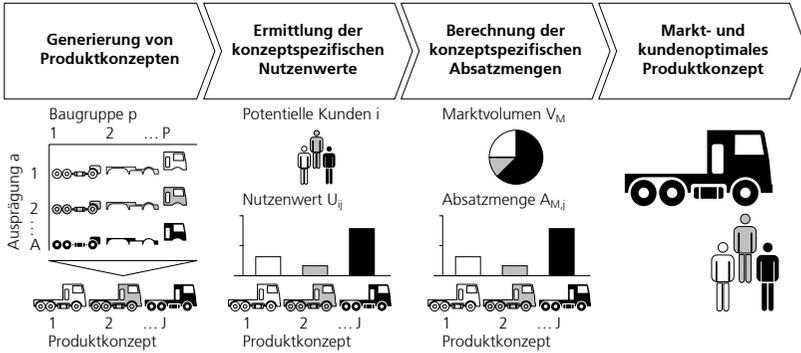


Abb. 23: Ablaufschema des Marktmodells

4.1.1 Definition der Eingangsgrößen des Marktmodells

Zur markt- und kundenorientierten Beschreibung der Produktkonzepte werden fünf zentrale Eingangsvariablen innerhalb des Marktmodells definiert.

Dies sind:

- V_M : Potentielles Gesamt-Marktvolumen
- i : Befragter, potentieller Kunde mit $i=1, 2, \dots, n$
- j : Produktkonzept mit $j=1, 2, \dots, J$
- p : Baugruppe mit $p=1, 2, \dots, P$
- a : Ausprägung der Baugruppe mit $a=1, 2, \dots, A$

Die Ausprägungen der Eingangsvariablen haben dabei wesentlichen Einfluss auf die systeminternen Wechselwirkungen, wodurch sich unterschiedliche produktkonzeptspezifische Nutzenwerte und Marktanteile ergeben.

Die Generierung von Produktkonzepten, die innerhalb des Marktmodells bewertet werden, erfolgt durch die Kombination der durch ihre Ausprägung a gekennzeichneten Baugruppen p . Abhängig von der definierten Anzahl der Baugruppen p und deren optionalen Ausprägungen a ergibt sich die theoretische maximale Anzahl von Produktkonzepten J nach Gleichung (4-1) zu:

$$J = \sum_{a=1}^{a=A} p^a \tag{4-1}$$

Dabei bedeutet:

J : Maximale Anzahl von Produktkonzepten

Um die Gesamtzahl der durch die befragten Personen zu bewertenden Produktkonzepte aus Gründen der Praktikabilität zu limitieren, wird im Modell lediglich ein teilfaktorielles Design erzeugt.

Die Modellierung der Produktkonzepte und die mathematische Beschreibung der systeminternen Wechselwirkungen des Marktmodells erfolgt im folgenden Teilkapitel.

4.1.2 Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Marktmodells

Die Wahrnehmung eines Produktkonzepts j durch den potentiellen Kunden i ist durch dessen Eigenschaften beziehungsweise Baugruppen p bestimmt. Der für ein Produktkonzept j repräsentativer Eigenschaftsvektor \vec{v}_j lässt sich nach Gleichung (4-2) wie folgt darstellen:

$$\vec{v}_j = (v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jP}) \quad (4-2)$$

Dabei bedeutet:

v_{jp} : Ausprägung der Baugruppe p bei Produktkonzept j

Je nach Ausprägung der Baugruppen ergeben sich unterschiedliche Präferenzen für die zur Auswahl stehenden Produktkonzepte. Unter der Annahme eines rein objektiven, multiattributiven Präferenzstrukturmodells resultieren Präferenzen dabei aus der simultanen Bewertung aller Eigenschaften beziehungsweise Baugruppen eines Produktkonzepts durch den potentiellen Kunden. Der für die Präferenz eines Kunden repräsentativ stehende Gesamtnutzen eines Produktkonzepts resultiert dabei aus der funktionalen Beziehung zwischen den wahrgenommenen Eigenschaften, die jeweils einen Teilnutzen repräsentieren.

$$U_{ij} = \psi [f_1(v_{ij1}), \dots, f_p(v_{ijp})] \quad (4-3)$$

Dabei bedeuten:

U_{ij} : Nutzen des Produktkonzepts j für potentiellen Kunden i

ψ : Funktionale Beziehung der Bewertungsfunktionen $f_p(v_{ijp})$

v_{jp} : Ausprägung der Baugruppe p bei Produktkonzept j

$f_p(v_{ijp})$: Bewertungsfunktion für Baugruppe p

Die Spezifikation der funktionalen Beziehung zwischen den Teilnutzen der konzeptspezifischen Produktkomponenten sowie dem daraus resultierenden Gesamtnutzen und potentielltem Marktanteil des jeweiligen Produktkonzepts erfolgt im kundenbezogenen Präferenzmodell des Marktmodells.

4.1.2.1 Modellierung des kundenbezogenen Präferenzmodells

Die Basis für die mathematische Formulierung des kundenbezogenen Präferenzmodells bildet das in der Praxis bevorzugt eingesetzte Teilnutzenwertmodell. Das Teilnutzenwertmodell ist durch zwei zentrale Annahmen gekennzeichnet. Zum einen definiert die Ausprägung einer Eigenschaft den Teilnutzenwert der Eigenschaft. Zum anderen stehen die Teilnutzenwerte der verschiedenen Eigenschaften eines Produktkonzepts in keinem funktionalen Verhältnis zueinander. Aus den beiden Annahmen resultiert eine eindeutige Diskretheit und Unabhängigkeit der erfolgsrelevanten Eigenschaften eines Produktkonzepts. Unter Berücksichtigung der genannten Eigenschaften des Präferenzmodells und der Annahme einer linear additiven Beziehung zwischen den Teilnutzen der Produkteigenschaften beziehungsweise -baugruppen ergibt sich der Gesamtnutzen U_{ij} eines Produktkonzepts j für einen potentiellen Kunden i nach Gleichung (4-4).

$$U_{ij} = \sum_{p=1}^P \sum_{a=1}^{A_p} x_{ajp} \cdot \beta_{iap} \quad (4-4)$$

Dabei bedeuten:

β_{iap} : Teilnutzen der Ausprägung a der Baugruppe p

$x_{ajp} \begin{cases} 1, & \text{falls Produktkonzept } j \text{ bei Baugruppe } p \text{ die Ausprägung } a \text{ aufweist} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$

Die Datenbasis für die Ermittlung der gesamtnutzen- und marktanteilbestimmenden, ausprägungsspezifischen Teilnutzenwerte der Baugruppen folgt aus der dekompositionalen Erhebung und Messung der Präferenzurteile der potentiellen Kunden i bezüglich den Produktkonzepten j .

Die Ermittlung der Teilnutzenwerte auf Baugruppenebene erfolgt im Marktmodell mit Hilfe eines iterativen Schätzverfahrens. Dieses wird nachfolgend beschrieben.

4.1.2.2 Abschätzung der produktkonzeptspezifischen Teilnutzenwerte auf Baugruppenebene

Ausschlaggebend für die Qualität der markt- beziehungsweise kundenbezogenen Bewertung der

definierten Produktkonzepte ist die situationsgerechte Abschätzung der Teilnutzwerte der konzeptinduzierten Ausprägungen der Baugruppen. Diese hat dabei der Anforderung zu genügen, dass bei ihrer modelladäquaten Verknüpfung die empirisch erfassten ganzheitlichen Bewertungsurteile der zur Schätzung herangezogenen Produktkonzepte mit minimalem Fehler wiedergegeben werden. Der geschätzte Wert für den Gesamtnutzenwert und der durch die Ausprägungen der Baugruppen definierten Teilnutzwerte eines Produktkonzepts folgt dabei aus der kundenspezifischen Schätzgleichung (4-5).

$$\hat{U}_{ij} = \hat{\beta}_{i0} + \sum_{a=1}^{A_p-1} \sum_{p=1}^P \hat{\beta}_{iap} \cdot x_{ajp} \quad (4-5)$$

Dabei bedeuten:

\hat{U}_{ij} : Schätzung für den Gesamtnutzenwert, den der potentielle Kunde i dem Produktkonzept j zuschreibt

$\hat{\beta}_{i0}$: Geschätzter Basisnutzen

$\hat{\beta}_{iap}$: Geschätzter Teilnutzwert der Ausprägung a der Baugruppe p für den potentiellen Kunden i

$x_{ajp} \begin{cases} 1, \text{ falls Produktkonzept } j \text{ bei Baugruppe } p \text{ die Ausprägung } a \text{ aufweist} \\ 0, \text{ sonst} \end{cases}$

Zur Gewährleistung einer Vergleichbarkeit alternativer Produktkonzepte und zur Reduzierung der resultierenden Differenzen erfolgt in der Schätzgleichung eine Klassifizierung der kundenspezifischen Parameterschätzwerte in produktkonzeptabhängige und -unabhängige Parameter. Hierbei stellt der geschätzte Basisnutzen $\hat{\beta}_{iap}$ den konzeptunabhängigen Anteil dar, von dem sich alle anderen produktkonzeptabhängigen Teilnutzwerte positiv oder negativ abheben. Zur Lösung der Schätzgleichung (4-5) greift das Modell auf den in der Praxis üblichen metrischen OLS-Regressionsalgorithmus (Ordinary Least Squares) zurück. Durch den Regressionsalgorithmus erfolgt im Modell die iterative Auflösung des Minimierungsproblems:

$$\sum_{j=1}^J (U_{ij} - \hat{U}_{ij})^2 = \sum_{j=1}^J \left(U_{ij} - \left(\hat{\beta}_{i0} + \sum_{a=1}^{A_p-1} \sum_{p=1}^P \hat{\beta}_{iap} \cdot x_{ajp} \right) \right)^2 \xrightarrow{\beta} \min \quad (4-6)$$

unter der durch die OLS-Intervallskalierung bedingten Restriktion:

$$\sum_{a=1}^{A_p} \sum_{p=1}^P \hat{\beta}_{iap} = 0 \quad (4-7)$$

Die Nutzenschätzung liefert für jede Ausprägungen a der Baugruppe p einen Teilnutzen $\hat{\beta}_{iap}$. Hierbei repräsentieren größere Werte der Teilnutzen eine höhere Präferenz bei dem potentiellen Kunden. Auf Grund des additiven Charakters des Gesamtnutzwertes ergibt sich das nutzenmaximale Produktkonzept aus der Optimierung der Gleichung (4-8):

$$\hat{U}_{ij_{Markt}} = \hat{\beta}_{i0} + \sum_{a=1}^{A_p-1} \sum_{p=1}^P \hat{\beta}_{iap} \cdot x_{ajp} \xrightarrow{\hat{\beta}_{iap}} \max \quad (4-8)$$

Dabei bedeutet:

$\hat{U}_{ij_{Markt}}$: Geschätzter maximaler Gesamtnutzenwert, den der potentielle Kunde i dem markt- und kundenoptimalen Produktkonzept j_{Markt} zuschreibt

Das hinsichtlich des Gesamtnutzens maximierte Produktkonzept j_{Markt} stellt vor dem Hintergrund einer markt- und kundenorientierten Produktgestaltung das von Premiumherstellern und Innovationsführern angestrebte kundenoptimale Produktkonzept dar.

Die ermittelten baugruppenspezifischen Teilnutzenwerte bilden damit die Grundlage für ein kundenorientiertes Marktmodell, mit denen sich die individuellen Gesamtnutzenwerte aller theoretisch möglichen Produktkonzepte bestimmen lassen sowie eine Prognose zu den konzeptspezifischen Marktanteilen vornehmen lässt.

4.1.3 Modellierung der Ausgangsgrößen des Marktmodells

Quantitative Informationen über die durch die optionalen Produktkonzepte erschließbaren Marktanteile und Absatzzahlen stellen die zentrale Ausgangsgröße des Marktmodells dar. Die Prognose der produktkonzeptspezifischen Marktanteile erfolgt dabei im Modell in Anlehnung an die MUC-Regel (vgl. Kapitel 2.3.1.5). Nach dem in der MUC-Regel abgebildeten Konzept der Mehrheitswahl errechnet sich der Marktanteil eines Produktkonzepts j mit dem Eigenschaftsvektor v_j nach Gleichung (4-9):

$$A_{M,j} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \hat{U}_{ij}}{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=J} \hat{U}_{ij}} \cdot 100 \quad (4-9)$$

Dabei bedeutet:

$A_{M,j}$: Prozentualer Anteil eines Produktkonzepts j am Gesamt-Marktvolumen V_M

Wird dieser Marktanteil mit dem potentiellen Marktvolumen des definierten Planungszeitraums multipliziert ergibt sich die zu erwartende Absatzmenge des jeweiligen Produktkonzepts.

$$V_{M,j} = A_{M,j} \cdot V_M \quad (4-10)$$

Dabei bedeutet:

$V_{M,j}$: Absatzmenge des Produktkonzepts j

Die in Gleichung (4-10) errechnete produktkonzeptspezifische Absatzmenge agiert als zentrale Eingangsgröße in dem im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Produktmodell.

4.2 Ausarbeitung des Produktmodells

Im Produktmodell erfolgt die Ermittlung der Montagezeiten und der Fabrik Life Cycle-bezogenen Produktionsprogramme der zuvor im Marktmodell generierten Produktkonzepte. Die produktionsorientierte Abbildung markt- und entwicklungsgetriebener Einflüsse auf die im Montagesystem zu erbringende Leistung resultiert dabei aus der Integration des montagezeitorientierten EHPV-Verfahrens in das Produktmodell (vgl. Kapitel 2.4.1.1). In Abhängigkeit des in der strategischen Produktplanungsphase definierten Marktsegments und der dort präsenten Wettbewerbsprodukte werden entwicklungsseitige, von der geforderten Funktionalität und Qualität abhängige EHPV-Zielkorridore auf Baugruppenebene definiert. Das auf Baugruppenebene zu definierende gesamtmontagezeitbezogene Verhältnis von produktseitig determiniertem EHPV-Wert zu prozessseitig beeinflusstem MV-Wert wird dann zur Abschätzung der Gesamtmontagezeit der im

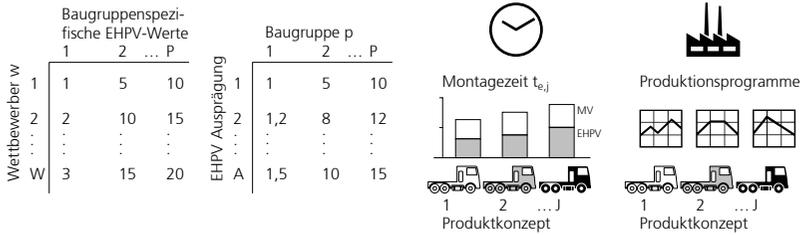


Abb. 24: Ablaufschema des Produktmodells

Marktmodell generierten Produktkonzepten herangezogen.

Nachfolgend werden das EHPV-basierte, produktionsorientierte Produktmodell einschließlich des dazugehörigen Produktionsprogramms für die Integration in die Systemumgebung mathematisch modelliert.

4.2.1 Integration des EHPV-Verfahrens in das Produktmodell

Die Definition von EHPV-Zielwerten erfolgt im Produktmodell auf Baugruppenebene. Jeder Ausprägung einer Baugruppe wird im Produktmodell ein EHPV-Wert zugeordnet. Die Größe des jeweiligen Wertes orientiert sich dabei an dem durch Wettbewerbsanalysen ermittelten Zielkorridor. Der EHPV-Gesamtwert eines Produktkonzepts j ergibt sich aus der Gleichung (4-11).

$$EHPV_j = \sum_{p=1}^{p=P} EHPV_{v_{jp}} \tag{4-11}$$

Dabei bedeuten:

$EHPV_j$: EHPV-Gesamtwert des Produktkonzepts j

$EHPV_{v_{jp}}$: EHPV-Wert der Ausprägung der Baugruppe p des Produktkonzepts j

Die Abschätzung der Gesamtmontagezeit der Ausprägung einer Baugruppe erfolgt über das Montagesystem-spezifische Verhältnis aus produktinduziertem EHPV-Wert und planerisch festgelegtem MV-Wert. Ebenso wie bei der Definition des EHPV-Zielkorridors erfolgt die Abschätzung der Montagezeit auf der Baugruppenebene. Unter Berücksichtigung persönlicher Verteil- und

Erholungszeiten ergibt sich die Montagezeit einer Baugruppe p des Produkts j mit der Ausprägung a nach Gleichung (4-12) aus:

$$t_{e,v_{jp}} = EHPV_{v_{jp}} \cdot \kappa \cdot \lambda \quad (4-12)$$

Dabei bedeuten:

- $t_{e,v_{jp}}$: Montagezeit der Baugruppe p des Produktkonzepts j
- κ : MV-basierter Montage-Effizienzfaktor des betrachteten Montagesystems
- λ : Faktor zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholungszeiten

Aufbauend auf Gleichung (4-12) ergibt sich die Gesamtmontagezeit eines Produktkonzepts j aus der Summe der baugruppenspezifischen Montagezeiten:

$$t_{e,j} = \sum_{p=1}^{p=P} t_{e,v_{jp}} \quad (4-13)$$

Dabei bedeutet:

- $t_{e,j}$: Montagezeit des Produktkonzepts j

Mit der EHPV-basierten Abschätzung der Montagezeit stellt das Produktmodell mit Gleichung (4-13) die produktionsorientierte Modellierung der im Marktmodell generierten Produktkonzepte bereit. Zur vollständigen Modellierung des Produkts müssen die im Marktmodell generierten markt- und absatzbezogenen Informationen in die für den Betrieb des Montagesystems notwendigen Stückzahlen umgewandelt werden. Die marktorientierte Beschreibung des Produktmodells erfolgt hierzu im folgenden Teilkapitel.

4.2.2 Modellierung des produktkonzeptspezifischen Produktionsprogramms

Die Definition produktkonzeptspezifischer Absatzmengen und Produktionsprogramme basiert heute in der Regel auf Informationen aus dem Marketing und Vertrieb. Unter Vernachlässigung marktseitiger Dynamiken und Risiken lässt sich der Produktlebenszyklus von Markteintritt bis zur Degenerierungsphase vereinfacht in Form einer Exponentialfunktion beschreiben:

$$y(t) = A \cdot e^{-\tau_1 t} - B \cdot e^{-\tau_2 t} \quad (\tau_2 > \tau_1, \tau_1 > 0, \tau_2 > 0) \quad (4-14)$$

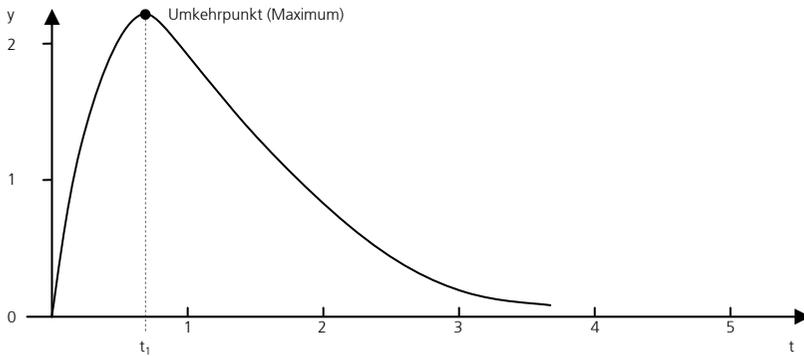


Abb. 25: Vereinfachte Darstellung des Marktlebenszyklus eines Produktkonzepts durch eine Exponentialfunktion

Dabei entspricht der Flächeninhalt unter der Kurve dem im Marktmodell ermittelten Absatzvolumen des jeweiligen Produktkonzepts (siehe Abbildung 25). Dieser Zusammenhang wird in Gleichung (4-15) in integraler Form erfasst.

$$V_{M,j} = \int_{t=0}^{t=LC} (A \cdot e^{-\tau_1 t} - B \cdot e^{-\tau_2 t}) dt \quad (4-15)$$

Dabei bedeutet:

$V_{M,j}$: Gesamt-Absatzmenge des Produktkonzepts j

Durch die konzeptspezifische Definition der Konstanten aus Gleichungen (4-14) und (4-15) lässt sich die im Montagesystem zu einem bestimmten Zeitpunkt t zu produzierende Stückzahl n eines Produktkonzepts j nach Gleichung (4-14) berechnen.

4.3 Ausarbeitung des Montagesystemmodells

Das Modell des Montagesystems basiert auf einer Abbildung der im Realbetrieb auftretenden Interaktionen zwischen markt-, produkt- und standortspezifischen Einflussgrößen, über die eine stückkostenorientierte Anpassung des Betriebs im dynamischen Life Cycle des Montagesystems

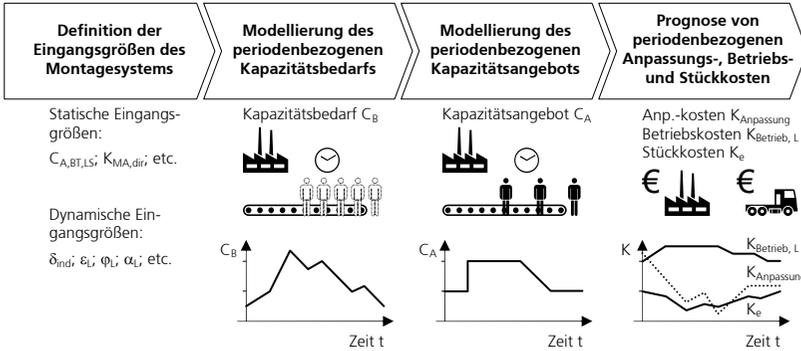


Abb. 26: Ablaufschema des Montagesystemmodells

erfolgen kann. Die Modellierung produktionsprogramminduzierter Kapazitätsbedarfe und des durch organisatorische und technische Rahmenbedingungen festgelegten verfügbaren Kapazitätsangebots des Montagesystems stellen dabei den inhaltlichen Schwerpunkt der folgenden Teilkapitel dar. Hierdurch wird die Basis für die Ermittlung der Betriebskosten optionaler Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem geschaffen.

4.3.1 Definition der Eingangsgrößen des Montagesystemmodells

Zur mathematischen Modellierung des Montagesystems werden neben dem aus dem Produktmodell gelieferten produktkonzeptspezifischen Produktionsprogramm und den linienunabhängigen, theoretischen Montagezeiten der generierten Produktkonzepte weitere montagesystem- und standortspezifische Eingangsgrößen herangezogen. Diese Eingangsgrößen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Abhängig von den Ausprägungen der Eingangsgrößen resultieren verschiedene Flexibilitätsstrategien, Effizienzen und Betriebskosten für das betrachtete Montagesystem. Wie in Tabelle 1 aufgezeigt erfolgt im Rahmen der Definition der Eingangsgrößen eine Klassifizierung in statische und dynamische Eingangsgrößen. Die statischen Eingangsgrößen beschreiben die über den Life Cycle des Montagesystems als konstant anzusehenden Größen. Auf Grund ihrer Konstanz stellen sie zentrale Einschränkungen der Wandlungsfähigkeit des betrachteten Montagesystems dar. Demgegenüber sind dynamische Eingangsgrößen durch eine zeitabhängige Adaption an sich dynamisch ändernde Einflussgrößen wie beispielsweise das Produktionsprogramm und innerbetriebliche Lerneffekte charakterisiert.

Durch die situationsbezogene Abbildung statischer und dynamischer Eingangsgrößen wird es

Art der Eingangsgröße	Abkürzung	Beschreibung der Eingangsgröße
Statische Eingangsgrößen	$C_{A, BT}$	Anzahl an Betriebstagen je Periode
	$K_{MA, dir}$	Kosten für einen direkten Mitarbeiter je Periode
	$K_{MA, indir}$	Kosten für einen indirekten Mitarbeiter je Periode
	UZK, max	Maximal zulässiger Betrag des Arbeitszeitkontos
	t_T, min, L	Minimale Taktzeit der Montagelinie
Dynamische Eingangsgrößen	$V_{glatt, max, t}$	Maximal zulässige Programmverschiebung in der Periode t
	$C_{A, t_T, abh}$	Kapazitätsangebot an taktzeitabhängigen Mitarbeitern
	$C_{A, t_T, unabh}$	Kapazitätsangebot an taktzeitunabhängigen Mitarbeitern
	δ_{ind}	Anteil indirekter Mitarbeiter
	ε	Fehlstand an Mitarbeitern
	α_L	Plattformbelegung der Montagelinie
	β_L	Bandvorlauf der Montagelinie
	φ_L	Verfügbarkeit der Montagelinie
χ_L	Taktausgleichsverlust der Montagelinie	

Tab. 1: *Statische und dynamische Eingangsgrößen des Montagesystemmodells als Basis für die Ermittlung der periodenspezifischen Betriebskosten*

möglich, die monetäre Bewertung des Systems Produkt-Produktionssystem unter Berücksichtigung der installierten Flexibilitätsangebote und zeitlich auftretender Anpassungskosten durchzuführen.

Nachfolgend wird die Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Montagesystems beschrieben.

4.3.2 Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Montagesystemmodells

Wie bereits oben beschrieben stellt die Modellierung marktseitig geforderter Kapazitätsbedarfe und des systemseitig verfügbaren Kapazitätsangebots des Montagesystems die Basis des Montagesystemmodells dar. Der nutzenbezogene Freiheitsgrad möglicher Anpassungen der installierten Kapazitäten wird dabei durch technische und organisatorische Rahmenbedingungen beschränkt. Als zentrale Rahmenbedingung werden im Modell die zur Verfügung stehenden Kapazitäten und die damit einhergehende potentielle Auslastung des Montagesystems, mögliche Programmglättungen sowie die durch Betriebsvereinbarungen eingeschränkte Flexibilität der Mitarbeiter berücksichtigt. Nachfolgend werden die Faktoren zur Integration in das Modell mathematisch beschrieben.

4.3.2.1 Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsbedarfs an Mitarbeitern

Die Betriebskosten je Periode sind bei dem Untersuchungsbereich dieser Arbeit primär von dem produkt- und flexibilitätsstrategieinduzierten Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern abhängig. Der periodenbezogene Kapazitätsbedarf zur Fertigung eines vom System Markt-Produkt vorgegebene-

nen konzeptspezifischen Produktionsprogramms folgt dabei aus der Betrachtung erforderlicher direkter und indirekter Mitarbeiter. Des Weiteren ist der am Standort aufkommende Fehlstand mit einzubeziehen, da dieser einen wesentlichen Einfluss auf die verfügbare Personalflexibilität des Montagesystems hat.

$$C_B = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} C_{B,dir,LS} + C_{B,indir,LS} + C_{B,AF,LS} \quad (4-16)$$

Dabei bedeuten:

C_B : Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern je Periode

$C_{B,dir}$: Kapazitätsbedarf an direkten Mitarbeitern je Periode

$C_{B,indir}$: Kapazitätsbedarf an indirekten Mitarbeitern je Periode

$C_{B,AF}$: Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Ausgleich des Fehlstands je Periode

Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsbedarfs an direkten Mitarbeitern

Nach Gleichung (4-17) ergibt sich der Bedarf an direkten, produktkonzept- und produktionsprogramminduzierten Mitarbeitern aus der Summe von Takt- und Montagezeit abhängigen und Takt- und Montagezeit unabhängige Mitarbeitern, Mitarbeitern zum Ausgleich von störungsbedingten Stillstandszeiten und den Mitarbeitern zum Ausgleich von Effizienzverlusten, die aus Taktgleichungsverlusten resultieren.

$$C_{B,dir,LS} = C_{B,B,LS} + C_{B,SS,LS} + C_{B,TV,LS} \quad (4-17)$$

Dabei bedeuten:

$C_{B,B,LS}$: Basisbedarf an Mitarbeitern je L und S

$C_{B,SS,LS}$: Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Ausgleich von störungsbedingten Stillstandszeiten je L und S

$C_{B,TV,LS}$: Kapazitätsbedarf an Mitarbeitern zum Ausgleich von Taktgleichungsverlusten je L und S

Der Basisbedarf an Humanressourcen des Montagesystems ergibt sich nach Gleichung (4-18) aus der Summe der minimalen Anzahl an Takt- und Montagezeit abhängigen und unabhängigen Mitarbeitern.

$$C_{B,B,LS} = C_{B,t_7abh,LS} + C_{B,t_7unabh,LS} \quad (4-18)$$

Dabei bedeuten:

$C_{B,t_{\tau}abh,LS}$: Kapazitätsbedarf an taktzeitabhängigen Mitarbeitern je L und S

$C_{B,t_{\tau}unabh,LS}$: Kapazitätsbedarf an taktzeitunabhängigen Mitarbeitern je L und S

Dabei errechnet sich die Anzahl der von den Montagezeiten des zu fertigenden Produktprogramms abhängigen Mitarbeitern unter Berücksichtigung der Taktzeit des Montagesystems, der Plattformbelegung und des gewählten Schichtmodells der Montagelinie nach Gleichung (4-19).

$$C_{B,t_{\tau}abh,LS} = \frac{V_{M,L} \cdot \alpha_L}{t_{\tau,L} \cdot n_S} \quad (4-19)$$

Dabei bedeuten:

α_L : Plattformbelegung der Montagelinie

$t_{\tau,L}$: Taktzeit der Montagelinie

n_S : Anzahl an Schichten

In Anlehnung an Gleichung (4-10) ergibt sich dabei das vom Markt geforderte periodenbezogene Produktionsvolumen aus Gleichung (4-20):

$$V_{M,t,L} = V_{M,t,j,L} + \sum_{q=1}^{q=Q} V_{M,t,q,L} \quad (4-20)$$

Dabei bedeuten:

$V_{M,t,j,L}$: Absatzmenge des Produktkonzepts j montiert auf der Montagelinie L

$V_{M,t,q,L}$: Absatzmenge des aktuellen Produkts q montiert auf der Montagelinie L

Auf Grund von technischen, logistischen und organisatorischen Einschränkungen bei der Verfügbarkeit der Montagelinie muss der in Gleichung (4-18) errechnete Basisbedarf an Mitarbeitern um den in Gleichung (4-21) dargestellten technisch erforderlichen Bandvorlauf zum Ausgleich störungsbedingter Stillstandszeiten erhöht werden.

$$C_{B,SS,LS} = C_{B,B,LS} \cdot \frac{\beta_L}{1 - \beta_L - \chi_L} \quad (4-21)$$

Dabei bedeuten:

β_L : Bandvorlauf der Montagelinie

χ_L : Taktausgleichsverlust der Montagelinie

Die aus dem Produktmix und der konstruktiv festgelegten Aufbaureihenfolge der Produktkonzepte resultierenden stationsbezogenen Effizienzverluste im Montagebetrieb führen ebenso zu einer Erhöhung des Basisbedarfs an Mitarbeitern. Dieser Effizienzverlust wird in Gleichung (4-22) durch den Taktausgleichsverlust erfasst.

$$C_{B,TV,LS} = C_{B,B,LS} \cdot \frac{\chi_L}{1 - \chi_L - \beta_L} \quad (4-22)$$

Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsbedarfs an indirekten Mitarbeitern

Der Bedarf an indirekten, nicht produktkonzept- und produktionsprogramminduzierten Mitarbeitern ergibt sich aus der Summe erforderlicher qualitätssichernder und unterstützender Mitarbeiter. In Anlehnung an die industrielle Praxis erfolgt die Berechnung der Anzahl indirekter Mitarbeiter über ein prozentuales Verhältnis zu den vorhandenen direkten Mitarbeitern aus Gleichung (4-23).

$$C_{B,ind,LS} = C_{B,dir,LS} \cdot \delta_{ind} \quad (4-23)$$

Dabei bedeutet:

δ_{ind} : Anteil indirekter Mitarbeiter

Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsbedarfs an Mitarbeitern zum Ausgleich des Fehlstands

Die zum Ersatz von urlaubs- und krankheitsbedingt abwesenden Mitarbeitern erforderlichen zusätzlichen Kapazitäten ergeben sich aus der prozentualen Berücksichtigung des Fehlstands in Gleichung (4-24):

$$C_{B,AF,LS} = (C_{B,dir,LS} + C_{B,indir,LS}) \cdot \varepsilon \quad (4-24)$$

Dabei bedeutet:

ε : Fehlstand an Mitarbeitern

Als Werte für den prozentualen Fehlstand ε werden die im Personalwesen des jeweiligen Standortes geführten Vergleichswerte aus der Vergangenheit herangezogen. Eine Berücksichtigung von Betriebsruhen, die den Fehlstand periodenabhängig erhöhen beziehungsweise reduzieren, erfolgt aus Gründen der Komplexitätsreduzierung nicht.

4.3.2.2 Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsangebots auf Basis zugänglicher Arbeitszeiten

Die monetäre Bewertung des durch das System Produkt-Produktionssystem induzierten Kapazitätsbedarfs an Mitarbeitern erfolgt auf Basis der im Montagesystem geleisteten Arbeits- und Überstundenzeit. Bei der Ermittlung der Arbeitszeiten ist dabei zwischen der tariflich verfügbaren Arbeitszeit und der im Montagesystem real zur Montage des Produktionsprogramms geleisteten Arbeitszeit zu unterscheiden. Die je Schicht tariflich verfügbare Arbeitszeit ergibt sich aus der Verrechnung der variablen Anzahl der Mitarbeiter, der tariflichen Arbeitszeit und des Fehlstands in Gleichung (4-25).

$$t_{A, \text{tarif}} = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} t_{\text{tarif}, LS} \cdot C_{A, LS} \cdot (1 - \varepsilon) \quad (4-25)$$

Dabei bedeuten:

$t_{A, \text{tarif}}$: Tariflich festgelegtes Kapazitätsangebot an Arbeitszeit je Periode

t_{tarif} : Tariflich festgelegte Arbeitszeit je Mitarbeiter je Periode

C_A : Kapazitätsangebot an Mitarbeitern je Periode

Hingegen ergibt sich der reale Kapazitätsbedarf an Arbeitszeit zur Montage eines definierten Produktionsprogramms je Periode aus Gleichung (4-26) zu:

$$t_B = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} t_{\text{verf}, LS} \cdot (C_{B, \text{dir}, LS} + C_{B, \text{indir}, LS}) \quad (4-26)$$

Dabei bedeuten:

t_B : Kapazitätsbedarf an Arbeitszeit je Periode

t_{verf} : Real verfügbare Arbeitszeit je L , S und Periode

Die in Gleichung (4-26) berücksichtigte real verfügbare Arbeitszeit $t_{\text{verf}, LS}$ beinhaltet hierbei alle durchgeführten Pausenzeiten in der betrachteten Periode.

Modellierung der periodenbezogenen Über- und Unterstunden

Die je Periode anfallenden Über- beziehungsweise Unterstunden ergeben sich aus der Subtraktion der tariflich verfügbaren Arbeitszeit von dem realen Kapazitätsbedarf an Arbeitszeit. Diese werden in jeder Periode auf ein am jeweiligen Standort installiertes Arbeitszeitkonto verbucht. Der periodenbezogene Auf- beziehungsweise Abbau des Arbeitszeitkontos errechnet sich nach Gleichung (4-27) zu:

$$t_{ZK} = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} t_{B, LS} - t_{A, \text{tarif}, LS} \quad (4-27)$$

Dabei bedeutet:

t_{ZK} : Je Periode auf das Arbeitszeitkonto verbuchte Über- beziehungsweise Unterstunden

Der periodenbezogene Wert des Arbeitszeitkontos ergibt sich nach Gleichung (4-28) zu:

$$t_{ZK} = \sum_{t=0}^{t=T} t_{ZK, t} \quad (4-28)$$

Um zu vermeiden, dass die Abweichung zwischen tariflich festgelegter und real geleisteter Arbeitszeit nicht zu groß wird, wird der zulässige Betrag des Arbeitszeitkontos durch betrieblich vereinbarte Schranken (Minimum und Maximum) festgelegt. Aus dieser Vorgabe folgt die Bedingung (4-29):

$$|t_{ZK}| \leq t_{ZK, \text{max}} \quad (4-29)$$

Dabei bedeutet:

$t_{ZK, \text{max}}$: Maximal zulässiger Betrag des Arbeitszeitkontos

Modellierung der periodenbezogenen verfügbaren Betriebsnutzungszeit

Die je Periode zugängliche Betriebsnutzungszeit t_{BN} stellt den ersten begrenzenden Faktor der zur Verfügung stehenden Kapazitäten dar. Diese errechnet sich nach Gleichung (4-30) aus den Variablen Schichtbetrieb, Betriebsnutzungszeit pro Schicht und den Betriebstagen je Periode.

$$C_{A,t_{BN}} = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} t_{S,LS} \cdot C_{A,BT,LS} \quad (4-30)$$

Dabei bedeuten:

$C_{A,t_{BN}}$: Betriebsnutzungszeit des Montagesystems je Periode

$t_{S,LS}$: Produktionszeit je L und S

$C_{A,BT,LS}$: Anzahl an Betriebstagen je L , S und Periode

Modellierung des periodenbezogenen Kapazitätsangebots

Damit ein Montagesystem in der Lage ist, ein im System Markt-Produkt definiertes Produktionsvolumen zu fertigen, darf das Produktionsvolumen die im Montagesystem installierten Kapazitäten nicht überschreiten. Hierzu liefert die operative Auslastung ϕ_L die montagesystembezogene Nebenbedingung (4-31).

$$\phi_L = \frac{V_{M,t,L}}{C_{A,L}} \leq 1 \quad (4-31)$$

Dabei bedeuten:

ϕ_L : Operative Auslastung der Montagelinie

$V_{M,t,L}$: Produktionsvolumen der Montagelinie L in der Periode t

$C_{A,L}$: Kapazitätsangebot der Montagelinie L

Die systemseitig primär durch die organisatorisch bedingten Betriebsnutzungszeiten und die technisch realisierbaren Taktzeiten der Linien definierte Kapazität der Montagelinie folgt aus Gleichung (4-32):

$$C_{A,L} = C_{A,t_{BN},L} \cdot \frac{\varphi_L \cdot \alpha_L}{t_{T,L}} \quad (4-32)$$

Dabei bedeuten:

- φ_L : Verfügbarkeit der Montagelinie
- α_L : Plattformbelegung der Montagelinie
- $t_{T,L}$: Taktzeit der Montagelinie

Des Weiteren sind Nebenbedingungen für zulässige Schichtmodelle und Taktzeiten zu beachten. Diese Nebenbedingungen resultieren dabei aus arbeitsrechtlich-organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen des jeweiligen Standorts.

Modellierung der periodenbezogenen Glättung der Produktion

Die Betriebskosten werden zu einem großen Teil dadurch determiniert, ob und wie es gelingt, die Produktionsweise des Montagesystems auf Lieferschwankungen und die immer größer werdende Produktvielfalt bei kleineren Losgrößen einzustellen. Als effiziente, auf das Produktionsprogramm bezogene Maßnahme, wird die Glättung der Produktion zur Reduzierung marktgetriebener Volumenflexibilitäten und daraus resultierender Anpassungskosten im Montagesystemmodell integriert. Unter Berücksichtigung der Steuergröße der Programmverschiebung zwischen den Perioden ergibt sich der geglättete Bedarf je Periode aus Gleichung (4-33):

$$V_{M,glatt,t} = V_{M,t} + V_{glatt,t} - V_{glatt,t-1} \quad (4-33)$$

Dabei bedeuten:

- $V_{M,glatt,t}$: Geglättetes Produktionsvolumen in der Periode t
- $V_{M,t}$: Produktionsvolumen in der Periode t
- $V_{glatt,t}$: Programmverschiebung in der Periode t
- $V_{glatt,t-1}$: Programmverschiebung in der Periode $t-1$

Der Wert der durch den Prozess der Produktionsglättung zulässigen Programmverschiebung folgt der Einschränkung (4-34):

$$\left| V_{glatt,t} \right| \leq V_{glatt,max,t} \quad (4-34)$$

Dabei bedeutet:

$V_{glatt, max, t}$: Maximal zulässige Programmverschiebung in der Periode t

Die in den oben beschriebenen Teilkapiteln modellierten Wechselwirkungen ermöglichen die Berechnung der Life Cycle bezogenen Anpassungs-, Betriebs- und Stückkosten des Montagesystems. Dies wird in dem nachfolgenden Teilkapitel beschrieben.

4.3.3 Modellierung der Ausgangsgrößen des Montagesystemmodells

Als zentrale Ausgangsgröße und Basis für die monetäre Bewertung optionaler Konfigurationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem stellt das Montagesystemmodell die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten und Betriebskosten des Montagesystems sowie die daraus resultierenden durchschnittlichen Stückkosten bereit.

Nach Gleichung (4-35) resultieren die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten des Montagesystems aus den erforderlichen Investitionen für den Umbau des bestehenden Montagesystems und der Summe der periodenspezifischen Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs:

$$K_{Anpassung, FLC} = K_{Anpassung, Umbau} + \sum_{t=1}^{t=FLC} K_{Anpassung, operativ, t} \quad (4-35)$$

Dabei bedeuten:

$K_{Anpassung, FLC}$: Fabrik Life Cycle-bezogene Anpassungskosten

$K_{Anpassung, Umbau}$: Kosten für den Umbau des bestehenden Montagesystems

$K_{Anpassung, operativ, t}$: Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs in der Periode t

Die erforderlichen Investitionen für den Umbau des bestehenden Montagesystems ergeben sich nach Gleichung (4-36) aus dem Basisinvest für die Installation neuer Montagelinien und den erforderlichen Kosten für die Neuinstallation und den Umbau von Montagestationen:

$$K_{Anpassung, Umbau} = \sum_{L_{neu}=1}^{L_{neu}=n} K_{L_{neu}} + n_{Station_{neu}} \cdot K_{Station_{neu}} + n_{Station_{Umbau}} \cdot K_{Station_{Umbau}} \quad (4-36)$$

Dabei bedeuten:

$K_{L_{neu}}$: Basisinvest für die Installation einer neuen Montagelinie

- $n_{Stationneu}$: Anzahl neu installierter Montagestationen
- $n_{StationUmbau}$: Anzahl umgebafter Montagestationen
- $K_{Stationneu}$: Kosten für Neuinstallation einer Montagestation
- $K_{StationUmbau}$: Kosten für den Umbau einer bestehenden Montagestation

Die Anzahl erforderlicher Montagestationen einer Montagelinie L wird dabei durch die produktionsprogramm- und schichtmodellinduzierte minimale Taktzeit, die produktinduzierte Montagezeit und die durchschnittliche Mitarbeiterdichte je Montagestation definiert. Aus Gründen der Komplexitätsreduzierung erfolgt keine dynamische Anpassung der Anzahl an Montagestationen über den betrachteten Fabrik Life Cycle hinweg.

Die periodenspezifischen Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs resultieren aus den Kosten, die durch die Variation der Steuergrößen des Montagesystems verursacht werden:

$$K_{Anpassung,operativ,t} = \sum_{i=1}^{i=n} |y_{i,t-1} - y_{i,t}| \cdot K_{Anpassung,y_i} \quad (4-37)$$

Dabei bedeutet:

- $K_{Anpassung,y_i}$: Anpassungskosten bei der Variation der Steuergröße y_i

Nach Gleichung (4-38) ergeben sich die periodenbezogenen Betriebskosten des Montagesystems aus der Summe der tariflichen Löhne und Gehälter sowie der zu bezahlenden Schicht- und Überstundenzuschläge.

$$K_{Betrieb} = \sum_{S=1}^{S=N} \sum_{L=1}^{L=N} L_{tarif,LS} + Z_{S,LS} + Z_{\bar{U},LS} \quad (4-38)$$

Dabei bedeuten:

- $K_{Betrieb}$: Periodenbezogene Betriebskosten des Montagesystems
- $L_{tarif,LS}$: Zu leistende tariflich festgelegte Löhne und Gehälter je L und S
- $Z_{S,LS}$: Zu leistende Schichtzuschläge je L und S
- $Z_{\bar{U},LS}$: Zu leistende Überstundenzuschläge je L und S

Hierbei gilt für die Berechnung der tariflichen Löhne und Gehälter nach Gleichung (4-39) folgender Zusammenhang:

$$L_{tarif,LS} = C_{B,dir,LS} \cdot K_{MA,dir} + C_{B,indir,LS} \cdot K_{MA,indir} \quad (4-39)$$

Dabei bedeuten:

- $C_{B, dir, L}$: Kapazitätsbedarf an direkten Mitarbeitern je L und S
- $C_{B, indir, L}$: Kapazitätsbedarf an indirekten Mitarbeitern je L und S
- $K_{MA, dir}$: Kosten für einen direkten Mitarbeiter je Periode
- $K_{MA, indir}$: Kosten für einen indirekten Mitarbeiter je Periode

Auf Basis der Betriebskosten berechnen sich die durchschnittlichen Stückkosten über den betrachteten Life Cycle des Montagesystems nach Gleichung (4-40):

$$K_e = \frac{\sum_{t=1}^{t=FLC} K_{Betrieb, t}}{V_M} \quad (4-40)$$

Dabei bedeuten:

- K_e : Durchschnittliche Stückkosten über den betrachteten Fabrik Life Cycle
- V_M : Produktionsvolumen über den betrachteten Fabrik Life Cycle

Auf Basis der in diesem Kapitel erarbeiteten ressourcenorientierten Abbildung des Montagesystems lassen sich die Life Cycle-bezogenen Anpassungs-, Betriebs- und Stückkosten optionaler Konstellationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem berechnen.

4.4 Ausarbeitung des Szenariomodells

Im Szenariomodell werden die im Markt- und Produktmodell generierten Modelle der Produktkonzepte und das aktuell im Montagesystem produzierte Produktprogramm mit den flexibilitätsstrategieinduzierten Konstellationen des Montagesystems zu Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien verknüpft. Neben der Generierung optionaler Szenarien erfolgt im Szenariomodell die Integration aufkommender industrieller Lerneffekte. Nachfolgend wird die Modellierung dieser beiden Ausgangsgrößen beschrieben.

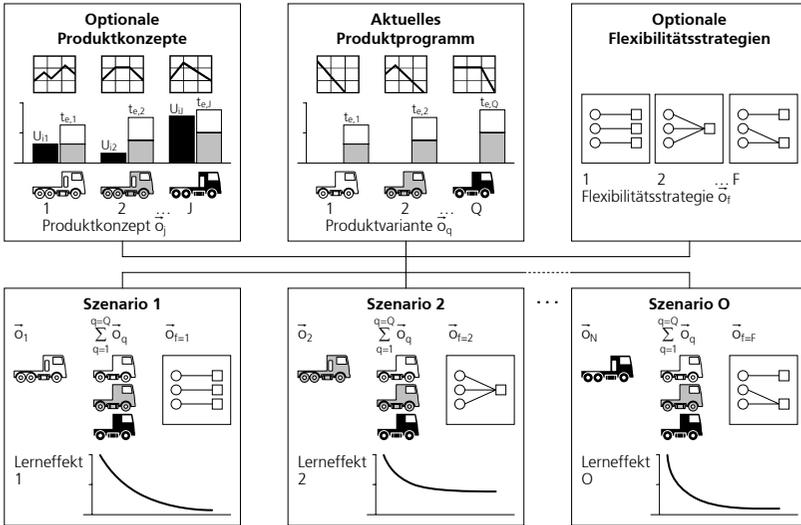


Abb. 27: Ablaufschema des Szenariomodells

4.4.1 Modellierung optionaler Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem

Zur Generierung optionaler Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem werden vier szenariospezifische Variablen innerhalb des Modells herangezogen.

Dies sind:

- j : Produktkonzept mit $j=1, 2, \dots, J$
- q : Produkt des aktuellen Produktprogramms mit $q=1, 2, \dots, Q$
- f : Flexibilitätstrategie des Montagesystems mit $f=1, 2, \dots, F$
- o : Szenario mit $o=1, 2, \dots, O$

In Anlehnung an Kapitel 3.1.4 erfolgt die szenarioorientierte Beschreibung der optionalen Produktkonzepte auf Basis der konzeptspezifischen Nutzwerte, Montagezeiten und Produktionsprogramme. Jedem Produktkonzept j wird so ein eindeutiger szenarioorientierter Eigenschaftsvektor zugeordnet.

$$\bar{o}_j = (\hat{U}_j, t_{e,j}, V_{M,t,j}) \quad (4-41)$$

Dabei bedeuten:

$\vec{\sigma}_j$: Szenario-Eigenschaftsvektor des Produktkonzepts j

\hat{U}_j : Geschätzter Gesamtnutzenwert des Produktkonzepts j

$t_{e,j}$: Montagezeit des Produktkonzepts j

$V_{M,t,j}$: Produktionsvolumen des Produktkonzepts j in der Periode t

Die Produkte des aktuellen im Montagesystem produzierten Produktprogramms werden über deren Montagezeiten und Produktionsprogramme beschrieben. Eine nutzenorientierte Bewertung dieser Produkte erfolgt nicht, da diese fixe Nebenbedingungen der Ist-Konstellation des Montagesystems darstellen. Der Eigenschaftsvektor eines Produkts des aktuellen Produktprogramms ergibt sich aus Gleichung (4-42).

$$\vec{\sigma}_q = (t_{e,q}, V_{M,t,q}) \quad (4-42)$$

Dabei bedeuten:

$\vec{\sigma}_q$: Szenario-Eigenschaftsvektor des Produkts q

$t_{e,q}$: Montagezeit des Produkts q

$V_{M,t,q}$: Produktionsvolumen des Produkts q in der Periode t

Die Flexibilitätsstrategie des Montagesystems wird primär durch die Anzahl und Kapazitäten von Montagelinien sowie der zeitabhängigen Allokation der Produktionsprogramme auf die Montagelinien festgelegt. Daraus folgt der Eigenschaftsvektor $\vec{\sigma}_f$:

$$\vec{\sigma}_f = \left(\sum_{L=1}^{L=N} L, A_{tL,j,q} \right) \quad (4-43)$$

Dabei bedeuten:

$\vec{\sigma}_f$: Szenario-Eigenschaftsvektor der Flexibilitätsstrategie f

$A_{tL,j,q}$: Periodenspezifische Allokation der Produkte auf die Montagelinien

Zur Generierung optionaler Szenarien werden die oben definierten Eigenschaftsvektoren miteinander kombiniert. Hierbei lässt sich jedes Szenario des Systems Markt-Produkt-Produktionssystem nach Gleichung (4-44) modellieren:

$$\bar{o}_{j,q,f} = \bar{o}_j \cap \sum_{q=1}^{q=Q} \bar{o}_q \cap \bar{o}_f \quad (4-44)$$

Dabei bedeutet:

$\bar{o}_{j,q,f}$: Szenariovektor

Abhängig von der definierten Anzahl der Produktkonzepte j und der optionalen Flexibilitätsstrategien f ergibt sich die theoretische maximale Anzahl von Szenarien O nach Gleichung (4-45) zu:

$$O = \sum_{f=1}^{f=F} j^f \quad (4-45)$$

Dabei bedeutet:

O : Maximale Anzahl von Szenarien

Da es das Ziel dieser Arbeit ist, die Integrationsfähigkeit neuer Produkte in bestehende Montagesysteme zu prüfen, wird die Anzahl optionaler Szenarien primär durch die aktuelle, standortspezifische Konstellation des betrachteten Montagesystems beschränkt.

4.4.2 Modellierung szenariospezifischer Lerneffekte

Die Modellierung szenariospezifischer Lerneffekte erfolgt im Szenariomodell in Anlehnung an das in Kapitel 2.1.5.2 beschriebene Lernkurvenmodell von LEVY. Die mathematische Beschreibung aufkommender Effizienzsteigerungen beruht dabei auf der Abbildung markt-, produkt- und organisationsinduzierter Veränderungstreiber.

Als zentraler marktinduzierter Veränderungstreiber agiert das im Montagesystem zu montierende Produktionsprogramm. Die Ähnlichkeit der zu montierenden Produkte, die über den prozentualen Anteil an konstruktiv gleichartigen Baugruppen bewertet wird, agiert als zentraler produktinduzierter Veränderungstreiber. Als organisationsinduzierter Veränderungstreiber wird die Wahl des Schichtmodells sowie die damit einhergehende periodenspezifische Anzahl an Schichten und induzierten Taktzeiten berücksichtigt.

Zur Ermittlung der Beträge aufkommender Lerneffekte und daraus resultierender Einflüsse auf die Montagezeiten erfolgt eine zeitliche Aufteilung des Life Cycles des Montagesystems in eine Anlauf- und eine Steady-State-Phase (vgl. Kapitel 2.1.5). Unter Berücksichtigung der oben

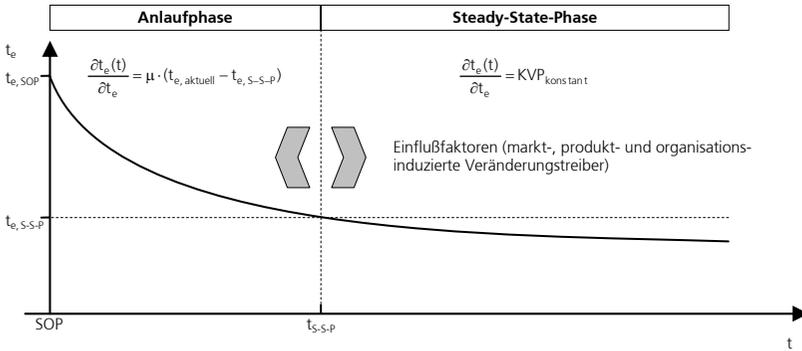


Abb. 28: Referenzmodell zur Modellierung szenariospezifischer Lerneffekte

aufgeführten Veränderungstreiber errechnet sich die szenariospezifische Dauer des Anlaufs bis zum Erreichen der Steady-State-Phase nach Gleichung (4-46):

$$t_{S-S-P,f} = t_{S-S-P,Ref} \cdot \frac{\vec{a}_{Ref}}{\vec{a}} \cdot \sum_{t=1}^{t=t_{S-S-P,Ref}} \left(\frac{V_{M_t,Ref}}{V_{M_t}} \cdot \frac{n_{s_t}}{n_{s_t,Ref}} \right) \quad (4-46)$$

Dabei bedeuten:

t_{S-S-P} : Szenariospezifischer Startzeitpunkt der Steady-State-Phase

\vec{a} : Konstruktive Ähnlichkeit innerhalb des Produktionsprogramms

Ref : Experimentell ermittelte Referenz-Einflussfaktoren

Hierbei müssen für die valide Bestimmung der Dauer der Anlaufphase experimentell erfasste Referenzwerte aus der Industrie herangezogen werden (vgl. Kapitel 2.1.5.1).

In Anlehnung an das Lernkurvenmodell von LEVY berechnet sich die periodenspezifische Abnahme der Montagezeit innerhalb der Anlaufphase unter Berücksichtigung des szenariospezifischen Lernfaktors μ und der Differenz aus der Montagezeit zum Eintritt in die Steady-State-Phase und der aktuell benötigten Montagezeit.

$$\frac{\partial t_e(t)}{\partial t_e} = \mu \cdot (t_{e,aktuell} - t_{e,S-S-P}) \quad (4-47)$$

Dabei bedeuten:

μ : Lernspezifischer Parameter (LEVY)

$t_{e, \text{aktuell}}$: Aktuelle Montagezeit

$t_{e, \text{S-S-P}}$: Montagezeit zum Eintritt in die Steady-State-Phase

Die Montagezeit zum Eintritt in die Steady-State-Phase entspricht dabei der in Gleichung (4-13) auf Basis von Standardzeiten ermittelten EHPV-basierten Montagezeit.

Aus Gründen der Komplexitätsreduzierung werden für die Montage bereits bestehender Produkte auf Solitär- und teilflexiblen Montagelinien ebenso wie für die Montagezeiten nach Erreichen der Steady-State-Phase die am Standort definierten jährlichen KVP-Zielwerte als Werte für die Lerneffekte verwendet.

4.5 Ausarbeitung des Optimierungsmodells

Im Optimierungsmodell werden das stückkostenminimale und das Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept einschließlich der dazugehörigen Life Cycle-bezogenen Konfiguration des Montagesystems ermittelt. Die Ermittlung erfolgt dabei durch die simulationsbasierte, Fabrik Life Cycle-orientierte Prognose und Bewertung des Realbetriebs der alternativen Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem. Das systeminterne Entscheidungsunterstützungssystem basiert auf dem in Kapitel 2.7.1 vorgestellten Verfahren der mehrstufigen Optimierung. Der hierbei verwendete Optimierungsalgorithmus orientiert sich inhaltlich an dem in Kapitel

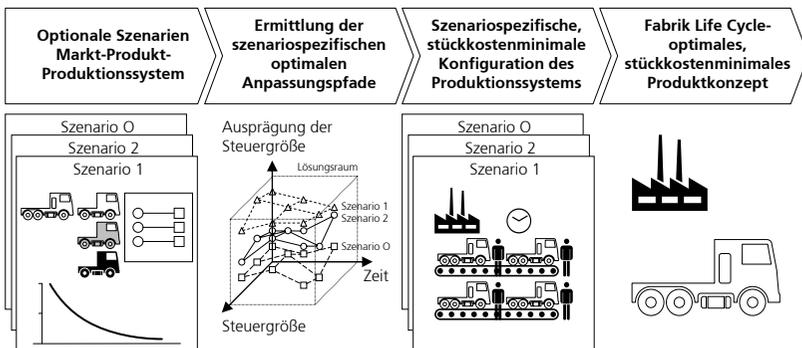


Abb. 29: Ablaufschema des Optimierungsmodells

2.6.2 beschriebenen Entscheidungsunterstützungssystem für die Planung und Optimierung flexibler Montagesysteme. Im folgenden Teilkapitel wird die Integration des Optimierungsalgorithmus in die Systemumgebung Produkt-Produktionssystem beschrieben.

4.5.1 Definition der Eingangsgrößen des Optimierungsmodells

Als zentrale Eingangsgrößen des Optimierungsmodell agieren die im Szenariomodell generierten ressourcenbezogenen Informationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem. Zur Gewährleistung einer Synchronisierung der marktseitigen Produkthanforderungen mit den produktionsseitigen, flexibilitätsstrategieinduzierten Anforderungen des bestehenden Montagesystems werden Fabrik Life Cycle-orientierte Entscheidungen unter Berücksichtigung von Kostenminimierungs- und Kundennutzenmaximierungs-Aspekten getroffen. Um diese Anforderung zu erfüllen werden innerhalb des Optimierungsmodells markt- und montagesystemspezifische Steuergrößen definiert. Als marktspezifische Steuergrößen agieren der Gesamtnutzen und die Absatzmengen der optionalen Produktkonzepte (vgl. Kapitel 4.1). Demgegenüber erfolgt unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.3 modellierten technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen des Montagesystems eine Prognose und stückkostenorientierte Anpassung des Montagebetriebs über die szenarioübergreifenden Steuergrößen.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der für das Optimierungsmodell relevanten Steuergrößen des Montagesystems. Der Wert der jeweiligen Steuergröße definiert dabei den nutzenbezogenen Freiheitsgrad möglicher Anpassungen des Montagebetriebs.

Zur Prognose der periodenbezogenen optimalen Betriebspunkte des Montagesystems der alternativen Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem bedarf es sowohl der eindeutigen Definition des Lösungsraums als auch der situationsgerechten Anpassung der Steuergrößen mit dem Ziel einer Minimierung der Betriebskosten. Dieser Sachverhalt wird im nachfolgenden Teilkapitel mathematisch beschrieben.

Abkürzung	Beschreibung der Steuergröße
$C_{A,t}^{BN,L}$	Betriebsnutzungszeit der Montagelinie L in der Periode t
$n_{S,t}$	Anzahl der Schichten in der Periode t
$S_{M,t}$	Schichtmodell in der Periode t
$t_{T,L,t}$	Taktzeit der Montagelinie L in der Periode t
$C_{A,t}$	Kapazitätsangebot an Mitarbeitern in der Periode t
$V_{plan,t}$	Programmverschiebung in der Periode t

Tab. 2: Steuergrößen des Optimierungsmodells zur Definition des nutzenbezogenen Freiheitsgrads möglicher Anpassungen des Montagebetriebs

4.5.2 Modellierung der systembestimmenden Wechselwirkungen des Optimierungsmodells

Der Lösungsraum des Minimierungsproblems wird durch die Summe aller optionalen Ausprägungen der systeminternen Steuergrößen über den betrachteten Untersuchungszeitraum definiert. In Abhängigkeit von den konkreten, periodenbezogenen Ausprägungen der Steuergrößen resultieren für jedes Szenario des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem n unterschiedliche Anpassungspfade. Jeder Anpassungspfad ist dabei eindeutig durch dessen durchschnittliche Betriebskosten monetär beschrieben. Die betriebskostenminimale Konstellation jedes Szenarios wird durch den kostenoptimalen, szenariospezifischen Anpassungspfad durch den Lösungsraum definiert. Zur Bestimmung dieses kostenoptimalen Anpassungspfades bedarf es der Lösung des in Gleichung (4-48) formulierten Minimierungsproblems:

$$F(y_{i,t}) = \left\{ \sum_{L=1}^{L=N} K_{\text{Betrieb}, L} + F(y_{i,t-1}) \right\} \xrightarrow{K_{\text{Betrieb}}} \min \quad (4-48)$$

Dabei bedeuten:

- $y_{i,t}$: Periodenbezogener Zustand der Steuergrößen
- $y_{i,t-1}$: Zustand der Steuergrößen in der Periode $t-1$
- $K_{\text{Betrieb}, L}$: Betriebskosten der Montagelinie L

Zur Limitierung der Größe des Lösungsraums erfolgt eine Komplexitätsreduzierung des Optimierungsproblems durch die Einführung organisatorischer und technischer Rahmenbedingungen.

Maßnahme	Ausprägung
Reduktion möglicher Zustände	Additiver Charakter des Arbeitskräftebedarfs Maximale Auslastung des Arbeitszeitkontos Kostenminimierende Programmverteilung unter Vernachlässigung von Lerneffekten Einschränkung der Kombinationsmöglichkeit von produkt- und ressourcenbezogenen Faktoren (z.B. Produktmodelle, Schichtmodelle) Ausschluss von Zuständen durch präventive Validitätsprüfung (z.B. Auslastungsgrenzen)
Reduktion zu treffender Entscheidungen	Ausschluss von Zustandswechslern zwischen aufeinander folgenden Perioden (z.B. Ein- und Ausstellungsgrenzen für Mitarbeiter, Taktzeitgrenzen, zulässige Wechsel zwischen Schichtgruppen)
Sequenzierung der Problembehandlung	Sequentielle Abarbeitung von Teilproblemen des Gesamtproblems Zusammenführung der Teilergebnisse zu finalelem Resultat

Tab. 3: Komplexitätsreduktion durch organisatorische und technische Rahmenbedingungen des Montagebetriebs

Die Reduzierung möglicher Anpassungszustände, die Eingrenzung der Entscheidungsfreiheit und Aufteilung des betrachteten Gesamtproblems in Teilprobleme stehen hierbei im Vordergrund (siehe Tabelle 3).

Auf Basis der szenariospezifischen Informationen berechnet der im Optimierungsmodell integrierte, entscheidungsunterstützende Optimierungsalgorithmus für jedes Szenario des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem ein kostenoptimales Entscheidungsverhalten der operativen Montageplanung über der Zeit (vgl. Kapitel 1.4). Dadurch wird die stückkostenoptimale Systemkonfiguration einschließlich der hiermit induzierten, dynamischen Flexibilitätsstrategie und dem dazugehörigen optimalen Betriebspunkt ermittelt (vgl. Kapitel 2.7.1).

4.5.3 Modellierung der Ausgangsgrößen des Optimierungsmodells

Die zentralen Ausgangsgrößen des Optimierungsmodells sind die szenariospezifischen, anpassungs- und stückkostenoptimalen Ausprägungen der zentralen Steuergrößen des Produktionsbetriebs. Das Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept resultiert dabei aus dem anpassungskostenminimalen Szenario Markt-Produkt-Produktionssystem. Das stückkostenminimale Produktkonzept ergibt sich aus der Isolierung desjenigen Szenarios Markt-Produkt-Produktionssystem, das die geringsten durchschnittlichen Stückkosten über den Life Cycle des Produktionssystems aufweist.

4.6 Ausarbeitung des Maßnahmenmodells

Im Maßnahmenmodell werden Handlungsbedarfe zur gewinnmaximierenden Anpassung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem identifiziert und Maßnahmen zur konstruktiven, produktgestaltbezogenen Optimierung ausgewählter Produktkonzepte abgebildet.

Die zur Maßnahmengenerierung erforderlichen Informationen resultieren aus dem Vergleich zwischen dem vom Zielmarkt präferierten Produktkonzept (markt- und kundenoptimales Produktkonzept) und denen im Optimierungsmodell ermittelten, stückkostenminimalen und Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzepten. Der konzeptorientierte Vergleich erfolgt hierbei auf Baugruppenebene. Die Frage, in welchen Ausprägungen der Baugruppen sich die Produktkonzepte unterscheiden und wie eine konstruktive Anpassung des den Anforderungen des Zielmarktes genügenden Produktkonzepts an das stückkostenminimale beziehungsweise Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept erfolgen kann, steht dabei im Mittelpunkt der Aktivitäten.

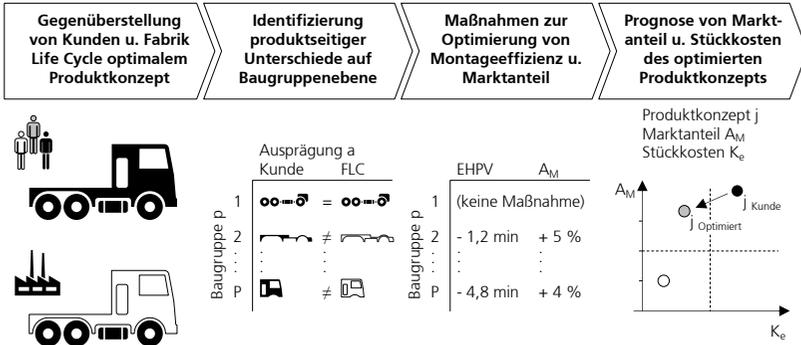


Abb. 30: Ablaufschema des Maßnahmenmodells

4.7 Umsetzung der Modellstruktur in dem Entscheidungsunterstützungssystem PULS

Um aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem den Zeitaufwand für die Lösungsfindung zu reduzieren, wurde das in den Kapiteln 4.1 bis 4.6 ausgearbeitete Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung in eine Simulationsumgebung integriert und in einem anwendungsfreundlichen Simulationswerkzeug umgesetzt. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Programm PULS (Produktplanung Und Fabrik Life Cycle Synchronisierung – Software und Entscheidungsunterstützungssystem) integriert dabei die Modelle des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem in eine MICROSOFT Excel® Umgebung.

Jedes der sechs Teilmodelle des Gesamtsystems wird in PULS durch ein autonomes Modul abgebildet. Die systembestimmenden Eingangsgrößen, die modulinternen Wechselwirkungen und die Ausgangsgrößen der autonomen Module sowie die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Modulen entsprechen denen in den Kapiteln zuvor modellierten Eigenschaften und Bedingungen.

Nachfolgend wird die modular aufgebaute Architektur des Entscheidungsunterstützungssystems PULS beschrieben.

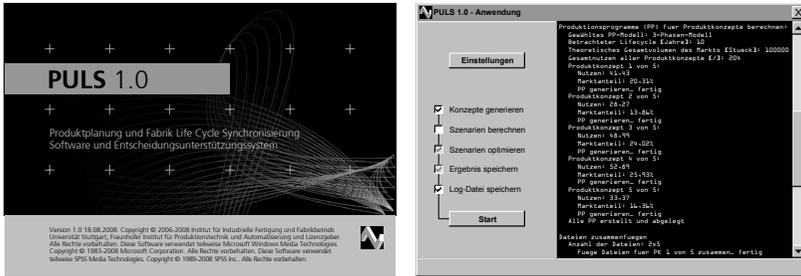


Abb. 31: PULS (Produktplanung Und Fabrik Life Cycle Synchronisierung - Software und Entscheidungsunterstützungssystem)

Umsetzung des Marktmodells in PULS

Im PULS-Modul „Markt“ erfolgt die Abbildung des Marktmodells, in dem mit Hilfe der Conjoint Analyse die Produktkonzepte für einen definierten Absatzmarkt generiert, hinsichtlich ihren individuellen kundenbezogenen Gesamtnutzwerten bewertet und Prognosen zu potentiellen Marktanteilen und Absatzmengen erstellt werden.

Zur Durchführung der Conjoint Analyse nutzt PULS die Software SPSS® 16.0 der Firma SPSS Inc. als Solver über eine MICROSOFT Excel® Schnittstelle. SPSS® ist ein in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften weit verbreitetes, modular aufgebautes Statistik-Programmpaket zur Analyse umfangreicher Datensätze. Über das Modul SPSS Conjoint™ unterstützt die Software die Durchführung und Auswertung von Conjoint Analysen.

Im ersten Schritt werden über eine SPSS Conjoint™ Eingabemaske die verschiedenen Bau- gruppen einschließlich ihrer optionalen Ausprägungen definiert. Darauf aufbauend wird in SPSS Conjoint™ ein teilfaktorielles Design erzeugt, das eine begrenzte Anzahl von Produktkonzepten enthält, die den Probanden zur Bewertung vorgelegt werden. Zur Abbildung des in Kapitel 4.1.2.1 beschriebenen kundenbezogenen Präferenzmodells des Marktmodells wurde ein Befehls- syntax in SPSS® erstellt und als Systemdatei in SPSS Conjoint™ importiert. Zum Schätzen der Teilnutzwerte der betrachteten Ausprägungen der Produktkomponenten wird der in SPSS Con- joint™ systemintern vorliegende metrische (OLS-) Regressionsalgorithmus verwendet. Die Berech- nung der konzeptspezifischen Gesamtnutzwerte und Absatzmengen sowie die Ermittlung des markt- und kundenoptimalen Produktkonzepts erfolgt VBA-basiert nach dem Export der Ergeb- nisse der Conjoint Analyse aus SPSS® in MICROSOFT Excel®.

Nach erfolgreich durchgeführter Berechnung werden für jedes Produktkonzept systemintern

ID-Datenblätter abgelegt, die alle relevanten Informationen zur eindeutigen markt- und kundenorientierten Beschreibung der Produktkonzepte beinhalten.

Umsetzung des Produktmodells in PULS

Im PULS-Modul „Produkt“ erfolgt die Abbildung des Produktmodells, in dem die Montagezeiten und die Life Cycle-bezogenen Produktionsprogramme der im Marktmodell generierten Produktkonzepte ermittelt werden.

Im ersten Schritt werden über eine MICROSOFT Excel® basierte PULS-Eingabemaske die EHPV Zielwerte für die in der Conjoint-Analyse definierten Ausprägungen der Baugruppen vom Anwender eingegeben. Nach der Eingabe des MV-basierten Montage-Effizienzfaktors und des Faktors zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholzeiten erfolgt eine Abschätzung der Montagezeiten auf Baugruppenebene auf Basis des Verhältnisses von EHPV zur Gesamtmontagezeit. Nach abgeschlossener Informationseingabe erfolgt die Berechnung der Gesamtmontagezeiten aller im PULS-Modul „Markt“ generierten und marktseitig bewerteten Produktkonzepte.

Im zweiten Schritt werden basierend auf denen im PULS-Modul „Markt“ berechneten Absatzmengen die periodenbezogenen Produktionsprogramme der Produktkonzepte generiert. Über eine PULS-Eingabemaske wählt der Anwender neben dem Zeitraum, in dem die Produktkonzepte in dem Montagesystem produziert werden sollen, das Modell für den Marktlebenszyklus aus. Dieses liefert ein vereinfachtes skalierbares Abbild der periodenabhängig im Montagesystem zu fertigenden Stückzahl des jeweiligen Produktkonzepts. PULS ermöglicht hierbei die Auswahl aus sechs verschiedenen Marktlebenszyklusmodellen. Diese sind in Abbildung 32 dargestellt.

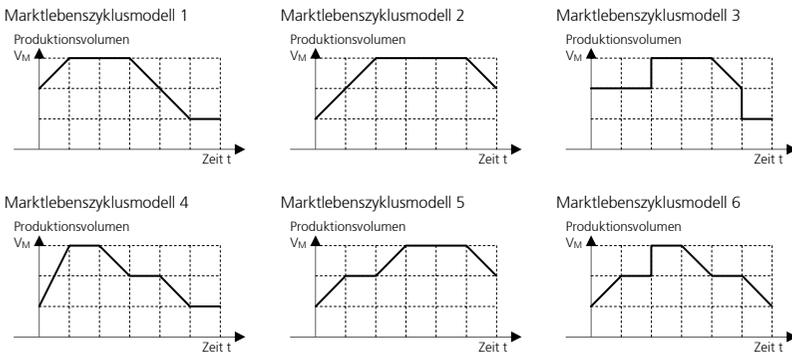


Abb. 32: Optionale Marktlebenszyklusmodelle im PULS-Modul „Produkt“

Nach abgeschlossener Informationseingabe erfolgt die Berechnung der Produktionsprogramme aller im PULS-Modul „Markt“ generierten und marktseitig bewerteten Produktkonzepte. Neben der automatisierten Berechnung der konzeptspezifischen Produktionsprogramme mit Hilfe der PULS Marktlebenszyklen ist eine manuelle Eingabe der periodenbezogenen Stückzahlen ebenfalls möglich.

Die im PULS-Modul „Produkt“ generierten Informationen werden in den systeminternen ID-Datenblättern der Produktkonzepte abgelegt.

Umsetzung des Montagesystemmodells in PULS

Im PULS-Modul „Montagesystem“ erfolgt die Abbildung des in Kapitel 4.3 ausgearbeiteten Montagesystemmodells. Über die Definition organisatorischer, technischer und standortspezifischer Rahmenbedingungen erfolgt eine kennzahlenbasierte Modellierung der aktuellen Konfiguration des Montagesystems einschließlich des dort aktuell produzierten Produktprogramms und potentieller Flexibilitätsangebote. PULS verwendet zur Abbildung des Montagesystems eine Eingabemaske des Programms Life Cycle Adaptation Planner (vgl. Kapitel 2.6.2). Zur Integration weiterer markt- und produktspezifischer Informationen wurde die Eingabemaske auf die im Rahmen dieser Arbeit definierten Anforderungen modifiziert.

Umsetzung des Szenariomodells in PULS

Im PULS-Modul „Szenario“ erfolgt die Abbildung des Szenariomodells, in dem die generierten produktkonzeptspezifischen Informationen mit optionalen flexibilitätsstrategieinduzierten Konstellationen des Montagesystems zu alternativen Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem verknüpft werden. Ebenso erfolgt eine iterative Berechnung produkt- und prozessbeeinflusster industrieller Lerneffekte.

Wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben resultiert die Summe optionaler Szenarien aus der Kombination der zuvor generierten Produktkonzepte mit den möglichen Flexibilitätsstrategien des Montagesystems. Die Generierung dieser Szenarien erfolgt dabei in PULS VBA-basiert. Zur Reduzierung der Komplexität werden dem Anwender im PULS-Modul „Szenario“ in Abhängigkeit von der Anzahl der aktuell im Montagesystem produzierten Produkte bis zu 20 verschiedene Flexibilitätsstrategien zur Simulation bereitgestellt. Abbildung 33 zeigt eine Übersicht über die in PULS implementierten Flexibilitätsstrategien für den Fall von drei aktuellen Produkten.

Nach der Generierung der Szenarien erfolgt im zweiten Schritt die iterative Berechnung industrieller Lerneffekte. Die Berücksichtigung von Lerneffekten, die aus der Ähnlichkeit von Pro-

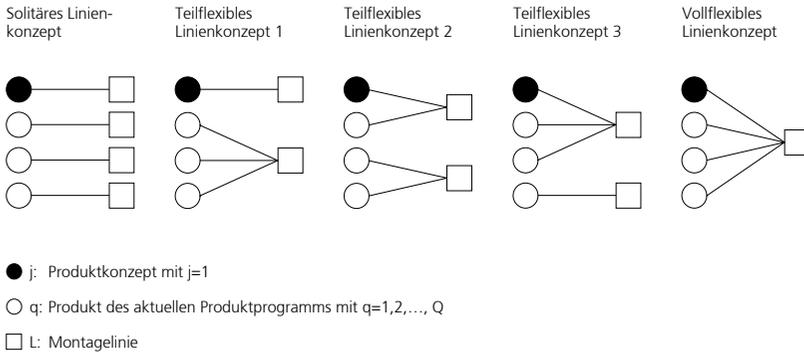


Abb. 33: Optionale Flexibilitätsstrategien im PULS-Modul „Szenario“

duktbaugruppen innerhalb des zu produzierenden Produktionsprogramms resultiert, erfolgt szenariobasiert durch den Vergleich des jeweiligen neuen Produktkonzepts mit den aktuellen Produkten. Hierzu bedient sich PULS eines iterativen Vergleichsprozesses auf Baugruppenebene, der den prozentualen Anteil an Gleichteilen aus dem Vergleich der ID-Datenblätter der Produktkonzepte errechnet. Die aus dem Vergleich gewonnenen Informationen werden zusammen mit den linienspezifischen Gesamtstückzahlen zur Ermittlung der Faktoren und der finalen Ausformulierung der Lernkurvengleichungen (4-46) und (4-47) aus Kapitel 4.4.2 eingesetzt.

Die im PULS-Modul „Szenario“ generierten Informationen werden in den systeminternen ID-Datenblättern der Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien abgelegt.

Umsetzung des Optimierungsmodells in PULS

Im PULS-Modul „Optimierung“ erfolgt die Abbildung des Optimierungsmodells, in dem die Prognose des Realbetriebs der alternativen Szenarien sowie die Bestimmung der szenariospezifischen stückkostenoptimalen und Fabrik Life Cycle-orientierten Konstellation des Montagesystems erfolgt.

Über die in VBA programmierte Schnittstelle erfolgt der iterative Import aller szenariorelevanten Daten in den modifizierten Life Cycle Adaptation Planner. Hierzu zählen neben den konzeptspezifischen, zeitdynamischen Montagezeiten und Produktionsprogrammen die Flexibilitätsstrategie beschreibenden Faktoren wie Produkt- und Linienanzahl. Als zentrale Informationsträger agieren die zuvor systemintern abgelegten ID-Datenblätter der Produktkonzepte und der Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien. Der C++ basierte Optimierungsalgorithmus bestimmt für jedes Szenario den optimalen Anpassungspfad der Ausprägungen der Steuergrößen entlang des Fabrik Life Cycles.

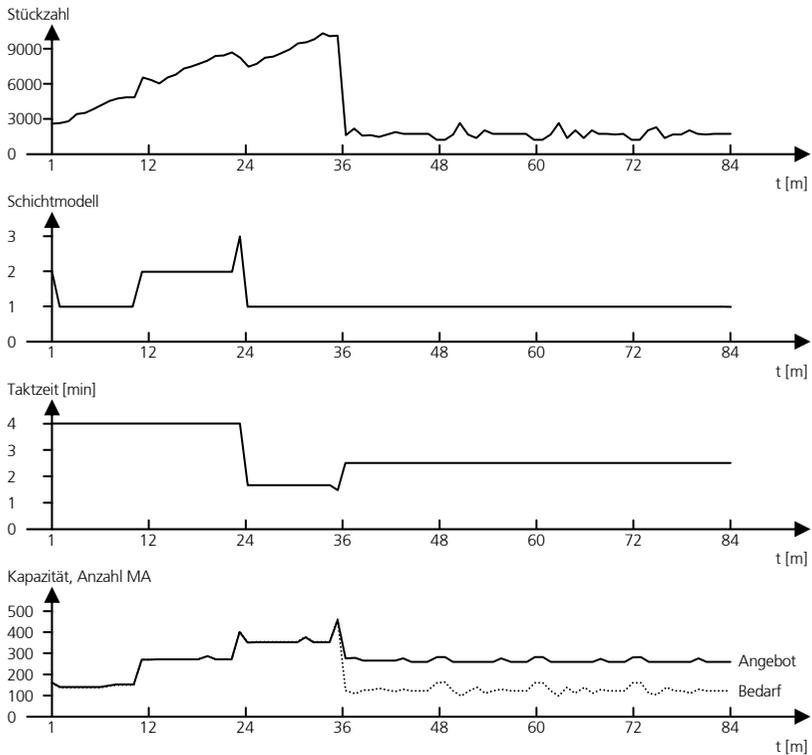


Abb. 34: Identifikation Life Cycle-bezogene Maßnahmen zur dynamischen Anpassung kostenrelevanter Betriebsparameter

Abbildung 34 zeigt hierzu beispielhaft die dynamische Anpassung der Steuergrößen Schichtmodell, Taktzeit der Montagelinie und Mitarbeiteranzahl über den Life Cycle eines betrachteten Szenarios Markt-Produkt-Produktionssystem hinweg.

Als Ergebnis wird neben den szenariospezifischen Anpassungs- und Betriebskosten sowie der zeitdynamischen Entwicklung der Stückkosten der verschiedenen Szenarien das stückkostenminimale und das Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept in PULS abgelegt.

Umsetzung des Maßnahmenmodells in PULS

Im PULS-Modul „Auswertung und Maßnahmen“ werden alle relevanten Informationen, die zur monetären Bewertung der Flexibilitätsstrategien und zur Generierung konzeptbezogener, konstruktiver Optimierungsmaßnahmen benötigt werden, analysiert und grafisch aufbereitet.

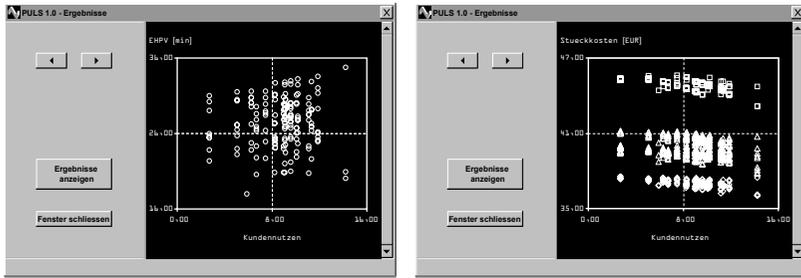


Abb. 35: Überlagerung von entscheidungsrelevanten Größen für die Identifikation optimaler Konstellationen des Systems Markt-Produkt-Produktionssystem

Als Datenbasis agieren die zuvor im PULS-Modul „Optimierung“ ermittelten szenario-spezifischen monetären Kenngrößen sowie die in den ID-Datenblätter der Produktkonzepte abgelegten markt- und kundenorientierten Informationen zu Gesamtnutzen und Absatzmengen der Produktkonzepte. Zur situationsgerechten, wirtschaftlichen Bewertung der Szenarien werden diese Informationen in einem Koordinatensystem übereinander gelegt (siehe Abbildung 35).

Das Aufzeigen konstruktiver Optimierungspotentiale erfolgt durch den systeminternen Vergleich des stückkostenoptimalen, Fabrik Life Cycle-orientierten Produktkonzepts mit dem im Modul Markt ermittelten markt- und kundenoptimalen Produktkonzept auf Baugruppenebene. Zur Maximierung des Gewinns bedarf es einer Minimierung der Stückkosten bei gleichzeitigem Aufrechterhalten des Umsatzes.

5 Validierung des Modells am Fallbeispiel

Nachdem in Kapitel 4 das Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung ausgearbeitet und in eine Softwareumgebung integriert wurde, wird im Folgenden die Anwendbarkeit des Modells anhand eines ausgewählten Fallbeispiels aus der Industrie validiert. Als Praxisbeispiel wurde die Neuentwicklung eines LKW-Cockpits mit anschließender Integration in ein bestehendes Montagesystem gewählt. Das Praxisbeispiel wurde dabei aus zwei zentralen Gründen gewählt: Zum einen besitzt das Untersuchungsobjekt eine überschaubare produkt- und prozesseitige Komplexität. Dadurch konnte der gesamte im Modell abgebildete Analyse- und Optimierungsprozess durchgeführt werden. Zum anderen nimmt das Untersuchungsobjekt als Neuentwicklungsumfang eine Sonderrolle innerhalb des Produktprojekts des Herstellers ein.

Die Validierung des Modells gliedert sich in zwei Abschnitte: Im ersten Abschnitt werden drei zur Verifizierung des im Produktmodell verwendeten EHPV-Verfahrens durchgeführte Studien beschrieben und hinsichtlich ihrer Ergebnisse diskutiert (vgl. Kapitel 2.4.3). Anhand der Ergebnisse wird aufgezeigt, dass das in der Automobilindustrie zunehmend an Bedeutung gewinnende EHPV-Verfahren als valides Werkzeug zur produktionsorientierten Steuerung und Kontrolle der Produktentwicklung und Produktionsplanung eingesetzt werden kann. Im zweiten Abschnitt erfolgt die Validierung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modells. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Nach Darstellung der Problemstellung des Fallbeispiels werden die zentralen markt-, produkt- und montagesystemseitigen Rahmenbedingungen beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt die Abbildung des Fallbeispiels in den Subdatenmodellen Markt, Produkt, Produktionssystem und Szenario. Durch die simulationsgestützte Prognose des Einflusses externer und interner Wandlungstreiber auf den Life Cycle des betrachteten Montagesystems werden verschiedene Produktkonzepte hinsichtlich ihres Kundennutzens, Anpassungskosten sowie Stückkosten unter Berücksichtigung optionaler Flexibilitätsstrategien bewertet. Die Ermittlung der markt- und Fabrik Life Cycle-optimalen Produktkonzepte sowie der EHPV- und stückkostenminimalen Produktkonzepte bildet hierbei die Basis für die Identifizierung produktbezogener Maßnahmen zur präventiven Optimierung des Life Cycles von Montagesystemen in den frühen Phasen des Produktentste-

ungsprozesses. Das Kapitel endet mit einer kritischen Bewertung des Modells.

Da es sich bei dem beschriebenen Fallbeispiel um ein aktuelles Produktprojekt des Herstellers handelt wurden zur Wahrung der Geheimhaltungsverpflichtung die verwendeten Daten betragsmäßig verfälscht. Die gezeigten Daten und Zusammenhänge bleiben jedoch in ihrer Größenordnung repräsentativ für den betrachteten Industriezweig.

5.1 Verifizierung des EHPV-Verfahrens im Rahmen von drei Studien in der Automobilindustrie

In Studie 1 erfolgt die Verifizierung des EHPV-Verfahrens hinsichtlich der Anwendbarkeit entlang der Prozesskette CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienproduktion. Durch die Ergebnisse wird aufgezeigt, dass der EHPV-Wert primär durch die konstruktiv festgelegten Eigenschaften des Produkts definiert ist. Prozessbedingte Einflussfaktoren, die aus den Rahmenbedingungen des Montagesystems resultieren, führen zu einer geringen Variation des EHPV-Wertes entlang der Prozesskette.

In Studie 2 erfolgt die Verifizierung des EHPV-Verfahrens hinsichtlich der Vergleichbarkeit verschiedener Produktkonzepte, die unterschiedlichen marktseitigen Anforderungen bezüglich Funktionalität und Qualität genügen. Durch die Ergebnisse wird aufgezeigt, dass der EHPV-Wert abhängig von den Kundenanforderungen bezüglich Funktionalität, Qualität und der damit verknüpften Komplexität des Produkts variiert.

In Studie 3 erfolgt die Verifizierung des EHPV-Verfahrens hinsichtlich der Anwendbarkeit zur Abschätzung der Gesamtmontagezeit eines Produktkonzepts in der frühen Phase der Produktentwicklung. Durch die Ergebnisse wird aufgezeigt, dass der aus den Rahmenbedingungen des Montagesystems resultierende MV-Wert mit dem durch die konstruktive Produktgestalt definierten EHPV-Wert in direkter Wechselwirkung steht.

5.1.1 Beschreibung der organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen bei der Durchführung der drei Studien

Die in den nachfolgenden Teilkapiteln vorgestellten Studien wurden in Kooperation mit einem global operierenden Hersteller von Nutzfahrzeugen durchgeführt. In seinem in den Triademärkten installierten Produktionsnetzwerk fertigt der Hersteller Nutzfahrzeuge der leichten, mittleren und

schweren Gewichtsklasse in hoher Stückzahl bei gleichzeitig hoher Varianz der Produkte. Die vorgestellten Studien wurden an verschiedenen Produktionsstandorten des Herstellers durchgeführt. Als Datenbasis wurden die aus der virtuellen Montage von CAD-Produktmodellen, dem physischen Aufbau von Prototypen, der physischen Zerlegung von Wettbewerberprodukten sowie der Dokumentation des Montageprozesses der Untersuchungsobjekte an den verschiedenen Produktionsstätten des Herstellers verwendet.

Zur Sicherstellung der Validität der Daten erfolgte die Erfassung aller verwendeten Daten vor Ort in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Herstellers aus den Bereichen Entwicklung, Produktionsplanung und Produktion. Im Rahmen der Studie wurden dabei nur die direkt produktbezogenen manuellen Montageumfänge analysiert und untereinander verglichen. Die bei Zulieferern erbrachten Montageleistungen, automatisierte Montageumfänge und Umfänge, die der Qualitätssicherung dienen, wurden nicht berücksichtigt. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Daten erfolgte die Analyse der Versuchsobjekte auf Basis des unternehmensspezifischen Systems vorbestimmter Zeiten. Bei dem Standardzeitensystem handelt es sich um ein von der MTM-GESELLSCHAFT in Kooperation mit dem Unternehmen angepasstes MTM-UAS-System. Zur Integration des EHPV-Verfahrens in das Standardzeitensystem erfolgte im Vorfeld der Studie eine Klassifizierung der Zeitbausteine nach EHPV und MV.

Aus Gründen der Geheimhaltung wurden alle nachfolgend dargestellten Resultate durch eine Normierung des jeweils größten Messwertes auf den Wert 1 verändert.

5.1.2 Beschreibung der Ergebnisse der drei Studien

Nachfolgend werden die Vorgehensweise bei der Erfassung der relevanten Versuchsdaten, die Auswertung der erfassten Daten und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen bezüglich der Validität des EHPV-Verfahrens beschrieben.

5.1.2.1 Studie 1: Verifizierung der Anwendbarkeit des EHPV-Verfahrens in der Prozesskette CAD-Produktmodell – Prototyp – Serienproduktion

Im Rahmen der Studie 1 wurde als Untersuchungsobjekt das Fahrerhaus eines Fahrzeugs der leichten Nutzfahrzeugklasse definiert. Mit den gewählten Abmaßen und Ausstattungselementen repräsentiert das Untersuchungsobjekt einen Ecktypen, der den höchsten Anteil des aktuellen und zukünftigen Produktionsprogramms des Herstellers darstellt. Am Standort, an dem die Studie 1 durchgeführt wurde, wird das Untersuchungsobjekt auf einer produktflexiblen Montagelinie der leichten Klasse montiert. Die Vorgehensweise bei der Erhebung der Daten und die Diskussion der

Ergebnisse der Studie 1 werden in den folgenden Teilkapiteln dargestellt.

Datenerfassung im Rahmen der Studie 1

Zur Erfassung aller versuchsrelevanten Daten der Prozesskette virtuelle Montage von CAD-Produktmodellen, physischer Aufbau von Prototypen und Montage des Produkts in der Serienproduktion wurden alle Prozessschritte vollständig durchgeführt. Die virtuelle Montage des CAD-Produktmodells des Untersuchungsobjekts erfolgte mit Hilfe der CAD-Software CATIA V5R16 der Firma DASSAULT SYSTEMES. Der physische Aufbau des Prototyps wurde im Rahmen einer Modellpflege des Untersuchungsobjekts vor Ort begleitet. Die Daten des Prozessschritts der Serienproduktion wurden durch eine detaillierte Analyse des Montageprozesses in der laufenden Produktion erfasst. Bei der virtuellen Montage der CAD-Produktmodelle und dem Aufbau des Prototyps des Untersuchungsobjekts wurde die Aufbaureihenfolge aus der Serienproduktion übernommen. Dadurch wird eine Vergleichbarkeit der Montagefunktionen nach Art, Anzahl und Reihenfolge gewährleistet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie 1 dargestellt und diskutiert.

Datenauswertung der Studie 1

In Abbildung 36 sind die auf den Wert 1 normierten EHPV-Gesamtwerte der drei Untersuchungsobjekte CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienprodukt dargestellt. Der Abbildung kann entnommen werden, dass der EHPV-Gesamtwert der Untersuchungsobjekte entlang der Prozesskette

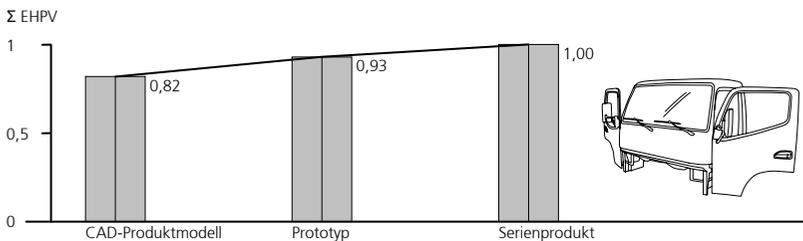


Abb. 36: EHPV-Gesamtwerte der drei Untersuchungsobjekte CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienprodukt aus Studie 1

CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienproduktion zunimmt. So hat das Fahrerhaus aus der Serienproduktion den größten EHPV-Gesamtwert. Der EHPV-Gesamtwert des Prototyps ist um 6,61 %, der des CAD-Produktmodells um 17,54 % geringer als der des Serienprodukts.

Um die Ursachen für die ermittelten Unterschiede in den EHPV-Gesamtwerten zu identifizieren, wurden die EHPV-Gesamtwerte der drei Untersuchungsobjekte in Anlehnung an REFA (vgl. Kapitel 2.1.4.2) nach den fünf Hauptfunktionen aufgegliedert (siehe Abbildung 37). Die zur Montage des Produkts zwingend notwendigen, als EHPV klassifizierten Körperbewegungen des Beugens, des Ein- und Aussteigens in das Fahrerhaus und der Blindmontage wurden dabei in Abbildung 37 als zusätzliche Montagefunktion in die Auswertung integriert.

Die Unterschiede in den Werten der drei Untersuchungsobjekte variieren je nach Montagefunktion zwischen +8,83 % und -100 %. In den Montagefunktionen Fügen und Handhaben liegt der Unterschied der EHPV-Werte bei -4,35 % (Prototyp) beziehungsweise -12,19 % (CAD-Produktmodell) und 1,20 % (Prototyp) beziehungsweise -5,92 % (CAD-Produktmodell). In den Montagefunktionen des Kontrollierens, Justierens, Sonderfunktionen und Körperbewegungen sind mit -51,26 %, -47,10 %, -100,00 % und -23,18 % die größten Unterschiede zwischen dem im CAD-Produktmodell und den in der Serienproduktion erfassten EHPV-Werten zu verzeichnen. Der Unterschied in den entsprechenden EHPV-Werten des Prototyps und der Serienproduktion ist bei Werten von -51,26 %, -3,23 %, 0,00 % und 8,83 % deutlich geringer.

Als Gründe für die ermittelten Unterschiede in den EHPV-Werten der drei Untersuchungsobjekte sind prozessbedingte Einflussfaktoren zu nennen, die sich schwer in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses erfassen lassen. So bedarf es bei der virtuellen Montage eines Produkts anhand eines CAD-Modells detaillierten Fachwissens über das Produkt und den dazugehörigen Montageprozess. Montagefunktionen wie das Beugen oder Strecken zur Montage eines

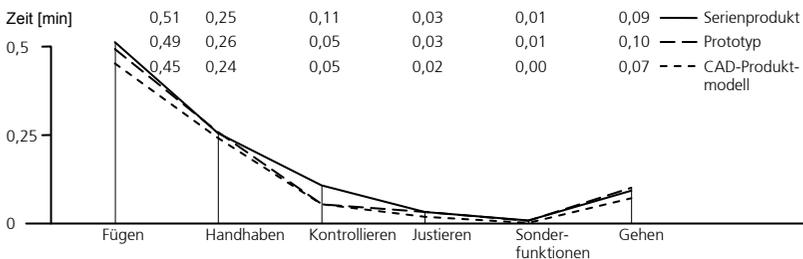


Abb. 37: EHPV-Werte der Montagefunktionen der drei Untersuchungsobjekte CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienprodukt aus Studie 1

Teils können nur schwer anhand eines CAD Modells Berücksichtigung finden. Tätigkeiten wie in das Fahrerhaus steigen sowie die Häufigkeit der Werkzeugaufnahme und des Werkzeugwechsels sind beeinflusst durch die gewählte Aufbaureihenfolge und die Taktzeit der Montagelinie. Eine Berücksichtigung dieser Faktoren gestaltet sich bei der manuellen nicht die Rahmenbedingungen des Montagesystems widerspiegelnden Analyse eines CAD-Modells als sehr schwierig. Diese Aussagen werden durch den Vergleich der Werte des Prototypenaufbaus und der Werte aus der Serienmontage hinsichtlich der prozessbeeinflussten Montagetätigkeiten gestützt. Unterschiede in den Werten finden sich hier primär in den durch die Taktzeit mitbestimmten Tätigkeiten des Ein- und Aussteigens und des Werkzeugwechsels. Die EHPV-Tätigkeiten des Beugens, Blindmontage und Kennzeichnen lassen sich bei der physischen Montage des Prototyps eindeutig beobachten, was dazu führt, dass die EHPV Werte hier keine merklichen Differenzen zur Serienmontage aufweisen.

Fazit der Studie 1

Studie 1 bestätigt, dass der EHPV-Gesamtwert eines Produkts primär von dessen in der Planungsphase definierten und in der Entwicklungsphase in die Produktgestalt konstruktiv umgesetzten Eigenschaften abhängig ist. Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des EHPV-Wertes entlang der Prozesskette CAD-Produktmodell, Prototyp und Serienproduktion resultieren dabei aus der Schwierigkeit, prozessbeeinflusste Tätigkeiten, die von den Rahmenbedingungen im Montagesystem abhängig sind, in den frühen Phasen der Produktentwicklung zu erfassen. Der Fehler kann durch die Integration von Menschmodellen in die digitale Umgebung des Produktmodells reduziert werden. Dies wäre jedoch mit einem zusätzlichen Zeit- und Ressourcenaufwand verbunden.

Die in Studie 1 ermittelten geringen Abweichungen in den EHPV-Gesamtwerten des physischen Prototypenaufbaus und der Serienproduktion legen nahe, dass das EHPV-Verfahren als ein valides Werkzeug für den montagebezogenen Vergleich verschiedener Produktkonzepte eingesetzt werden kann, ohne dabei detaillierte Kenntnisse über die Rahmenbedingungen des übergeordneten Montagesystems haben zu müssen. Im folgenden Teilkapitel wird die Gültigkeit dieser Aussage anhand der Beschreibung der Studie 2 nachgewiesen. Die Vorgehensweise bei der Erhebung der Daten und die Diskussion der Ergebnisse der Studie 2 werden in den folgenden Teilkapiteln dargestellt.

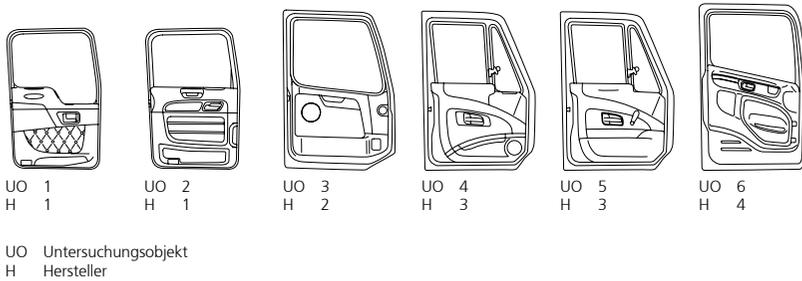


Abb. 38: Untersuchungsobjekte der Studie 2

5.1.2.2 Studie 2: Verifizierung der Vergleichbarkeit von Produkten mit Hilfe des EHPV-Verfahrens

In der Studie 2 wurden sechs Fahrertüren vier verschiedener internationaler Nutzfahrzeughersteller als Untersuchungsobjekte definiert (siehe Abbildung 38). Während es sich bei den Untersuchungsobjekten 1 und 2 um die Premiumprodukte des Herstellers 1 handelt, rangieren die Untersuchungsobjekte 4, 5 und 6 der Hersteller 3 und 4 im unteren Preissegment des Nutzfahrzeugmarktes. Untersuchungsobjekt 3 des Herstellers 2 ist im mittleren Preissegment angesiedelt. Die definierten Untersuchungsobjekte repräsentieren somit eine Auswahl verschieden komplexer Produktkonzepte mit unterschiedlichen Anforderungen der Zielkunden hinsichtlich Produktfunktion und Qualität.

Datenerfassung im Rahmen der Studie 2

Die Erfassung aller relevanten Daten erfolgte im Rahmen einer Wettbewerbsanalyse. Hierbei wurden die Untersuchungsobjekte der verschiedenen Hersteller der Reihe nach zerlegt und der Montageprozess im Anschluss nachgestellt. Auf Grund der strukturellen Ähnlichkeit der Untersuchungsobjekte erfolgte der Aufbau nach ähnlichen Aufbaureihenfolgen. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Studie 2 dargestellt und diskutiert.

Datenauswertung der Studie 2

In Abbildung 39 sind die auf den Wert 1 normierten EHPV-Gesamtwerte der sechs Untersuchungsobjekte dargestellt.

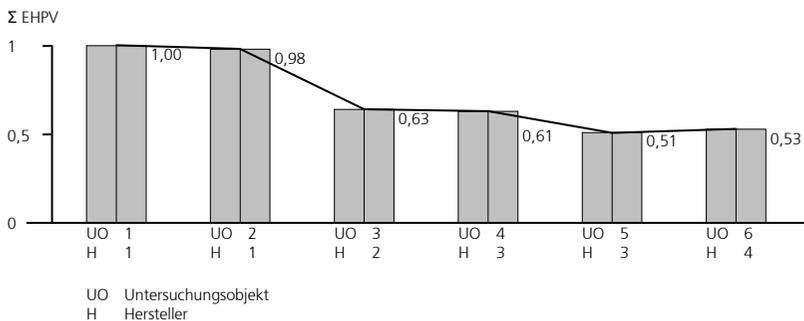


Abb. 39: EHPV-Gesamtwerte der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2

Besonders auffällig sind hier die großen Unterschiede in den EHPV-Gesamtwerten der verschiedenen Hersteller. Als Premiumprodukte des Herstellers 1 haben die Untersuchungsobjekte 1 und 2 die größten EHPV-Gesamtwerte. Im direkten Vergleich sind die EHPV-Gesamtwerte der Untersuchungsobjekte 3 und 4 um 35,51 % beziehungsweise 36,73 % kleiner, der des Untersuchungsobjekts 6 um 46,61 % kleiner als die der Premiumprodukte. Untersuchungsobjekt 5 hat mit einer Differenz von 48,98 % zu Untersuchungsobjekt 1 den kleinsten EHPV-Gesamtwert. Bei der Aufteilung der EHPV-Gesamtwerte der Untersuchungsobjekte nach den Funktionsbaugruppen werden die beschriebenen Unterschiede noch deutlicher (siehe Tabelle 4). Tabelle 4 kann entnommen werden, dass die EHPV-Werte der Untersuchungsobjekte je nach Funktionsbaugruppe zwischen 2,33 % und 100 % variieren. Wie auch schon bei den EHPV-Gesamtwerten weisen die Untersuchungsobjekte 1 und 2 als Premiumprodukte die größten EHPV-Werte auf.

Funktionsbaugruppe	H 1 UO1	H1 UO2	H2 UO3	H3 UO4	H3 UO5	H4 UO6
Türverkleidung	0,26	0,38	0,30	0,10	0,06	0,12
Türgriff	0,08	0,03	0,01	0,05	0,02	0,03
Türlicht	0,02	0,02	–	–	–	–
Dichtsystem	0,16	0,19	0,03	0,12	0,10	0,08
Türdichtung	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,06
Kabelbaum	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Spiegelversteller	0,02	0,01	–	–	–	–
Fensterversteller	0,02	0,02	–	0,01	0,00	0,01
Schließmechanismus	0,07	0,07	0,03	0,04	0,04	0,05
Türriegel	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04
Türgriff außen	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
Türgriff innen	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Fensterkanal	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02
Scheibe	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01
Fensterheber	0,08	0,08	0,10	0,10	0,09	0,08
Σ EHPV	1,00	0,98	0,64	0,63	0,51	0,53

Tab. 4: EHPV-Werte der Funktionsbaugruppen der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2

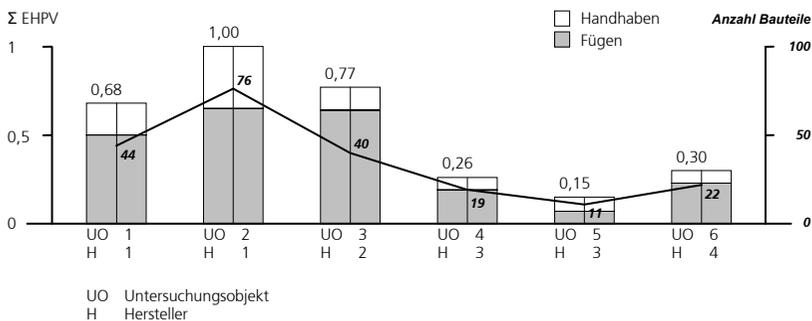


Abb. 40: EHPV-Werte der Montagefunktionen und Anzahl der Bauteile der Funktionsbaugruppe Türverkleidung der sechs Untersuchungsobjekte aus Studie 2

Die in Abbildung 40 dargestellten Vergleichsergebnisse der Detailanalyse der Funktionsbaugruppe „Türverkleidung“ der Untersuchungsobjekte 1 bis 6 zeigt, dass die Unterschiede in den EHPV-Werten auf die höhere Funktionalität und der hiermit einhergehenden höheren Komplexität, der größeren Anzahl an Bauteilen und die geringere Montagefreundlichkeit zurückzuführen sind. Diese Faktoren resultieren dabei primär aus höheren Kundenanforderungen im Premiumsegment. Die Detailanalysen der anderen Funktionsbaugruppen bestätigen dieses Resultat.

Fazit der Studie 2

Studie 2 bestätigt, dass sich das EHPV-Verfahren zum montagebezogenen Vergleich von Produkten aus verschiedenen Marktsegmenten einsetzen lässt. Durch die Kennzahl lassen sich entwicklungs- und kundengetriebene Einflüsse auf die im Montagesystem zu erbringende Leistung frühzeitig abbilden. Detaillierte Kenntnisse über die Rahmenbedingungen des Montagesystems sind nicht notwendig, da der Betrag des EHPV-Gesamtwertes primär durch die vom Kunden angeforderte Funktionalität und Qualität bestimmt wird. Im Rahmen der Produktplanung lassen sich mit Hilfe des EHPV-Verfahrens somit je nach Marktsegment EHPV-Zielwerte beziehungsweise -Zielkorridore definieren. Zur Bestimmung von Zielwerten auf Baugruppenebene liefert der Vergleich von Wettbewerbsprodukten auf Basis der Kennzahl EHPV eine valide Datenbasis.

Wie in Kapitel 2.4.1.1 beschrieben wird das EHPV-Verfahren in der Produktionsplanungsphase zur Definition und kontinuierlichen Kontrolle von Montagezeit- und Prozesseffizienzzielen eingesetzt. Basierend auf dem definierten Zielkorridor des Verhältnisses von EHPV zur Gesamtmontagezeit werden nach Definition des EHPV-Zielwertes Aussagen über die später im Montagesystem auftretenden Montagezeiten getroffen. Um diesen Zielkorridor für die Montagezeit defi-

nieren zu können ist es jedoch notwendig zu wissen, wie hoch das Verhältnis ist und was die Haupteinflussfaktoren sind. Im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Studie 3 wird dieser Sachverhalt untersucht.

5.1.2.3 Studie 3: Verifizierung der Abschätzbarkeit der Montagezeit mit Hilfe des EHPV-Verfahrens

Als Untersuchungsobjekt wurden im Rahmen der Studie 3 drei Produktionslinien für die Montage von Fahrerhäusern an drei Produktionsstätten definiert. An den ausgewählten Standorten werden Nutzfahrzeuge der leichten, mittleren und schweren Nutzfahrzeugklasse gefertigt. Bei den Montagelinien 1 und 2 handelt es sich um produktflexible Linien, auf denen Fahrerhäuser der schweren Nutzfahrzeugklasse in einer hohen Varianz produziert werden. Bei der Montagelinie 3 handelt es sich um eine produktflexible Linie auf der Fahrerhäuser der leichten Nutzfahrzeugklasse in einer hohen Varianz produziert werden. Neben der Hauptmontagelinie des Untersuchungsobjekts wurden auch die in das Fahrerhaus verbauten Vormontageumfänge analysiert.

Datenerfassung im Rahmen der Studie 3

Zur Erfassung aller versuchsrelevanten Daten wurde der Montageprozess jeweils eines für den Produktionsstandort und die Montagelinie repräsentativen Fahrerhauses im Detail per Video aufgezeichnet und ausgewertet. Mit den gewählten Abmaßen und Ausstattungselementen repräsentieren die untersuchten Fahrerhäuser Ecktypen, die den höchsten Anteil der aktuellen und zukünftigen Produktionsprogramme an den Produktionsstandorten des Herstellers repräsentieren. Aufgrund der Unterschiede in der konstruktiven Gestalt der Fahrerhäuser und deren Aufbaureihenfolgen sowie der standortspezifischen Produktionsvolumen, Schichtmodelle und Taktzeiten repräsentieren die definierten Untersuchungsobjekte eine objektive Grundlage für die Analyse des Zusammenhangs zwischen konstruktiv festgelegtem EHPV-Wert und prozessbedingt definiertem MV-Wert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie 1 dargestellt und diskutiert.

Datenauswertung der Studie 3

In Abbildung 41 sind die Gesamtmontagezeiten der Hauptmontagelinien sowie die Aufteilung dieser in die EHPV- und MV-Anteile auf den Wert 1 normiert dargestellt.

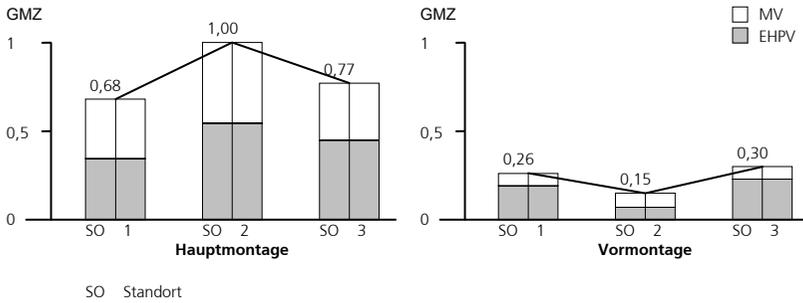


Abb. 41: EHPV-Gesamtwerte, MV-Gesamtwerte und Gesamtmontagezeiten der Untersuchungsobjekte aus Studie 3

dieser in die EHPV- und MV-Anteile auf den Wert 1 normiert dargestellt.

Abbildung 41 kann entnommen werden, dass die prozentualen EHPV-Anteile an der Gesamtmontagezeit in den untersuchten Hauptmontagelinien zwischen 52 % (MV-Anteil = 48 %) und 58 % (MV-Anteil = 42 %) variieren. In den untersuchten Vormontagelinien liegen die prozentualen EHPV-Anteile bei Werten zwischen 55 % und 78 %.

Als zentrale Einflussfaktoren auf den prozentualen EHPV- beziehungsweise MV-Anteil sind das zu montierende Produkt, die Varianz des zu montierenden Produktionsprogramms, das Liniennlayout, die Materialbereitstellungsart und die Planungsqualität bei der Austaktung der Linie aufzuführen. Für die prozentual höhere Effizienz der Vormontagelinien ist primär der produktbedingt günstigere Montageumfang verantwortlich. Auf Grund der geringeren Größe der zu montierenden Teile kann ein montageeffizienteres Layout der Arbeitsplätze realisiert werden. Dieses trägt zu ergonomischeren Arbeitsbedingungen und geringeren Laufwegen bei der Montage des Produkts im Vergleich zu der Hauptmontagelinie bei.

Die Variation der prozentualen EHPV- und MV-Anteile innerhalb einer der untersuchten Hauptmontagelinien ist in Abbildung 42 dargestellt. Der Abbildung kann entnommen werden, dass der prozentuale EHPV-Anteil an der Gesamtmontagezeit zwischen den verschiedenen Arbeitsstationen stark variiert. Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass eine Abschätzung von Gesamtmontagezeiten auf Basis des EHPV-Wertes nur unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen des betrachteten Montagesystems valide Daten liefern kann.

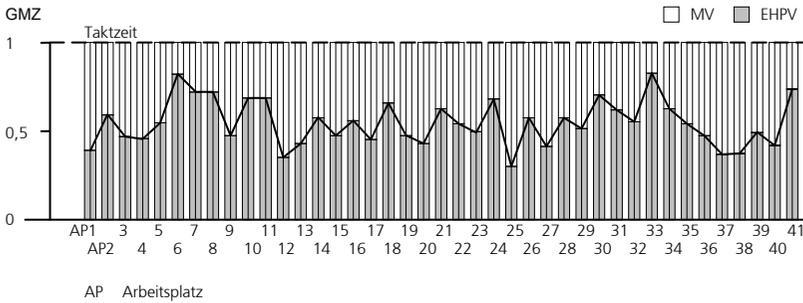


Abb. 42: EHPV-Werte, MV-Werte und Montagezeiten auf Arbeitsplatzebene des Untersuchungsobjekts 3 aus Studie 3

Fazit der Studie 3

Auf Basis der Resultate aus Studie 3 kann gesagt werden, dass sich die EHPV-Methodik zur Abschätzung der Gesamtmontagezeit in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses einsetzen lässt. Der durch die konstruktive Produktgestalt definierte EHPV-Gesamtwert steht in direkter Wechselwirkung zur prozessbestimmten MV. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien zeigen einen durchschnittlichen EHPV-Anteil von etwa 50 % an der Gesamtmontagezeit. Das Verhältnis von EHPV an der Gesamtmontagezeit variiert jedoch stark in Abhängigkeit von dem an der jeweiligen Arbeitsstation auszuführenden Arbeitsinhalt und der abzubildenden Varianz des Produktionsprogramms. Zur präventiven, situationsgerechten und nachhaltigen Definition von EHPV-basierten, gesamtmontagezeitbezogenen Zielvorgaben für die Produktentwicklung und Produktionsplanung bedarf es deshalb einer detaillierten Berücksichtigung der vorliegenden Rahmenbedingungen im Montagesystem.

Die beschriebenen Studien 1 bis 3 zeigen, dass das in der Automobilindustrie zunehmend an Bedeutung gewinnende EHPV-Verfahren als valides Werkzeug zur produktionsorientierten Steuerung und Kontrolle der Produktentwicklung und Produktionsplanung eingesetzt werden kann.

5.2 Validierung des Modells am Beispiel der Neuentwicklung eines LKW-Cockpits

Nach der Verifizierung des EHPV-Verfahrens wird nachfolgend das in Kapitel 4 ausgearbeitete Modell für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung anhand des ausgewählten Fallbeispiels validiert.

5.2.1 Beschreibung der markt-, produkt- und montagesystemseitigen Rahmenbedingungen des Fallbeispiels

Bei dem im Fallbeispiel betrachteten Unternehmen handelt es sich um einen global operierenden Nutzfahrzeughersteller. Der Hersteller produziert an dem für das Fallbeispiel ausgewählten Produktionsstandort mit 5.000 Mitarbeitern verschiedene Typen und Modelle von Nutzfahrzeugen der schweren Gewichtsklasse. Die Wertschöpfungskette am betrachteten Produktionsstandort beinhaltet dabei neben dem nahezu vollautomatisierten Rohbau die Lackierung und die Fahrzeugendmontage. Das Jahresvolumen der am Standort gefertigten Groß- und Kleinserien beträgt 100.000 Einheiten. Von dem jährlichen Produktionsvolumen entfallen etwa 70 % auf den Volumenmarkt der Großflottenbetreiber. Die restlichen 30 % stellen Exoten- und Exportfahrzeuge dar. Sowohl für die Groß- als auch für die Kleinserienprodukte ist eine hohe Varianz in den Produktgestalten kennzeichnend. Diese Produktvarianz führt zu Spreizungen in den auftretenden Montagezeiten von bis zu 150 %. Durch die für den Nutzfahrzeugmarkt typischen volatilen Marktbedingungen unterliegt die Produktion am Standort sich dynamisch ändernden Rahmenbedingungen und daraus resultierenden häufigen Überplanungszyklen. Angesichts des hohen am Markt erzielbaren Umsatzes für kundenspezifische Produkte nehmen die am Produktionsstandort gefertigten Exotenprodukte eine Sonderstellung innerhalb des Produktprogramms des Herstellers ein.

Zur Sicherung seiner Marktanteile im Segment der traditionsorientierten Kunden ist der Hersteller dabei ein neues Exotenprodukt zu entwickeln, das im Jahr 2012 in den Markt eingeführt werden soll. Zur gezielten Reduzierung der Entwicklungs- und Fertigungskosten soll das zu entwickelnde Produkt als Derivat eines Typs des aktuellen Produktprogramms des Herstellers ausgelegt werden. Neben kleinen Änderungen im Exterieurbereich soll für das zu entwickelnde Produkt ein neues Cockpit als zentrales produktseitiges Alleinstellungsmerkmal entwickelt werden. Dieses soll sowohl hinsichtlich Funktion als auch Styling den Anforderungen des Zielmarktes genügen. Nach abgeschlossener Entwicklungs- und Erprobungsphase soll das Produkt an dem oben beschriebenen Produktionsstandort des Herstellers produziert werden.

Zur Spezifizierung der zu berücksichtigenden Eingangsgrößen werden nachfolgend die zent-

ralen markt-, produkt- und montagesystemseitigen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen des Fallbeispiels beschrieben.

5.2.1.1 Beschreibung der marktseitigen Rahmenbedingungen des Fallbeispiels

Als Zielmarkt für das zu entwickelnde Exotenprodukt wurde der Markt der traditionsorientierten „Owner-Operator“ definiert. Nach Information von Vertrieb und Marketing beträgt das potentielle Gesamt-Marktvolumen des definierten Zielmarktes 70.000 Einheiten für einen Betrachtungszeitraum von sieben Jahren. Die Generierung optionaler Produktvarianten erfolgt wie bereits oben erwähnt durch die Installation unterschiedlicher Cockpitkonzepte. Die innerhalb des Fallbeispiels zu bewertenden Cockpitkonzepte sollen durch die Kombination 20 zentraler Baugruppen und

Nr.	Baugruppe	Für Befragung relevant	Strategisches Übernahmeteil	Ausprägung	EHPV [min]
1	Verkleidungselemente	Ja	Nein	Neuentwicklung (Form 1)	3,41
				Neuentwicklung (Form 2)	4,44
				Neuentwicklung (Form 3)	2,63
2	Mittelkonsole	Ja	Nein	Neuentwicklung (Träger)	0,49
				Neuentwicklung (Modulbauweise)	0,38
3	Becherhalter	Ja	Nein	Neuentwicklung (einklappbar)	0,39
				Übernahme Aktuell 1	0,26
4	Instrumententafel	Ja	Nein	Neuentwicklung (Multifunktionsdisplay)	0,51
				Neuentwicklung (analoge Anzeige)	0,39
				Übernahme Aktuell 1	0,74
5	Radio	Ja	Ja	Neuentwicklung (Navigation)	0,25
				Übernahme Aktuell 2	0,20
6	Handschuhfach	Ja	Nein	Tasche	0,13
				Nicht vorhanden	0,00
				Übernahme Aktuell 2	1,07
7	Bedien- und Stellteile	Ja	Nein	Neuentwicklung (Touchscreen)	0,60
				Übernahme Aktuell 2	1,20
8	Luftdruckbremse	Nein	Ja	Übernahme Aktuell 2	0,54
9	Lüftungssystem	Nein	Nein	Neuentwicklung	0,25
				Übernahme Aktuell 1	2,32
				Übernahme Aktuell 2	1,78
10	Aschenbecher	Nein	Nein	Neuentwicklung	0,05
11	Zigarettenanzünder	Nein	Ja	Übernahme Aktuell 2	0,26
12	Steuergeräte	Nein	Ja	Übernahme Aktuell 2	1,24
13	Träger	Nein	Nein	Neuentwicklung (Modulbauweise)	1,91
				Übernahme Aktuell 1	6,54
				Übernahme Aktuell 2	5,03
14	Kabelbaum	Nein	Nein	Neuentwicklung	7,32
				Übernahme Aktuell 1	11,19
				Übernahme Aktuell 2	8,61
15	Isolierung	Nein	Nein	Neuentwicklung	0,35
				Übernahme Aktuell 1	2,55
				Übernahme Aktuell 2	1,96
16	Pedalerie	Nein	Ja	Neuentwicklung (singuläres Modul)	0,73
17	Fußraumleuchte	Nein	Ja	Übernahme Aktuell 2	1,48
				Übernahme Aktuell 2	0,14
18	Heizung/Klima	Nein	Ja	Eliminierung	0,00
				Übernahme Aktuell 2	0,81
19	Lautsprecher	Nein	Nein	Neuentwicklung (Integration in Cockpit)	0,74
				Nicht vorhanden	0,00
				Neuentwicklung	0,07
20	Schalter (Luftdruck)	Nein	Nein	Übernahme Aktuell 2	0,42

Tab. 5: Baugruppen und deren optionale Ausprägungen für die Generierung optionaler Produktkonzepte

deren optionalen Ausprägungen erzeugt werden. Diese sind in Tabelle 5 dargestellt.

Um aus Gründen der Praktikabilität die Anzahl, der von den potentiellen Kunden zu bewertenden Konzepte zu limitieren, sollte innerhalb des Lösungsraums ein teilfaktorielles Design bestehend aus 16 Cockpitkonzepten erzeugt werden.

5.2.1.2 Beschreibung der produktseitigen Rahmenbedingungen des Fallbeispiels

Zur Definition von ausprägungsspezifischen EHPV-Zielwerten auf Baugruppenebene sollte eine Analyse von sechs Wettbewerbsprodukten durchgeführt werden. Die Wettbewerbsprodukte sollten dabei so gewählt werden, dass sie zum einen die Produkte der Hauptwettbewerber auf dem definierten Zielmarkt darstellen. Zum anderen sollten durch die gezielte Auswahl besonders montagefreundlicher Wettbewerbsprodukte aus anderen Marktsegmenten die notwendigen Impulse zur Entwicklung prozesseffizienter Produkte generiert werden. Zur Abschätzung der Gesamtmontagezeit der Produktkonzepte sollten der MV-basierte Montage-Effizienzfaktor und der Faktor zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholungszeiten der bestehenden Cockpitmontagelinie des betrachteten Produktionsstandortes übernommen werden. Der zeitliche, Produkt Life Cycle-orientierte Verlauf des Produktionsprogramms entspricht produktkonzeptunabhängig dem PULS Marktlebenszyklusmodell 1 (siehe Kapitel 4.7, Abbildung 32).

5.2.1.3 Beschreibung der montagesystemseitigen Rahmenbedingungen des Fallbeispiels

In dem betrachteten Montagesystem des Produktionsstandorts werden aktuell 3 Cockpitvarianten von 2 Fahrzeugmodellen in vergleichbaren Aufbaureihenfolgen auf einer produktflexiblen Linie manuell montiert. Bei den Produkten 1 und 2 handelt es sich um das alte und das neue Volumenprodukt des Herstellers. Produkt 3 stellt als Rechtslenker-Cockpit ein geringvolumiges Exportprodukt des Herstellers dar. In Abbildung 43 sind die prognostizierten Stückzahlen der drei aktuellen Cockpitvarianten über den betrachteten Untersuchungszeitraum des Fallbeispiels aufgetragen.

Auf Grund der unterschiedlichen konstruktiven Produktgestalten weisen die aktuellen drei Cockpitvarianten des Herstellers Zeitspreizungen in den Montagezeiten auf. So beträgt die Montagezeit des Produkts 1 60,25 min (EHPV = 42,13 min), die des Produkts 2 46,43 min (EHPV = 32,47 min) und die des Exportprodukts 3 78,78 min (EHPV = 55,09 min).

Die tarifliche Arbeitszeit am definierten Produktionsstandort beträgt 40 Stunden pro Woche bei einem Urlaubsanspruch von 20 Tagen pro Jahr. Der durchschnittliche prozentuale Fehlstand der Mitarbeiterschaft beträgt 7 %. Auf Grund der am Produktionsstandort geltenden arbeitspolitischen Rahmenbedingungen beträgt der Anteil befristeter Arbeitskräfte 100 %. Der Basisstun-

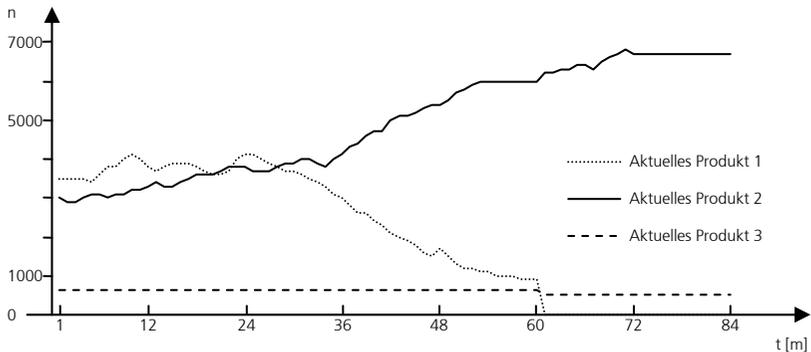


Abb. 43: Prognostizierte Stückzahlen der drei aktuellen im Montagesystem produzierten Cockpitvarianten

denlohn eines Mitarbeiters beläuft sich auf 25 EUR. Für jede Einstellung und Entlassung von Mitarbeitern fallen jeweils einmalige Kosten in Höhe von 100 EUR an. Der prozentuale Anteil indirekter Mitarbeiter beträgt 10 %.

Eine am Produktionsstandort durchgeführte Analyse der Betriebs- und Stillstandzeiten der vergangenen 2 Jahre zeigte, dass sich die durch Störungen verursachten Verluste auf 7 % belaufen. Der daraus resultierende Bandvorlauf ist flexibilitätsstrategieunabhängig in den Szenarien zu berücksichtigen.

Der MV-basierte Montage-Effizienzfaktor beträgt auf Grund der geringen Laufwege und der nahezu vollständigen Vorkommissionierung der zu montierenden Bauteile 70 %. Der Faktor zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholungszeiten ist mit 10 % zu veranschlagen.

Die am Produktionsstandort installierten Montagelinien können im Ein-, Zwei- und Dreischichtbetrieb betrieben werden. Je nach gewähltem Schichtmodell stehen Betriebsnutzungszeiten von 400 bis 450 min zur Verfügung. Für die Spätschicht betragen die zu leistenden Schichtzuschläge 10 %. Für die Nachtschicht sind Zuschläge von 15 % zu verrechnen. Bei einem Wechsel des Schichtmodells fallen Anpassungskosten in Höhe von 10.000 EUR an. Die Fixkosten bei der Anpassung der Anzahl benötigter Schichtgruppen betragen 15.000 EUR. Für jede Umtaktung fallen Anpassungskosten in Höhe von 5.000 EUR an.

Zum Ausgleich marktseitig bedingter Absatzschwankungen ist am Produktionsstandort ein Arbeitszeitkonto installiert. Die Untergrenze des Arbeitszeitkontos beträgt -150 Stunden. Die Obergrenze des Arbeitszeitkontos beträgt +300 Stunden. Zur Glättung des Produktionsprogramms können die geplanten Stückzahlen je Monat um maximal 10 % in den Vor- beziehungsweise Folgemonat verschoben werden.

Für die Installation einer neuen Montagelinie am Produktionsstandort ist von Basisinvestitionen in Höhe von 150.000 EUR auszugehen. Je installierter Montagestation fallen zusätzlich ein-

malige Kosten in Höhe von 10.000 EUR an. Der Umbau einer bestehenden Montagestation ist mit Kosten in Höhe von 1.000 EUR zu verrechnen. Die Kosten für die Installation einer neuen Prüfstation betragen 75.000 EUR. Der Umbau einer bestehenden Prüfstation ist mit 10.000 EUR zu verrechnen.

Nachfolgend wird die Abbildung des Fallbeispiels im Modell beschrieben.

5.2.2 Abbildung des Fallbeispiels im Modell

Zur Generierung optionaler Produktkonzepte und der Ermittlung produktkonzeptspezifischer Eigenschaften erfolgt die Abbildung des Fallbeispiels in den Subdatenmodellen Markt, Produkt, Produktionssystem, Szenario und Optimierung. Die Ergebnisse aus der Integration des Fallbeispiels in die einzelnen Subdatenmodelle werden in den nachfolgenden Teilkapiteln beschrieben.

5.2.2.1 Abbildung des Fallbeispiels im Marktmodell

Zur Abbildung des Fallbeispiels im Marktmodell wurden im ersten Schritt mit Hilfe des in SPSS Conjoint™ hinterlegten Präferenzmodells 162 unterschiedliche Produktkonzepte auf Basis der in Kapitel 5.2.1.1 aufgeführten Baugruppen generiert. Diese 162 Produktkonzepte repräsentieren

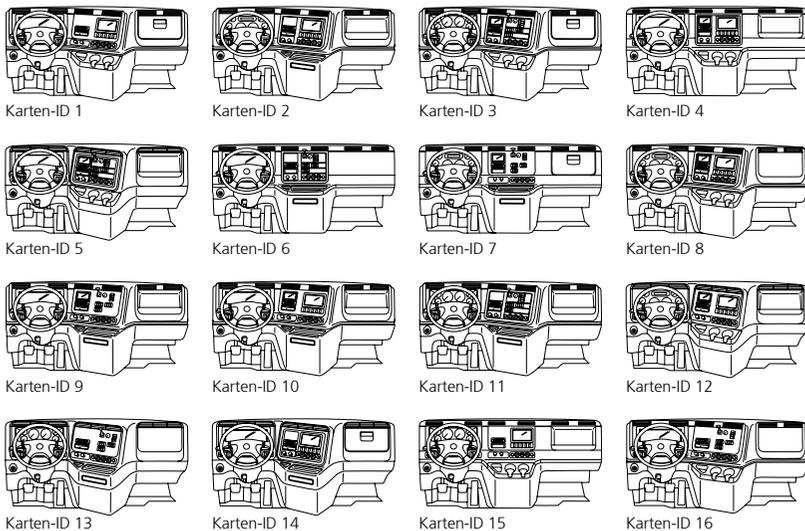


Abb. 44: Für die Kundenbefragung isolierte 16 Produktkonzepte des teilfaktoriellen Designs

den primären Lösungsraum des Fallbeispiels. Aus den 162 generierten Produktkonzepten wurden durch die Erzeugung eines teilfaktoriellen Designs 16 Produktkonzepte isoliert (siehe Abbildung 44). Diese unterscheiden sich primär in den Ausprägungen der äußerlich für die Kunden sichtbaren Baugruppen 1 bis 7. Unter der Annahme, dass die äußerlich nicht sichtbaren Baugruppen 8 bis 20 keinen direkten Einfluss auf das Präferenzurteil der Probanden haben, repräsentieren die 16 isolierten Produktkonzepte des teilfaktoriellen Designs die gesamte Streubreite möglicher Gesamt-Nutzenwerte. Variationen innerhalb der Baugruppen 8 bis 20 führen lediglich zu einer Erhöhung beziehungsweise Reduzierung des EHPV-Gesamtwertes des jeweiligen Produktkonzepts. Eine Veränderung des Nutzens erfolgt nicht. Die 16 Produktkonzepte des teilfaktoriellen Designs bildeten die Grundlage für die im nächsten Schritt durchgeführte Kundenbefragung.

Im Rahmen der Kundenbefragung wurden 100 Probanden hinsichtlich Ihrer Produktpräferenz nach dem Reihungsverfahren befragt. Die Ergebnisse der Kundenbefragung sind in Abbildung 45 dargestellt.

Abbildung 45 kann entnommen werden, dass das Produktkonzept ID 3 einschließlich dessen Derivaten (Produktkonzepte 2, 11, 14, 30, 40, 62, 71, 75, 78) mit einem Nutzen von 11,87 und einem Marktanteil von 83,65 % den größten Anklang bei den Probanden fand; gefolgt von Produktkonzept ID 12 mit 11,32 (Marktanteil = 79,77 %) und Produktkonzept 10 mit 11,13 (Marktanteil = 78,45 %). Die Produktkonzepte ID 6 (Nutzen = 2,70; Marktanteil = 19,02 %) und ID 16 (Nutzen = 5,05; Marktanteil = 35,62 %) einschließlich derer Derivate fanden hingegen den geringsten Anklang bei den Probanden.

Besonders auffällig ist, dass die Produktkonzepte mit geringen Nutzenwerten mehrheitlich die Ausprägung „Neuentwicklung Form 3“ bei der Baugruppe 1 (Verkleidungselemente) aufweisen. In diesem Zusammenhang vermitteln die Detailergebnisse der Conjoint Analyse Aufschluss darüber, in welchem Maße die verschiedenen Baugruppen die Präferenzbildung der potentiellen

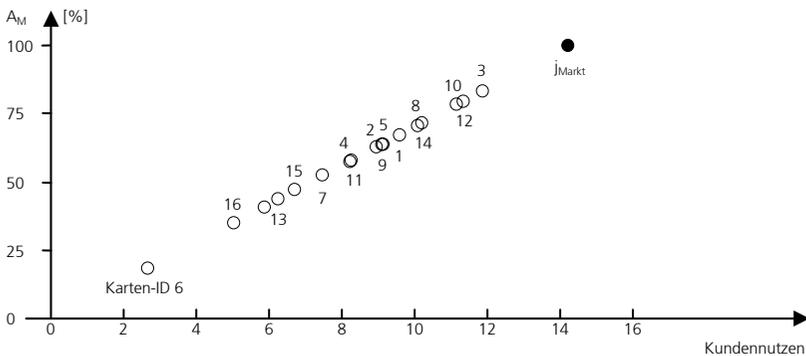


Abb. 45: Ergebnisse der Kundenbefragung

Nr.	Baugruppe	Wichtigkeitswert	Ausprägung	Nutzenschätzung
1	Verkleidungselemente	23,20	Neuentwicklung (Form 1)	1,00
			Neuentwicklung (Form 2)	0,97
			Neuentwicklung (Form 3)	-1,97
2	Mittelkonsole	4,73	Neuentwicklung (Träger)	-0,17
			Neuentwicklung (Modulbauweise)	0,17
3	Becherhalter	5,47	Neuentwicklung (einklappbar)	0,14
4	Instrumententafel	22,67	Übernahme Aktuell 1	-0,14
			Neuentwicklung (Multifunktionsdisplay)	-0,49
			Neuentwicklung (analoge Anzeige)	0,92
5	Radio	12,78	Übernahme Aktuell 1	-0,43
			Neuentwicklung (Navigation)	1,29
			Übernahme Aktuell 2	-1,29
6	Handschuhfach	14,01	Tasche	-0,04
			Nicht vorhanden	-1,23
			Übernahme Aktuell 2	1,27
7	Bedien- und Stellteile	17,13	Neuentwicklung (Touchscreen)	1,02
8-20	Für die Urteilsbildung nicht relevante Baugruppen	0,00	Übernahme Aktuell 2	-1,02
				0,00
(Basisnutzen)				8,38

Tab. 6: *Detailergebnisse der Conjoint Analyse*

Kunden beeinflussen (siehe Tabelle 6). Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass die Baugruppe 1 (Verkleidungselemente) eine Wichtigkeit von 23,20 % aufweist und somit den stärksten Einfluss auf die Präferenzbildung der befragten Probanden ausübt; gefolgt von Baugruppe 4 (Instrumententafel) mit 22,67 % und der Baugruppe 7 (Bedien- und Stellteile) mit 17,13 %. Der Baugruppe 2 (Mittelkonsole) kommt die geringste Präferenzbedeutung zu.

Basierend auf den Ergebnissen der Conjoint Analyse ergibt sich das theoretische markt- und kundenoptimale Produktkonzept aus der Kombination der nutzenmaximalen Ausprägungen der Baugruppen 1 bis 7 in Tabelle 5. Der durch Umsetzung des markt- und kundenoptimalen Produktkonzepts erzielbare Gesamtnutzen beträgt 14,19. Dies entspricht einem realisierbaren Absatzvolumen von 100 % und einer Gesamtabsatzmenge von 70.000 Einheiten in sieben Jahren.

5.2.2.2 Abbildung des Fallbeispiels im Produktmodell

Nach der marktseitigen Bewertung der Produktkonzepte wurden auf Basis einer Wettbewerbsanalyse die ausprägungsspezifischen EHPV-Zielwerte auf Baugruppenebene ermittelt und die Gesamt-Montagezeiten der Produktkonzepte berechnet. Im Rahmen der Wettbewerbsanalyse wurden sechs Wettbewerbsprodukte zerlegt, der Montageprozess nachgestellt und auf Basis des unternehmensspezifischen Systems vorbestimmter Zeiten die EHPV Werte auf Baugruppenebene

Nr.	Baugruppe	H 1 UO1	H1 UO2	H2 UO3	H3 UO4	H3 UO5	H4 UO6
1	Verkleidungselemente	4,71	4,32	7,04	4,53	2,63	4,22
2	Mittelkonsole	0,00	0,00	0,00	0,85	0,74	0,38
3	Becherhalter	0,09	0,10	0,76	0,00	0,07	0,26
4	Instrumententafel	1,16	1,48	0,39	0,79	0,41	0,40
5	Radio	0,22	0,77	0,59	0,20	0,21	0,38
6	Handschuhfach	0,55	0,61	1,11	0,30	0,12	0,48
7	Bedien- und Stellteile	1,00	0,86	1,30	0,99	0,60	1,77
8	Luftdruckbremse	0,86	0,72	0,84	0,67	0,47	0,00
9	Lüftungssystem	1,27	0,91	1,50	0,26	0,25	1,51
10	Aschenbecher	0,26	0,00	0,10	0,06	0,05	0,00
11	Zigarettenanzünder	0,38	0,16	0,08	0,14	0,13	0,22
12	Steuergeräte	1,66	1,17	2,26	1,40	0,51	1,21
13	Träger	4,80	4,24	3,43	4,55	1,91	2,77
14	Kabelbaum	9,85	8,73	9,79	9,30	8,45	7,32
15	Isolierung	0,70	3,51	1,12	0,00	0,64	0,35
16	Pedalerie	0,98	1,77	1,87	0,86	0,73	1,44
17	Fußraumleuchte	0,14	0,16	0,00	0,08	0,00	0,00
18	Heizung/Klima	1,99	0,73	0,47	0,53	0,61	1,40
19	Lautsprecher	0,00	0,00	1,11	0,00	0,00	0,74
20	Schalter (Luftdruck)	0,07	0,20	0,55	0,08	0,16	0,16
Σ EHPV [min]		33,21	30,43	35,77	26,70	19,48	26,11

Tab. 7: EHPV-Analyse der Wettbewerbsprodukte als Basis für die Definition von EHPV-Zielwerten auf Baugruppenebene

ermittelt. In Tabelle 7 sind die ermittelten EHPV-Gesamtwerte der sechs Wettbewerbsprodukte dargestellt. Tabelle 7 kann entnommen werden, dass das Wettbewerbsprodukt 5 (UO5) mit einem EHPV-Gesamtwert von 19,48 min das montageeffizienteste Produktkonzept darstellt. Demgegenüber stellt Wettbewerbsprodukt 3 (UO3) mit einem EHPV-Gesamtwert von 35,77 min das komplexeste Konzept dar. Zur Definition der ausprägungsspezifischen EHPV-Zielwerte auf Baugruppenebene wurden die aus der Analyse ermittelten Werte der Wettbewerbsprodukte gegenübergestellt und die jeweils minimalen Werte als Ziele definiert (siehe Tabelle 4). Für Übernahmebaugruppen aus den beiden aktuell produzierten Cockpits wurden als Zielwerte die EHPV-Werte dieser Cockpits übernommen.

Die Ergebnisse der Überlagerung von produktkonzeptspezifischen EHPV-Gesamtwerten und Nutzenwerten in PULS sind in Abbildung 46 dargestellt. Abbildung 46 ist zu entnehmen, dass die im ersten Schritt generierten 162 Produktkonzepte EHPV-Gesamtwerte zwischen 20,55 min und 33,58 min aufweisen ($\Delta = 63,41\%$). Die Streuung der Montagezeiten bei den Produktkonzepten mit gleichen Nutzenwerten liegt in der konstruktiv bedingten Variation der EHPV-Werte der Baugruppen 8 bis 20 begründet, die keinen Einfluss auf die Präferenzbildung haben (vgl. Kapitel 5.2.2.1). Die Umsetzung des maximalen Nutzenwertes (markt- und kundenoptimales Produktkonzept) resultiert in EHPV-Werten zwischen 20,01 min und 34,76 min ($\Delta = 73,71\%$).

Das EHPV-optimale Produktkonzept (maximale konstruktiv realisierbare Montageeffizienz) ergibt sich aus der Kombination der EHPV-minimalen Ausprägungen der Baugruppen 1 bis 20.

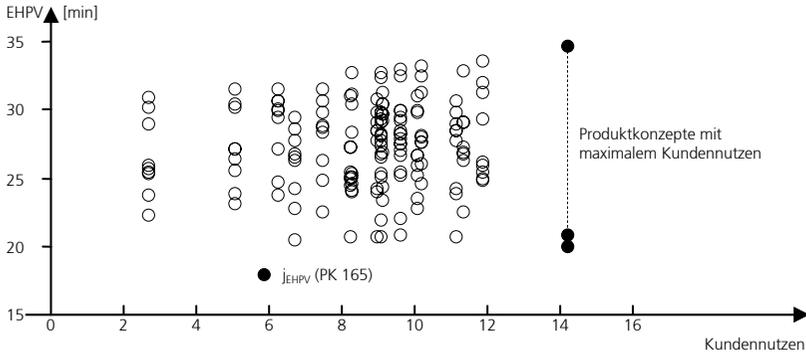


Abb. 46: Nutzenwerte und EHPV-Gesamtwerte der Produktkonzepte einschließlich markt- und kundenoptimalem und EHPV-optimalem Produktkonzept

Der durch Umsetzung des EHPV-optimalen Produktkonzepts realisierbare EHPV-Gesamtwert beträgt 17,96 min. Der dazugehörige Nutzenwert beträgt 5,88, was in einem Marktanteil von 41,42 % und einem Absatzvolumen von 28.996 Einheiten in sieben Jahren resultiert. Dem um 141,33 % geringeren Nutzen des EHPV-optimalen Produktkonzepts im Vergleich zu den markt- und kundenoptimalen Produktkonzepten steht somit lediglich ein minimaler Unterschied von 2,05 min im EHPV-Gesamtwert ($\Delta = -11,41 \%$) gegenüber.

Unter der Annahme eines produktkonzeptunabhängigen MV-basierten Montage-Effizienzfaktors von 70 % und eines Faktors zur Berücksichtigung persönlicher Verteil- und Erholungszeiten von 10 % ergeben sich die entsprechenden konzeptspezifischen Gesamt-Montagezeiten der Produktkonzepte.

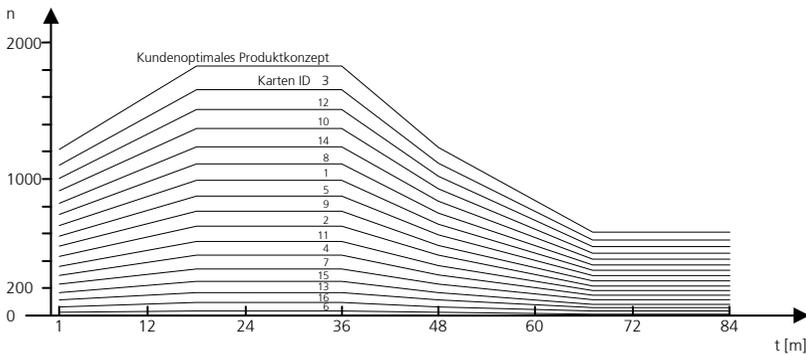


Abb. 47: Resultierende Stückzahlverläufe der Produktkonzepte

Unter Vernachlässigung marktseitiger Dynamiken und Risiken sowie ähnlichen qualitativen Stückzahlverläufen nach PULS Marktlebenszyklusmodell 1 ergeben sich die in Abbildung 47 dargestellten Stückzahlverläufe der generierten 166 Produktkonzepte.

5.2.2.3 Abbildung des Fallbeispiels im Szenariomodell

Zur Generierung optionaler, konzeptspezifischer Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem werden fünf optionale Flexibilitätsstrategien herangezogen. Neben der Montage der drei aktuellen Produkte und des jeweiligen neuen Produktkonzepts auf Solitärlinien sind dies die Montage der Produkte auf einer produktflexiblen Montagelinie und die Montage auf drei weiteren teilflexiblen Linienkonzepten (siehe Kapitel 5.7, Abbildung 33).

Bei einer Anzahl von 166 zu untersuchenden neuen Produktkonzepten werden somit im Rahmen des Fallbeispiels 830 konzeptspezifische Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem generiert und bewertet.

Die Berücksichtigung industrieller Lerneffekte erfolgt nach Gleichung (4-47). Wie in Kapitel 4.4.2 beschrieben liegt der Fokus dabei auf einer Abbildung von markt-, produkt- und organisationsinduzierten Veränderungstreibern. Aus Gründen der Komplexitätsreduzierung wird flexibilitätsstrategieübergreifend eine Linienverfügbarkeit nach Neuanläufen von 70 % (erster Monat nach SOP), 80 % (zweiter Monat nach SOP) und 90 % (dritter Monat nach SOP) definiert. Zur Vermeidung von Bandstillständen werden aus Gründen der eingeschränkten Verfügbarkeit flexibilitätsstrategieübergreifend zwei Leerplattformen im ersten Produktionsmonat eingeplant.

Anhand eines ausgewählten Szenarios wird nachfolgend die Abbildung des Fallbeispiels im Optimierungsmodell beschrieben.

5.2.2.4 Abbildung des Fallbeispiels im Optimierungsmodell

Nach der Generierung der optionalen Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem erfolgte im PULS-Modul „Optimierung“ die Prognose des Realbetriebs der Szenarien sowie die Berechnung der stückkostenoptimalen Konstellation des Montagesystems. Der im Entscheidungsunterstützungssystem PULS umgesetzte Optimierungsalgorithmus bestimmt hierbei für jedes Szenario den optimalen Anpassungspfad der Ausprägungen der Steuergrößen entlang des betrachteten Fabrik Life Cycles.

Abbildung 48 zeigt hierzu beispielhaft die Entwicklung der Ausprägungen der Größen Produktionsprogramm, Schichtmodell, Taktzeit, Kapazitätsbedarf, Auslastungsgrad der Kapazitäten und Stückkosten für ein ausgewähltes Szenario. Durch die Optimierung der Steuergrößen des Regelkreises Montagesystem wurden die Stückkosten im dargestellten Beispiel um 10,44 % reduziert.

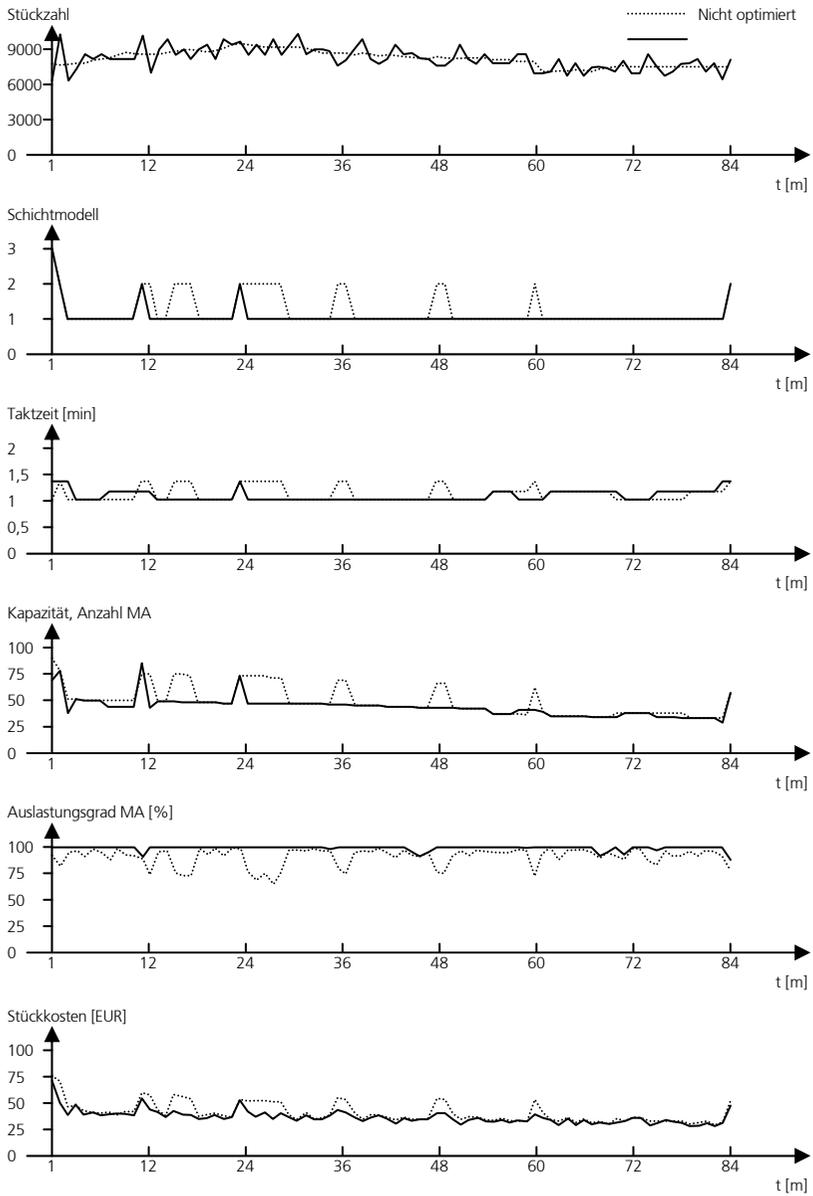


Abb. 48: Ausprägungen zentraler Betriebsgrößen vor und nach Optimierung des Produktionsbetriebs in PULS (Produktkonzept 124, vollflexibles Linienkonzept)

5.2.3 Auswertung der Ergebnisse des Fallbeispiels

Die Ermittlung des Fabrik Life Cycle-optimalen und des stückkostenminimalen Produktkonzepts erfolgt durch die Bewertung der generierten Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem hinsichtlich der resultierenden Synergiepotentiale auf der Makro- und Mikroebene. Auf der Makro-Ebene erfolgt dies durch die Betrachtung des Systems Markt-Produktionssystem unter Berücksichtigung kundennutzen- und flexibilitätsstrategieinduzierter Aspekte. Demgegenüber zeigt die Bewertung der szenariospezifischen Mikrosysteme Produkt-Produktionssystem, welche Synergiepotentiale sich durch eine gezielte produktionsorientierte Produktentwicklung realisieren lassen.

Zur Ermittlung des Fabrik Life Cycle-optimalen Szenarios Markt-Produkt-Produktionssystem sind in Abbildung 49 die szenariospezifischen, Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten der verschiedenen Szenarien dargestellt. Die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten resultieren dabei aus den erforderlichen Investitionen zum Umbau der bestehenden Montagelinie (Brownfield) sowie den markt- und produktinduzierten Änderungstreibern, die zu einer Variation der Taktzeiten, Schichtmodelle, Schichtgruppen- und Mitarbeiteranzahl führen. Mit Anpassungskosten in Höhe von 430.400 EUR stellt Produktkonzept 15, montiert auf einer vollflexiblen Montagelinie, das Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept dar. Abbildung 49 ist weiter zu entnehmen, dass trotz der produktkonzeptabhängig stark variierenden Kundennutzen, Produktionsvolumen und EHPV-Gesamtwerten die Synergiepotentiale zwischen Markt, Produkt und Montagesystem mit zunehmender Flexibilität des Montagesystems steigen. Mit Werten zwischen 430.400 EUR und 695.700 EUR weist das vollflexible Linienkonzept bei den vorliegenden Rahmenbedingungen die geringsten Anpassungskosten auf. Demgegenüber weist die Flexibilitätsstrategie der Solitärlinie mit Werten zwischen 1.864.400 EUR und 2.088.500 EUR die höchsten Anpassungskosten auf.

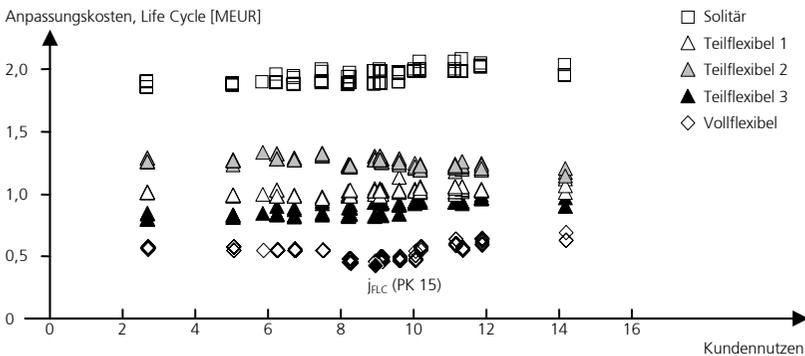


Abb. 49: Gegenüberstellung von Kundennutzen und Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten der Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem

Die drei teilflexiblen Linienkonzepte liegen mit ihren Anpassungskosten zwischen den Werten der vollflexiblen und der solitären Linienkonzepte. Als Gründe für die produktkonzeptübergreifende Vorteilhaftigkeit der vollflexiblen Montagelinie sind drei zentrale Faktoren aufzuführen.

Als erster Faktor ist der erforderliche Basisinvest für die Installation neuer Montagelinien bei den solitären und den teilflexiblen Linienkonzepten zu nennen (siehe Abbildung 50). Während bei dem vollflexiblen Linienkonzept die bestehende Montagelinie in ihrer Grundstruktur bestehen bleibt, müssen bei den beiden anderen Flexibilitätstrategien zusätzliche Montagelinien installiert werden. Bei Kosten in Höhe von 150.000 EUR je neu installierter Montagelinie beträgt der Basisinvest bei dem solitären Linienkonzept szenarioübergreifend 450.000 EUR. Der Basisinvest der teil-flexiblen Linienkonzepte beläuft sich konzeptübergreifend auf 150.000 EUR.

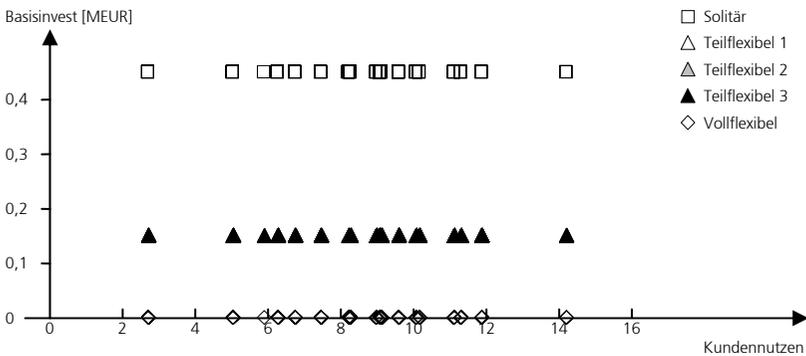


Abb. 50: Gegenüberstellung von Kundennutzen und Basisinvest für die Installation neuer Montagelinien für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem

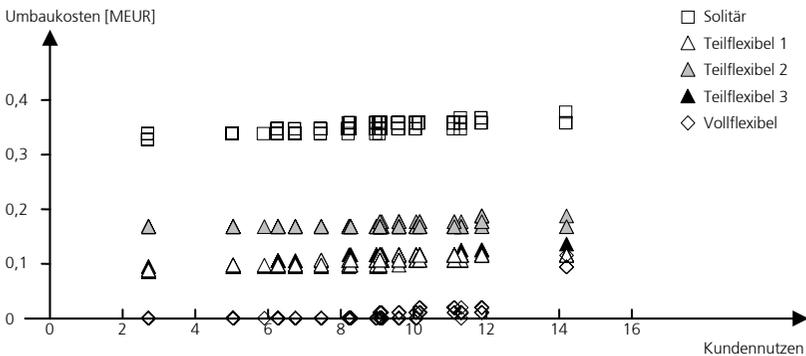


Abb. 51: Gegenüberstellung von Kundennutzen und Kosten für die Neuinstallation und den Umbau von Montage- und Prüfstationen für die Szenarien

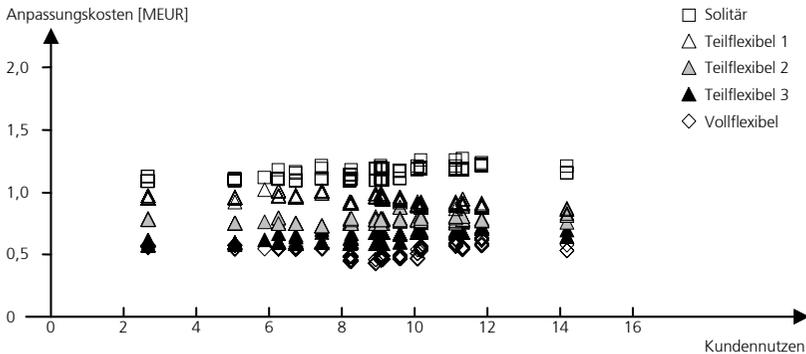


Abb. 52: Gegenüberstellung von Kundennutzen und Anpassungskosten des operativen Produktionsbetriebs für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem

Als zweiter Faktor sind die Kosten für die Neuinstallation und den Umbau von Montage- und Prüfstationen aufgeführt (siehe Abbildung 51). Diese primär von der Taktzeit und dem gewählten Schichtmodell induzierten Umbaukosten betragen beim vollflexiblen Linienkonzept je nach Kundennutzen der Produktkonzepte zwischen 0 EUR und 115.000 EUR. Demgegenüber liegen die Werte bei dem Solitärkonzept auf Grund der Installation von drei neuen Montagelinien zwischen 777.000 EUR und 827.000 EUR. Die drei teilflexiblen Linienkonzepte weisen mittlere Umbaukosten auf.

Als dritter Faktor sind die im operativen Produktionsbetrieb anfallenden Anpassungskosten zu nennen (siehe Abbildung 52). Während diese über den betrachteten Life Cycle von sieben Jahren hinweg bei dem vollflexiblen Linienkonzept Werte zwischen 430.400 EUR und 633.850 EUR annehmen, liegen die Werte bei dem Solitärkonzept zwischen 1.087.400 EUR und 1.271.500 EUR. Die Anpassungskosten des Produktionsbetriebs der teilflexiblen Linienkonzepte liegen auch hier zwischen den beiden anderen Flexibilitätstrategien. Als wesentliche Kostentreiber sind hierbei die Anzahl der Umtaktungen und die Variation des Schichtmodells beziehungsweise der Schichtgruppenanzahl aufgeführt. So liegt die durchschnittliche Anzahl von Umtaktungen bei dem vollflexiblen Linienkonzept bei 9,74 Umtaktungen während diese bei dem Solitärkonzept bei 41,63 Umtaktungen liegt.

Um die durch die situationsgerechte Wahl der Flexibilitätstrategie realisierbaren Synergiepotentiale zwischen Markt, Produkt und Montagesystem deutlicher zu veranschaulichen, zeigt Abbildung 53 die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten des Produktkonzepts 73 bei der Wahl unterschiedlicher Flexibilitätstrategien. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass durch die situationsgerechte Wahl der Flexibilitätstrategie die Anpassungskosten von 1.997.950 EUR auf 433.550 EUR reduziert werden können. Dies entspricht einem flexibilitätsstrategieinduzierten Synergiepotential von 360,83 %.

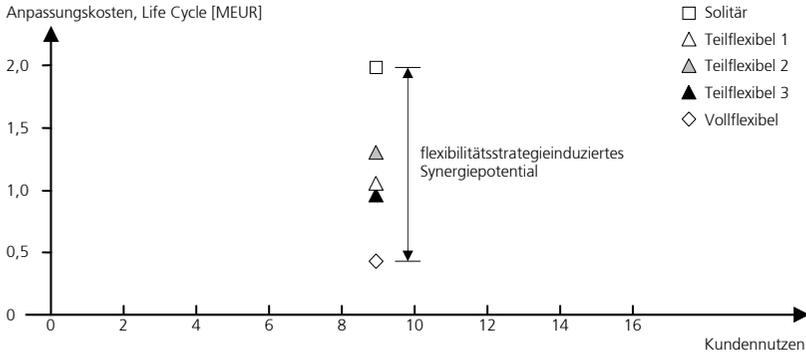


Abb. 53: Darstellung flexibilitätsstrategieinduzierter Synergiepotentiale zwischen Markt, Produkt und Montagesystem am Beispiel des Produktkonzepts 73

Zur Identifizierung des durch eine gezielte produktionsorientierte Produktentwicklung realisierbaren, produktinduzierten Synergiepotentials zeigt Abbildung 54 die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten des Produktkonzepts 73 und dessen konstruktiven Derivaten (Produktkonzepte 4, 15, 20, 45, 58, 68 und 79). Die dargestellten Produktkonzepte haben einen Kundennutzen von 8,95. Die durch die Produktgestalt induzierten EHPV-Gesamtwerte der Produktkonzepte variieren hingegen zwischen 20,80 min (Produktkonzept 15) und 30,83 min (Produktkonzept 73). Dies entspricht einem EHPV-bezogenen Delta von 48,22 %. Abbildung 55 kann entnommen werden, dass die Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten nicht proportional zu den EHPV-Gesamtwerten verlaufen. So betragen die Anpassungskosten des Produktkonzepts 79 mit einem EHPV-Gesamtwert von 27,81 min 432.500 EUR. Die des Produktkonzepts 45 462.100 EUR (EHPV

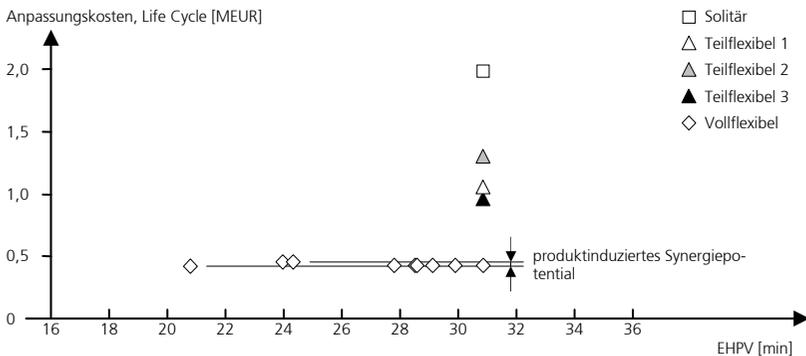


Abb. 54: Identifizierung produktinduzierter Synergiepotentiale zwischen Produkt und Montagesystem am Beispiel der PK 15, 4, 45, 79, 20, 58, 68, 73 (von links)

= 24,33 min). Das durch eine gezielte produktionsorientierte Produktentwicklung realisierbare produktinduzierte Synergiepotential beträgt somit 7,4 % ($\Delta = 31.900$ EUR). Dieses kann jedoch nicht durch eine singuläre Reduzierung des EHPV-Gesamtwertes erreicht werden. Vielmehr geht es darum, das Produkt an die dynamischen Rahmenbedingungen des bestehenden Montagesystems anzupassen.

In Bezug auf die Stückkosten kann eine direkte Abhängigkeit zwischen den konstruktiv festgelegten EHPV-Gesamtwert und den resultierenden Stückkosten bei gleichem Kundennutzen der Produktkonzepte bei gleicher Flexibilitätsstrategie beobachtet werden (siehe Abbildung 55). Während bei Produktkonzept 73 (EHPV = 30,83 min) die Stückkosten 37,23 EUR betragen, weist das Fabrik Life Cycle-optimale Produktkonzept 15 mit einem EHPV-Gesamtwert von 20,80 min Stückkosten in Höhe von 36,51 EUR auf. Dies entspricht einem produktinduzierten Stückkostenpotential von 1,97 % ($\Delta = 0,72$ EUR). Das durch die situationsgerechte Wahl der Flexibilitätsstrategie realisierbare flexibilitätsstrategieinduzierte Stückkostenpotential beträgt 21,33 %. Als primärer Grund ist hierfür die direkte Abhängigkeit des Bedarfs an Mitarbeitern von den produktinduzierten EHPV-Gesamtwerten und Montagezeiten zu nennen.

Zur Ermittlung des stückkostenminimalen Szenarios Markt-Produkt-Produktionssystem zeigt Abbildung 56 die Überlagerung der EHPV-Gesamtwerte mit den szenariospezifischen Stückkosten. Wie zuvor bei den Life Cycle-bezogenen Anpassungskosten beschrieben erweist sich das Konzept der vollflexiblen Montagelinie produktkonzeptunabhängig als vorteilhafteste Lösung. Der stückkostenminimale Wert von 35,96 EUR wird durch das Produktkonzept 163 abgebildet. Mit einem Kundennutzen von 14,19 und einem EHPV-Gesamtwert von 20,01 min entspricht dieses Produktkonzept dem markt- und kundenoptimalen Produktkonzept.

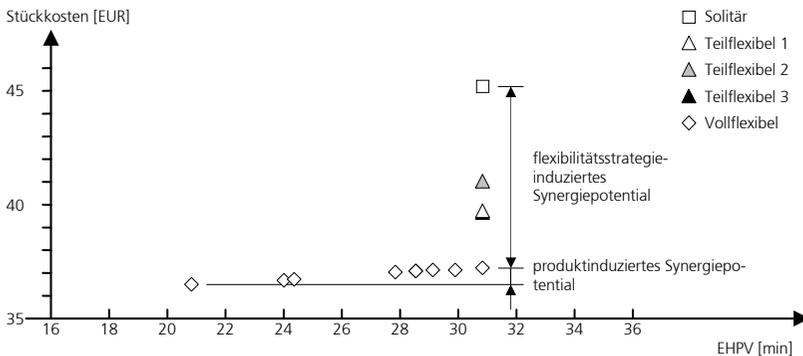


Abb. 55: Abhängigkeiten zwischen produktkonzeptinduzierten EHPV-Gesamtwerten und durchschnittlichen Stückkosten für die PK 15, 4, 45, 79, 20, 58, 68, 73 (von links)

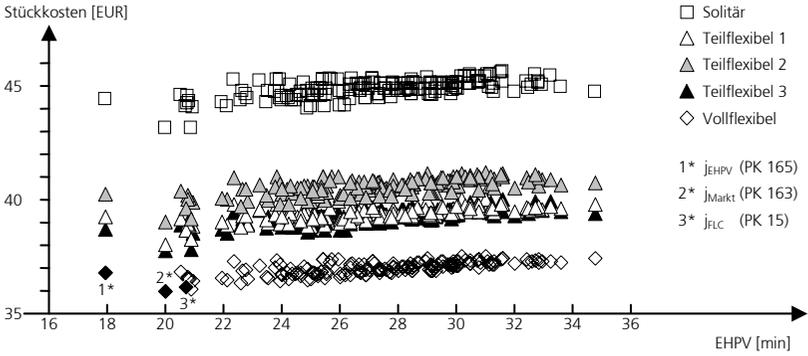


Abb. 56: Gegenüberstellung von EHPV-Gesamtwerten und durchschnittlichen Stückkosten für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem

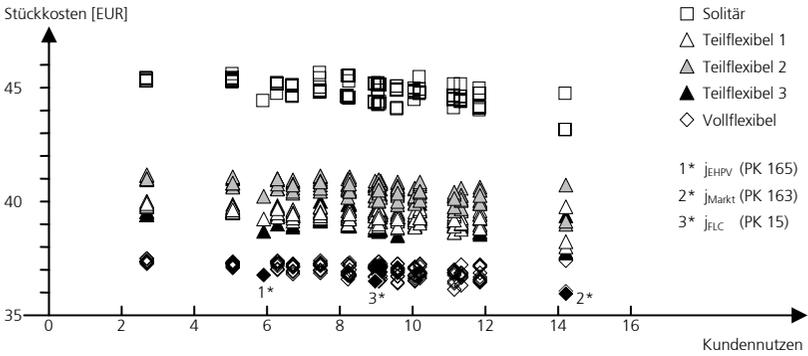


Abb. 57: Gegenüberstellung von Kundennutzen und durchschnittlichen Stückkosten für die Szenarien Markt-Produkt-Produktionssystem

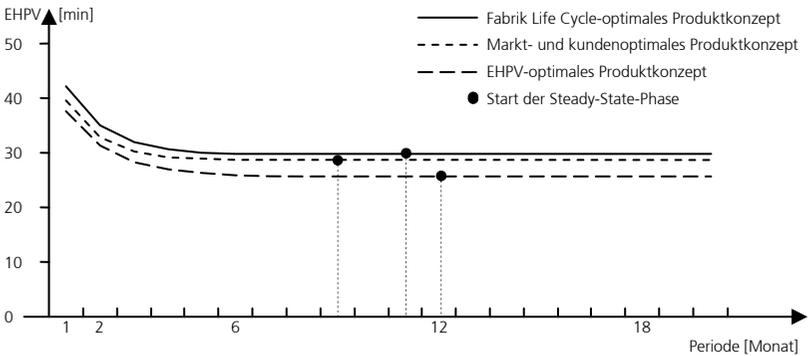


Abb. 58: Montagezeitbezogene Lernkurven des Fabrik Life Cycle-optimales, markt- und kundenoptimalen und EHPV-optimales Produktkonzepts



	Markt- & kundenopti- males / stückkostenmi- nimales Produktkonzept	EHPV-optimales Produktkonzept	Fabrik Life Cycle- optimales Produktkonzept
Produktkonzept	163	165	15
Kundennutzen	14,19	5,88	8,95
Gesamtstückzahl, FLC	70.000	29.146	44.390
EHPV [min]	20,01	17,96	20,80
Gleichteilrate zu Produkt 1/2	0% / 37%	3% / 36%	8% / 32%
Anpassungskosten FLC [EUR]	629.700	548.950	430.400
Stückkosten, durchs. [EUR]	35,96	36,77	36,51
Flexibilitätsstrategie	Vollflexible Linie	Vollflexible Linie	Vollflexible Linie
Strategisches Projektziel	Sicherung der Marktanteile und Maximierung des Gewinns	Optimierung des Montageprozesses auf der Mikroebene	Optimale Ausnutzung der Synergiepotentiale zur Minimierung der Mittelbedarfe

Abb. 59: Gegenüberstellung von markt- und kundenoptimalen, stückkostenminimalen, EHPV-optimalen und Fabrik Life Cycle-optimalen Produktkonzepten

Bedingt durch die höhere marktseitig geforderte Stückzahl im Vergleich zum EHPV-minimalen und dem Fabrik Life Cycle-optimalen Produktkonzept können zwei wesentliche Stellhebel bedient werden: Zum einen erfolgt eine bessere Auslastung der installierten Kapazitäten durch höhere Stückzahlen. Zum anderen können höhere industrielle Lerneffekte bedingt durch höhere kumulierte Stückzahlen in der Anlaufphase des Neuprodukts realisiert werden (siehe Abbildung 58).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Anwendung des Modells im Rahmen des beschriebenen Fallbeispiels drei wesentliche produkt- und montagesystemseitige Handlungsalternativen identifiziert wurden. Die Vorteilhaftigkeit der identifizierten Handlungsalternativen wird dabei wesentlich durch die strategischen Projektziele des Herstellers beeinflusst (siehe Abbildung 59).

Vor dem Hintergrund einer maximalen Ausnutzung der Synergiepotentiale zwischen Markt, Produkt und Montagesystem erweist sich Produktkonzept 15 als Fabrik Life Cycle-optimale Lösung. Die durch das Produktkonzept realisierbaren minimalen Anpassungskosten ermöglichen eine bestmögliche Ausnutzung der bestehenden Kapazitäten des Montagesystems über dessen Fabrik Life Cycle hinweg. In Hinblick auf die gezielte Reduzierung der direkten Kapazitäten stellt Produktkonzept 165 mit einem EHPV-Gesamtwert von 17,96 min das montageeffizienteste Produktkonzept dar. Zur Sicherung der Marktanteile des Herstellers und der Minimierung der Betriebs- und Stückkosten ist Produktkonzept 163 als optimale Lösung zu wählen. Als wesentlicher Nachteil dieses Produktkonzepts sind jedoch die hohen Anpassungskosten zu nennen, die zur Integration des Produktkonzepts in das bestehende Montagesystem notwendig sind. Unabhängig von der gewählten Produktstrategie erweist sich das vollflexible Linienkonzept als vorteilhafteste Flexibilitätsstrategie.

5.3 Kritische Bewertung des Modells auf Basis der Ergebnisse des Fallbeispiels

Auf Basis der in der Validierung gewonnenen Erkenntnisse wird das entwickelte Modell nachfolgend hinsichtlich der in Kapitel 1.4 definierten Anforderungen kritisch bewertet.

Das Fallbeispiel zeigt, dass das entwickelte Modell über den Produktentstehungsprozess hinweg durchgängig anwendbar ist; von der frühen Phase der strategischen Produktplanung bis hin zum kontinuierlichen Controlling des Produktionsbetriebs bestehender Montagesysteme. Alle zur Anwendung des Modells benötigten Daten sind zum Einsatzzeitpunkt verfügbar oder mit geringem Aufwand beziehbar.

Die zur Aktivierung von Synergiepotentialen zwischen den Systemen Produkt und Produktionssystem relevanten externen und internen Wandlungstreiber Markt und Produkt werden als Stör-, Regel- und Steuergrößen in den Regelkreis des Fabrik Life Cycle Management integriert. Die Ergebnisse des Fallbeispiels zeigen in diesem Zusammenhang auf, dass insbesondere durch die gezielte Anpassung der Steuergrößen Produkt und Flexibilitätsstrategie nachhaltige Potentiale zur Steigerung der Effizienz von Montagesystemen realisiert werden können.

Die Modellierung der Subsysteme Markt, Produkt und Produktionssystem erfolgt durch den Einsatz bestehender Verfahren der markt- und kundenorientierten Produktentwicklung (Conjoint Analyse), der produktionsorientierten Produktentwicklung (EHPV-Verfahren) sowie des Einsatzes von Entscheidungsunterstützungssystemen für die Planung und Optimierung von Produktionssystemen (Life Cycle Adaptation Planner). Die geforderte Standardisierung der Methodensprache wird dabei durch die durchgängige mathematische Modellierung der betrachteten Dimensionen realisiert. Die während der Erstellung der Arbeit durchgeführten Analysen mit Partnern aus der Industrie zeigten, dass der Einsatz des EHPV-Verfahrens als besonders vorteilhaft zu bewerten ist. Die Anwendung der Conjoint Analyse im Rahmen des Fallbeispiels zeigte jedoch die Grenzen des Verfahrens auf. Das aus 16 Produktkonzepten bestehende teilfaktorielle Design bereitete bei der Befragung der Probanden Schwierigkeiten. Auf Grund der hohen Anzahl zu bewertender Produktkonzepte, die teilweise nur geringe Unterschiede in der äußeren Produktgestalt aufwiesen, war die Durchführung des Reihungsverfahrens mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Der Einsatz des Paarweisen Vergleichs könnte hier zu einer Erhöhung der Praktikabilität beitragen; eine Reduzierung des zeitlichen Aufwands ist dadurch jedoch nicht zu erwarten. Die Reduzierung der Anzahl zu bewertender Produktkonzepte hingegen würde zu einer Reduzierung des zeitlichen Aufwands führen. Diese Maßnahme würde jedoch in einer Absenkung der Ergebnisqualität der Conjoint Analyse resultieren.

Durch die Modellierung des Montagesystems basierend auf einer Abbildung der im Realbetrieb auftretenden Interaktionen zwischen markt-, produkt- und standortspezifischen Einflussgrö-

Ben sowie industriellen Lerneffekten wurde eine hohe Qualität der Ergebnisse realisiert. Der Vergleich von Ergebnissen aus der Anwendung des Modells mit den in Realität beobachteten Effekten zeigt, dass die Ergebnisqualität in einem Bereich unter +/- 10% liegt. Als Nachteil des Modells wurde in Diskussionen die nicht ausreichende Modellierung marktseitiger Turbulenzen genannt. Zwar erfolgt im Modell eine Prognose zu konzeptspezifischen Marktanteilen auf Basis der MUC-Regel. Die Linearität des Ansatzes führt jedoch nicht zu einer ausreichenden Berücksichtigung aufkommender Turbulenzen. Die Integration eines dynamischen Modells zur Abbildung absatzseitiger Chancen und Risiken würde hier zu einer weiteren Erhöhung der Ergebnisqualität beitragen. Dies wäre jedoch mit einem erheblichen ressourcenbezogenen Rechenaufwand verbunden, der die Praktikabilität des Modells nachteilig beeinflussen würde. Die Verwendung der Life Cycle-bezogenen und operativen Anpassungskosten des Produktionsbetriebs zum finalen Vergleich optionaler Strukturen des Montagesystems erwies sich vor dem Hintergrund des anhaltenden Trends zur Vermeidung von Umbauinvestitionen bei bestehenden Montagesystemen als besonders hilfreich.

Die Identifikation erforderlicher Variationen der Steuergrößen basiert bei dem Modell auf der Simulation des kostenoptimalen Entscheidungsverhaltens der operativen Produktionsplanung über der Zeit. Die Anwendung des Modells in der Praxis zeigte, dass insbesondere die Konkretheit der identifizierten Maßnahmen als großer Vorteil angesehen wird. Selbiges gilt für die Identifikation konstruktiver, produktseitiger Verbesserungsmaßnahmen. Diese resultieren im Modell wie gefordert aus Prognosen zu stückkostenoptimalen Konstellationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem.

Um aufgrund der Komplexität den Zeitaufwand für die Lösungsfindung zu reduzieren, wurde das Modell in eine Simulationsumgebung integriert und in dem Entscheidungsunterstützungssystem PULS umgesetzt. Die Planung und Entwicklung Fabrik Life Cycle-orientierter Produkte wird durch PULS unterstützt, indem die drei Subsysteme Markt, Produkt und Produktionssystem synchronisiert, Prognosen zur Entwicklung der Anpassungs- und Betriebskosten erstellt und Maßnahmen zur Optimierung sowohl des Produkts als auch der Strukturen und Ressourcen des Montagesystems abgeleitet werden. Durch die Nutzung der Standardsoftwarepakete MICROSOFT Excel® und SPSS® 16.0 in Kombination mit der Programmiersprache C++ wird eine hohe Akzeptanz bei dem interdisziplinären Anwenderkreis sichergestellt. Die modular aufgebaute Architektur des Entscheidungsunterstützungssystems PULS gewährleistet zudem die geforderte Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit an unternehmensspezifische Gegebenheiten, Problemstellungen und Gewerke. So kann beispielsweise das PULS-Modul Optimierung unabhängig von den anderen Modulen rein zur Optimierung des laufenden Betriebs von Montagesystemen eingesetzt werden.

Im Modell nicht berücksichtigt sind die strategischen Prozesse der umsatz- und gewinnorientierten Preisbildung, die Betrachtung anderer Gewerke sowie die Produktion in Netzwerken. Insbesondere die Integration eines dynamischen Kostenmodells würde vor dem Hintergrund einer

ganzheitlichen Optimierung des Produktentwicklungsprozesses weitere Potentiale erschließen. Hierzu müsste das entwickelte Modell um die Strategien der marktseitigen Preisbildung erweitert werden, so dass die Optimierung der Rentabilität von Unternehmungen die primäre Zieldimension darstellt. Die Ausweitung des im Modell implementierten Untersuchungsrahmens auf globale Produktionsnetzwerke würde zu einer realitätsnäheren Darstellung aufkommender Entscheidungssituationen bei global operierenden Unternehmen beitragen. So könnte gezielt die Frage diskutiert werden, an welchem Produktionsstandort welches Produkt zu welchem Zeitpunkt produziert werden sollte, um vorliegende Synergiepotentiale optimal nutzen zu können. Im Hinblick auf eine gewerkeübergreifende Einsetzbarkeit muss das Modell auf die entsprechenden Rahmenbedingungen adaptiert und erprobt werden. Diese Umfänge sind jedoch nicht mehr Gegenstand dieser Arbeit.

Aus der Anwendung des Modells in dem Fallbeispiel sowie der positiven Resonanz von Partnern aus der Industrie lässt sich schließen, dass das entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem dem Anwender ein praktikables Instrumentarium zur frühzeitigen Berücksichtigung der Forderungen nach permanenter Adaption und Optimierung von Produktionssystemen als Antwort auf sich turbulent ändernde Marktbedingungen im Produktentstehungsprozess liefert. Aus Sicht der strategischen Produktplanung stellt das Modell eine Erweiterung der bisherigen Planungsprozesse um die Dimension des Fabrik Life Cycles dar. Aus Sicht der Produktionsplanung und Produktion liefert die Anwendung des Modells entscheidende Impulse zur Stärkung der Argumentationsfähigkeit im Rahmen der Entwicklung neuer Produkte. So können nicht nur die Auswirkungen der Integration neuer Produkte in bestehende Produktionssysteme kostenmäßig quantifiziert werden, sondern zudem konkrete Maßnahmen zur Realisierung bestehender Synergiepotentiale identifiziert werden. Die präventive Optimierung der Leistungsfähigkeit von Montagesystemen im Umfeld dynamischer Märkte wird durch die Prognose erforderlicher Anpassungsbedarfe an sich ändernde Produkte und Märkte getragen.

Als finales Ergebnis der Validierung ist festzuhalten, dass das entwickelte Modell in der industriellen Anwendbarkeit grundsätzlich bestätigt werden konnte. Die eingangs an das Modell und das operable Entscheidungsinstrumentarium definierten Anforderungen konnten erfüllt werden. Die in Kapitel 1.3 formulierte Aufgabenstellung ist somit als erfüllt anzusehen. Für einen effektiven Einsatz des vorgestellten Modells und Entscheidungsunterstützungssystems PULS in der industriellen Praxis ist die Benutzerfreundlichkeit der prototypischen Konzeptimplementierung noch weiter zu verbessern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Hilfe des entwickelten Modells und des Entscheidungsunterstützungssystems PULS ein nachhaltiger Beitrag zur Optimierung des Life Cycle Controllings von Montagesystemen in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses geleistet wurde.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verkürzung der Produktlebenszyklen und die steigende Nachfrage nach kundenindividualisierten Produkten stellen vor dem Hintergrund zunehmend turbulenter und konkurrierender Absatzmärkte neue Anforderungen an die Fabriken der Zukunft. Für eine wirtschaftliche Nutzung bestehender Produktionssysteme ergibt sich daraus die Herausforderung, den externen Wandlungsdruck sowohl durch kontinuierliche Anpassungen des Produktspektrums als auch der innerbetrieblichen Ressourcen auffangen zu müssen. Bedingt durch die Grenzen des TOYOTA Produktionssystems hinsichtlich der Innovation und Individualisierung von Produkten sowie der Wandlungsfähigkeit und Applikation von Prozessen jenseits bekannter Leistungsgrenzen liefert das alleinige Umsetzen der bekannten Lean Production Prinzipien nicht die benötigten Potentiale.

Der Schlüssel zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit liegt deshalb in der Entwicklung von neuen, ganzheitlichen Konzepten für wissensbasierte Fabriken, die selber als Produkte anzusehen sind und auf eine hohe Integration der Produktentwicklung aufbauen. Durch die permanente Adaption des Produkts Fabrik an sich ändernde Rahmenbedingungen sowie der gezielten Aktivierung von Synergiepotentialen zwischen marktseitig geforderten Produkten und produktionsseitig verfügbaren Kapazitäten kann der Erfolg produzierender Unternehmen in Hochlohnländern wie Deutschland nachhaltig gesichert werden. Für den Bereich der Montage, in dem der größte Anteil von Produktvarianten abgebildet wird und das größte Humankapital gebunden ist, fehlen heute pragmatische Methodiken, die bei angemessenem Aufwand die Bewertung des Einflusses der Produktentwicklung auf den Fabrik Life Cycle ermöglichen und die frühzeitige Optimierung der Effizienz von Produktionssystemen gezielt unterstützen.

Vor dem beschriebenen Hintergrund war die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, die Forderungen nach permanenter Adaption und Optimierung von Produktionssystemen als Antwort auf sich turbulent ändernde Marktbedingungen frühzeitig in den Produktentstehungsprozess zu integrieren. Dazu wurde ein operables Instrumentarium entwickelt, mit dessen Hilfe der Planungs- und Entwicklungsprozess innovativer, kundenindividueller Produkte in Bezug auf die Anforderungen des Marktes und der produktinduzierten, Life Cycle-bezogenen Anpassungs- und Betriebs-

kosten des Produktionssystems optimiert werden kann. Zur Aktivierung von Synergiepotentialen zwischen den Systemen Produkt und Produktionssystem wurden die externen und internen Wandlungstreiber Markt und Produkt als Stör-, Regel- und Steuergrößen in den Regelkreis des Fabrik Life Cycle Management integriert. Als Untersuchungsbereich wurde die Gesamtheit der Montagelinien eines Produktionsstandortes definiert.

Als Basis für die Entwicklung eines Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung wurden im Grundlagenteil der Arbeit erfolgskritische Faktoren innerhalb des Produktentstehungsprozesses identifiziert und deren Bedeutung für das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Modell bewertet. Durch die Analyse des aktuellen Stands der Technik zu Verfahren für die markt- und produktionsorientierte Produktentwicklung und Entscheidungsunterstützungssystemen für die digitale, Fabrik Life Cycle-orientierte Planung und Optimierung von Produktionssystemen wurde geprüft, in welchem Umfang die formulierten Anforderungen an das Modell durch den Einsatz bestehender Verfahren erfüllt werden können. Die Analyse zeigte, dass eine auf den dynamischen, marktgetriebenen Life Cycle von Produktionssystemen bezogene Bewertung, Auswahl und konstruktive Anpassung von Produktkonzepten in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung von markt-, produktions- und flexibilitätsinduzierten Anforderungen und Rahmenbedingungen durch die heute existierenden Verfahren nicht unterstützt wird.

Zur Erfüllung der definierten Zielsetzung wurde im Rahmen der Arbeit ein Modell entwickelt, das durch die simulationsbasierte, Fabrik Life Cycle-orientierte Prognose des Realbetriebs von Montagesystemen eine Abbildung und Bewertung alternativer Szenarien des Gesamtsystems Markt-Produkt-Montagesystem in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses ermöglicht. Das im Modell umgesetzte Entscheidungsunterstützungssystem liefert als zentrale Ausgangsinformationen das markt- und kundenoptimale, das Fabrik Life Cycle-optimale und das stückkostenminimale Produktkonzept einschließlich der dazu synchronisierten, anpassungs- und stückkostenoptimalen, zeitbezogenen Konfiguration des Montagesystems. Durch die Synchronisierung markt- und Fabrik Life Cycle-seitiger Anforderungen werden frühzeitig produktbezogene Handlungsbedarfe und Optimierungspotentiale identifiziert. Die Umsetzung der identifizierten Optimierungspotentiale trägt zu einer effizienten Nutzung der installierten Kapazitäten und einer nachhaltigen Reduzierung der Anpassungs- und Betriebskosten bestehender Montagesysteme bei.

Im Kontext einer Synchronisierung markt- und produktionsorientierter Produktentwicklungsstrategien gliedert sich die Grundstruktur des entwickelten Modells in logische, skalierbare Informationseinheiten, die Informationen über den Markt, das Produkt und das zu betrachtende Montagesystem enthalten und untereinander austauschen. Das Referenzmodell wird dabei anhand von Informationskategorien in die sechs Sub-Datenmodelle Markt-, Produkt-, Montagesystem-, Szenario-, Optimierungs- und Maßnahmenmodell unterteilt. Informationen über die Ausprägungen der Produkteigenschaften bilden die zentrale Schnittstelle zwischen den vier Sub-

Datenmodellen Markt-, Produkt-, Montagesystem- und Maßnahmenmodell und agieren als zentrale Eingangsgrößen in dem Szenario- und Optimierungsmodell.

Im Marktmodell, das als zentrale Schnittstelle zwischen Marketing, Produktplanung und Entwicklung agiert, werden im Kontext der markt- und kundenorientierten Produktentwicklungsstrategie die Produktkonzepte für einen definierten Absatzmarkt generiert, hinsichtlich ihres kundenbezogenen Gesamtnutzens bewertet und Prognosen zu potentiellen Marktanteilen und Absatzmengen erstellt. Die Ermittlung des konzeptspezifischen Kundennutzens resultiert dabei aus der Integration des Verfahrens der Conjoint Analyse in das Marktmodell.

Im Produktmodell erfolgt die produktionsorientierte Modellierung der im Marktmodell generierten Produktkonzepte auf Basis der konzeptspezifischen Montagezeiten und der dazugehörigen Life Cycle-bezogenen Produktionsprogramme. Die Ermittlung der konzeptspezifischen Montagezeiten resultiert dabei aus der Integration des montagezeitorientierten EHPV-Verfahrens in das Produktmodell. Die Validität des EHPV-Verfahrens wurde hierzu experimentell untersucht und nachgewiesen.

Das Modell des Montagesystems basiert auf einer Abbildung der Interaktionen von markt-, produkt- und standortspezifischen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen. Zur Beschreibung der vorliegenden Rahmenbedingungen enthält das Modell alle Informationen zur ressourcenorientierten Abbildung der Ist-Konfiguration des Montagesystems. Dies beinhaltet neben der aufbau-, funktions- und strukturbezogenen Abbildung des Montagesystems Informationen über das aktuell produzierte Produktprogramm, das Ist-Flexibilitätsangebot sowie die hierdurch induzierte Kostenstruktur.

Im Szenariomodell werden die im Markt- und Produktmodell generierten Modelle der Produktkonzepte mit den optionalen flexibilitätsstrategieinduzierten Konstellationen des Montagesystems zu Markt-Produkt-Produktionssystem Szenarien verknüpft. Neben der Generierung optionaler Szenarien des Gesamtsystems erfolgt im Szenariomodell die Integration aufkommender industrieller Lerneffekte, die einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Montageprozesse haben.

Im Optimierungsmodell erfolgt anhand des integrierten, entscheidungsunterstützenden Optimierungsalgorithmus die Prognose des kostenoptimalen Entscheidungsverhaltens der operativen Montageplanung über der Zeit. Dabei wird für jedes Szenario des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem die anpassungs- und stückkostenoptimale Systemkonfiguration entlang des betrachteten Fabrik Life Cycles ermittelt.

Das Maßnahmenmodell enthält alle relevanten Informationen, die zur Identifikation weiterer Handlungsbedarfe und daraus resultierender Maßnahmen zur gewinnmaximierenden Anpassung des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem notwendig sind. Die Informationen resultieren dabei aus dem Vergleich zwischen dem im Marktmodell ermittelten markt- und kundenoptimalen Produktkonzept und denen im Optimierungsmodell ermittelten Fabrik Life Cycle-optimalen und stückkostenminimalen Produktkonzepten hinsichtlich der in den Konzepten abge-

bildeten anforderungsspezifischen Eigenschaften.

Um aufgrund der Komplexität des zu betrachtenden Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem den Zeitaufwand für die Lösungsfindung zu reduzieren, wurde das Modell in eine Softwareumgebung integriert und in einem anwenderfreundlichen Entscheidungsunterstützungssystem umgesetzt. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Software PULS (Produktplanung Und Fabrik Life Cycle Synchronisierung - Software und Entscheidungsunterstützungssystem) integriert dabei die Modelle des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem in eine MICROSOFT Excel® Umgebung. Jedes der sechs Teilmodelle des Gesamtsystems wird in PULS durch ein autonomes Modul abgebildet.

Das entwickelte Modell und Entscheidungsunterstützungssystem wurde anhand eines ausgewählten Fallbeispiels aus der Industrie validiert. Als Praxisbeispiel wurde die Neuentwicklung eines LKW-Cockpits mit anschließender Integration in ein bestehendes Montagesystem eines global operierenden Nutzfahrzeugherstellers gewählt. Das Fallbeispiel zeigt, dass das entwickelte Modell über den Produktentstehungsprozess hinweg durchgängig anwendbar ist; von der frühen Phase der strategischen Produktplanung bis hin zum kontinuierlichen Controlling des Produktionsbetriebs bestehender Montagesysteme. Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz des entwickelten Modells nicht nur der Zeitbedarf zur Durchführung von Analysen komplexer Sachverhalte deutlich reduziert wird, sondern auch die Qualität der Aussagen in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses sichtlich gesteigert wird. Aus Sicht der Produktionsplanung und Produktion liefert die prototypische Konzeptimplementierung entscheidende Impulse zur Stärkung der Argumentationsfähigkeit im Rahmen von Produktneuentwicklungen. So können nicht nur die Auswirkungen der Integration neuer Produkte in bestehende Produktionssysteme kostenmäßig quantifiziert werden, sondern zudem konkrete Maßnahmen zur Realisierung bestehender Synergiepotentiale identifiziert werden. Die präventive Optimierung der Leistungsfähigkeit von Montagesystemen im Umfeld dynamischer Märkte wird durch die Prognose erforderlicher Anpassungsbedarfe an sich ändernde Produkte und Märkte getragen.

Für die allgemeingültige Anwendung und den industriellen Einsatz des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modells für die Fabrik Life Cycle-orientierte Produktplanung und -entwicklung müssen noch weiterführende Arbeiten durchgeführt werden. Insbesondere die Integration eines dynamischen Kostenmodells würde vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen Optimierung des Produktentwicklungsprozesses weitere Potentiale erschließen. Hierzu müsste das entwickelte Modell um die Strategien der marktseitigen Preisbildung erweitert werden, so dass die Optimierung der Rentabilität von Unternehmungen die primäre Zieldimension darstellt. Die Ausweitung des im Modell implementierten Untersuchungsrahmens auf globale Produktionsnetzwerke würde zu einer realitätsnäheren Darstellung aufkommender Entscheidungssituationen bei global operierenden Unternehmen beitragen. Des Weiteren könnten marktseitig bedingte Wahrscheinlichkeiten und Risiken der Nachfrage in das Modell integriert werden. Dadurch könnte die Qualität der

Ergebnisse weiter verbessert werden. Im Hinblick auf eine gewerkeübergreifende Einsetzbarkeit muss das Modell in anschließenden Arbeiten auf die entsprechenden Rahmenbedingungen adaptiert werden. Die Implementierung der einzelnen Teilmodelle in eine Simulationsplattform mit standardisierter Bedienoberfläche würde zu einer Erhöhung der Akzeptanz im industriellen Alltag beitragen. Die Analyse der benötigten Rechenzeiten zur Durchführen von Analysen in PULS zeigt, dass die eingesetzte Architektur für komplexe Konstellationen des Gesamtsystems Markt-Produkt-Produktionssystem nicht effizient ausgearbeitet ist. Eine vollständige Abbildung des Modells in C++ oder die Integration in industriell eingesetzte Softwarelösungen könnte hier zu deutlichen Effizienzsteigerungen führen.

Summary

After the fall of FORD's era of mass production in the 1970s, the rapid loss of market shares to Japanese OEMs driven by OHNO's lean production in the 1980s Europe's factories are now, at the beginning of the 21st century, facing new challenges: decreasing product life cycles, increasing demand on customized products, permanently changing market requirements within turbulent environments and growing migration of production and consumption to developing countries. In order to ensure a cost-effective use of existing production systems the continuous adaptation of product programs as well as installed production resources become the main success factors for the future.

Due to the borders of TOYOTA's production system regarding the capability of innovative, customer-specific production technologies and products, a singular implementation of the known lean production principles does not provide the required potentials. Thinking beyond lean becomes the maxim of Europe's factories in the 21st century. One major key within this new paradigm lays in the development of new holistic concepts for knowledge-based factories. These new factories can be regarded as complex products with long life cycles itself and are based on a high integration of product development. Only through the permanent adaptation of the product "factory" to the continuously changing external and internal boundary conditions and the activation of synergy potentials between demanded products and accessible production capacities the success of factories in high wages countries can be obtained.

Different approaches have been taken to develop specific aspects of the overall described problem situation. These include: market- and customer-oriented design methodologies, production-oriented design methodologies and digital decision support systems for the factory life cycle-oriented planning and optimization of production systems. However, a complete AI-based, synergy-oriented integration between the different impact factors on the life cycle of production systems is still in its infancy. Pragmatic methodologies and tools that allow the evaluation of the impact of product design on the dynamic factory life cycle as well as the identification of sustainable product and process-related measures to optimize the efficiency of production systems

from an early stage on do not exist until today.

Behind the described background the objective of this thesis is on the development of a systematic approach and a computer-aided system for the optimization of the development process of innovative, customer-specific products with regards to the life cycle-oriented operating costs of existing production systems. The integration of the requirements of permanent adaptation and optimization of production systems as answer to turbulent changing market conditions into the early stages of the product development process is regarded as the main target. The approach focuses on the integration of product design and the life cycle management of assembly systems, the relation between product design and manufacturing flexibility strategies as well as occurring learning effects within the area of assembly. Within this scope this thesis is at hand the first of its kind to investigate the concepts of product design optimization not only with regards to the fulfilment of customer demands, the reduction of product design derived assembly time and the impact of optional flexibility strategies but also the utilization of existing synergies to existing production resources throughout the life cycle of production systems.

The approach is implemented through an agent-based, self-optimizing, scaleable reference model of the holistic system market-product-production system. Within the context of a synchronisation of market- and production-oriented product development strategies the reference model is structured into the six sub-models market, product, production system, scenario, optimization and measures. The simulation-based interaction between the sub-models allows the evaluation of optional scenarios of the holistic system market-product-production system regarding occurring costs, demands for dynamic assembly system adaptations and product design related measures for the utilization of production-oriented synergies. For the identification of optimization potentials the system integrates the major external and internal change drivers market and product as disturbance, control and regulating variables into the control loop of the factory life cycle management. In order to provide an efficient decision support system for the highly complex interactions the software PULS is introduced in this thesis.

The presented validation shows, that though the use of the approach and the decision support system PULS an efficient contribution towards a factory life cycle-oriented design of products in an early stage of product development is made.

Literaturverzeichnis

- ABELE, E.; KLUGE, J.; U.A. (HRSG.): Handbuch Globale Produktion. München : Hanser, 2006
- ABELE, E.; KLUGE, J.; U.A.: HAWK 2015 : Herausforderung Automobile Wertschöpfungskette. Frankfurt : VDMA, 2003
- ADLER, P.S.: Shared learning. In: Management Science 36 (1990), Nr. 8, S. 938–957
- ADLER, P.S.; CLARK, K.B.: Behind the learning curve : A sketch of the learning process. In: Management Science 37 (1991), Nr. 3, S. 267–281
- AHN, H.: Optimierung von Produktentwicklungsprozessen : Entscheidungsunterstützung bei der Umsetzung des Simultaneous Engineering. Wiesbaden : Gabler, 1997
- AKAO, Y.: QFD – Quality Function Deployment. Landsberg : Moderne Industrie, 1992
- ALCHIAN, A.: Costs and output. In: ABRAMOWITZ, M. (HRSG.): The allocation of economic resources. Stanford : Stanford University Press, 1959
- ALZAGA, A.; DIEZ, F.J.: Information system for the engineering of automotive assembly lines. In: PROSTEP iVP E.V. (HRSG.): 2. ProSTEP iViP Science Days (Darmstadt 2005). Böblingen: Kessler, 2005. S. 198–207
- ANDREASEN, M.M.: Concurrent Engineering : Effiziente Integration der Aufgaben im Entwicklungsprozess. In: SCHÄPPI, B.; RADEMACHER, F.-J. (HRSG.): Handbuch Produktentwicklung. München : Hanser, 2005
- ARDAYFIO, D.D.: Institutionalization of design for manufacture and assembly DFMA as a technology for competitive product development in the automotive industry. In: AUTOMOTIVE AUTOMATION (HRSG.): Proceedings of 24. International Symposium on Automotive Technology and Automation (ISATA) (Florenz 1991). Croydon : Automotive Automation Ltd., 1991. S. 607–614
- ARNOLD, U.: Marketing: Absatz und Beschaffung. Stuttgart, Universität, Vorlesungsskript, 2005
- AUERBACH, D.: Digitale Fabrik in heterogenen Engineering-Netzwerken. In: MANAGEMENT INFORMATION CENTER (MIC) (HRSG.): 2. Internationaler Fachkongress Digitale Fabrik (Ludwigsburg 2005). Landsberg : MIC, 2005

- BALOFF, N.: Extensions of the learning curve - Some experimental results. In: Operations Research Quaterly 22 (1971), Nr. 4, S. 329–340
- BAMBERGER, I.; WRONA, T.: Der Ressourcenansatz und seine Bedeutung für die Strategische Unternehmensführung. In: ZfbF 48 (1996), Nr. 2, S. 130–153
- BARNEY, J.B.: Looking inside for competitive advantage. In: Academy of Management Executive 9 (1995), Nr. 4, S. 49–61
- BAUMGART, P.: Lernkurve und Unternehmenswandel : Individuelle Verhaltenssteuerung von Mitarbeitern im Change Management. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 2001
- BAUR, W.: Neue Wege der betrieblichen Planung. Berlin : Springer, 1967
- BECKER, H.: Phänomen Toyota : Erfolgsfaktor Ethik. Berlin : Springer, 2006
- BEITZ, W.; GROTHE K.-H. (HRSG.): Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin : Springer, 2001
- BELLMAN, R.: Dynamic programming. New Jersey : Princeton University Press, 1957
- BENJAAFAR, S.: Process planning flexibility : Models, measurement, and evaluation. Minneapolis, University of Minnesota, Department of Mechanical Engineering, 1995. – Working Paper
- BERTHOLD, A.: Der Fertigungsorientierte Modellierer FERMOD als Erweiterung des Konstruktions-systems WISKON. Kassel, Universität, Dissertation, 2002
- BERTSIMAS, D.; TSITSIKLIS, J.: Introduction to linear optimization. Belmont : Athena Scientific, 1997
- BETZ, S.: Die Erfahrungskurve als Instrument der Zielkostenspaltung. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis 47 (1995), Nr. 6, S. 609–625
- BIERSCHENK, S.: Digitale Fabrik – Ein Überblick. In: Simulation 3 (2004), Nr. 1, S. 96–101
- BINNER, H.: Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation : Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung. München : Hanser, 2005
- BIXBY, R.: Solving real-world linear programs: A decade and more of progress. In: Operations Research 50 (2002), Nr. 1, S. 3–15
- BLACK, J.A.; BOAL, K.B.: Strategic resources: Traits, configurations and paths to sustainable competitive advantage. In: Strategic Management Journal 15 (1994), Summer, S. 131–148
- BLEY, H.; BOSSMANN, M.: Standardisierte Produktmodelle für die automatisierte Montageplanung. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005), Nr. 9, S. 627–631
- BOKRANZ, R.; LANDAU, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen : MTM-Handbuch. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2006
- BOLWIJN, P.; KUMPE, T.: Manufacturing in the 1990s: Productivity, exibility and innovation. In: Long Range Planning 23 (1990), Nr. 4, S. 44–57
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.: Design for assembly - A designer's handbook. Amherst, University of Massachusetts, Department of Mechanical Engineering, 1983. – Technique Report
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; U.A.: Product design for manufacture and assembly. New York : Marcel Dekker, 1994

- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; U.A.: Product design for manufacture and assembly. New York : Marcel Dekker, 2002
- BOPP, R.: CAD-begleitende Kalkulation hilft die Produktkosten senken. In: Computerwoche 22 (1995), Nr. 6, S. 42
- BORCHERT, J.; WIECZOREK, A.: Flexibilität als strategischer Erfolgsfaktor. Hamburg, Universität, Institut für Industriebetriebslehre und Organisation, 2006. – Seminar IBL 1
- BOSSMANN, M.: Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung. Saarbrücken, Universität, Dissertation, 2007
- BRITZKE, B.: Produktionsgerechtes Denken, Entwickeln und Handeln. In: MTM Aktuell 13 (2008), Nr. 1, S. 12–15
- BROCKHAUS ENZYKLOPÄDIE. Bd. 17. Leipzig : Brockhaus, 2006a
- BROCKHAUS ENZYKLOPÄDIE. Bd. 20. Leipzig : Brockhaus, 2006b
- BROCKHAUS ENZYKLOPÄDIE. Bd. 22. Leipzig : Brockhaus, 2006c
- BROWNE, J.; DUBOIS, D.; U.A.: Classification of flexible manufacturing systems. In: The FMS Magazine 2 (1984), Nr. 2, S. 114–117
- BUCHNER, T.; HERFS, W.; U.A.: Anforderungen an die Produktionstechnik in Hochlohnländern. In: Konstruktion 60 (2008), Nr. 5, S. 62–66
- BULLINGER, H.-J.: Ergonomie : Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart : Teubner, 1994
- BULLINGER, H.-J.; KUGEL, R.; U.A.: Integrierte Produktentwicklung : Zehn erfolgreiche Praxisbeispiele. Wiesbaden : Gabler, 1995
- BULLINGER, H.-J.; RITCHER, M.: Integrated design and assembly planning. In: Computer-Integrated Manufacturing Systems 4 (1991), Nr. 4, S. 239–247
- CALL, G.: Entstehung und Markteinführung von Produktneuheiten : Entwicklung eines prozess-integrierten Konzepts. Wiesbaden : Gabler, 1997
- CALL, G.: Entstehung und Markteinführung von Produktneuheiten. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 1996
- CHANDRA, C.; EVERSON, M.; U.A.: Evaluation of enterprise-level benefits of manufacturing flexibility. In: Omega International Journal of Management Science 33 (2005), Nr. 1, S. 17–31
- CHEN, C.L.P.; PAO, Y.-H.: An integration of neural network and rule-based systems for design and planning of mechanical assemblies. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 23 (1993), Nr. 5, S.1359–1371
- CHOD, J.; RUDI, N.: Resource flexibility with responsive pricing. In: Operations Research 53 (2005), Nr. 3, S. 532–548
- CHOI, A.C.K.; CHAN, D.S.K.; U.A.: Application of virtual assembly tools for improving product design. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 19 (2002), Nr. 5, S. 377–383

- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T.: Product development performance : Strategy, organization and management in the world auto industry. Boston : Harvard Business School Press, 1991
- CORMEN, T.H.; LEISERSON, C.E.; U.A.: Introduction to algorithms. New York : McGraw-Hill, 2001
- DAIMLERCHRYSLER (HRSG.): Jahresbericht 2006. Stuttgart : DaimlerChrysler AG, 2006
- DANGELMAIER, W.: Fertigungsplanung : Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. Berlin : Springer, 1999
- DANTZIG, G.: Lineare Programmierung und Erweiterungen. Berlin : Springer, 1966
- DAR-EL, E.M.: Human learning : From learning curves to learning organizations. Boston : Kluwer, 2000
- DASBERG, J.: PLM Mega Trends. In: Digital Engineering Magazin 8 (2005), Nr. 3, S. 40–43
- DE FAZIO, T.L.; WHITNEY, D.E.: Correction to simplified generation of all mechanical assembly sequences. In: IEEE Journal of Robotics and Automation 4 (1988), Nr. 6, S. 705–708
- DE FAZIO, T.L.; WHITNEY, D.E.: Simplified generation of all mechanical assembly sequences. In: IEEE Journal of Robotics and Automation, 3 (1987), Nr. 6, S. 640–658
- DE MEYER, A.; NAKANE, J.; U.A.: Flexibility: The next competitive battle – the manufacturing futures survey. In: Strategic Management Journal 10 (1989), Nr. 2, S. 135–144
- DE TONI, A.; TONCHIA, S.: Manufacturing flexibility: A literature review. In: International Journal of Production Research 36 (1998), Nr. 6, S. 1587–1617
- DECKER, M.: Entwicklung eines ganzheitlichen Prognosemodells zur Kompensation von Varianzen in Prozessfolgen mittels Support Vektor Maschinen. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2007
- DELCHAMBRE, A.: Computer-aided assembly planning. London : Chapman & Hall, 1992
- DIESNER, S.: Alternative leistungselektronische Schaltungskonzepte im PKW Innenraum : Entwurf, Optimierung und Bewertung. Dresden, Technischen Universität, Dissertation, 2006
- DOMBROWSKI, U.; TIEDEMANN, H.: Wissensmanagement in der Fabrikplanung. In: wt Werkstatt-technik online 94 (2004), Nr. 4, S. 137–140
- DOMBROWSKI, U.; TIEDEMANN, H.; U.A.: Optimierung des Produktentstehungsprozesses mit Hilfe der DFMA-Methode. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005), Nr. 10, S. 595–598
- DOSTAL, M.: Präsentation. In: DAIMLERCHRYSLER (VERANST.): Truck Group Division Day (Mannheim 2006). Mannheim : DaimlerChrysler AG, 2006
- DRABOW, G.: Modulare Gestaltung und ganzheitliche Bewertung wandlungsfähiger Fertigungssysteme. Hannover, Universität, Dissertation, 2006
- DREYFUS, S.: Richard Bellman on the birth of dynamic programming. In: Operations Research 50 (2002), Nr. 1, S. 48–51
- DYKHOFF, H.; SPENGLER, T.: Produktionswirtschaft : Eine Einführung für Wirtschaftsingenieure. Berlin : Springer, 2005
- EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung : Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München : Hanser, 1995

- EHRLENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; U.A.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren : Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin : Springer, 2005
- EISELT, H.; SANDBLOM, C.: Integer programming and network models. Berlin : Springer, 2000
- EPPEL, D.; ARGOTE, L.; U.A.: Organizational learning curves : A method for investigating intra-plant transfer of knowledge acquired through learning by doing. In: Organization Science 2 (1991), Nr. 1, S. 58–70
- ERNST & YOUNG (HRSG.): Automobilstandort Deutschland in Gefahr? : Automobilbranche auf dem Weg nach Osteuropa und China. Eschborn : Ernst & Young AG, 2004. – Studie
- EVERSHEIM, W.; SCHUH, G. (HRSG.): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin : Springer, 2005
- FAIBT, J.; GÜNTHER, H.-O.; U.A.: Ein Decision-Support-System zur Planung der Jahresarbeitszeit. In: BIETHAHN, J. (HRSG.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. Bd. 2. Springer : Berlin, 1991
- FINE, C.; PAPPU, S.: Flexible manufacturing technology and product-market competition. Cambridge, MIT, 1990. – Working Paper
- FISCHER, J.: Individualisierte Präferenzanalyse : Entwicklung und empirische Prüfung einer vollkommen individualisierten Conjoint Analyse. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 2001
- FRIESE, M.; ROSCHER, J.; U.A.: Gestaltungskonzepte für Fabrikparks aus OEM-Sicht. In: WITTE, K.-W.; VIELHABER, W. (HRSG.): Neue Konzepte für wandlungsfähige Fabriken und Fabrikparks. Aachen : Shaker, 2004
- FUJIMOTO, T.: The Toyota phenomenon. In: Japan Echo 31 (2004), Nr. 3, S. 8–12
- GAISER, B.; KIENINGER, M.: Fahrplan für die Einführung von Target Costing. In: HORVATH, P. (HRSG.): Target Costing : Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993. S. 53–74
- GAUSEMEIER, J.: Strategiekompetenz und Agilität – Strategische Erfolgspositionen des Mittelstandes. In: Zwf 98 (2003), Nr. 10, S. 530–534
- GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; U.A.: Produktinnovation : Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München : Hanser, 2001
- GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; U.A. (HRSG.): Kooperatives Produktengineering : Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI Verlagsschriftreihe Bd. 79. Paderborn, Universität, 2000
- GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; U.A.: Planung der Produkte und Fertigungssysteme für die Märkte von morgen : Ein praktischer Leitfaden für mittelständische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Frankfurt : VDMA, 2004
- GEISINGER, D.: Ein Konzept zur marktorientierten Produktentwicklung. Karlsruhe, Universität, Dissertation, 1999
- GERWALD, T.; REITER, R.: Digitale Fabrik am Beispiel der Prozesskette Karosseriebau. In: MANAGEMENT INFORMATION CENTER (MIC) (HRSG.): 2. Internationaler Fachkongress Digitale Fabrik (Ludwigsburg 2005). Landsberg : MIC, 2005

- GLOVER, F.; LAGUNA, M.: Tabu search. Boston : Kluwer, 1997
- GOLDBERG, D.E.: Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading : Addison-Wesley, 1998
- GOYAL, M.; NETESSINE, S.; U.A.: Deployment of manufacturing flexibility : An empirical analysis of the North American automotive industry. College Park, University of Maryland, Robert H. Smith School of Business, 2006
- GRIFFIN, A.; HAUSER, J.R.: The voice of the customer. In: Marketing Science 12 (1993), Nr. 1, S. 1–27
- GUNASEKARAN, A.; MARTIKAINEN, T.; U.A.: Flexible manufacturing systems: An investigation for research and applications. In: European Journal of Operational Research 66 (1993), Nr. 1, S. 1–26
- GÜNTHER, H.-O.: Produktionsplanung bei flexibler Personalkapazität. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1989
- GUPTA, Y.P.; GOYAL, S.: Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements. In: European Journal of Operational Research 43 (1989), Nr. 2, S. 119–135
- GUSTAFSSON, A.; HERRMANN, A.; U.A. (HRSG.): Conjoint measurement : Methods and applications. Berlin : Springer, 2007
- HALLER, M.: Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion. München, TU, Dissertation, 1999
- HANBEN, D.; RIEGLER, T.; U.A.: Studie Digitale Fabrik : Zentrales Innovationsthema in der Automobilindustrie. München : Roland Berger GmbH, 2002. – Präsentation und Pressegespräch in Leinfelden
- HASLER, R.; ANDROSCHIN, C.: Restrukturierung von Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen. In: Unternehmenserfolg durch Restrukturierung von Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen. VDI-Berichte Nr. 1338. Düsseldorf : VDI, 1997. S. 43–62
- HEILALA, J.; HELAAKOSKI, H.; U.A.: Smart Assembly – Data and model driven. In: UNIVERSITÄT NOTTINGHAM (VERANST.): 4. International Precision Assembly Seminar (Chamonix 2008). Boston : Springer, 2008
- HENFLING, M.: Lernkurventheorie. Gerbrunn : Lehmann, 1978
- HENRICHSMIEIER, S.: Entwicklung eines Modells zur Absatzprognose in frühen Phasen der Produktentstehung. Hamburg : Verlag Dr. Kovac, 1998
- HERNÁNDEZ MORALES, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 16 Nr. 149. Düsseldorf : VDI, 2003
- HERNANI, J.T.; SCARR, A.J.: An expert system approach to the choice of design rules for automated assembly. In: ADREASEN, M.M. (HRSG.): Assembly automation. London : IFS Publications, 1987
- HERRMANN, A. ; HERTEL, G.; U.A. (HRSG.): Kundenorientierte Produktgestaltung. München : Vahlen, 2000
- HIEBER, W.L.: Lern- und Erfahrungskurveneffekte und ihre Bestimmung in der flexibel automatisierten Produktion. München : Vahlen, 1991

- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J.: Introduction to operations research. New York : McGraw-Hill, 2005
- HILLIG, T.: Verfahrensvarianten der Conjoint-Analyse zur Prognose von Kaufentscheidungen : Eine Monte-Carlo-Simulation. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 2004
- HIRD, G.; SWIFT, K.G.; U.A.: Possibilities for integrated design and assembly planning. In: PUGH, A. (HRSG.): Proceedings of the 9. International Conference on Assembly Automation (London 1988). Bedford : IFS Publications, 1988. S. 155–166
- HIRSCH, W.Z.: Manufacturing progress functions. In: Review of Economics and Statistics 34 (1952), Nr. 2, S. 143–155
- HOPFMANN, L.: Flexibilität im Produktionsbereich : Ein dynamisches Modell zur Analyse und Bewertung von Flexibilitätspotenzialen. Stuttgart, Universität, Dissertation, 1988
- HSU, W.; LEE, C.S.G.; U.A.: Feedback approach to design for assembly by evaluation of assembly plan. In: Computer-Aided Design 25 (1993), Nr. 7, S. 395–410
- IFAA (HRSG.): Ganzheitliche Produktionssysteme : Gestaltungsprinzipien und deren Verknüpfung. Köln : Bachem, 2002
- IFF (HRSG.): Forschung : Fabrikbetrieb : Fabrik Life Cycle Management (2007-04-12). Online unter URL: <<http://www.iff.uni-stuttgart.de/forschung/fabrikbetrieb/fabrikbcm/>> (2009-01-30)
- IMS (HRSG.): Proceedings of the IMS Vision Forum 2006. Seoul : IMS International, 2006
- INMAN, R.R.; JORDAN, W.C.: Integrated assembly line loading, design and labor planning. In: Journal of Manufacturing Systems 16 (1997), Nr. 5, S. 315–322
- JAKIELA, M.J.; PAPALAMBROS, P.: Design and implementation of a prototype intelligent CAD system. In: ASME Journal of Mechanical Design 111 (1989), Nr. 2, S. 252–258
- JARED, G.E.M.; LIMAGE, M.G.; U.A.: Geometric reasoning and design for manufacture. In: Computer-Aided Design 26 (1994), Nr. 7, S. 528–536
- JAYARAM, S.; CONNACHER, H.I.; U.A.: Virtual assembly using virtual reality techniques. In: Computer-Aided Design 29 (1997), Nr. 8, S. 575–584
- JENDOUBI, L.: Management mobiler Betriebsmittel unter Einsatz ubiquitärer Computersysteme in der Produktion. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2007
- JORDAN, W.C.; S. GRAVES: Principles on the benefits of manufacturing process flexibility. In: Management Science 41 (1995), Nr. 4, S. 577–594
- JOVANE, F.; WESTKÄMPER, E.; U.A.: The ManuFuture road : Towards competitive and sustainable high-adding-value manufacturing. Berlin : Springer, 2009
- KAISER, J.: Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen. München, TU, Dissertation, 1997
- KANAI, S.; TAKAHASHI, H.; U.A.: ASPEN : Computer-aided assembly sequence planning and evaluation system based on predetermined time standard. In: Annals of the CIRP 45 (1996), Nr. 1, S. 35–39
- KAPP, R.; WEIMER, T.; U.A.: Factory-Cockpit : A factory simulator for the entire factory life cycle. In:

- BUTALA, P. (HRSG.): 39. CIRP International seminar on Manufacturing Systems (Ljubljana 2006). Ljubljana : Universität Ljubljana. S. 203–208
- KAPPES, S.: Einführung in Operations Research für Wirtschaftsingenieure : Dynamische Programmierung. Berlin, Technische Universität, Vorlesungsskript, 2007
- KENNEDY, M.N.: Product development for the lean enterprise : Why Toyota's system is four times more productive and how you can implement it. Richmond : Oaklea Press, 2003
- KERN, W.: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1979
- KHACHIYAN, L.G.: A polynomial algorithm for linear programming. In: USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics 20 (1980), Nr. 2, S. 53–72
- KINKEL, S.; ZANKER, C.: Globale Produktionsstrategien in der Automobilzulieferindustrie. Berlin : Springer, 2007
- KLAUKE, S.: Methoden und Datenmodell der "Offenen Virtuellen Fabrik" zur Optimierung simultaner Produktionsprozesse. Dresden, Technische Universität, Dissertation, 2002
- KLEIN, B.: QFD – Quality Function Deployment : Konzept, Anwendung und Umsetzung für Produkte und Dienstleistungen. Renningen : Expert, 1999
- KLEIN, R.; SCHOLL, A.: Software zur Entscheidungsanalyse – Eine Marktübersicht. In: Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft 2 (2004), Nr. 19, S. 1–10
- KLOSE, A.: Operations Research. Universität, Wuppertal, Vorlesungsskript, 2004
- KNECHT, F.: Als Produkte verstehen. In: Intelligenter Produzieren 4 (2007), Nr. 4, S. 30
- KNÜPFER, G.: Keine Angst vor dem Abschwung: Top-Werke sind abwehrbereit. In: Produktion 47 (2008), Nr. 24, S. 1–2
- KNÜPFER, G.: Noch viel Luft für Optimierungen. In: Produktion 47 (2008), Nr. 18, S. 2
- KORGE A.; SCHOLTZ, O.: Ganzheitliche Produktionssysteme: Produzierende Unternehmen innovativ organisieren und führen. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004), Nr. 1/2, S. 2–6
- KÖTH, C.-P.: Tupfengleiche Anlagen (2007-09-27). Online unter URL: <<http://www.automobil-industrie.vogel.de/produktion/articles/98484/>> (2009-01-30)
- KPMG (HRSG.): Globales Standortmanagement in der Automobilzulieferindustrie. Stuttgart : KPMG AG, 2005. – Studie
- KROTTMAIER, J.: Leitfaden Simultaneous Engineering : Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität. Berlin : Springer, 1995
- KUIVANEN, R.: Factory of the future. In: MANUFUTURE (VERANST.): 4. Manufuture Conference (Tampere 2006). Tampere : Manufuture, 2006
- KUNOW, A.: Anreizsteuerung unter Berücksichtigung von Lernkurveneffekten. Halle-Wittenberg, Universität, Dissertation, 2006
- LAARMANN, A.: Lerneffekte in der Produktion. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 2005
- LANDAU, K.; WIMMER, R.; U.A.: Die Arbeit im Montagebetrieb. In: LANDAU, K.; LUCZAK, H. (HRSG.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München : Hanser, 2001. S. 1–8

- LASORDA, T.: Chrysler Group manufacturing strategy. In: J.P. MORGAN (VERANST.): J.P. Morgan 6. Annual Auto Conference (Dearborn 2003). Dearborn : J.P. Morgan, 2003. – Konferenzbeitrag. Online unter URL: <www.daimlerchrysler.com/Projects/c2c/channel/documents/178072_lasorda_30805.pdf> (2009-01-30)
- LAY, G.; KINKEL, S.; U.A.: Stand und Entwicklung der Auslandsproduktion bei Automobilzulieferern – ein Branchenvergleich. Düsseldorf : Hans Böckler Stiftung, 2004. – Sonderauswertung der Erhebung "Innovationen in der Produktion" des Fraunhofer ISI, Karlsruhe
- LESMEISTER, F.: Verbesserte Produktplanung durch den problemorientierten Einsatz präventiver Qualitätsmanagementmethoden. Aachen, RWTH, Dissertation, 2001
- LEVY, F.K.: Adaption in the production process. In: Management Science 11 (1965), Nr. 6, S. 136–154
- LI, R.-K.; HWANG, C.-L.: A framework for automatic DFA system development. In: Computers in Industrial Engineering 22 (1994), Nr. 4, S. 403–413
- LIEBAU, H.: Die Lernkurvenmethode. Stuttgart : Ergonomia, 2002
- LIKER, J.K.; MEIER, D.P.: Der Toyota Weg : Praxisbuch. München : FinanzBuch, 2007
- LINCKE, W.: Simultaneous Engineering : Neue Wege zu überlegenen Produkten. München : Hanser, 1995
- LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte : Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin : Springer, 2005
- LINNER, S.: Konzept einer integrierten Produktentwicklung. Berlin : Springer, 1995
- LIU, T.H.: An object-oriented assembly applications methodology for PDES/STEP based mechanical systems. Iowa City, The University of Iowa, PhD Thesis, 1992
- LIU, T.H.; FISCHER, G.W.: Assembly evaluation method for PDES/STEP-based mechanical systems. In: Journal of Design and Manufacturing 4 (1994), Nr. 1, S. 1–19
- LIU, Y.: Symmetry groups in robotic assembly planning. Amherst, University of Massachusetts, PhD Thesis, 1990
- LIU, Y.; CHEN, J.; U.A.: The production, robotics, and integration softwares for manufacturing and management (PRISM) : An overview. West Lafayette, Purdue University, School of Industrial Engineering, 2001. – Research Memorandum Nr. 2001-10
- LÖLLMANN, P.; FÄRBER, U.: Produzieren im Takt. In: Intelligenter Produzieren 4 (2007), Nr. 4, S. 8–9
- LOTTER, B.: Sicherung der Montage am Standort Deutschland : Schlussbericht zum BMBF Verbundprojekt HYMOS – Hybride Montagesysteme. Dortmund : GfAH, 1999
- LOTTER, B.; WIENDAHL, H.-P. (HRSG.): Montage in der industriellen Produktion : Ein Handbuch für die Praxis. Berlin : Springer, 2006
- MANUFUTURE (HRSG.): Work programme 2007-2008 : Cooperation Theme 4 : Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies – NMP : 2460 of 11 June 2007. Luxemburg : European Commission, 2007

- MANUFACTURE (HRSG.): Strategic research agenda : Report of the High-Level Group September 2006. Luxemburg : European Commission, 2006
- MARTIN-VEGA, L.A.; McDUFFIE, E.L.; U.A.: Using scheduling in flexible manufacturing systems. In: Engineering Applications of Artificial Intelligence 8 (1995), Nr. 8, S. 681
- MCBRIDE, D.: Lean culture : The Toyota culture of continuous improvement (2004-07-01). Online unter URL: <www.emsstrategies.com/dm070104article2.html> (2009-01-30)
- MCKINSEY & COMPANY (HRSG.): Building a better way: Winning automotive production strategies. New York : McKinsey & Company, 2008
- MCKINSEY & COMPANY (HRSG.): Reducing labor costs by managing flexibility. New York : McKinsey & Company, 2005. – Studie
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE (HRSG.): Lessons from the U.S. automotive industry. New York : McKinsey & Company, 2005. – Research report
- McMURRAY, S.: Ford's F-150: Have it your way. In: Business 2.0 6 (2004), Nr. 3, S. 53–55
- MEIBNER, S.: Die Fabrik der Zukunft. In: Industrie Trend. München : Siemens, 2008. – Sonderveröffentlichung in Zusammenarbeit mit den VDI Nachrichten
- MENDEL, M.; SCHÄFER, I.: Der "richtige Riecher" für die Produkte von morgen. In: Konstruktion 60 (2008), Nr. 5, S. 64–66
- MILES, B.L.; SWIFT, K.G.: Working together. In: Manufacturing Breakthrough 2 (1992), Nr. 2, S. 69–73
- MIYAKAWA, S.; OHASHI, T., U.A.: The Hitachi new assemblability evaluation method (AEM). In: SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS SME (HRSG.): Transactions of the North American Manufacturing Research Institution SME (9) 1981. Dearborn : SME, 1981
- MIYAKAWA, S.; OHASHI, T.: The Hitachi assemblability evaluation method (AEM). In: Proceedings of the International Conference on Product Design for Assembly (Newport 1986). Rochester : Troy Conferences, 1986
- MOLLOY, E.; YANG, H.; U.A.: Design for assembly with concurrent engineering. In: Annals of the CIRP 40 (1991), Nr. 1, S. 107–110
- NEVINS, J.L.; WHITNEY, D.E.: Programmable assembly system research and its applications. In: Machine Intelligence 10 (1982), Nr. 10, S. 249–266
- NIEMANN, J.: Eine Methodik zum dynamischen Life Cycle Controlling von Produktionssystemen. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2007
- NIIMI, A.; MATSUDAIRA, Y.: Development of a new vehicle assembly line at Toyota. In: SHIMOKAWA, H.; JÜRGENS, U.; U.A. (HRSG.): Transforming automobile assembly : Experience in automation and work organization. Berlin : Springer, 1997
- NILSSON, C.-H.; NORDAHL, H.: Making manufacturing flexibility operational : Distinctions and examples. In: Integrated Manufacturing Systems 6 (1995), Nr. 2, S. 4–10
- NOF, S.Y.; CHEN, J.: Assembly and disassembly: An overview and framework for cooperation requirement planning with conflict resolution. In: Journal of Intelligent and Robotic Systems

- 37 (2003), Nr. 3, S. 307–320
- NORM DIN 19226-1: Leittechnik : Regelungstechnik und Steuerungstechnik : Teil 1 : Allgemeine Grundbegriffe. Berlin : Beuth, 1994
- NORM DIN 69910: Wertanalyse. Berlin : Beuth, 1987
- NORM DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen : Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin : Beuth, 1985
- O'GRADY, P.; OH, J.S.: A review of approaches to design for assembly. In: Concurrent Engineering 3 (1991), Nr. 1, S. 5–11
- OH, J.S.; O'GRADY, P.; U.A.: A constraint network approach to design for assembly. In: IIE Transactions 27 (1995), Nr. 1, S. 72–80
- OHNO, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt : Campus, 1993
- PAHL, G.; BEITZ, W.: Konstruktionslehre : Methoden und Anwendungen. Berlin : Springer, 1997
- PARKER, R.P.; WIRTH, A.: Manufacturing flexibility: Measures and relationships. In: European Journal of Operational Research 118 (1999), S. 429–49
- PATHOMAREE, N.; CHARONSEANG, S.: Augmented reality for skill transfer in assembly task. In: 14. IEEE International Workshop on Robotics and Human Interactive Communication (Nashville 2005). Nashville : IEEE, 2005. S. 500–504
- PETRI, H.: Herausforderungen und Chancen für die Automobilproduktion am Standort Deutschland. TU KARLSRUHE (VERANST.): Produktion (Karlsruhe, 2004-07-24). Stuttgart : DaimlerChrysler AG, 2004. – Präsentation
- PEIFER, T.: Qualitätsmanagement. München : Hanser, 2001
- PIBERNIK, R.: Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 2001
- PICKER, C.: Prospektive Zeitbestimmung für nicht wertschöpfende Montagetätigkeiten. Dortmund, Universität, Dissertation, 2006
- PLEISSNER, U.; ELSNER, K.: Die Chancen im Entstehungsmarkt nutzen. In: Intelligenter Produzieren 4 (2007), Nr. 4, S. 26–27
- PLESCHAK, F.; SABISCH, H.: Innovationsmanagement. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1996
- POLI, R.; LANGDON, W.B.; U.A.: A field guide to genetic programming. Morrisville : Lulu.com, 2008
- RADTKE, M.: Konzept zur Gestaltung prozeß- und integrationsgerechter Produktmodelle. Kaiserslautern, Universität, Dissertation, 1995
- RAJAN, V.N.; NOF, S.Y.: Computation, AI, and multiagent techniques for planning robotic operations. In: NOF, S.Y. (HRSG.): Handbook of Industrial Robotics. New York : Wiley & Sons, 1999
- RECHENBERG, I.: Evolutionsstrategie '94. Stuttgart : Frommann-Holzboog, 1994
- REEVES, C.: Modern heuristics techniques for combinatorial problems. New York : McGraw-Hill, 1995
- REFA (HRSG.): Arbeitsgestaltung in der Produktion. München : Hanser, 1991a
- REFA (HRSG.): Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums. München : Hanser, 1993

- REFA (HRSG.): Methodenlehre der Betriebsorganisation : Planung und Steuerung : Teil 1. München : Hanser, 1991b
- REICHWALD, R.; PILLER F.T.: Von Massenproduktion zu Co-Produktion: Kunden als Wertschöpfungsfaktor. In: Wirtschaftsinformatik 45 (2003), Nr. 5, S. 515–519
- REISCHL, C.: Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase. München, TU, Dissertation, 2001
- RICHTLINIE VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin : Beuth, 1993
- RICHTLINIE VDI 2222-1: Konstruktionsmethodik : Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien : Blatt 1. Berlin : Beuth, 1996
- RICHTLINIE VDI 2222-2: Konstruktionsmethodik : Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen : Blatt 2. Berlin : Beuth, 1982
- RICHTLINIE VDI 4499: Digitale Fabrik : Grundlagen : Handlungsempfehlungen und Entscheidungshilfen. Berlin : Beuth, 2006
- ROLLER, L.H.; TOMBAC, M.M.: Competition and investment in flexible technologies. In: Management Science 39 (1993), Nr. 1, S. 107–114
- ROSARIO, L.M.: Automatic geometric part features calculation for design for assembly analysis. Kingston, University of Rhode Island, PhD Thesis, 1988
- ROSCHER, J.: Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2008
- ROSENKRANZ, F.: Geschäftsprozesse : Modell- und computergestützte Planung. Berlin : Springer, 2006
- RÖSLER, F.: Target Costing für die Automobilindustrie. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 1996
- ROSS, P.: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung. München : Herbert Utz, 2002
- RUDOLF, H.: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. München, Universität, Dissertation, 2006
- RUNDE, C.: Konzeption und Einführung von Virtueller Realität als Komponente der Digitalen Fabrik in Industrieunternehmen. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2007
- SAASKI, J.; SALONEN, T.; U.A.: Augmented reality based technologies for supporting assembly work. In: Proceedings of 6. Eurosim Congress on Modelling and Simulation (Ljubljana 2007). Bd. 2. Wien : Argesim, 2007
- SAASKI, J.; SALONEN, T.; U.A.: Micro-assembly technologies and applications. In: IFIP International Federation for Information Processing 260 (2008), Nr. 260, S. 395–404
- SACKETT, P.J.; HOLBROOK, A.F.: DFA as a primary process decreases design deficiencies. In: Assembly Automation 8 (1988), Nr. 3, S.137–140

- SACKMANN, S.A.: Toyota Motor Corporation : Eine Fallstudie aus unternehmenskultureller Perspektive. Gütersloh : Bertelsmann Stiftung, 2005
- SALWICZEK, P.: Rechnerunterstützte Planung und Gestaltung manueller Arbeitsmethoden auf der Basis eines Systems vorbestimmter Zeiten. Dortmund, Universität, Dissertation, 1982
- SAUER, O.: Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004), Nr. 1, S. 31–34
- SCHAK, R.: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik. München : Herbert Utz, 2008
- SCHAUERHUBER, M.: Produktionswirtschaftliche Flexibilität : Eine Konstruktion pekuniärer, kontextbezogener und interagierender Flexibilitätsmaße. Wien : Service-Fachverlag, 1998
- SCHILD, U.: Lebenszyklusrechnung und lebenszyklusbezogenes Zielkostenmanagement. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 2005
- SCHLOSKE, A.: Qualitätsmanagement. Stuttgart, Universität, Vorlesungsskript, 2004
- SCHMIDT, P.; SCHUH, G.; U.A.: Erfolgreich fertigen in harten Zeiten. In: Automobil-Produktion 19 (2005), Nr. 5, S. 72–74
- SCHMIDT, R.: Marktorientierte Konzeptfindung für langlebige Gebrauchsgüter : Messung und QFD gestützte Umsetzung von Kundenanforderungen und Kundenurteilen. Wiesbaden : Dt. Universitäts Verlag, 1996
- SCHMIDT, S.: Preventive optimization of costs and quality for the total life cycle – design for manufacture, assembly, service, environment (DFMA). In: SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE) (HRSG.): Total Life Cycle Conference Proceedings (Graz 1998). Warrendale : SAE, 1998. S. 49–56
- SCHMIDT, S.: Produkte im Team entwickeln – Mängel bereits in der Konzeptions- und Konstruktionsphase beheben – Die DFMA-Methode. In: Qz 42 (1997), Nr. 10, S. 1142–1144
- SCHNEEWEIF, C.: Planung. Bd. 2 : Konzepte der Prozess- und Modellgestaltung. Berlin : Springer, 1992
- SCHNEIDER, D.: Lernkurven und ihre Bedeutung für Produktionsplanung und Kostentheorie. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 17 (1965), Nr. 6, S. 501–515
- SCHUBERT, L.: Permanente Verbesserung in der Fertigung. In: Digital Engineering Magazin 10 (2007), Nr. 2, S. 62–63
- SEKIMOTO, K.: A method of value assessment combining Quality Deployment with Function Deployment. In: SAVE (HRSG.): SAVE Annual 1993 Proceedings. Dayton : SAVE, 1993
- SENGOTTA, M.: Einführung eines Produktionssystems. In: Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering FB/IE 51 (2002), Nr. 6, S. 256–260
- SESTERHENN, L.: Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Aachen, RWTH, Dissertation, 2002
- SETHI, A.K.; SETHI, S.P.: Flexibility in manufacturing: A survey. In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems 2 (1990), Nr. 4, S. 289–328

- SHEWCHUCK, J.P., MOODIE, C.L.: Definition and classification of manufacturing flexibility types and measures. In: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 10 (1998), Nr. 4, S. 325–349
- SINGH, K.: A comparison of two recent polynomial algorithms for linear programming. In: Mathematics and Computer Education 31 (1997), Nr. 2, S. 167–175
- SODER, J.: Mit Konsequenz zur Exzellenz. In: Intelligenter Produzieren 4 (2007), Nr. 4, S. 5–7
- SPATH, D. (HRSG.): Ganzheitlich produzieren : Innovative Organisation und Führung. Stuttgart : LOG_X, 2003
- SPEAR, S.-J.; BOWEN, H.K.: Decoding the DNA of the Toyota Production System. In: Harvard Business Review 77 (1999), Nr. 5, S. 97–106
- STAHLKNECHT, P.; HASENKAMP, U.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Berlin : Springer, 2005
- STEFFENHAGEN, H.: Marketing : Eine Einführung. Stuttgart : Kohlhammer, 2004
- STIPPEL, N.; REICHMANN, T.: Target Costing und Wertanalyse : Konkurrierende oder sich ergänzende Instrumente für die marktorientierte Gestaltung neuer Produkte?. In: Controlling 10 (1998), Nr. 2, S. 98–105
- STOBAUGH, R.B.; TOWNSEND, P.L.: Price forecasting and strategic planning : The case of petrochemicals. In: Journal of Marketing Research 12 (1975), Nr. 2, S. 19–29
- STÖBER, R.: Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen. Aachen : Shaker, 1999
- STURGES, R.H.; KILANI, M.I.: Towards an integrated design for an assembly evaluation and reasoning system. In: Computer-Aided Design 24 (1992), Nr. 2, S. 67–79
- SWIFT, K.G.: Design for assembly handbook. Salford : University Industrial Centre, 1981
- SWIFT, K.G.: Knowledge-based design for manufacturing. London : Kogan Page, 1987
- TAKEDA, H.: Das synchrone Produktionssystem : Just-In-Time für das gesamte Unternehmen. Landsberg : mi-Fachverlag, 2006
- TIMM, I.: Einführung in die Methoden der Künstlichen Intelligenz : Informierte Suche. Universität, Frankfurt a.M., Vorlesungsskript, 2007
- TOYOTA (HRSG.): Jahresbericht 2006. Toyota : Toyota Motor Corporation, 2006
- TRENDER, L.: Entwicklungintegrierte Kalkulation von Produktlebenszykluskosten auf Basis der ressourcenorientierten Prozeßkostenrechnung. Karlsruhe, Universität, Dissertation, 2000
- ULE, M.: Toyota's Entwicklung : Vortrag (Stuttgart 2004-01-20). Stuttgart : DaimlerChrysler AG, 2004. – Präsentation
- UPTON, D.M.: A flexible structure for computer-controlled manufacturing systems. In: Manufacturing Review 5 (1992), Nr. 1, S. 58–74
- VAGHEFI, M.R.: Creating sustainable competitive advantage : The Toyota philosophy and its effects. In: FT Mastering Management Online 7 (2001), Nr. 7. Online unter URL: <<http://sysdoc.doors.ch/toyota/toyotaphilosophy.pdf>> (2009-01-30)

- VAN MIEGHEM, J.: Investment strategies for flexible resources. In: Management Science 44 (1998), Nr. 8, S. 1071–1078
- VDA (HRSG.): Jahresbericht 2006. Frankfurt : Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), 2006
- WARNECKE, H.-J.: Die Produktion als Regelkreis. In: Automatisierungstechnische Praxis atp 31 (1989), Nr. 3, S.110–115
- WARNECKE, H.J.; BASSLER, R.: Design for assembly - Part of the design process. In: Annals of the CIRP 37 (1988), Nr. 1, S. 1–4
- WARNECKE, H.J.; NOF, S.Y.; U.A.: Industrial assembly. London : Chapman & Hall, 1997
- Warnecke, H.J.; Schweizer, M.; u.a.: Chapter 19 : Assembly. In: SALVENDY, G. (HRSG.): Handbook of industrial engineering. New York : Wiley & Sons, 1992
- WEBER, H.; WEGGE, M.: Potentiale und Restriktionen von Produktionskonzepten für die Nutzfahrzeugproduktion im Vergleich zur PKW-Produktion. In: IFAA (HRSG.): Ganzheitliche Produktionssysteme : Gestaltungsprinzipien und deren Verknüpfung. Köln : Wirtschaftsverlag Bachem, 2002. S. 144–156
- WEIB, M.: Wertorientiertes Kostenmanagement zur Integration von wertorientierter Unternehmensführung und strategischem Kostenmanagement. Köln, Universität, Dissertation, 2006
- WEMHÖNER, N.: Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Aachen, RWTH, Dissertation, 2005
- WERNER, M.: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen. München, TU, Dissertation, 2001
- WESTKÄMPER, E.: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. Stuttgart : Universität Stuttgart, 2006g. – Abschlussbericht des Sonderforschungsbereichs 467
- WESTKÄMPER, E.: Das Stuttgarter Unternehmensmodell : Ansatzpunkte für eine Neuorientierung des Industrial Engineering. In: REFA (HRSG.): Bodensee-Forum : Ratiodesign : Wertschöpfung – Gestalten, planen und steuern (Friedrichshafen 2004). Mannheim : REFA, 2004. S. 6–18
- WESTKÄMPER, E.: Die Planung wieder stärken. In: Automobil-Produktion 20 (2006d), Nr. 4, S. 44–45
- WESTKÄMPER, E.: Digital manufacturing in the global era. In: CUNHA, P.F. (HRSG.): Proceedings of 3. CIRP Sponsored Conference on Digital Enterprise Technology (Setubal 2006). Setubal : CIRP, 2006a
- WESTKÄMPER, E.: Editorial. In: Intelligenter Produzieren 4 (2007b), Nr. 4, S. 3
- WESTKÄMPER, E.: Einführung in die Organisation der Produktion : Strategien der Produktion. Berlin : Springer, 2006c
- WESTKÄMPER, E.: Fabrik wie im Warenhaus. In: Automobil-Produktion 20 (2006e), Nr. 8, S. 60
- WESTKÄMPER, E.: Management der Produktion im turbulenten Umfeld. In: FH OÖ CAMPUS STEYER (VERANST.): Fachtagung Steyrer Forum Produktion und Management (Steyr 2007). Steyr : FH Oberösterreich, 2007a. – Präsentation

- WESTKÄMPER, E.: Management der Produktion im turbulenten Umfeld. In: PPS Management 12 (2007c), Nr. 2, S. 70–72
- WESTKÄMPER, E.: Manufuture 2006 Conference : Workshop D : Road to implementation. Tampere : Fraunhofer Alliance Production, 2006f. – Präsentation
- WESTKÄMPER, E.: Manufuture RTD Road Maps : From vision to implement. Aachen : Fraunhofer Alliance Production, 2006b. – Präsentation
- WESTKÄMPER, E.: Wandlungsfähige Organisation und Fertigung in dynamischen Umfeldern. In: BULLINGER, H.-J.; WARNECKE, H.-J.; U.A. (HRSG.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Berlin : Springer, 2003
- WESTKÄMPER, E.; KIRCHNER, S.; U.A.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen: Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. In: wt Werkstattstechnik 93 (2003), Nr. 4, S. 254–260
- WESTKÄMPER, E.; ROSCHER, J.: Bewertung flexibler Endmontagesysteme für die Automobilindustrie durch Simulation des Realbetriebs. In: wt Werkstattstechnik 95 (2005), Nr. 4, S. 181–185
- WESTKÄMPER, E.; WARNECKE, H.-J.: Einführung in die Fertigungstechnik. Wiesbaden : Teubner, 2006
- WESTKÄMPER, E.; ZAHN, E.; U.A.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen: Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. In: wt Werkstattstechnik 90 (2000), Nr. 1, S. 22–26
- WILDEMANN, H.: Produktionssysteme : Leitfaden zur methodengestützten Reorganisation der Produktion. München: TCW, 2004
- WILDEMANN, H.: Produktklinik : Wertgestaltung von Produkten und Prozessen. München : TCW, 1999
- WILK, C.; KIEFER, T.: Kampf der Systeme: deutsch in Sachen "Lean" besser als die Japaner?. In: Produktion 47 (2008), Nr. 20, S. 1–2
- WITTENSTEIN, A.-K.: Bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit in der kundenspezifischen Produktentwicklung. Stuttgart, Universität, Dissertation, 2007
- WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; U.A.: The machine that changed the world. New York : Rawson, 1990
- WRIGHT, T.P.: Factors affecting the cost of airplanes. In: Journal of the Aeronautical Sciences 3 (1936), Nr. 2, S. 122–128
- XIE, X.: Design for Manufacture and Assembly. Salt Lake City, University of Utah, Department of Mechanical Engineering, 2003. – Paper
- ZHA, X. F.; LIM, S.Y.E.; U.A.: Development of an expert system for concurrent product design and planning for assembly. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 15 (1999), Nr. 3, S. 153–162
- ZHA, X. F.; LIM, S.Y.E.; U.A.: Integrated intelligent design and assembly planning: A survey. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 14 (1998), Nr. 9, S. 664–685