



Henning Jander

Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage



Audi-Dissertationsreihe, Band 64





Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage

von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz

genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
Dr.-Ing.

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Henning Patrick Jander
geboren am 30. Juni 1978 in Freiburg im Breisgau

Eingereicht am 22. Februar 2012

Gutachter:
Frau Prof. Dr. Dr. Birgit Spanner-Ulmer
Herr Prof. Dr. Martin Schmauder

Chemnitz, den 22. Februar 2012



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

Zugl.: (TU) Chemnitz, Univ., Diss., 2012

978-3-95404-161-9

D93

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-161-9



Jander, Henning

Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Chemnitz, Erfenschlager Straße 73.

Seitenzahl:	203
Anzahl der Abbildungen:	60
Anzahl der Tabellen:	9
Anzahl der Literaturzitate:	113

Referat

Die Automobilindustrie produziert heute unterschiedliche Fahrzeugvarianten auf ein und demselben Montageband. Eine Konsequenz dieser Organisationsform ist die sogenannte Zeitspreizung. Dieser Begriff bezeichnet einen Effekt, der durch die unterschiedlichen Montagezeiten und die unterschiedlichen Montageprozesse der herzustellenden Varianten an einem Arbeitsplatz im Montageband entsteht. Dabei ist die Zeitspreizung mit Effizienz- und Auslastungsproblemen verbunden. Die gezielte Produktgestaltung bietet ein großes Potential zur Reduzierung der Zeitspreizung. Um diesen Ansatz systematisch im Rahmen der Produktentwicklung nutzen zu können, wird die Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage (kurz: „Methode proZederA“) entwickelt. Diese ermöglicht die Bewertung der Zeitspreizung durch die Berechnung einer Kennzahl, welche die wesentlichen Einflussgrößen vereint. Außerdem enthält die Methode Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung von Varianten. Damit die neu entwickelte Methode Eingang in den bestehenden Produktentstehungsprozess findet, wurde ein entsprechender Referenzprozess entwickelt. Abschließend wurde eine Einführungsstrategie beschrieben, die es erlaubt, die neu entwickelte Methode innerhalb eines Jahres in der bestehenden Organisation zu verankern.

Schlagworte

Zeitspreizung, Variantengestaltung, Variantenmanagement, Variantenfließfertigung, Montagegerechte Produktgestaltung, Produktentstehungsprozess, Design for Assembly





für Irina





Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit bei der AUDI AG im Rahmen eines berufsbegleitenden Promotionsverfahrens an der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, Professur Arbeitswissenschaft. Die mündliche Prüfung fand am 28. Juni 2012 statt.

Mein besonderer Dank gilt der Erstgutachterin und Betreuerin der Arbeit Frau Prof. Dr. Dr. Birgit Spanner-Ulmer. Ihr bin ich für die Bereitschaft, mich als externen Doktoranden anzunehmen, sehr zu Dank verpflichtet, wohl wissend, dass ihre Zeit als Leiterin einer großen Professur, als Vizepräsidentin der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft und durch etliche weitere Verpflichtungen sehr begrenzt ist. Dennoch war immer Raum zum Gedankenaustausch, für viele gute Anregungen und für die notwendige Dosis an Motivation. Vielen Dank dafür!

Herrn Prof. Dr. Martin Schmauder danke ich sehr für sein Interesse an dem von mir gewählten Thema sowie für die nicht selbstverständliche Bereitschaft zur Übernahme des Zweitgutachtens.

Großen Dank schulde ich ferner vielen Mitarbeitern der AUDI AG, die mit ihrem Engagement wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Namentlich bedanken möchte ich mich bei meinen Vorgesetzten, die mir die nötigen Freiräume eingeräumt haben, um dieses Vorhaben zu verwirklichen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Karl Unger, der diese Arbeit ermöglicht hat und die dazu nötigen Rahmenbedingungen schuf. Ferner möchte ich sehr Herrn Dr. Thomas Bogus danken, der das Konzept der Dissertation wesentlich geprägt hat und mich stets mit sachkundigem Rat und der Bereitschaft zur Diskussion unterstützte. Eben solcher Dank gilt Herrn Dr. Markus Becker, der viel Zeit und Leidenschaft in das Thema investiert hat und dessen Weitsicht und Erfahrung mir stets eine große Hilfe waren. Den Herren Dipl.-Wirtsch.-Ing. Steffen Potrafke und Dipl.-Ing. Nikolaus Despotov danke ich dafür, dass sie mir die Möglichkeit einer berufsbegleitenden Promotion aufgezeigt haben und mich motivierten, diese Herausforderung anzunehmen. Ferner bedanke ich mich bei allen meinen Kollegen aus dem zentralen Industrial Engineering, die mit einem sehr positiven Betriebsklima zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie. Meiner Tante Frau Prof. Dr. Elke Kleinau danke ich sehr herzlich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Meinen Eltern sei für die Ermöglichung einer guten akademischen Ausbildung und ihrer stets verlässlichen Unterstützung dabei gedankt. Meiner Ehefrau Dipl. Kauffrau Irina



Jander danke ich sehr für den Verzicht auf viel gemeinsame Freizeit, für etliche clevere Einfälle, die Eingang in diese Dissertation gefunden haben, und für die unermesslich wertvolle Anteilnahme und Motivation während des gesamten Promotionsverfahrens. Ihr ist diese Arbeit gewidmet.

Ingolstadt, im Juli 2012

Henning Jander



Abstract

Since the days of Henry Ford, the number of manufactured variants per product has risen immensely. Every manufacturer of large-batch goods is forced to adapt his products to a certain extent to his customers' needs, which is known as mass customization. Especially the automotive industry has to produce more and more versions of their vehicles to meet the market's demand. One consequence of the increased number of variants per product is the time expanding effect.

This effect can be defined as follows: "The time expanding effect is a result of the correlation between the number of variants, the variant's assembly rates and the difference in the product based assembly time of the variants. It is related to balance loss inefficiency, reduced productivity and quality problems."

As the time expanding effect is not a new problem, many strategies to address it have been developed. But even though there are a number of viable approaches, they all share a common denominator as they focus on process design. In contrast to that, product design is a good, but uncommon strategy to master the time expanding effect. But there have been no methods supporting a systematic and consistent consideration during the product development process. Now such a method is available: the "Method proZederA". It works as follows:

To assess the time expanding effect, "Method proZederA" merges the following three important parameters into one classification number:

- The number of variants per component.
- The variants' assembly rates.
- The difference in the product based assembly time of the variants.

The first two parameters are easy to pinpoint: the number of variants can be counted and the assembly rates are given by the production program. Assessing the difference in the assembly time in a simple and quick way, however, is a more complex problem. To solve it, an evaluation sheet has been developed. This sheet indicates the factors causing the difference in the product based assembly time and their dimensions.

After having calculated the classification number, "Method proZederA" provides an absolute scale showing a favorable variant design and indicating whether an optimization of a given design is necessary: If a variant design exceeds a certain limit, guidelines support the method user in optimizing it: a collection of rules and suggestions allow for easy redesigning.



Finally, a master process has been developed, helping to implement “Method proZederA” within the product development process on a permanent and sustainable basis. Moreover, a rollout strategy describes how to integrate the new method into an existing organization within one year.

“Method proZederA” has been tested on different real car components, proving its accuracy and applicability. It will make a valuable contribution to master the time expending effect, saving costs and efforts by addressing the effect already during the product development process. Variant design optimized by “Method proZederA” will be of increased efficiency, provide more stable processes and lead to higher productivity on the assembly lines.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	VII
Abstract.....	IX
Inhaltsverzeichnis.....	XI
Abbildungsverzeichnis.....	XIII
Tabellenverzeichnis.....	XVII
Kurzzeichenverzeichnis.....	XIX
1 Ausgangssituation und Zielsetzung.....	1
1.1 Die Ursachen für Varianz im Automobilmarkt.....	2
1.1.1 Individualisierung.....	2
1.1.2 Internationale Konkurrenz.....	3
1.1.3 Nationale Marktbesonderheiten.....	4
1.2 Auswirkungen der Varianz auf die Automobilherstellung.....	4
1.2.1 Variantenumfang im Automobilbau.....	5
1.2.2 Folgen der Varianz für das Unternehmen.....	6
1.3 Situation in den Entwicklungsabteilungen.....	9
1.4 Zielsetzung und Vorgehen bei der Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung.....	13
2 Grundlagen der Zeitspreizung.....	17
2.1 Grundbegriffe zur Erläuterung der Zeitspreizung.....	17
2.1.1 Bestimmung der Begriffe Variante und Derivat.....	17
2.1.2 Bestimmung des Begriffs der Variantenfließfertigung.....	18
2.1.3 Bestimmung des Begriffs der Fließbandabstimmung.....	19
2.2 Stand der Wissenschaft im Hinblick auf die Zeitspreizung.....	22
2.2.1 Eigenschaften der Zeitspreizung.....	25
2.2.2 Auswirkungen der Zeitspreizung auf die Montage.....	27
2.3 Definition des Begriffs der Zeitspreizung.....	30
2.4 Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung.....	35
2.5 Bewertung der Maßnahmen und Ableitung des Handlungsfeldes.....	44
2.6 Abgleich der theoretischen Erkenntnisse mit der industriellen Praxis bei der AUDI AG.....	51
3 Montagegerechte Produktgestaltung – Stand der Technik.....	53
3.1 Bekannte Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung.....	55
3.2 Quantitative nicht-monetäre Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung.....	58
3.3 Vergleich der quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung.....	77
4 Entwicklung der „Methode proZederA“.....	83
4.1 Definition der Anforderungen an die „Methode proZederA“.....	83



4.2 Aufbau der „Methode proZederA“	86
4.2.1 Entwicklung eines Bewertungsbogens zur Bestimmung der produktbasierten Montagezeitdifferenz	86
4.2.1.1 Datenerhebung	87
4.2.1.2 Qualitative Bestimmung der Einflussfaktoren	88
4.2.1.3 Quantitative Bestimmung der Einflussfaktoren	92
4.2.2 Entwicklung der Kennzahl zur Bewertung der produktbasierten Zeitspreizung	99
4.2.3 Ableitung von Grenzwerten zur Bewertung der produktbasierten Zeitspreizung	101
4.2.4 Aufstellung von Regeln zur Verbesserung der Variantengestaltung	103
5 Validierung der „Methode proZederA“	107
5.1 Evaluierung des Bewertungsbogens	107
5.2 Evaluierung der Formel zur Berechnung der Kennzahl	109
5.2.1 Veränderung der Einflussgröße „Variantenanzahl“	110
5.2.2 Veränderung der Einflussgröße „produktbasierte Montagezeitdifferenz“	111
5.2.3 Veränderung der Einflussgröße „Verbaurate“	112
5.3 Anwendung der „Methode proZederA“ auf ein Praxisbeispiel	113
5.4 Stärken und Schwächen der „Methode proZederA“	118
6 Verankerung der Methode im Produktentstehungsprozess	123
6.1 Der Produktentstehungsprozess	123
6.1.1 Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren	125
6.1.2 Simultaneous Engineering	126
6.2 Referenzprozess zur Methodenanwendung	128
6.3 Entwicklung einer Strategie zur Einführung der „Methode proZederA“	131
7 Zusammenfassung und Ausblick	137
7.1 Zusammenfassung	137
7.2 Ausblick	141
Literaturverzeichnis	145
Anlagenverzeichnis	155
Lebenslauf	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitspreizung in der Montage	2
Abbildung 2: Variantenanstieg beim Modellwechsel Audi A6 (C5 zu C6).....	6
Abbildung 3: Kostenvergleich zwischen einer Einprodukt- und einer Variantenproduktion.....	7
Abbildung 4: Folgen der Varianz in den Geschäftsbereichen produzierender Unternehmen	8
Abbildung 5: Unterschiedliche Anforderungen an den Konstrukteur	10
Abbildung 6: Verlauf von Abstimmungsbedarf und –potential bei unterschiedlichem Methodeneinsatz.....	12
Abbildung 7: Vorgehensweise zur Entwicklung der „Methode proZederA“	14
Abbildung 8: Übersicht über die unterschiedlichen Organisationsformen der Montage	19
Abbildung 9: Arbeitsoperationen und Vorranggraph als Grundlage zur Fließbandabstimmung	21
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Bearbeitungszeit und Taktzeit.....	26
Abbildung 11: Ein Beispiel für Zeitspreizung im Bewegungsdiagramm.....	29
Abbildung 12: Analyse-Synthese-Modell nach REFA	32
Abbildung 13: Gliederung der Durchlaufzeit nach REFA.....	34
Abbildung 14: Berechnung der Montagezeitdifferenz mittels der Zeitarten der REFA	35
Abbildung 15: Optimierte Materialbereitstellung am Montageband	39
Abbildung 16: Beispiel einer Arbeitsgangverschiebung im Taktzeitdiagramm	41
Abbildung 17: Vormontage zum Ausgleich von über- und untertakteten Arbeitsstationen	42
Abbildung 18: Mehrfache (hier: doppelte) Bereitstellung von Betriebsmitteln	43
Abbildung 19: Portfoliodarstellung zur Lösungsqualität im Hinblick auf Aufwand und Wirkung	50
Abbildung 20: Dilemma der Produktentwicklung im Hinblick auf die Produktkosten.....	54
Abbildung 21: Übersicht über die untersuchten quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren.....	59
Abbildung 22: Beispiel Assemblability Evaluation Method (AEM)	60
Abbildung 23: Design for Assembly (DFA), angewendet auf das Beispiel „Antriebseinheit“	61
Abbildung 24: Beispiel Lucas DFA Evaluation Method.....	64
Abbildung 25: Überblick über die Methode nach Bäßler	66
Abbildung 26: Überblick über die Methode nach Gairola	67
Abbildung 27: Überblick über die Methode nach Kettner	69



Abbildung 28: Arbeitsblatt Spies-Verfahren zur Modularisierung	70
Abbildung 29: Modular Function Deployment (MFD), angewendet auf das Beispiel „Staubsauger“	71
Abbildung 30: Beispiel zur Anwendung von ProKon	73
Abbildung 31: Überblick Variant Mode and Effects Analysis (VMEA).....	74
Abbildung 32: Beispiel „Fügefunktion“ der WZL-Produktstrukturierung.....	76
Abbildung 33: Darstellung des „einfachen Systems“ zum Methodenvergleich	77
Abbildung 34: Differenzierung unterschiedlicher Kennzahlenarten	81
Abbildung 35: Erstellung des Lastenheftes für die neue „Methode proZederA“	84
Abbildung 36: Zeitliche Betrachtung der zwei Varianten der Frontklappenauskleidung	89
Abbildung 37: Zwölf identifizierte Einflussfaktoren für die produktbasierte Montagezeitdifferenz.....	90
Abbildung 38: Betrachtete Zeiteile am Beispiel der Frontklappenauskleidung	91
Abbildung 39: Ausschnitt MTM-Datenkarte "Schraubarbeiten"	93
Abbildung 40: Auswertung der Untersuchungen für den Standardvorgang "Clipsen"	95
Abbildung 41: Bestimmung von Ersatzwerten bei nicht vorhandenen Standardvorgängen	96
Abbildung 42: Bewertungsbogen zur Abschätzung der produktbasierten Montagezeitdifferenz.....	98
Abbildung 43: Formel zur Berechnung der Kennzahl	100
Abbildung 44: Beispiel zur Festlegung des Grenzwertes der „Methode proZederA“	102
Abbildung 45: Berechnete Grenzwertklassen in Abhängigkeit der Taktzeit	103
Abbildung 46: Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung	104
Abbildung 47: Bewertungsbeispiel „Frontklappenauskleidung“	108
Abbildung 48: Betrachtung des Kennzahlenverlaufs bei veränderter Variantenanzahl	110
Abbildung 49: Betrachtung des Kennzahlenverlaufs bei veränderter produktbasierter Montagezeitdifferenz.....	111
Abbildung 50: Betrachtung des Kennzahlenverlaufs bei veränderter Verbaurate ...	112
Abbildung 51: Evaluierung der Methode am Beispiel des Klimabedienteils Audi A3	114
Abbildung 52: Abschätzung der produktbasierten Montagezeitdifferenz mit dem Bewertungsbogen	115
Abbildung 53: Kennzahlberechnung für das Beispiel „Klimabedienteil Audi A3“	116
Abbildung 54: Erneute Kennzahlberechnung für das Beispiel „Klimabedienteil Audi A3“	117
Abbildung 55: Stärken-Schwächen-Profil	118



Abbildung 56: Der Produktentstehungsprozess	124
Abbildung 57: Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren	126
Abbildung 58: Referenzprozess zum Einsatz der neuen Methode	129
Abbildung 59: Strategie zur Einführung der „Methode proZederA“	131
Abbildung 60: „Hirngerechte Dokumente“	133





Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnis der Literaturrecherche zum Begriff der Zeitspreizung.....	24
Tabelle 2: Einfaches Beispiel zur Darstellung variierender Bearbeitungszeiten	26
Tabelle 3: Übersicht über die Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung	36
Tabelle 4: Untersuchung zur Bewertung der Maßnahmen im Hinblick auf Aufwand und Wirkung	45
Tabelle 5: Ausprägungsmatrix zur Quantifizierung der Bewertungskriterien	48
Tabelle 6: Übersicht über die in der Literatur diskutierten Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung	57
Tabelle 7: Bewertungstabelle Design-For-Assembly Evaluation	63
Tabelle 8: Vergleich der quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren entlang des „einfachen Systems“	79
Tabelle 9: Vorgehen zur Erstellung des Bewertungsbogens am Beispiel des Faktors „Clipsen“	97





Kurzzeichenverzeichnis

3P	Production + Preparation + Planning
AEM	Assemblability Evaluation Method
A _P	Produktkennzahl
A _S	Stationskennzahl
A _V	Vorgangskennzahl
AFS	Assembly Sequence Flowchart
bzgl.	bezüglich
c	Taktzeit (Cycle Time)
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CIM	Computer-integrated Manufacturing
DFA	Design for Assembly
DIN	Deutsche Industrienorm
E	Endpunkt
et al.	et alii (und andere)
ff.	folgende
G _{BG}	Montagegerechtheit
h _{Max}	höchste Verbraurate
h _i	relative Verbraurate
kg	Kilogramm
konst.	konstant
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KZ	Gesamtkennzahl
LBI	Line Balancing Index
MFD	Modular Function Deployment
Min.	Minute
MTM	Methods Time Measurement
OEM	Original Equipment Manufacturer
PC	Personal Computer
ProKon	produktionsgerechte Konstruktion
PS	Pferdestärken
S	Startpunkt
SE	Simultaneous Engineering
sog.	sogenannt
Σ	Summe
T _D	Durchlaufzeit
t _{dS}	Durchführungszeit



t_i	produktbasierte Montagezeit
t_{hS}	Hauptdurchführungszeit
t_{nS}	Nebendurchführungszeit
t_{pS}	Planmäßige Durchlaufzeit
t_{zuS}	Zusatzzeit
t_{zwS}	Zwischenzeit
t_x	Zeit der mittleren Variante
TKZ	Teilkennzahl
TMU	Time Measurement Unit (1 TMU = 0,0006 Min.)
UAS	Universelles Analysier-System
u. a.	unter anderem
Var.	Variante
VDI	Verband deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis
W_h	Handhabungseignung
W_f	Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs
z. B.	zum Beispiel
zit. nach	zitiert nach



1 Ausgangssituation und Zielsetzung

„You can have any colour as long as it is black“ (zit. nach: Bürger, 1997, S. 3). Dieses Zitat von Henry Ford zeigt die nichtvorhandene Bedeutung von Varianz zu Beginn der industriellen Automobilproduktion. Anfang des 20. Jahrhunderts war Henry Ford der Auffassung, dass keine Fabrik groß genug sei, um mehr als ein Produkt darin herzustellen (zit. nach: Gottl-Ottlilienfeld, 1924, S. 20). In den damaligen Montagehallen bei FORD lief entsprechend immer das exakt selbe Fahrzeug vom Band.

In der heutigen Zeit sehen sich hingegen nahezu alle Produzenten von Großserien-
gütern der Forderung ihrer Kunden gegenübergestellt, die von ihnen hergestellten
Produkte auf den einzelnen Kunden anzupassen: die Käufer verlangen nach indivi-
dualisierten Produkten. Dazu müssen in mehr oder weniger großem Umfang Varian-
ten gebildet werden. In besonderem Maße trifft dieses für die Automobilhersteller zu,
die ihren Kunden die Möglichkeit bieten wollen, ihr Fahrzeug vollständig individuell
zusammenzustellen (Wiendahl, Gerst, Keunecke, 2004, S. 5). Diese Beobachtung
soll am Beispiel der AUDI AG verdeutlicht werden, bei der die vorliegende Arbeit ent-
standen ist: In den 1970er Jahren wurden von Audi lediglich die zwei Modellreihen
Audi 80 und Audi 100 produziert. Heute hingegen stellt Audi zwölf Modellreihen her,
die mehr als dreißig verschiedene Derivate (vgl. Kapitel 2.1.1) umfassen und vom
Kleinwagen A1 bis zur Staatslimousine A8 L reichen (Audi, 2011).

An die moderne Automobilproduktion wird dabei der Anspruch gestellt, diesen Vari-
antenreichtum zu Kosten zu produzieren, die vergleichbar zur Massengutherstellung
sind. In der Literatur wird diese Art der variantenreichen Großserienproduktion als
„Mass Customization“ bezeichnet (Meifert, 2008, S. 458 und Syska, 2006). Ein Hin-
dernis bei der Erfüllung dieses Anspruchs ist die sog. „Zeitspreizung“. Abbildung 1
zeigt zur Erläuterung des Begriffs ein typische Beispiel: An einer Arbeitsstation in-
nerhalb des Fließbandes werden unterschiedliche Varianten montiert. Je nach Vari-
ante unterscheidet sich die Montageaufgabe im Hinblick auf den Prozessablauf und
die Montagezeit, so dass der Werker seine am linken Rand der Arbeitsstation (in der
Abbildung markiert durch ein grünes „S“) begonnene Tätigkeit zwischen den End-
punkten t_1 und t_2 beendet. Diese, durch die Varianten bedingte, uneinheitliche Ar-
beitsausführung und damit differierende Montagezeiten hat für das Produktionsun-
ternehmen ungünstige Auswirkungen: Es entstehen Effizienz- und Auslastungspro-
bleme. Aber auch aus Mitarbeitersicht ist die Zeitspreizung negativ besetzt, kann die-
se doch durch die ungleichmäßigen Montageprozesse zu Stress und Fehlern führen.

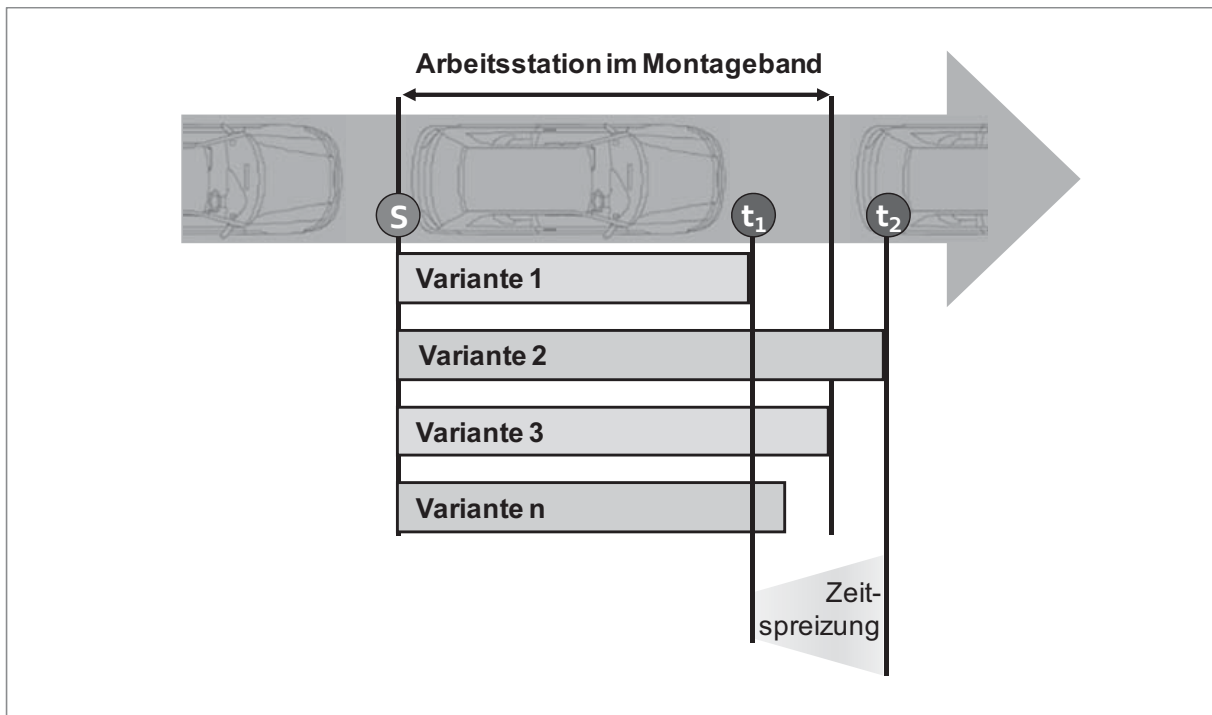


Abbildung 1: Zeitspreizung in der Montage
(Quelle: eigene Darstellung)

Zur Beherrschung der Zeitspreizung sind deshalb eine Reihe von Strategien und Methoden entstanden, um eine wirtschaftliche Automobilproduktion ermöglichen zu können (z. B. Mollemer, 1997). Viele dieser Lösungsansätze zielen dabei auf eine spezielle Gestaltung des Montagesystems durch die Planungs- und Produktionsabteilungen. Allerdings bietet bereits der Entwicklungsprozess gute Möglichkeiten, um die Zeitspreizung durch gezielte Produktgestaltung zu reduzieren.

1.1 Die Ursachen für Varianz im Automobilmarkt

Eine Reihe von unterschiedlichen Entwicklungen hat dazu geführt, dass die heutige Automobilindustrie in großem Maße Varianten produziert. Als wesentliche Ursachen können nach Ponn und Lindemann (2008, S. 229) die folgenden Faktoren identifiziert werden, die im weiteren Verlauf eingehender betrachtet werden sollen:

- Individualisierung,
- Internationale Konkurrenz,
- Nationale Marktbesonderheiten.

1.1.1 Individualisierung

Besonders im Premiumsegment des Automobilbaus ist zu beobachten, dass von den Kunden eine variantenreiche Produktpalette nachgefragt und honoriert wird. Um den Hintergrund dieser Beobachtung zu verstehen, ist es sinnvoll, einen Blick auf die in diesem Segment typischen Käuferschichten zu werfen. Im Marketing bedient man

sich zur Kategorisierung der Käufergruppen der sog. Milieu-Modelle. Eines dieser Modelle ist das SIGMA-Modell, das beispielhaft für die AUDI AG betrachtet werden soll (Endreß, 2009, S. 52 ff.).

Die Kategorisierung findet beim SIGMA-Modell anhand der sozialen Schicht, die Merkmale wie Beruf und Einkommen umfasst, und anhand von Werten, repräsentiert durch unterschiedliche Lebensstile, Wunsch- und Leitbilder sowie Sinnggebung, statt. Als Zielmilieus der AUDI AG wurden „Functional Aesthetics and Active Lifestyle“ und „Authenticity and Smart Mobility“ festgelegt. Dabei zeichnet sich besonders das Zielmilieu „Authenticity and Smart Mobility“ dadurch aus, dass das persönliche Fahrzeug als Mittel zur Selbstpräsentation die Individualität des Fahrers darstellen soll. Das Auto, so die Erwartung des Käufers, soll ebenso wie dieser selbst eine unverwechselbare „Persönlichkeit“ besitzen. Um die beschriebene Käuferschicht umfassend anzusprechen, ist es also für den Automobilhersteller unabdingbar, eine umfassende Variantenanzahl anzubieten. Je mehr Auswahlmöglichkeit der Hersteller dem Kunden bietet, umso differenzierter kann sich dieser selbst darstellen (Buchner, 2008, S. 21).

1.1.2 Internationale Konkurrenz

Aufgrund der Globalisierung und der Deregulierung der klassischen Stammmärkte in den USA, Europa und Japan sehen sich viele Unternehmen einer größeren Anzahl von Konkurrenten gegenüber gestellt (Ponn, Lindemann, 2008, S. 229). Auch in den Wachstumsmärkten in Asien steigt aufgrund der sehr guten Verkaufsaussichten die Anzahl der am Markgeschehen teilnehmenden Automobilhersteller stetig an. Laut einer im November 2010 vorgestellten Studie des Beratungsunternehmens R. L. Polk werden die PKW-Neuzulassungen für die Jahre 2011 und 2012 Rekordwerte von 59,4 Mio. bzw. von 64,4 Mio. Fahrzeugen erreichen, getrieben vor allem durch den Absatzboom in der VR China.

Die Absatzzahlen in den Märkten in den USA und Europa werden sich hingegen deutlich langsamer steigern (Handelsblatt, 2010). Die Marktsättigung in diesen Stammmärkten führt folglich zu einem Kampf um die Umverteilung der Marktanteile (Kreutzburg, 2009, S. 1). Eine erfolgreiche Strategie ist, den Mitbewerbern eindeutig zu signalisieren, dass ein Hersteller gewillt ist, in einem bestimmten Markt in den nächsten Jahren eine bestimmende Rolle zu spielen. Dazu tätigt er große, irreversible Investitionen in die entsprechenden Produkte und kommuniziert diese aufwendig (Proff, Proff, S. 98). Er passt zum Beispiel seine Produkte den Märkten sehr stark an und erhöht seine Varianz, verbunden mit der Hoffnung, dass sich durch diesen massiven Auftritt Wettbewerber vom Markteintritt abhalten lassen.



Eine andere Strategie beim Streben nach Marktanteilen ist die Erschließung von noch unbesetzten Marktnischen (Ponn, Lindemann, 2008, S. 229). Die Idee ist, das Produkt über Abwandlungen so zu modifizieren, dass es auch Kundenschichten anspricht, die bisher kein Interesse hatten. Als Beispiel für diese Strategie kann die in den letzten Jahren zu beobachtende Crossover-Entwicklung, also die Kombination von zwei bekannten Karosseriebauformen zu einer neuen Form, genannt werde. So wurde zum Beispiel mit der Mercedes-Benz R-Klasse ein Fahrzeug kreiert, das eine Kombination aus Limousine, SUV und Van darstellt (Uekermann, 2008). Die Gefahr bei der Besetzung von Nischen besteht allerdings darin, dass Kunden von den eigenen etablierten Produkten auf die neuen Nischenprodukte umschwenken und so der Zuwachs im Nischenmarkt mit Verlusten im klassischen Markt bezahlt wird: Es kommt zu Kannibalisierungseffekten.

1.1.3 Nationale Marktbesonderheiten

Um den Absatz ihrer Produkte zu steigern, erschließen immer mehr Automobilproduzenten auch Märkte, auf denen sie bis dato nicht aktiv gewesen sind. Um auf diesen neuen Märkten erfolgreich sein zu können, ist es allerdings notwendig, die Produkte auf die vom Stammmarkt unterschiedlichen Anforderungen anzupassen und an die nationalen Bedürfnisse anzugleichen. Diese Produkthanpassungen können ganz unterschiedlicher Natur sein: So kann zum Beispiel in der Zielregion eine andere Bevölkerungspopulation vorherrschen, so dass Anpassungen im Hinblick auf die Körpermaße und die Ergonomie notwendig sind. Auch unterschiedliche klimatische Bedingungen führen zu einer Produkthanpassung, z. B. durch besondere Kühlung oder Isolierung für besonders heiße bzw. kalte Länder (Ponn, Lindemann, 2008, S. 229). Ein anderer Unterschied könnten differierende Wertauffassungen im Hinblick auf Design, Handhabung oder Qualität sein (Ehrlenspiel, Kiewert, Lindemann, 2007, S. 292). Aber auch unterschiedliche gesetzliche Anforderungen sind ein wesentlicher Faktor, der zum Anstieg der Varianz führt. Vor allem die sehr umfangreichen Bestimmungen zum Crash- und Abgasverhalten in der EU, Japan und den USA machen verschiedenartige Anpassungen notwendig. Das führt dazu, dass Automobilproduzenten länderspezifische Varianten ihrer Produkte entwickeln und produzieren müssen. Man bezeichnet dieses Vorgehen als Homologation.

1.2 Auswirkungen der Varianz auf die Automobilherstellung

Die in den Unterkapiteln 1.1.1 bis 1.1.3 dargestellten Ursachen führen folglich zur Bildung von Produktvarianten. Im weiteren Verlauf soll darauf eingegangen werden, in welchem Umfang die Varianz heute in der Automobilindustrie eine Rolle spielt. Dieses wird anhand von Praxisbeispielen gezeigt. Außerdem wird dargestellt, welche

Folgen die Varianz im Hinblick auf die Komplexitätssteigerung hat und welche Rolle dabei die Zeitspreizung spielt.

1.2.1 Variantenumfang im Automobilbau

Zur Illustration des großen Variantenumfangs im Automobilbau gibt es mannigfaltige Beispiele, die allesamt durch ihre Extreme beeindrucken. Um ein Gefühl für die Größenordnung zu entwickeln, in der sich die beschriebene Varianz abspielt, werden an dieser Stelle ausgewählte Beispiele aus der Literatur vorgestellt.

So berichtet Grunwald (2001, S. 15), dass ein Fahrzeug Ende der 1990er Jahre bereits aus ca. 25.000 Einzelteilen bestand, die für gut 700 kundenrelevante Fahrzeugeigenschaften verantwortlich waren. Bei einer theoretischen Berechnung der möglichen Fahrzeugvarianten auf Basis eines damals aktuellen Ausstattungskataloges kommt er auf bis zu neun Milliarden rechnerisch mögliche Fahrzeugvarianten. Weitere Beispiele für das Ausmaß der Varianz im Automobilbau finden sich bei Mercedes-Benz, Ford und bei VW. So produzierte das Mercedes-Benz-Werk in Rastatt in den Jahren 2003 und 2004 zusammen über 1,1 Millionen A-Klassen. Ganze zwei dieser Fahrzeuge waren dabei identisch. Bei der Produktion der Ford-Modelle Fiesta und Fusion ist hingegen die Cockpitfertigung ein besonderer Variantentreiber: Aus 300 Teilenummern werden 30.000 unterschiedliche Varianten gebildet. Bei VW weist neben anderen Modellen auch der Phaeton eine hohe Varianz auf. So besitzt dieser neben 96 Himmelvarianten auch über 788 Ausstattungs- und Kombinationsmöglichkeiten für die Sitzanlagen (Schlott, 2005, S. 38 ff.).

Auch bei Audi spielt das Thema eine große Rolle: so hat der A6-Kunde die Möglichkeit, zwischen insgesamt 493 Möglichkeiten zu wählen, allein um die Kombination zwischen Außenfarbe, Sitzfarbe und Sitzmaterial festzulegen (Endreß, 2009, S. 3). Dass der Variantenreichtum dabei noch mit jeder Fahrzeugweiterentwicklung zunimmt, zeigt ebenfalls ein Beispiel aus dem Hause Audi. So wurde im Jahr 2004 das Modell Audi A6 erneuert (auf die Version C5 folgte die Version C6). Dieses führte (vgl. Abbildung 2) zu einem signifikanten Anstieg der Variantenzahlen: Ein durchschnittliches Plus von gut 30% erklärt sich hier vor allem durch den Anstieg der Varianz bei Türverkleidungen und Sitzen (Schlott, 2005, S. 38 ff.).

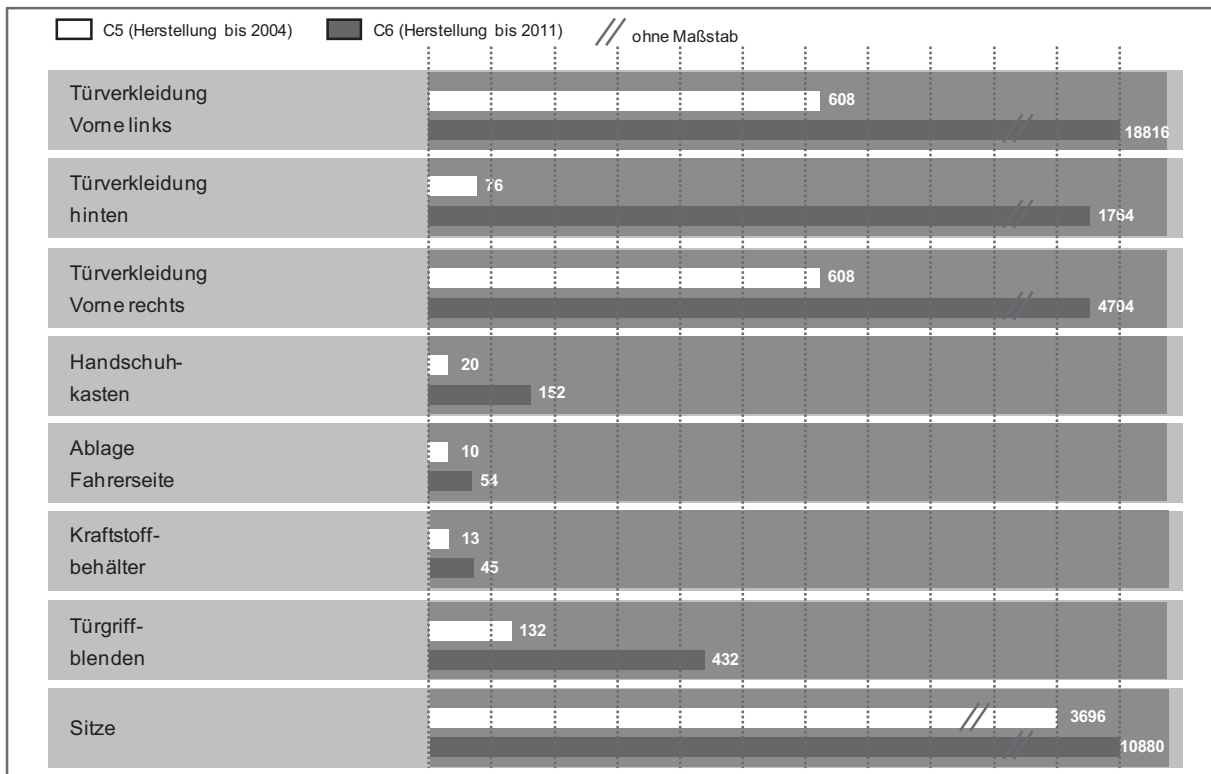


Abbildung 2: Variantenanstieg beim Modellwechsel Audi A6 (C5 zu C6)
(Quelle: Schlott, 2005)

Ein interessantes Detail bei der Betrachtung der Varianz ist, dass es sich hierbei hauptsächlich um ein deutsches Phänomen handelt. So zeigt Schlott (2005, S. 38 ff.), dass französische Automobilhersteller nur gut 30% der Varianz ihrer deutschen Konkurrenten produzieren, während die japanischen OEMs sogar mit nur zehn Prozent auskommen. Die Gründe hierfür liegen wahrscheinlich vor allem im Unterschied der Strukturen der Automobilindustrien. So weisen sowohl Frankreich als auch Japan deutlich mehr Volumenhersteller auf, während gerade die deutsche Automobilindustrie durch die Premiummarken Audi, BMW und Mercedes maßgeblich beeinflusst wird.

1.2.2 Folgen der Varianz für das Unternehmen

Die Folge der dargestellten Varianz (vgl. Kapitel 1.2.1) ist eine hohe Komplexität in den Geschäftsprozessen des produzierenden Unternehmens. So zeigen Lindemann, Maurer und Braun (2009, S. 4-5), dass die vom Markt geforderte Varianz zunächst zu einer Komplexitätssteigerung bei den Produkten führt (vgl. Kapitel 1.2.1). Diese Produktkomplexität setzt sich fort in einer Prozesskomplexität, da zur Entwicklung, Herstellung und Vertrieb der Produktvarianten unterschiedliche Prozessvarianten notwendig sind. Diese Prozessvarianten sind dann schließlich ursächlich für eine organisationale Komplexität, also die Anpassung der Unternehmensorganisation an die Prozessvarianten. Anders ausgedrückt: Die hohe, am Markt notwendige Varianz

führt zu einer unternehmensinternen Varianz in vielen Vorgängen, Abläufen und Prozessen und erzeugt so Komplexität und Kosten.

Dass diese Kosten nicht unerheblich sind, zeigt Wildemann (2008, S. 32) indem er die Herstellkosten bei Einproduktfertigung den Herstellkosten bei Produktvariation gegenüberstellt (vgl. Abbildung 3). Während in der Backwarenindustrie die Mehrkosten für Variantenproduktion 25% betragen, sind es in der Fleischwarenindustrie bereits 32%. Die Automobilindustrie nimmt in diesem Vergleich allerdings mit 45% Mehrkosten die Spitzenposition ein. Anders gesagt: Würden die Automobilhersteller auf die Produktion von Varianten gänzlich verzichten, könnten diese ihre Kosten theoretisch um 45% reduzieren.

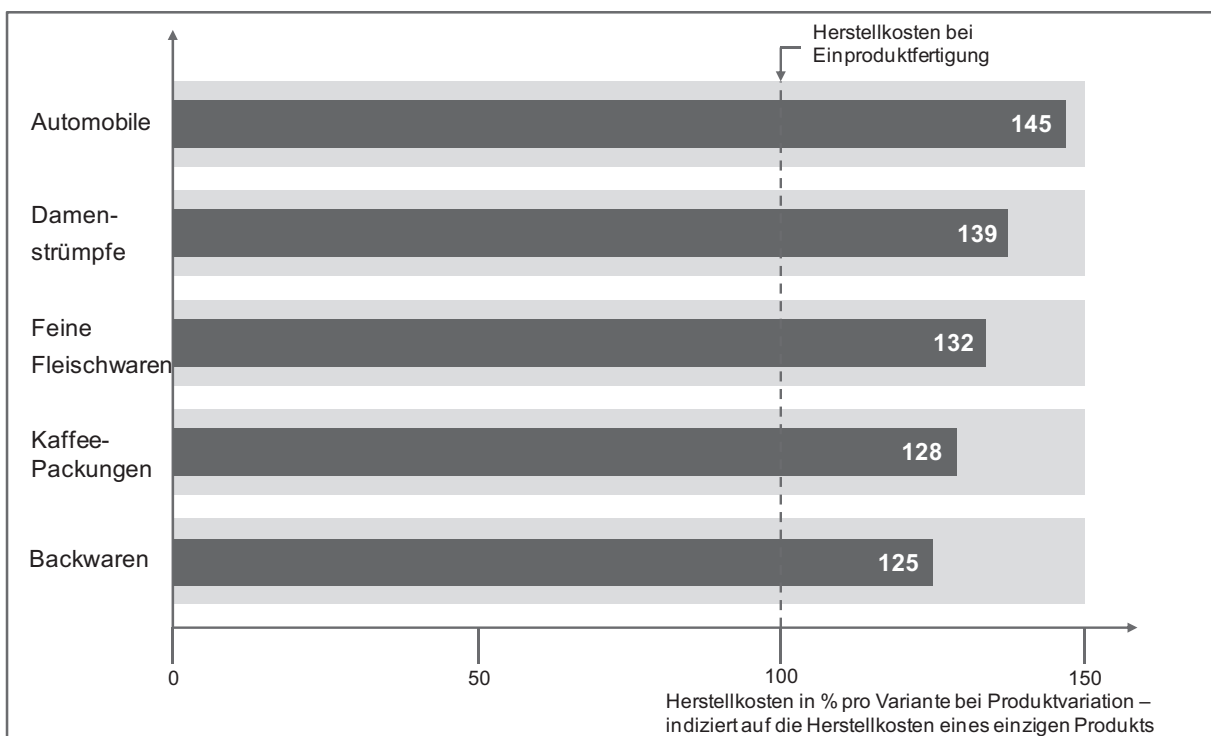


Abbildung 3: Kostenvergleich zwischen einer Einprodukt- und einer Variantenproduktion (Quelle: Wildemann, 2008)

Wie sich die durch Varianz erzeugte Komplexität durch das gesamte Unternehmen zieht und welche Folgen diese verursacht, wird deutlich, wenn man einen Blick in die unterschiedlichen Geschäftsbereiche eines Produktionsunternehmens wirft (vgl. Abbildung 4).

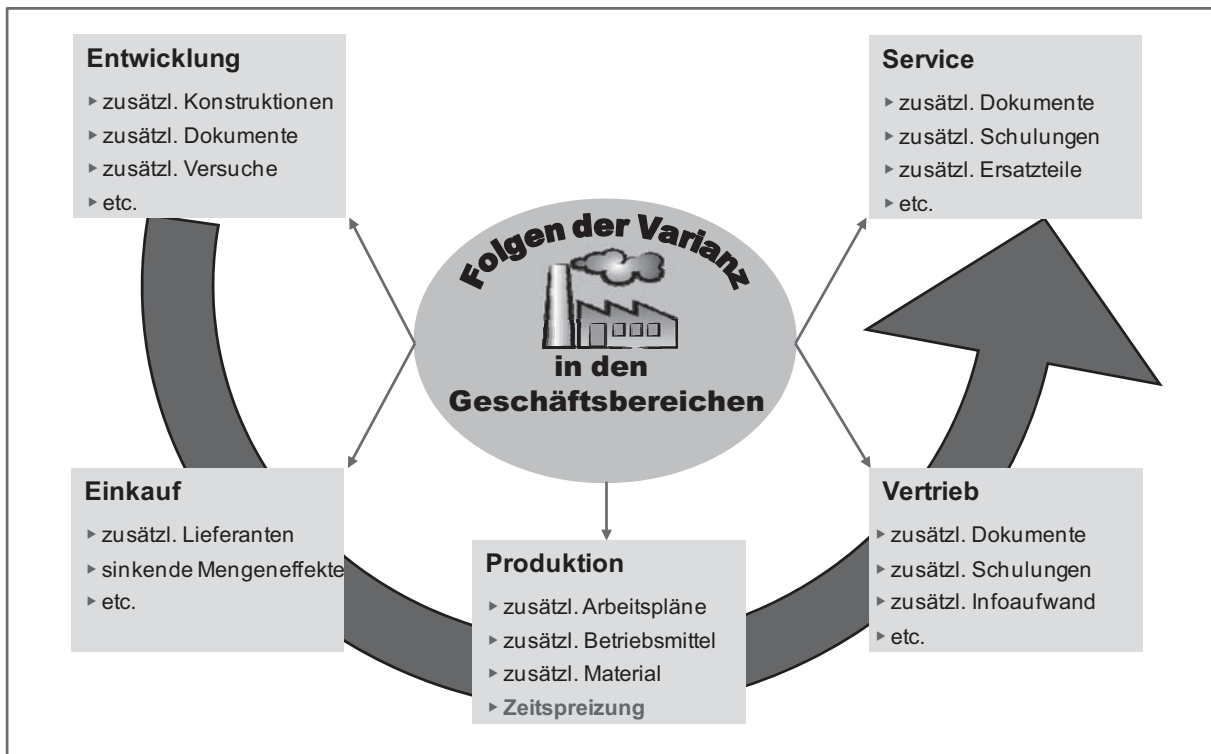


Abbildung 4: Folgen der Varianz in den Geschäftsbereichen produzierender Unternehmen
(Quelle: eigene Darstellung)

In der Entwicklung sind zusätzliche Aufwendungen für die Konstruktion von Varianten, das Erstellen und Verwalten der notwendigen Dokumentation sowie für evtl. zusätzlich anfallende Versuche notwendig. Der Einkauf hat mit dem Problem zu kämpfen, dass mehrere unterschiedliche Variantenbestandteile von verschiedenen Lieferanten eingekauft werden müssen. Dabei sinkt die Abnahmemenge pro Artikel, so dass Mengeneffekte bei der Preisgestaltung nur noch in geringem Umfang möglich sind. Auch im Vertrieb steigt der Aufwand mit der Anzahl der angebotenen Varianten. Hier spielt die größere Menge an Verkaufsdokumenten wie Katalogen und Preislisten eine wichtige Rolle, aber auch der zusätzliche Aufwand für Händler- und Vertriebspersonalschulungen. Ebenso ist der Service betroffen: das heißt, hier müssen für alle verkauften Varianten detaillierte Reparatur- und Serviceleitfäden vorliegen. Außerdem äußert sich die gestiegene Komplexität natürlich sehr offensichtlich in einer erhöhten Ersatzteilbevorratung (Kraus, 2005, S. 45; Fischer, 2008, S. 188).

Ganz erhebliche Auswirkungen hat die Produktvarianz aber vor allem auf die Fertigung und Montage. In diesem Bereich muss zusätzlicher Aufwand getrieben werden, um die Arbeitspläne und die sonstige Dokumentation zu pflegen. Außerdem müssen zusätzliche Betriebsmittel, Werkzeuge und Vorrichtungen bereitgehalten, bedient und gewartet werden. Auch das Bereitstellen der durch die zunehmende Variantenzahl wachsende Menge von Bauteilen am Band wird schwieriger (Endreß, 2009, S. 38).

Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist aber die mit der Steigerung der Variantenanzahl verbundene schwankende Montagezeit, wechselnde Arbeitsinhalte und ungleichmäßige Auslastung (Kraus, 2005, S. 45; Fischer, 2008, S. 188): die Zeitspreizung.

Diese kann, wie später gezeigt wird (vgl. Kapitel 2.4), durch eine geeignete Produktgestaltung reduziert werden. Dazu ist allerdings die Beteiligung der Entwicklungsabteilungen notwendig. Um diese zu erreichen, muss zunächst deren aktuelle Situation verstanden werden. Diese wird im Kapitel 1.3 beschrieben.

1.3 Situation in den Entwicklungsabteilungen

Bei der Entwicklung von technischen Produkten wird eine Reihe von Anforderungen definiert, die vom Konstrukteur durch entsprechende Gestaltung zu erfüllen sind. Betrachtet man z. B. die Konstruktion eines Autositzes, hat der Konstrukteur Designanforderungen, wie die räumliche Wirkung des Sitzes im Fahrzeug, genauso zu berücksichtigen, wie die Nahtbilder oder Farben. Natürlich gibt es auch Vorgaben zur Funktion oder zum Komfort. Und ebenfalls muss sich der Konstrukteur mit unterschiedlichen Ausstattungsmerkmalen wie elektrischer Sitzverstellung oder Sitzbelüftung auseinandersetzen (Ponn, Lindemann, 2008, S. 248). Diese beispielhaft genannten Anforderungen machen allerdings nur einen Teil der Vorgaben und Forderungen aus. Abbildung 5 zeigt, dass aus den unterschiedlichsten Geschäftsbereichen eines Unternehmens unzählige Anforderungen an den Konstrukteur gestellt werden. So wird von ihm eine norm- und umweltgerechte Konstruktion genauso verlangt wie eine gesetzeskonforme und servicegerechte Produktgestaltung (Schmitz, 1995). Im Einzelnen verbergen sich dahinter genaue Vorgaben zu Formen, Abmessungen, Fertigungsverfahren, Toleranzen, Werkstoffen und vielen anderen technischen Details. Aber auch wirtschaftliche Aspekte muss der Konstrukteur über Forderungen zur Lieferzeit, Lagerhaltungsdauer und Transportart erfüllen (Ehrlenspiel, 2003, S. 586).

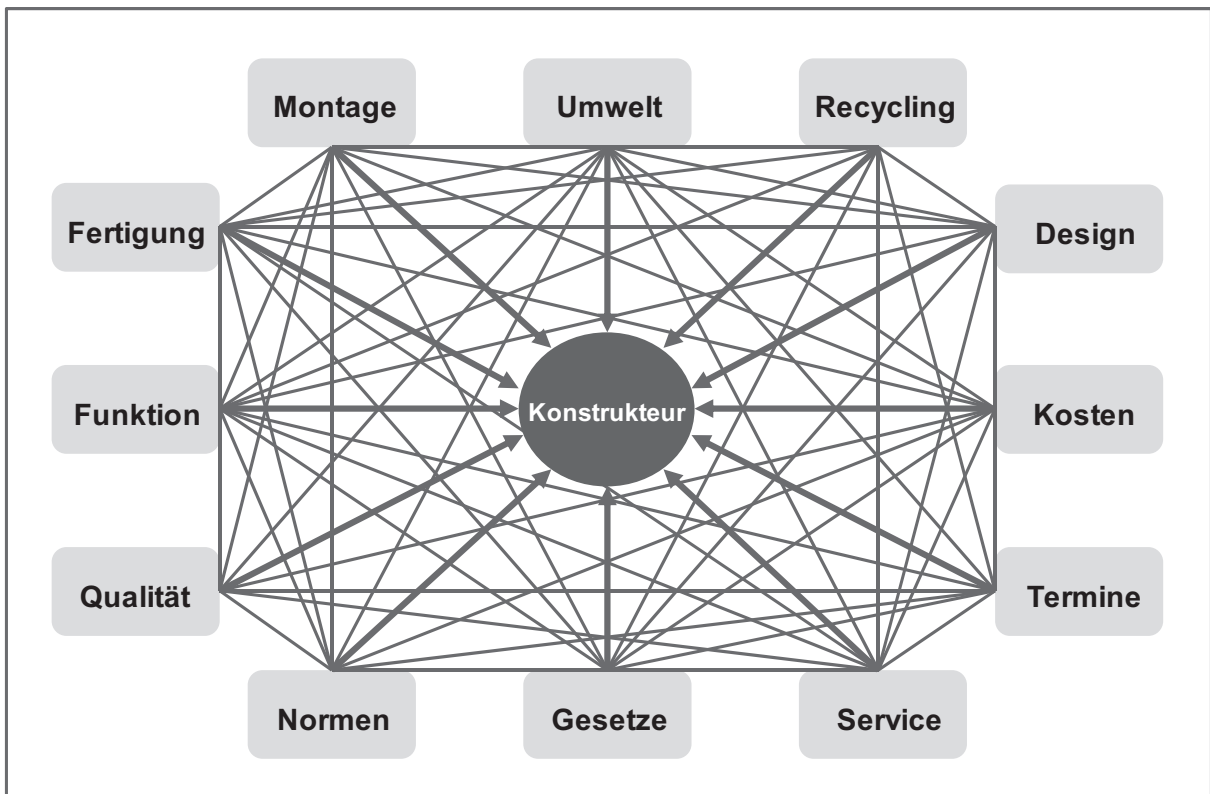


Abbildung 5: Unterschiedliche Anforderungen an den Konstrukteur
(Quelle: Schmitz, 1995)

Weiter bleibt zu bemerken, dass die Erfüllung der Anforderungen noch dadurch erschwert wird, dass viele der Vorgaben miteinander in Beziehung stehen. Das bedeutet, dass die Erfüllung einer Forderung zur Nichterfüllbarkeit einer anderen Forderung führen kann. So sind zum Beispiel aus technischer Sicht vergoldete Steckkontakte für Elektroleitungen oft die beste Lösung. Aus wirtschaftlicher Sicht scheidet diese Lösung aber wegen der hohen Kosten in der Regel aus (Schmitz, 1995, S. 1).

Die dargestellten Anforderungen und Vorgaben werden dabei am besten von den Stellen festgelegt, die später von der Produkteigenschaft betroffen sind (Ehrlenspiel, 2003, S. 229). Das bedeutet, dass viele Anforderungen vom Vertrieb festgelegt werden, da dieser als Stellvertreter für den Kunden den späteren Nutzer des Produktes vertritt. Neben den kundenrelevanten Anforderungen sind aber auch Fertigungs- und Montagetauglichkeit wichtige Merkmale des Produktes, die durch entsprechende Forderungen beeinflusst werden müssen (Pastowsky, Schmitt, 1997, S. 114). Ein wirtschaftlicher Produkterfolg ist nur dann zu erzielen, wenn die Produktgestalt eine günstige und optimale Produktion zulässt. In diese Anforderungsklasse fällt auch die Forderung nach einer im Hinblick auf die Zeitspreizung optimalen Konstruktion. Damit auch diese Art von Anforderungen erfüllt werden kann, ist nach Ehrlenspiel (2003, S.229) ein „direkter Kontakt zwischen festlegender Stelle und betroffener Stelle für eine hohe Produktqualität von elementarer Bedeutung.“ Das bedeutet in die-

sem Fall, dass es einen intensiven Austausch zwischen Entwicklung und Fertigung bzw. Montage geben muss, in welchem dem Konstrukteur zum Beispiel Zusammenhänge zwischen Produktgestalt und Montageprozess (darunter fallen auch Informationen zur Zeitspreizung, vgl. Abbildung 5 „Montage“) oder Zusammenhänge zwischen Produktgestalt und Art des Montagesystems dargestellt werden müssen (Schmitz, 1995, S.8). Leider findet dieser wichtige Austausch zwischen Entwicklung und Produktion meist nicht in ausreichendem Maße und zu spät statt (Grunwald, 2001, S. 6; Stuffer, 1994, S. 2). Erschwerend kommt hinzu, dass viele der gezeigten Vorgaben schwer zu quantifizieren sind und es deshalb zusätzliche Probleme beim Informationstransfer gibt.

Ob der so wichtige Informationsaustausch richtig stattfinden kann, hängt dabei aber nicht nur von der Organisationsform des Unternehmens ab. Besonders die Bereitstellung der richtigen Methoden spielen beim zielgerichteten Austausch von Informationen eine wichtige Rolle. Pastowsky und Schmitt (1997) zeigen (vgl. Abbildung 6) den Zusammenhang zwischen Abstimmungsbedarf und –potential im Entwicklungsbereich auf. In der Grafik ist zunächst zu erkennen, dass mit wachsender Komplexität von Produkten und Prozessen die Intensität des notwendigen Informationsflusses exponentiell zunimmt. Das bedeutet, dass bei sehr komplexen Produkten, und dazu können Automobile zweifelsohne gezählt werden, ein hoher Abstimmungsbedarf zwischen den einzelnen, an der Entwicklung beteiligten Parteien besteht. Damit dieser Abstimmungsbedarf befriedigt werden kann, so Pastowsky und Schmitt (1997) weiter, muss die richtige, zu dem Bedarf passende Methode entwickelt und bereitgehalten werden. Findet das nur in unzureichendem Maß statt, bei einer sog. „schwachen Methodenentwicklung“ (gestrichelte Linie in der Abbildung), also wenn wenig Kapazität darauf verwendet wird, Methoden bereitzustellen, übersteigt der Abstimmungsbedarf schnell das Abstimmungspotential. Wird hingegen in ausreichendem Umfang an der Methodenentwicklung gearbeitet (vgl. Kurve „mit intensiver Methodenentwicklung“), kann der notwendige Informationsfluss über die passende Methode stattfinden. Das bedeutet also, dass das Unternehmen dem steigenden Abstimmungsbedarf nur mit der Bereitstellung geeigneter Methoden wirkungsvoll entgegenzutreten kann (Pastowsky, Schmitt, 1997, 117-118).

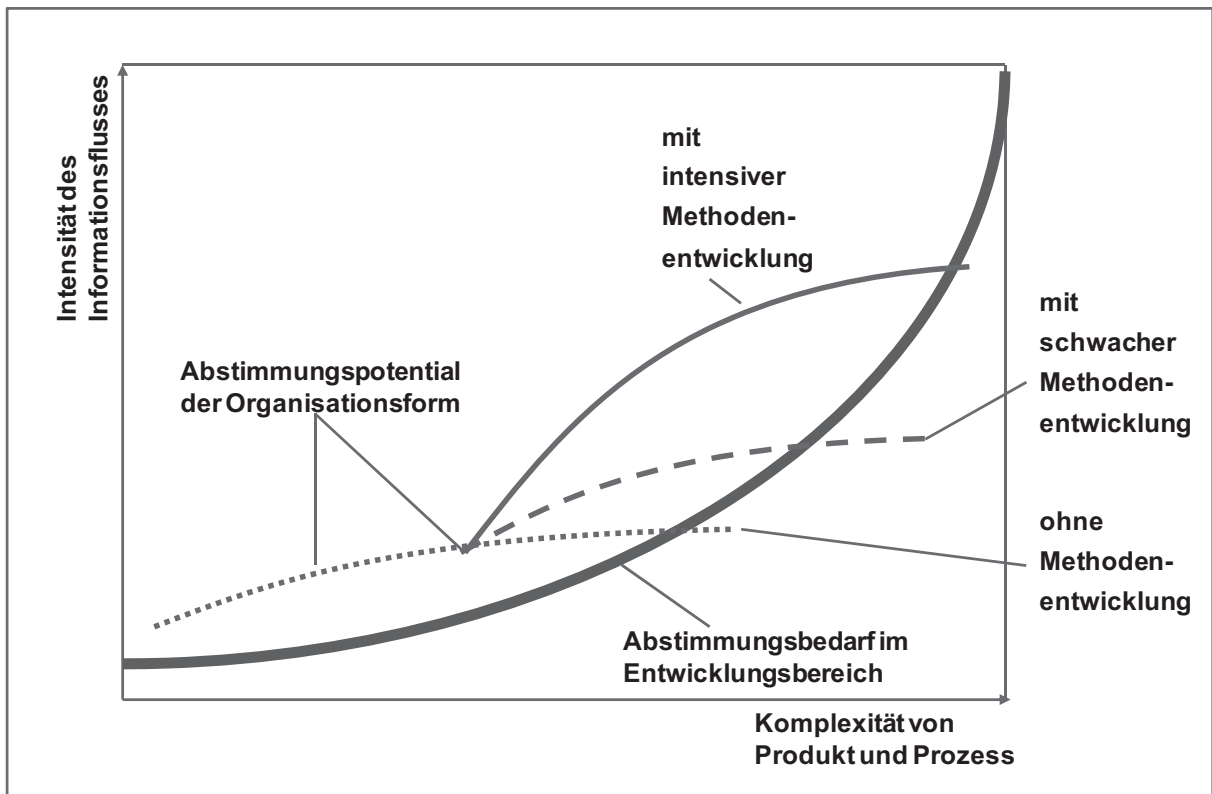


Abbildung 6: Verlauf von Abstimmungsbedarf und –potential bei unterschiedlichem Methodeinsatz
(Quelle: angelehnt an Pastowsky et al., 1997)

Auch Spanner-Ulmer (2010) und Lindemann (2009) sehen die Notwendigkeit eines verstärkten Methodeinsatzes in Entwicklung und Produktion. So sieht Lindemann (2009, S. 231) in ihm die Möglichkeit, die Kooperation und Kommunikation im Team zu verbessern und den Umgang mit Informationen und Wissen zu optimieren. Im Einzelnen schreibt er Methoden den folgenden Nutzen zu:

- Implizite Zusammenhänge werden durch Methoden explizit und so kommunizierbar gemacht.
- Methoden regeln, wie Sachverhalte zu beschreiben sind und schaffen damit eine gemeinsame Basis für eine Kommunikation.
- Methoden unterstützen die Fokussierung auf wesentliche und kritische Punkte.
- Methoden dienen als Hilfsmittel für die Kommunikation zwischen Individuen und die Koordination von Abläufen und den daran Beteiligten.
- Methoden fördern durch ihr systematisches Vorgehen das Sozialverhalten einzelner Mitarbeiter.
- Methoden unterstützen eine möglichst objektive Beschreibung. Dieses kommt besonders Bewertungs- und Entscheidungsprozessen zugute.
- Methoden fördern eine nachvollziehbare Dokumentation.

Die Ausführungen haben gezeigt, dass auch die Zeitspreizung im Rahmen einer montagetauglichen Produktgestaltung zu den Anforderungen an den Konstrukteur zählt. Um eine effizienten Berücksichtigung im Rahmen der Entwicklungsarbeit sicherzustellen, erscheint allerdings der Einsatz einer geeigneten Methode als sinnvoll.

1.4 Zielsetzung und Vorgehen bei der Entwicklung einer Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung

Die in den Kapiteln 1.1 bis 1.3 angestellten Betrachtungen haben die Ausgangssituation für die weitere Beschäftigung mit dem Aspekt der Zeitspreizung dargestellt.

Es wurden folgende Punkte herausgearbeitet:

- Durch Individualisierung, internationale Konkurrenz und nationale Marktbesonderheiten sind Automobilhersteller dazu gezwungen, in großem Umfang Varianten zu bilden.
- Diese Varianten führen unternehmensintern zu großer Komplexität, wobei einer der damit verbundenen Effekte die Zeitspreizung in der Fahrzeugmontage ist.
- Die Zeitspreizung ist eine von mehreren Anforderungen, die aufgrund eines suboptimalen Austausches zwischen den Entwicklungsabteilungen und den Fertigungs- bzw. Montageabteilungen nicht ausreichend betrachtet wird.
- Zur Gestaltung eines effektiven Austausches zwischen Entwicklung und Produktion bzw. Montage sind Methoden ein sehr gut geeignetes Hilfsmittel.

Ausgehend von diesen Feststellungen ist es das Ziel der Arbeit, einen Beitrag zu leisten, um die Zeitspreizung in Zukunft besser bereits in der Produktentwicklung zu berücksichtigen. Dazu, so haben die Betrachtungen im Kapitel 1.3 gezeigt, muss die Forderung nach einer im Hinblick auf die Zeitspreizung optimalen Gestaltung zunächst klar und objektiv beschrieben werden können. Ferner muss die Kommunikation zwischen Entwicklung und Produktion zu diesem Thema optimiert werden, was sehr gut mit einer geeigneten Methode gelingen kann.

Entsprechend ist es das Ziel der vorliegenden Dissertation, eine Methode zu entwickeln,

- welche die Einflussparameter der Zeitspreizung objektiv bewertet,
- die eine im Hinblick auf die Zeitspreizung optimale Produktgestalt zulässt und
- die mit einem eindeutigen Ergebnis die Kommunikation unterstützt.

Dazu wird eine Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage (kurz: „Methode proZederA“) entwickelt, die durch eine methodische Vorgehensweise die systematische Berücksichtigung der Zeitspreizung im Produktentwicklungsprozess ermöglicht.

Dazu werden acht wesentliche Aspekte im Rahmen der Arbeit beleuchtet (vgl. Abbildung 7). Diese werden in Anlehnung an einen hermeneutischen Zirkel innerhalb von sieben Kapiteln durchlaufen.

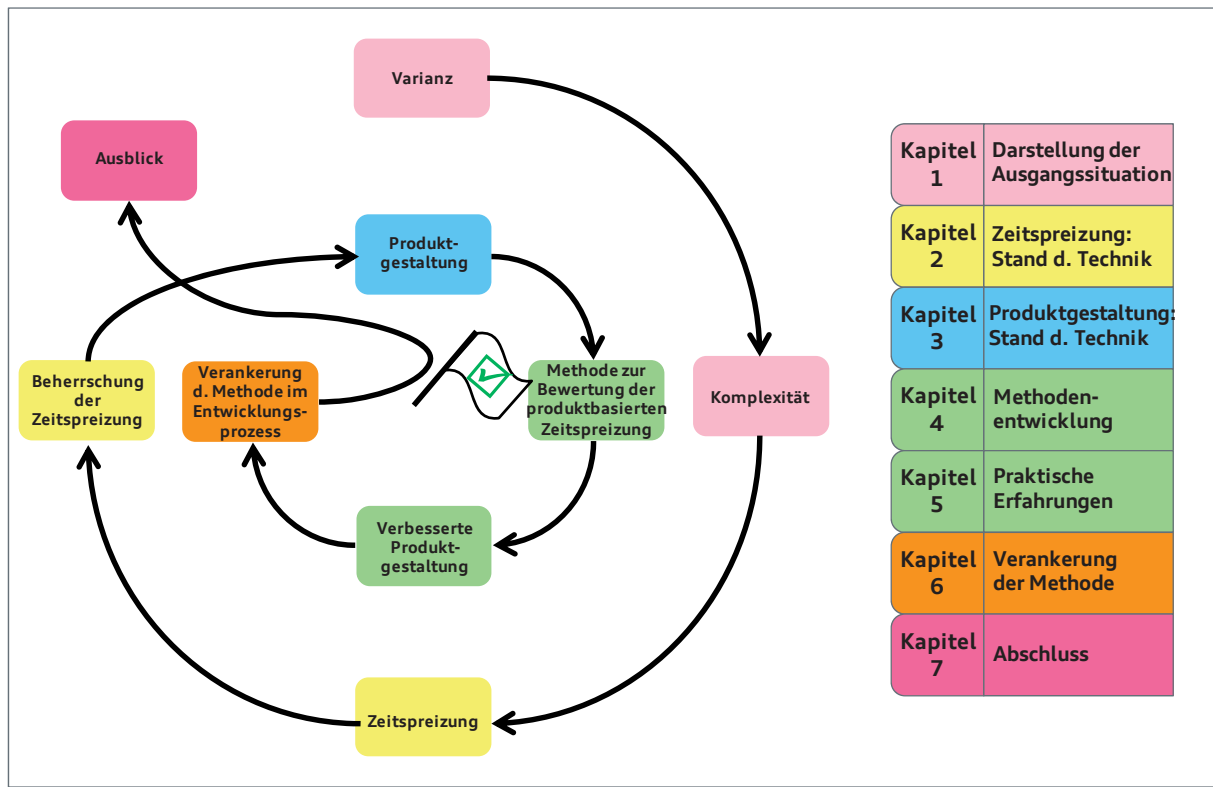


Abbildung 7: Vorgehensweise zur Entwicklung der „Methode proZederA“
(Quelle: eigene Darstellung)

In **Kapitel 1** wurde bereits die Ausgangssituation zur Entstehung von Zeitspreizung beschrieben. Dazu wurde auf die Themen Varianz im Automobilbau und auf die daraus resultierende Komplexität eingegangen. In **Kapitel 2** folgt eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Begriff der Zeitspreizung. Dazu werden die wesentlichen Grundbegriffe zum Verständnis der Thematik eingeführt, und es wird eine Definition für den Begriff Zeitspreizung erarbeitet. Außerdem werden die heute bekannten Maßnahmen vorgestellt, um die Zeitspreizung in der Automobilmontage zu beherrschen. Daraus abgeleitet ergibt sich die Notwendigkeit zur Betrachtung der Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung, die Gegenstand von **Kapitel 3** sind. In diesem Kapitel werden verschiedene Methoden vorgestellt und miteinander verglichen, um so die theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der „Methode proZederA“ zu legen. In **Kapitel 4** wird dann das Vorgehen zur Entwicklung der Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung beschrieben. Die entwickelte Methode wird im Folgenden an Anwendungsbeispielen erprobt. **Kapitel 5** beschreibt die dabei gewonnenen Erkenntnisse sowie Stärken und Schwächen. Die Frage, wie die neue Methode dauerhaft in den Produktentwicklungsprozess integriert



werden kann und an welcher Stelle in diesem Prozess der Einsatz erfolgen sollte, steht im Mittelpunkt der Betrachtungen von **Kapitel 6**. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf in **Kapitel 7**.



Kapitel 1: Zusammenfassung

Der Wunsch vieler Kunden, ein möglichst individuelles Auto zu fahren, ist ein Grund für den großen Variantenreichtum im Automobilbau. Aber auch die Belieferung regional sehr unterschiedlicher Märkte sowie die Notwendigkeit, sich im Wettbewerb zu differenzieren, führt bei Automobilherstellern zu einem Anwachsen der Variantenzahl. Eine negative Folge der Varianz ist die sog. Zeitspreizung: ein Effekt, der durch ungleiche Arbeitsinhalte und schwankende Montagezeiten der Varianten entsteht und zu Effizienz- und Auslastungsproblemen führt. Um der Zeitspreizung in Zukunft bereits im Rahmen der Produktentwicklung begegnen zu können, muss diese aber gegen „klassische“ Anforderungen wie Gewicht oder Design bestehen können. Dazu ist ein systematisch methodischer Ansatz notwendig, der mit der zu entwickelnden „Methode proZederA“ (Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage) angeboten werden soll.

2 Grundlagen der Zeitspreizung

Im zweiten Kapitel geht es zunächst um die notwendigen Begrifflichkeiten zur Erläuterung der Zeitspreizung. Im Anschluss erfolgt ein Überblick über den Stand der Wissenschaft, durch den die Eigenschaften und die Auswirkungen der Zeitspreizung beschrieben werden können. Abschließend werden bekannte Strategien zur Bewältigung der Zeitspreizung vorgestellt.

2.1 Grundbegriffe zur Erläuterung der Zeitspreizung

Um im weiteren Fortgang der Arbeit die Zeitspreizung erklären und definieren zu können, ist es notwendig, folgende Grundbegriffe zu klären:

- Variante und Derivat,
- Variantenfließfertigung,
- Fließbandabstimmung.

2.1.1 Bestimmung der Begriffe Variante und Derivat

Varianten bezeichnen nach DIN 199 „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile“ (DIN 199, Teil 2, 1977). Bei der Beschäftigung mit dem Begriff muss außerdem zwischen innerer und äußerer Varianz unterschieden werden (Zenner, 2006). Die äußere Varianz bezeichnet das, was der Kunde wahrnehmen kann. Am Beispiel des Automobils also etwa den Unterschied zwischen der Diesel- und Benzinausführung eines Modells. Diese äußere Varianz führt zu einer sog. inneren Varianz beim Hersteller. Dieser muss, um die äußere, für den Kunden sichtbare Varianz erzielen zu können, bei vielen Bauteilen und Baugruppen Varianten vorsehen. Bei dem angesprochenen Beispiel des Diesel- oder Benzinmotors sind das u. a. unterschiedliche Motorsteuergeräte oder verschiedene Benzinpumpen. Diese führen durch ihre unterschiedliche Kombination während des Montageprozesses dann zur äußeren Varianz. Es gibt also eine Varianz auf Bauteil- und Baugruppenebene, die zu einer Varianz auf Produktebene führt.

In der Automobilindustrie wird bei Fahrzeugen, die aufgrund einer deutlichen äußeren Varianz einen neuen Erscheinungscharakter besitzen, von einem Derivat gesprochen. Ein Derivat ist also eine Produktvariante, die im Markt und beim Kunden als eigenständiges Modell angeboten werden kann. Ein gutes Beispiel dafür sind die Audi-Modelle allroad quattro und Audi A6 Avant. Technisch gesehen unterscheiden sich beide Fahrzeuge nur mäßig, weshalb sie auch auf der gleichen Montagelinie produziert werden können. Doch durch das deutlich andere optische Erscheinungs-

bild und die andere Produktbezeichnung nimmt der Kunde einen ähnlichen Unterschied wie zwischen dem Modell Audi A3 und dem Modell Audi A4 wahr.

2.1.2 Bestimmung des Begriffs der Variantenfließfertigung

Mit Hinblick auf die weiteren Ausführungen sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es formal einen Unterschied zwischen den Begriffen „Fertigung“ und „Montage“ gibt (Nedeß, 1997). Da aber viele Autoren die Bezeichnungen aus Gründen der Praktikabilität synonym benutzen, wird dieses Vorgehen auch für die nun folgenden Betrachtungen der Organisationsformen der Montage übernommen. Die Zeitspreizung ist ein Effekt, der nur entstehen kann, weil die Automobilmontage in einer ganz speziellen Organisationsform erfolgt: der Variantenfließfertigung (Neumann, 1996, S.147). Die Variantenfließfertigung ist eine spezielle Ausprägung der Fließmontage und leitet sich nach Warnecke (1995, S. 44, 45) wie folgt aus den Organisationsformen der Montage ab (vgl. Abbildung 8): Während bei der Platz- und Wandermontage das Montageobjekt stets am gleichen Ort verweilt und nur ggf. der Monteur den Arbeitsplatz wechselt, sind Werkstätten- und Fließmontage dadurch gekennzeichnet, dass das Montageobjekt im Rahmen des Arbeitsfortschrittes an unterschiedlichen Montageorten bearbeitet wird. Die Werkstättenmontage ist durch den stufenweisen, verfahrensausgerichteten Zusammenbau gekennzeichnet, der durch den meist manuellen Transport von der einen zur anderen Werkstatt unterbrochen wird. Bei der Fließmontage sind die Montageplätze hingegen in der Reihenfolge der Montageaufgabe angeordnet und der Transport erfolgt häufig automatisiert.

Die Fließmontage lässt sich weiter durch die zeitliche Kopplung unterteilen (Boysen, 2005, S.7). Liegt keine zeitliche Kopplung vor, so erfolgt die Weitergabe des Montageobjektes erst dann, wenn die Bearbeitung abgeschlossen ist und die nachfolgende Station zur Aufnahme bereit ist. Es gibt dabei keine zeitliche Vorgabe, die diesen Prozess regelt. Damit bei dieser Organisationsform, die als Reihenfertigung bezeichnet wird, keine Wartezeiten auftreten, sind die einzelnen Arbeitsstationen durch Pufferlager entkoppelt. Liegt eine zeitliche Kopplung vor, so kann diese verfahrensbedingt oder dispositiv, also künstlich herbeigeführt, verursacht sein. Eine verfahrensbedingte zeitliche Kopplung findet man häufig in der Chemie- und Prozessindustrie, in der der Beginn des nächsten Arbeitsschrittes von der Geschwindigkeit der vorausgegangenen chemischen Reaktion abhängt. Man bezeichnet diese Organisationsform als Zwangslauffertigung. Ist die zeitliche Kopplung hingegen dispositiver Natur, so bedeutet das, dass künstlich eine maximale Bearbeitungszeit festgelegt worden ist, nach deren Ablauf das Werkstück an den nächsten Arbeitsplatz weitertransportiert wird.

Diese Fließfertigung untergliedert sich dann weiter in die Einprodukt- und Variantenfließfertigung sowie in die Sortenfertigung. Bei der Sortenfertigung werden unterschiedliche Varianten eines Produktes auf der gleichen Produktionsanlage hergestellt. Allerdings erfolgt die Produktion der Varianten in Losen, so dass der Variantenwechsel durch einen Rüstvorgang gekennzeichnet ist (Günther, Tempelmeier, 2000, S. 228). Die Einproduktfließfertigung ist dadurch gekennzeichnet, dass das herzustellende Produkt keine Varianz besitzt, also stets das gleiche Werkstück produziert wird. Im Gegensatz dazu hat das herzustellende Produkt bei der Variantenfließfertigung mehrere Varianten. Kennzeichnend für diese Organisationsform ist, dass die Varianten in unterschiedlicher Reihenfolge ohne Umrüsten produziert werden (Boysen, 2005, S. 11). Die Herstellung erfolgt also mit Losgröße eins oder als sog. One-Piece-Flow. Diese Variantenfließfertigung ist die typische Organisationsform in der Automobilmontage, bei der die unterschiedlichen Fahrzeugvarianten in scheinbar beliebiger Reihenfolge auf einer Montagelinie hergestellt werden.

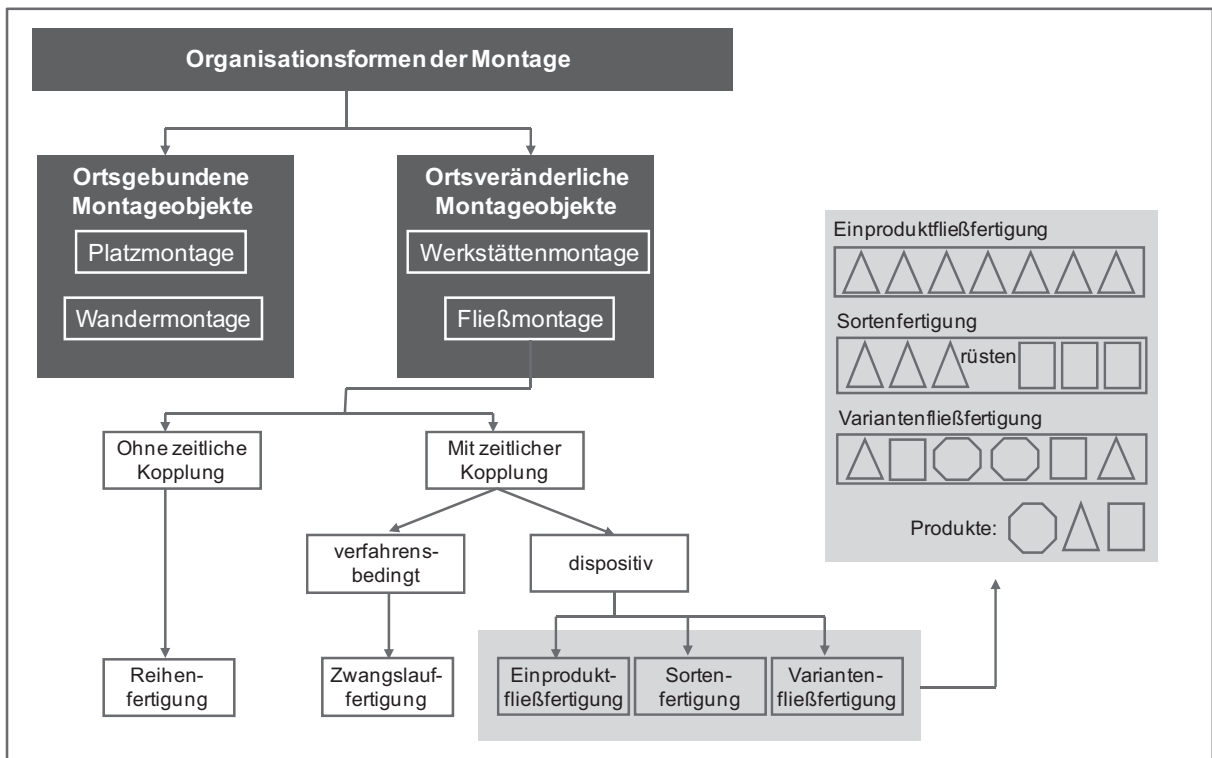


Abbildung 8: Übersicht über die unterschiedlichen Organisationsformen der Montage (Quelle: angelehnt an Boysen, 2005)

2.1.3 Bestimmung des Begriffs der Fließbandabstimmung

Wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, kommt in der Automobilmontage die Fließmontage, speziell die Variantenfließfertigung, zum Einsatz. Das wesentliche Merkmal dieser Montageart ist, dass die Arbeitsplätze in der Reihenfolge der Montageaufgabe linien-

artig angeordnet sind. Dabei wird an jedem Arbeitsplatz ein Teil der Gesamtmontage durchgeführt.

Um eine Fließmontage betreiben zu können, ist es zuvor nötig, die einzelnen Arbeitsaufgaben den Arbeitsplätzen unter Beachtung der möglichen Reihenfolge zuzuordnen (Lotter, Wiendahl, 2006, S. 102). In der Literatur wird dieses Vorgehen als Fließbandabstimmung (z. B. Vahrenkamp, 1996), Abtakten (z. B. Lutz, 1974), Bandabgleich (z. B. Decker, 1993) oder Line Balancing (z. B. Scholl, 1995) beschrieben. Unter dem Begriff der Fließbandabstimmung kann man also die Zusammenfassung einzelner Arbeitsoperationen zu einer Bearbeitungsstation verstehen, so dass die Gesamtmontage mit hoher Produktivität ausgeführt werden kann (Vahrenkamp, 1996, S. 178).

Die Arbeitsoperationen werden auch als Teilverrichtungen oder Arbeitselemente bezeichnet. Dies sind Tätigkeiten, die sinnvoll nicht weiter unterteilt werden können und deshalb von einem Arbeiter vollständig ausgeführt werden sollten. Für jede dieser Arbeitsoperationen wird eine Vorgabezeit ermittelt, die angibt, wie lange der Arbeiter mit der Durchführung der Arbeitsoperation beschäftigt ist (Lutz, 1974, S. 15). Die gesamte Montageaufgabe wird also in viele einzelne Arbeitsoperationen geteilt und jeder dieser Operationen eine Zeit zugewiesen.

Um mehrere Arbeitsoperationen zusammenfassen zu können und einer Bearbeitungsstation zuweisen zu können, ist es wesentlich, die Reihenfolgebeziehungen der einzelnen Operationen zu beachten. Diese Reihenfolgebeziehungen geben an, welche Arbeitsoperationen vor einer bestimmten Operation durchgeführt werden müssen und welche erst nach dieser Operation durchgeführt werden können. So muss zum Beispiel eine Unterlegscheibe zuerst auf die Schraube gesteckt werden, bevor die Schraube festgezogen wird. Die Vorrangbeziehungen werden in der Regel durch einen Vorranggraphen beschrieben. Dieser gibt über Knoten und Pfeile Auskunft über mögliche Montagereihenfolgen (Lutz, 1974, S.15).

Abbildung 9 zeigt am Beispiel von fünf Arbeitsoperationen einen derartigen Vorranggraphen. Um das Produkt vollständig zu montieren, müssen alle Operationen von A bis E durchgeführt werden. Insgesamt ist dazu eine Arbeitszeit von 25 Zeiteinheiten ($5+3+6+7+4$) notwendig. Nach dem abgebildeten Graphen sind zwei Montagereihenfolgen möglich. Die erste Möglichkeit lautet A-B-C-D-E. Aber auch die zweite Möglichkeit, die Montage in der Reihenfolge A-C-B-D-E führt zu einem korrekt zusammengebauten Produkt.

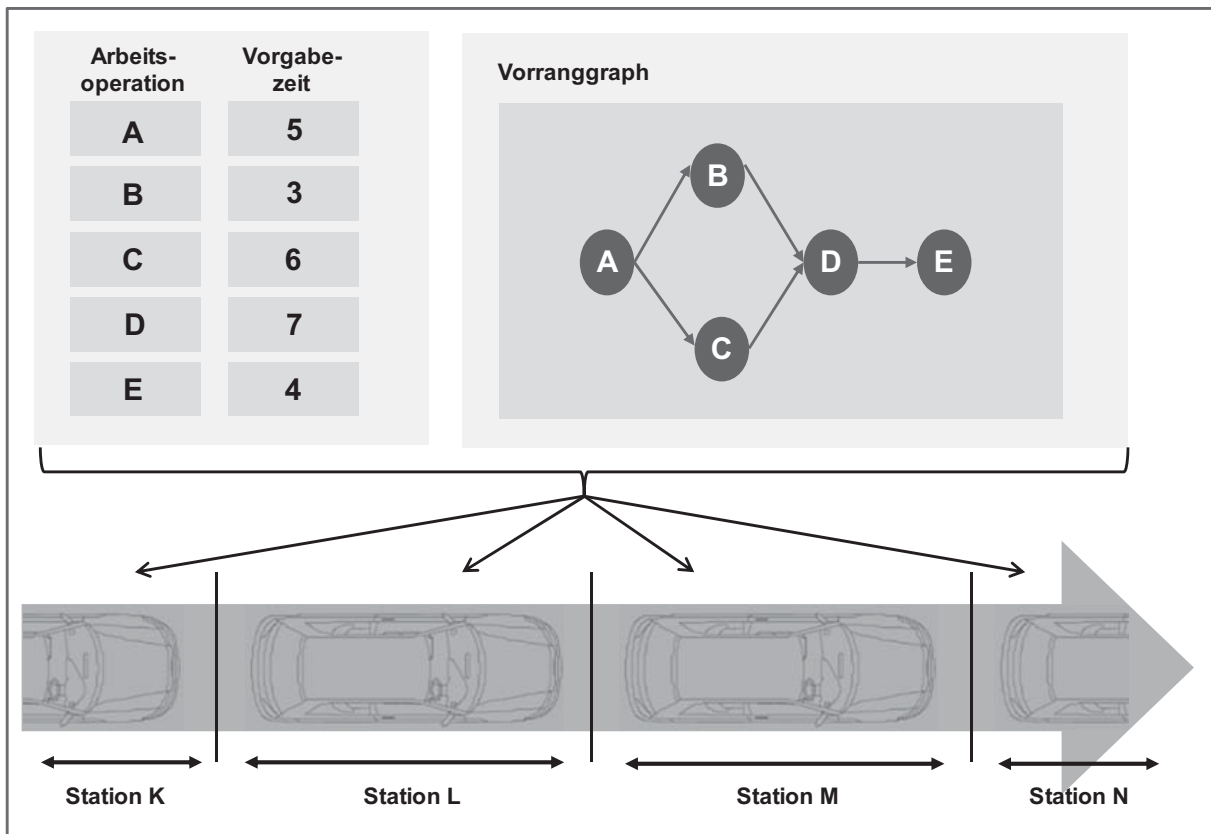


Abbildung 9: Arbeitsoperationen und Vorranggraph als Grundlage zur Fließbandabstimmung (Quelle: angelehnt an Vahrenkamp, 1995)

Sind Vorgabezeiten und Reihenfolgebeziehungen bekannt, können im Rahmen der Arbeitszuteilung die Arbeitsoperationen den Bearbeitungsstationen zugewiesen werden. Der wesentliche Parameter dabei ist die Taktzeit. Diese gibt die maximal verfügbare Montagezeit pro Bearbeitungsstation an und berechnet sich mittels der Division der Nettoarbeitszeit pro Tag durch die zu produzierende Stückzahl pro Tag.

$$\text{Taktzeit} = (\text{Nettoarbeitszeit pro Tag}) / (\text{Stückzahl pro Tag})$$

Den Stationen werden nun so viele Arbeitsoperationen zugewiesen, dass die Addition ihrer Vorgabezeiten die zur Verfügung stehende Taktzeit nach Möglichkeit nicht überschreitet. Dabei ist auf die Reihenfolgebeziehungen aus dem Vorranggraphen zu achten. Nach der ersten Zuteilung schließen sich in der Regel eine Reihe von Optimierungsschleifen an, die das Ziel verfolgen, die Anzahl der Arbeitsstationen und die Taktausgleichszeit (Wartezeit, die entsteht, wenn die Summe der Vorgabezeiten der Arbeitsoperationen kleiner als die Taktzeit ist) an den einzelnen Stationen zu minimieren. Auf der Suche nach einer optimalen Zuteilung der Arbeitsoperationen wurden in den letzten Jahrzehnten diverse algorithmische (analytische) und heuristische Verfahren entwickelt (Lutz, 1974, S. 23). Bis heute ist diese Fragestellung Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben (vgl. z. B. Universität Jena:

<http://www.wiwi.uni-jena.de/Entscheidung/index.php> [Stand: März 2011]).

Die eben beschriebene Fließbandabstimmung kann in dieser Form nur für die Einproduktfließfertigung oder die Sortenfertigung verwendet werden. Für die in der Automobilindustrie anzutreffende Variantenfließfertigung gestaltet sich diese Aufgabe schwieriger, da es für unterschiedliche Varianten unterschiedliche Arbeitsoperationen mit unterschiedlichen Vorgabezeiten gibt. Generell wäre zwar denkbar, für jede Produktvariante eine isolierte Abstimmung vorzunehmen. Im Ergebnis würde dies allerdings dazu führen, dass der gleiche Arbeitsgang für unterschiedliche Varianten an unterschiedlichen Stationen durchgeführt werden müsste (Domschke, Scholl, Voß, 1997, S. 251). Da diese Situation für eine effiziente Montage nicht sinnvoll ist, behilft man sich mit der Bildung einer aggregierten oder durchschnittlichen Variante (Domschke, Scholl, Voß, 1997, S. 252). Diese aggregierte oder durchschnittliche Variante mittelt die variantenabhängige Bearbeitungszeit pro Arbeitsgang. Mit dieser gemittelten Variante erfolgt dann – wie beschrieben – die Fließbandabstimmung. Das Ergebnis der Fließbandabstimmung mit der gemittelten Variante ist ein Taktzeitdiagramm, das für jede Station Intervalle ausweist, innerhalb dieser die Bearbeitungszeit je nach Variante schwankt. Dabei kann sich dieses Intervall auch leicht über die Taktzeit erstrecken.

Zur Reduzierung dieser Schwankungen, die ein Aspekt der Zeitspreizung ist, wird die Zuteilung mittels mathematischer Verfahren optimiert (Domschke, Scholl, Voß, 1997, S. 258). Die verbleibenden Schwankungen müssen über unterschiedliche Maßnahmen kompensiert werden, die in Abschnitt 2.4 vorgestellt werden.

2.2 Stand der Wissenschaft im Hinblick auf die Zeitspreizung

Wenn man nach dem Begriff Zeitspreizung in der Literatur sucht, so ist eine direkte Annäherung nur schwer möglich. Das liegt daran, dass der Karlsruher Virtuelle Katalog nicht einen einzigen Eintrag zu diesem Schlagwort zu Beginn der Bearbeitung dieses Themas (Stand: Dezember 2009) verzeichnete. Auch bei der Internetsuchmaschine Google fanden sich zu dem Zeitpunkt nur 39 qualifizierte Verweise (Stand: Dezember 2009), wobei es sich stets nur um die Nennung des Begriffs handelte, ohne dass mit weiteren Erläuterungen auf den Begriff eingegangen wurde. (Im Januar 2012 liefert die gleiche Recherche im Karlsruher Virtuellen Katalog immer noch keinen Eintrag. Bei Google sind derweil 53 qualifizierte Verweise gelistet). Aus diesem Grund war es notwendig, sich über einen „Umweg“ diesem Begriff zu nähern. Im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche wurden die wesentlichen Werke zur Produktionsplanung und –steuerung und zum Produktionsmanagement bzgl. der Beschäftigung mit dem Problem der Zeitspreizung gesichtet.



Das Ergebnis dieser Recherche zeigt Tabelle 1. Bei der Betrachtung der Auswertung ist zu erkennen, dass die Zeitspreizung zwar häufig implizit, also ohne Nennung des Begriffs, beschrieben wird, aber in nur sehr wenigen Werken eine explizite Nennung der Zeitspreizung erfolgt. Eine Definition des Begriffs findet man lediglich bei Johannson (1989, S. 18) und Gans (2009, S. 8).

Tabelle 1: Ergebnis der Literaturrecherche zum Begriff der Zeitspreizung
(Quelle: eigene Darstellung)

Literaturquelle		A	B	C
Autor	Titel			
Askin, R.; Standridge, C. (1993)	Modeling and Analysis...	Ja	Nein	Nein
Boysen, N. (2005)	Variantenfließfertigung	Ja	Nein	Ja
Bürger, M. (1997)	Konfigurationsplanung flexibler...	Ja	Nein	Nein
Dangelmaier, W.; Warnecke, H. - J. (1997)	Fertigungslenkung	Ja	Nein	Ja
Decker, M. (1993)	Variantenfließfertigung	Ja	Nein	Ja
Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1997)	Produktionsplanung	Ja	Nein	Ja
Dorninger, C. (1991)	Kundenindividuelle Fertigung	Nein	Nein	Nein
Gans, Jan Erik (2009)	Neu- u. Anpassungsplanung...	Ja	Ja	Ja
Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V. (1991)	Produktionsplanung und -steuerung	Nein	Nein	Nein
Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2000)	Produktion und Logistik	Ja	Nein	Ja
Höck, M. (1998)	Produktionsplanung und -steuerung...	Nein	Nein	Nein
Johansson, M. (1989)	Product design and materials...	Ja	Ja	Ja
Kiener et al. (2006)	Produktionsmanagement	Ja	Nein	Nein
Küpper, H.-U.; Helber, S. (2004)	Ablauforganisation in Produktion...	Ja	Nein	Ja
Kurbel, K. (2005)	Produktionsplanung und -steuerung	Nein	Nein	Nein
Lochmann, M. (1999)	Operative Planung und Steuerung...	Ja	Nein	Ja
Lotter, B.; Wiendahl, H. - P. (2006)	Montage in der industriellen Produktion	Nein	Nein	Nein
Luczak, H.; Eversheim, W.; Schotten, M. (1998)	Produktionsplanung und -steuerung	Nein	Nein	Nein
Meißner, S. (2009)	Logistische Stabilität in der...	Ja	Nein	Nein
Mollemeier, A. (1997)	Integrierte Steuerung getakteter...	Ja	Nein	Ja
Neumann, K. (1996)	Produktions- und Operationsmanagement	Ja	Nein	Ja
Nof, S.; Wilhelm, W.; Warnecke, H.-J. (1997)	Industrial Assembly	Ja	Nein	Ja
Sawik, T. (1999)	Production Planning and Scheduling...	Nein	Nein	Nein
Schneeweiß, C.; Söhner, V. (1995)	Kapazitätsplanung bei moderner...	Ja	Nein	Ja
Scholl, A. (1995)	Balancing and Sequencing...	Ja	Nein	Ja
Shiroma, P. J. (1996)	Efficient Production Planning...	Nein	Nein	Nein
Steffen, R. (1977)	Produktionsplanung bei Fließband...	Nein	Nein	Nein
Vahrenkamp, R. (1996)	Produktions- und Logistikmanagement	Nein	Nein	Nein
Warnecke, H. - J. (1995)	Der Produktionsbetrieb 2	Nein	Nein	Nein
Warnecke, H. - J. (1996)	Die Montage im flexiblen...	Nein	Nein	Nein
Westkämper, E. (2006)	Einführung in die Organisation...	Nein	Nein	Nein
Wiendahl, H.-P. (2008)	Betriebsorganisation für Ingenieure	Nein	Nein	Nein

Legende

A = Diskussion der Variantenfließfertigung

B = Explizite Nennung der Zeitspreizung

C = Implizite Beschreibung der Zeitspreizung

Es lässt sich zusammenfassen, dass der Effekt der Zeitspreizung in der Literatur an vielen Stellen diskutiert wird, wobei jedoch eine genaue Definition des Begriffs unterbleibt (Ausnahme: Gans und Johannson, deren Definitionen in Kapitel 2.3 vorgestellt werden). Die folgenden Ausführungen fassen die in der Literatur beschriebenen Eigenschaften und Auswirkungen der Zeitspreizung zusammen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen dann in eine Definition des Begriffs ein, die in Kapitel 2.3 vorgenommen wird.

2.2.1 Eigenschaften der Zeitspreizung

Wie im Kapitel 2.1.2 beschrieben wurde, ist die Automobilmontage als Variantenfließfertigung organisiert. Das bedeutet, dass unterschiedliche Varianten eines Fahrzeugmodells in gemischter Folge auf einem Fließband montiert werden. Dabei können einzelne Arbeitsgänge, die an der gleichen Arbeitsstation ausgeführt werden, von Variante zu Variante unterschiedlich sein. Es kommt dadurch zu einer variantenbedingten Schwankung der Bearbeitungszeit (Domschke, Scholl, Voß, 1997, S. 184-185).

Diesen Zustand beschreibt Decker (1993, S. 12-13) an einem allgemeinen Zahlenbeispiel (vgl. Tabelle 2). Beispielhaft wird angenommen, dass es vier zu montierende Varianten gibt, die innerhalb von zwei Arbeitsstationen montiert werden. Dabei ist zu erkennen, dass die Bearbeitungszeiten sowohl innerhalb der Varianten als auch innerhalb der Stationen stark variieren. Im Durchschnitt ist aber jede der zwei Stationen mit zehn Zeiteinheiten belastet. Wenn man nun diese durchschnittliche Bearbeitungszeit von zehn Zeiteinheiten als Taktzeit definiert, gibt es zum einen die Konstellation, dass der Arbeitsgang vor Erreichen der Taktzeit abgeschlossen ist (das ist z. B. bei der Montage der Varianten B und C an der Station 1 der Fall). Zum anderen kann es geschehen, dass der Arbeitsgang erst durch die Überschreitung der Taktzeit von zehn Zeiteinheiten abgeschlossen werden kann (das ist z. B. bei der Montage der Varianten A, C und D an der Station 2 der Fall).

Tabelle 2: Einfaches Beispiel zur Darstellung variierender Bearbeitungszeiten
(Quelle: Decker, 1993)

		STATION	
		1	2
VARIANTE	A	10 = \emptyset	14 > \emptyset
	B	8 < \emptyset	2 < \emptyset
	C	6 < \emptyset	12 > \emptyset
	D	16 > \emptyset	12 > \emptyset
		Durchschnitt: 10	

Auf die Automobilmontage übertragen, bedeutet das, dass die Montagestationen in der Regel nicht ganz gleichmäßig ausgelastet sind, sondern die Auslastung von der aktuell zu montierenden Variante abhängt. Ziel ist es allerdings, die Arbeitsstationen möglichst so auszulasten, dass die Bearbeitungszeit der meisten Varianten relativ genau der Taktzeit entspricht und nur wenige Varianten in der Bearbeitungszeit deutlich von der Taktzeit abweichen, da es sonst zu Warte- oder Taktzeitüberschreitungen kommt (vgl. Abbildung 10).

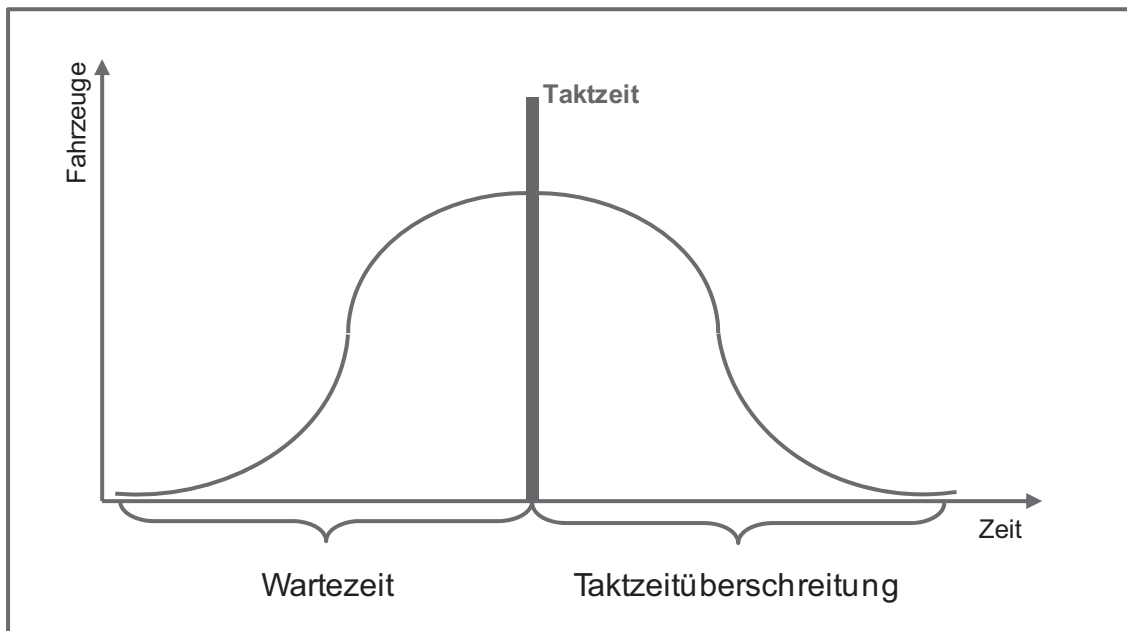


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Bearbeitungszeit und Taktzeit
(Quelle: eigene Darstellung)

Bei der zeitlichen Differenz der Bearbeitungszeit unterschiedlicher Fahrzeuge an derselben Montagestation, gibt es einen Zusammenhang mit dem Beobachtungsintervall, welcher kurz näher beschrieben werden soll. Wählt man das Betrachtungsintervall sehr klein, im Minimalfall also zwei aufeinander folgende Fahrzeuge, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Zeitdifferenz maximal wird, eher gering. Das hängt damit zusammen, dass sich viele Modellvarianten in ihrer Bearbeitungszeit unterscheiden. Für die maximale Differenz ist es allerdings notwendig, dass sich sowohl das Fahrzeug mit der geringsten als auch das Fahrzeug mit der größten Bearbeitungsdauer im Betrachtungsintervall befindet. Wählt man das Betrachtungsintervall größer, also zum Beispiel ein ganzes Tages- oder Wochenprogramm, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass im Betrachtungsintervall das Fahrzeug mit der kleinsten Bearbeitungsdauer und das Fahrzeug mit der größten Bearbeitungsdauer enthalten ist. Somit wird die Zeitdifferenz maximal. Untersuchungen von Liebl (2010, S. 102-103) zeigen, dass die maximale Zeitdifferenz bei einem Betrachtungsintervall von 2 Monaten sicher enthalten ist.

2.2.2 Auswirkungen der Zeitspreizung auf die Montage

Ein wesentliches Element der Zeitspreizung ist der in Kapitel 2.2.1 beschriebene Montagezeitunterschied zwischen den Produktvarianten. Nach Günther und Tempelmeier (2000, S. 237-238) entstehen dadurch drei typische Situationen:

- **Der Werker kann seine Position halten:**
Im Idealfall besitzt die Produktvariante einen Arbeitsinhalt, der genau der Taktzeit entspricht. Im Ergebnis bedeutet das, dass der Werker genau am Ende seiner Arbeitsstation mit seiner Tätigkeit fertig ist, zum Beginn dieser zurückkehrt und dort von neuem mit seiner Tätigkeit an einem anderen Fahrzeug beginnt.
- **Der Werker schwimmt ab (stromabwärts):**
Ist die Bearbeitungsdauer größer als die zur Verfügung stehende Taktzeit, bedeutet das, dass der Werker seine Station verlassen muss und erst im Bereich der nächsten Station die Montage beenden kann.
- **Der Werker wartet:**
Ist die Bearbeitungszeit geringer als die Taktzeit, bedeutet das, dass der Werker seine Tätigkeit vor Erreichen der Stationsgrenze abgeschlossen hat, zum Anfang seiner Station zurückkehrt und dort unproduktiv auf das nächste Fahrzeug wartet.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle bemerkt, dass dem eben beschriebenen Ablauf sogenannte „rechts-offene“ Stationen zu Grunde liegen. Das bedeutet, dass der Werker auf der rechten Seite, also stromabwärts, seine Station verlassen

kann, um in die benachbarte Arbeitsstation einzutreten. Im Gegensatz dazu gibt es auch geschlossene Stationen, in denen es aus technischen Gründen nicht möglich ist, die Station zu verlassen. Hier auftretende Überbelastungen lassen sich dann nur noch über Springer, Nacharbeit oder kurzzeitigen Bandstillstand ausgleichen (vgl. Kapitel 2.4). Auch links-offene oder rechts- und links-offene Stationen sind denkbar. Dass bedeutet, dass der Werker seine Arbeitsstation auch stromaufwärts bzw. stromauf- und abwärts verlassen kann (Küpper, Helber, 2004, S. 160-161).

Anhand eines Beispiels wird eine typische Situation in einer Montage mit Produktvarianten, die sich im Hinblick auf die Montagezeit unterscheiden, dargestellt (vgl. Abbildung 11). An dem dargestellten Bewegungsdiagramm lassen sich die genannten Auswirkungen nachvollziehen. Im Diagramm ist auf der Y-Achse die Zeit eingetragen, die in Vielfachen der Taktzeit c skaliert ist. Auf der X-Achse ist die räumliche Ausdehnung der ersten vier Stationen des Montagebandes abgetragen. Die gepunkteten diagonalen Linien geben die Geschwindigkeit des Montagebandes wieder (zum Durchlaufen einer Station wird genau die Taktzeit benötigt). Angenommen wird, dass auf dem Montageband ausschließlich die Produktvarianten A und B (im Diagramm als Var. A und Var. B bezeichnet) hergestellt werden. Dabei wechseln sich die beiden Varianten in alternierender Folge ab. Die Bearbeitungsdauer der Variante A entspricht an Station 1 genau der Taktzeit, an Station 2 ist diese deutlich kleiner und an Station 3 ist diese deutlich größer als die Taktzeit. Variante B hat an Station 1 und 2 eine Bearbeitungsdauer, die genau der Taktzeit entspricht, an Station 3 ist die Bearbeitungsdauer deutlich kleiner als die Taktzeit.

Der Mitarbeiter von Takt 1 beginnt also mit der Montage von Variante A. Die Bearbeitung endet genau mit Erreichen der Stationsgrenze nach einer Taktzeitperiode. Er begibt sich wieder zum Anfang seiner Station (gestrichelte Linie im Diagramm. Da die Laufgeschwindigkeit im Vergleich zur Bandgeschwindigkeit als sehr hoch angesehen werden kann, ist die Linie horizontal) und montiert dann die Variante 2. Da auch die Variante 2 mit ihrer Bearbeitungsdauer genau der Taktzeit entspricht, erreicht der Mitarbeiter bei Beenden der Montage gerade die Stationsgrenze und kehrt zum Anfang zurück, um nun wiederum die Variante A zu montieren. Da beide Varianten (A und B) in ihrer Bearbeitungsdauer genau der Taktzeit entsprechen, kann der Mitarbeiter im Rhythmus des Taktes arbeiten und seine Position im Montageband halten. An Station 2 beginnt der Mitarbeiter am Stationsanfang mit der Montage von Variante A. Da die Bearbeitungszeit deutlich kürzer als die Taktzeit ist, kann er die Aufgabe bereits vor Erreichen der Stationsgrenze beenden, kehrt zum Stationsanfang zurück und wartet dort auf das Eintreffen der Variante B. Bei dieser Variante beendet der Mitarbeiter die Montage genau bei Erreichen der Stationsgrenze. Dann kehrt er zum Stationsanfang zurück und dort wiederholt sich der Ablauf bei Montage der Variante A.

An Station 3 beginnt der Mitarbeiter ebenfalls mit der Montage der Variante A. Da die Bearbeitungsdauer deutlich größer als die Taktzeit ist, hat der Mitarbeiter die Montage bei Erreichen der Stationsgrenze noch nicht beendet und muss in die Nachbarstation eintreten, um dort die Montage fortzusetzen. Erst nach einigen Metern in der Nachbarstation kann der Mitarbeiter die Montage abschließen und in seine Station zurückkehren. Da er für die Montage der Variante A mehr Zeit verbraucht hat, als durch die Taktzeit vorgesehen, erreicht er Variante B nicht mehr am Beginn seiner Station. Der Mitarbeiter hat für die Montage der Variante B, aufgrund des späten Startzeitpunktes, nun weniger Zeit. Da im vorliegenden Beispiel die Variante B an der Station 3 nur eine kurze Bearbeitungsdauer hat, kann der Mitarbeiter mit Erreichen der Stationsgrenze die Montage beenden und zum Anfang der Station zurückkehren, um dort wieder eine Variante A zu montieren. Wäre die Kombination an Station 3 von einer langen Bearbeitungsdauer von Variante A, die durch eine kurze Bearbeitungsdauer von Variante B wieder ausgeglichen werden kann, nicht gegeben, könnte der Mitarbeiter seine Position im Montageband nicht halten und würde stromabwärts „abschwimmen“.

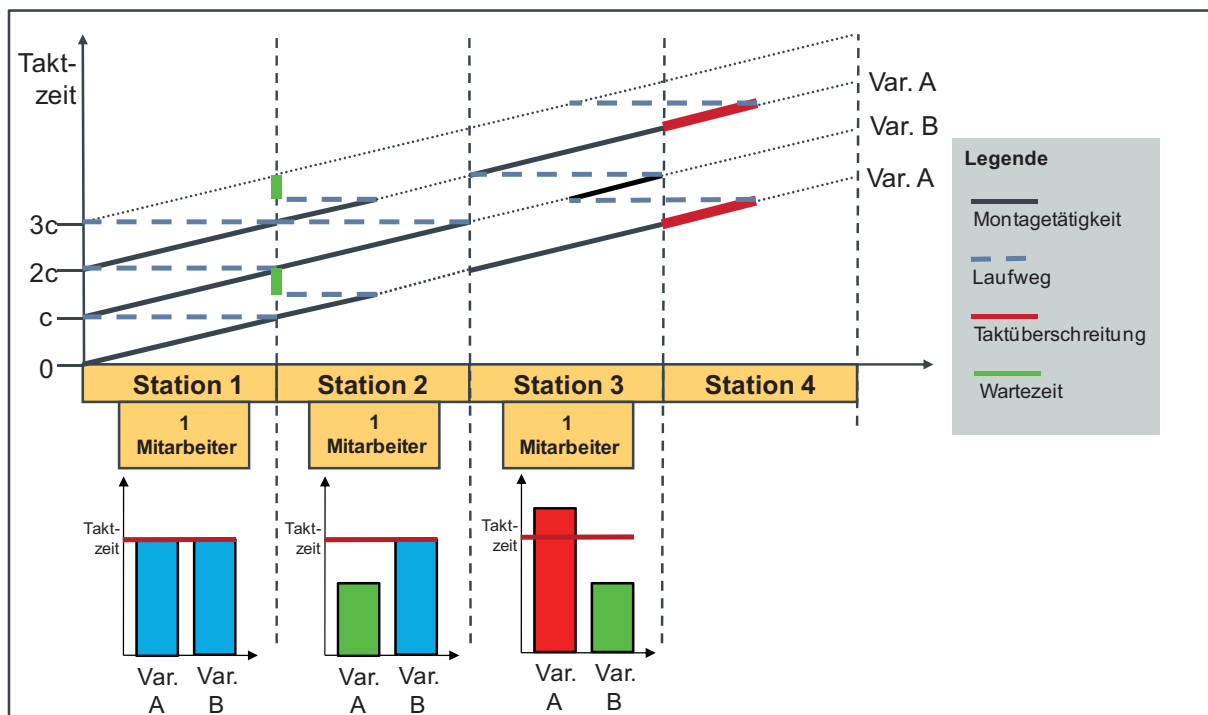


Abbildung 11: Ein Beispiel für Zeitspreizung im Bewegungsdiagramm
(Quelle: angelehnt an Domschke et al., 1997)

Entspricht die Montagezeit einer Variante nicht ungefähr der Taktzeit (positive Folge: der Werker kann seine Position im Band halten), sind folgende Konsequenzen mit den eben beschriebenen Situationen verbunden:

Die Montagezeit einer Variante ist länger als die Taktzeit (Taktzeitüberschreitung) und der Werker schwimmt ab:

- Wird das „Abschwimmen“ zugelassen, führt das zunächst dazu, dass der Arbeiter in Zeitdruck gerät und überfordert wird, da er die eigentlich zu umfangreiche Aufgabe in seinem Arbeitsbereich beenden will. Gelingt dieses nicht, muss er zur Fertigstellung seine Arbeitsstation verlassen und in die Nachbarstation eindringen. Dort kann es dann schnell aufgrund von Platzmangel und schlechten Zugänglichkeiten der Montagestellen zum Konflikt mit dem Mitarbeiter der nächsten Station kommen. Insgesamt kann diese Situation, neben dem Stress, den sie bei beiden Mitarbeitern erzeugt, zu erheblichen Qualitätsproblemen und damit verbundenen Kosten führen (Nof, Wilhelm, Warnecke, 1997, S. 343).
- Soll das „Abschwimmen“ vermieden werden, müssen entsprechende Gegenmaßnahmen (diese werden ausführlich in Kapitel 2.4 vorgestellt), wie z. B. eine Sequenzsteuerung oder der Einsatz eines Springers, ergriffen werden. Je nach Art der Gegenmaßnahme entstehen dem Unternehmen dadurch unterschiedlich hohe Kosten.

Die Montagezeit einer Variante ist kürzer als die Taktzeit (Wartezeit) und der Werker wartet:

- Der Mitarbeiter beendet seine Tätigkeit bereits vor Ablauf der Taktzeit. Die entstehende Differenz zwischen tatsächlicher Montagezeit und vorgegebener Taktzeit muss vom Unternehmen als unproduktive Wartezeit bezahlt werden.

Über den in diesem Kapitel gegebenen Überblick zum Stand der Wissenschaft im Hinblick auf Begriff der Zeitspreizung konnten die wesentlichen Eigenschaften und Auswirkungen dargestellt werden. Diese Erkenntnisse werden im folgenden Kapitel 2.3 genutzt, um eine Definition für die Zeitspreizung zu formulieren.

2.3 Definition des Begriffs der Zeitspreizung

Wie die Darstellung der Erkenntnisse aus der Literatur im Kapitel 2.2 gezeigt hat, wird der Begriff der Zeitspreizung in der Regel auf den Aspekt der unterschiedlichen Montagezeiten von Varianten beschränkt.

Dieses spiegelt sich auch in der Definition von Gans (2009, S.8) wieder, der „die Differenz zwischen niedrigster und höchster Bearbeitungszeit an einer Station als Zeitspreizung“ festlegt. Die Definition von Johansson (1989, S. 18) nimmt hingegen neben der Montagezeit auch den Aspekt der Variantenanzahl auf und weist auch auf die Folgen der Zeitspreizung hin. Seine Definition des Begriffs lautet deshalb:

„The time expanding effect, which is a result of the correlation between the number of components in the product and the assembly time leads to a balance loss inefficiency in assembly on a traditional assembly line“. (deutsch: „Die Zeitspreizung ist das Ergebnis des Zusammenspiels zwischen der Anzahl der Komponenten eines Produktes und der Montagezeit. Diese erzeugt eine suboptimale Auslastung auf einer traditionellen Montagelinie“).

Aus Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit ist auch die Definition von Johannson nicht umfassend genug, um die Zeitspreizung zu beschreiben. Neben den Einflussgrößen „Montagezeit“ und „Variantenanzahl“ bestimmt noch ein dritter Aspekt ganz wesentlich den Begriff: die Verbaurate der einzelnen Varianten. Darunter ist zu verstehen, wie sich die Montagehäufigkeit der verschiedenen Varianten verteilt. Der Montageprozess läuft gleichmäßig ab, wenn es eine Variante gibt, die quasi standardmäßig verbaut wird (hohe Verbaurate), während die anderen Varianten nur sporadisch auftreten. Hingegen führen ähnliche Verbauhäufigkeiten (es ist keine Vorzugsvariante erkennbar) zu ungleichmäßigen und deshalb fehleranfälligen Prozessen. Entsprechend soll der Begriff der Zeitspreizung wie folgt definiert werden:

Die Zeitspreizung ist ein Effekt der Variantenfließfertigung, der durch das Zusammenspiel von Variantenanzahl, Verbaurate und Montagezeitdifferenz entsteht. Dabei können Auslastungsdefizite, Produktivitätsverluste und Qualitätsprobleme die Folgen sein. Die Zeitspreizung zu beherrschen wird umso schwerer, je mehr Varianten existieren, je stärker die Verbaurate streut und je größer die Montagezeitdifferenz ist.

Während die in der Definition verwendeten Begrifflichkeiten „Variantenanzahl“ und „Verbaurate“ keiner weiteren Erklärung bedürfen, soll die genannte „Montagezeitdifferenz“ mittels der Standardsystematiken der Zeitwirtschaft MTM und REFA genauer dargestellt werden. MTM (Methods Time Measurement) ist ein Verfahren zur synthetischen Zeitermittlung von manueller Arbeit. Die Grundlage des Verfahrens sind 19 Bewegungselemente, denen über empirische Studien der notwendige Zeitbedarf (Normalzeit) zugeordnet wurde. Zur Beschreibung einer Arbeitsaufgabe wird diese in ihre Bewegungselemente aufgeteilt. Die für die Arbeitsaufgabe erforderliche Gesamtzeit ergibt sich dann durch die Addition der einzelnen, zur Arbeitsaufgabe gehörenden Bewegungselemente (Westkämper, 2006, S. 172).

Das REFA-Zeitsystem (ehemals Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung) ist ein Verfahren, das mit analytischer Zeitermittlung, also der Messung der tatsächlich bei der Durchführung der Arbeitsaufgabe beobachtbaren Zeit, arbeitet. Da durch eine derartige Messung nur die Ist-Zeit bestimmt werden kann, muss im Anschluss der Leistungsgrad als Schätzung des Verhältnisses von Ist- zu Normalleistung bestimmt

werden (Westkämper, 2006, S. 173). Beide Verfahren werden benutzt, um Soll- oder Vorgabezeiten für die in der Produktion eingesetzten Menschen und Betriebsmittel herzuleiten. Dabei bedient sich auch das MTM-Verfahren des Analyse-Synthese-Modells nach REFA (Bokranz, Landau, 2006, S. 477), welches auch im Weiteren zur Definition der Montagezeitdifferenz genutzt werden soll.

Zur Beschreibung einer Arbeitsaufgabe wird diese nach REFA in Ablaufabschnitte zerlegt (vgl. Abbildung 12). Diese Ablaufabschnitte sind Untereinheiten der Gesamtaufgabe wie Teilabläufe, Ablaufstufen, Vorgänge oder Vorgangselemente. Um die Dauer der Ablaufabschnitte bestimmen zu können, erfolgt zunächst die Zerlegung (Analyse) dieser in sogenannte Ablaufarten. Diesen Ablaufarten werden dann bestimmte Zeitarten zugeordnet. Dabei gibt es im Hinblick auf die Ablaufarten unterschiedliche Betrachtungsmöglichkeiten, die sich auf den Menschen, den Arbeitsgegenstand (oder die Information, sofern diese als spezieller Arbeitsgegenstand betrachtet wird), das Betriebsmittel oder die Aufgabenerfüllung beziehen können (REFA, 1991, S. 11, 17). Zur Beschreibung der Montagezeitdifferenz ist der Betrachtungsbezug „Aufgabenerfüllung“ am besten geeignet. Denn dieser befasst sich mit der zur Erfüllung der Aufgabe notwendigen Durchlaufzeit. Wer oder was im Einzelnen zeitbestimmend ist, ist dabei von nachrangiger Bedeutung (REFA, 1991, S. 11).

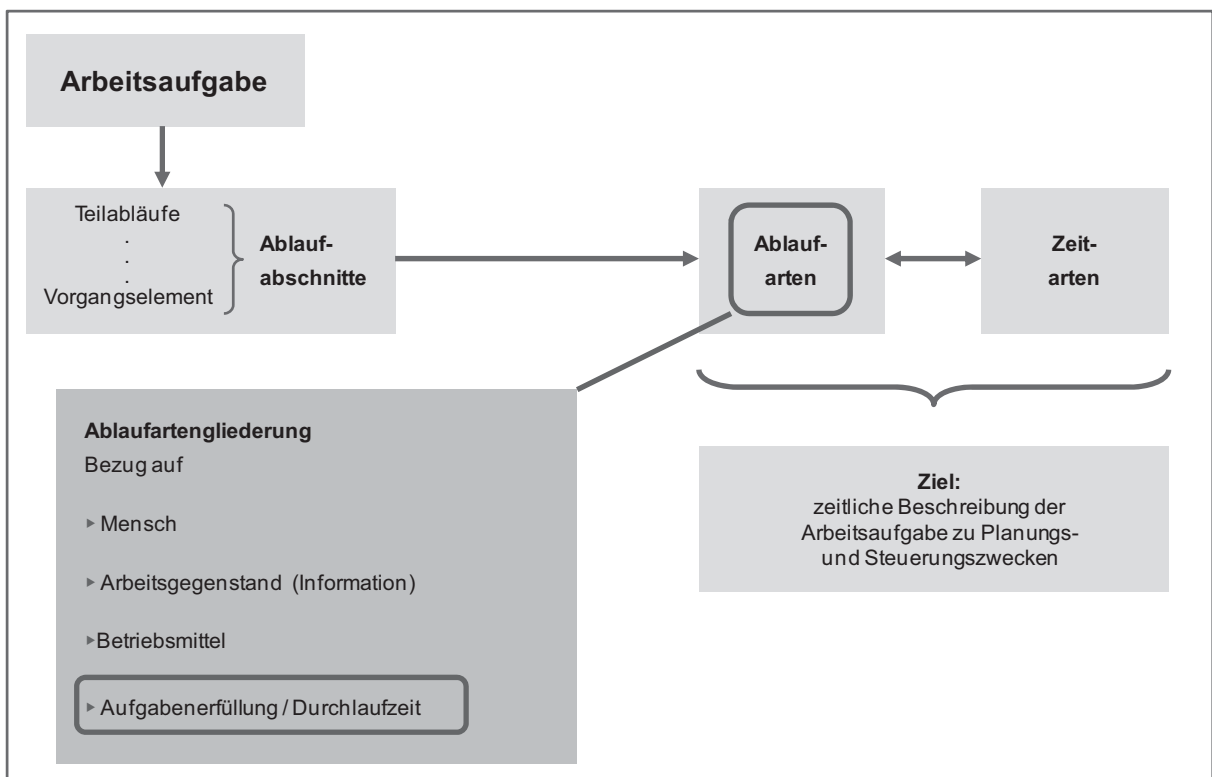


Abbildung 12: Analyse-Synthese-Modell nach REFA (Quelle: REFA, 1991)

Die Durchlaufzeit gliedert sich dabei nach REFA (1991, S. 17) in unterschiedliche Ablauf- und Zeitarten (vgl. Abbildung 13). Anhand dieser Einteilung wird die Montagezeitdifferenz genauer betrachtet.

Die Durchlaufzeit (T_D) teilt sich in die planmäßige Durchlaufzeit (t_{pS}) und die Zusatzzeit (t_{zUS}). Da die Zusatzzeit aus der Summe aller Zeiten, die zusätzlich zur planmäßigen Durchführung notwendig sind, besteht und somit nicht planmäßig auftritt, hat diese Zeitart für unsere Betrachtung keine Relevanz. Die Montagezeitdifferenz ist eine Schwankung der Bearbeitungsdauer im Rahmen des Regelablaufes und hat somit keinen Bezug zur Zusatzzeit, die durch Anlagenstörzeiten und Fehlzeiten von Mitarbeitern bestimmt wird (REFA, 1991, S. 21,26). Somit bleiben zur Beschreibung noch die Bestandteile der planmäßigen Durchlaufzeit (t_{pS}) übrig.

Diese gliedert sich in die Zwischenzeit (t_{zWS}) und die Durchführungszeit (t_{dS}). Dabei zerfällt die Durchführungszeit wiederum in die Hauptdurchführungszeit (t_{hS}) und die Nebendurchführungszeit (t_{nS}). Die Zwischenzeit (t_{zWS}) ist definiert als die Summe der Soll-Zeiten, innerhalb welcher die Ausführung der Aufgabe planmäßig unterbrochen ist. Die geplante Zeit nach Beendigung einer Arbeitsaufgabe und vor Beginn der nächsten Arbeitsaufgabe wird also als Zwischenzeit bezeichnet. Dazu zählt im Wesentlichen die Liegezeit vor und nach der Bearbeitung (REFA, 1991, S. 20). Als Hauptdurchführungszeit (t_{hS}) wird die planmäßige, unmittelbar zur Erfüllung der Aufgabe notwendige Zeit bezeichnet, also z. B. der tatsächliche Zusammenbau zweier Einzelteile zu einer Baugruppe. Hingegen bezeichnet die Nebendurchführungszeit (t_{nS}) eine planmäßige, nur mittelbar der Aufgabenerfüllung dienenden Zeit. Dies kann zum Beispiel das Lesen einer Zeichnung sein, das notwendig ist, um die zwei Einzelteile richtig zur Baugruppe montieren zu können (REFA, 1991, S. 14-15).

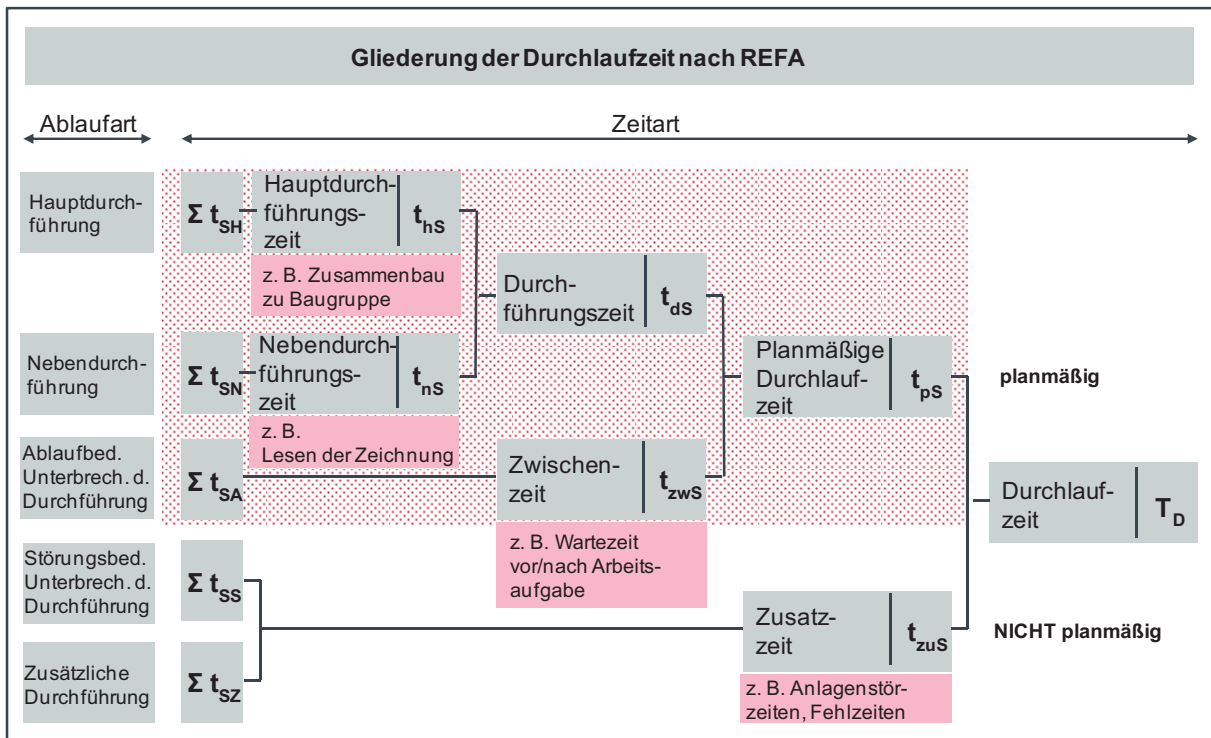


Abbildung 13: Gliederung der Durchlaufzeit nach REFA
(Quelle: REFA, 1991)

Mittels der beschriebenen Ablauf- und Zeitarten der REFA kann abschließend die Berechnung der Montagezeitdifferenz erklärt werden (vgl. Abbildung 14). Wie dargestellt sind nur Zeitanteile zu berücksichtigen, die durch planmäßig anfallende Tätigkeiten auftreten. Somit handelt es sich um eine Funktion der Durchführungszeit (t_{dS}) und der Zwischenzeit (t_{zws}). Da die Montagezeitdifferenz den zeitlichen Unterschied beschreibt, der bei der Montage zweier Varianten auftritt, kann diese als Differenz Durchführungszeit von Variante 1 ($t_{dS, v1}$) und der Durchführungszeit von Variante 2 ($t_{dS, v2}$) beschrieben werden.

Aufgrund der einfachen arithmetischen Zusammenhänge zwischen planmäßiger Durchlaufzeit (t_{pS}), Durchführungszeit (t_{dS}) und der Zwischenzeit (t_{zws}) lässt sich die Montagezeitdifferenz ebenfalls als Unterschied zwischen Zwischenzeit der Variante V1 ($t_{zws, v1}$) und Zwischenzeit der Variante V2 ($t_{zws, v2}$) beschreiben.

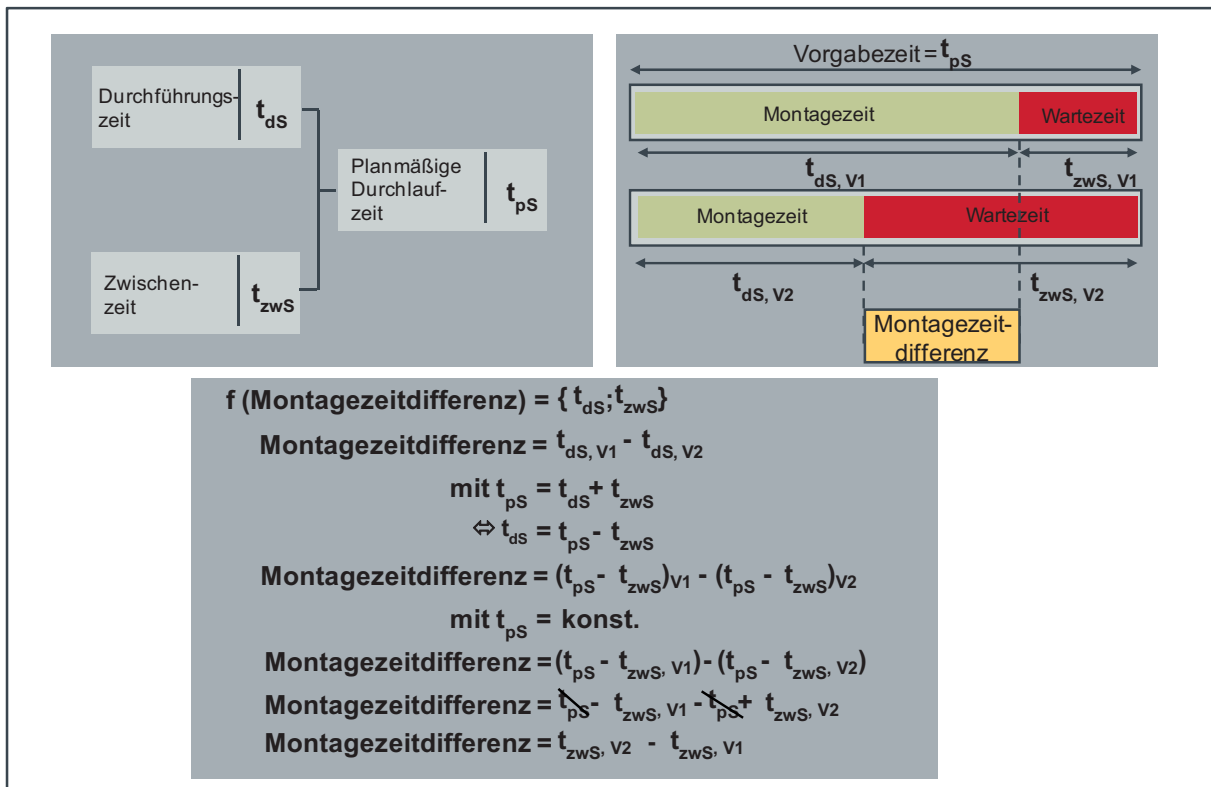


Abbildung 14: Berechnung der Montagezeitdifferenz mittels der Zeitarten der REFA (Quelle: eigene Darstellung)

Im folgenden Kapitel 2.4 werden Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung vorgestellt. Allen Maßnahmen gemeinsam ist, dass sich diese durch die Kernthemen der Arbeitswissenschaft, dem Streben nach Humanisierung und Rationalisierung (Schlick, Bruder, Luczak, 2010, S. 7), beschreiben lassen.

2.4 Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung

Damit trotz Zeitspreizung die Montage in einer Variantenfließfertigung effizient und human erfolgen kann, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von Maßnahmen entwickelt, die die Auswirkungen der Zeitspreizung kompensieren oder reduzieren.

Dabei bilden die dargestellten Einflussfaktoren „Variantenanzahl“, „Verbaurate“ und „Montagezeitunterschied“ (vgl. Kapitel 2.3) die natürlichen Ansatzpunkte, um die Zeitspreizung durch Eingriffe in den Prozess oder das Produkt für die großindustrielle Montage beherrschbar zu machen.

Tabelle 3 zeigt eine erweiterte Darstellung der aus Kapitel 2.2 bekannten Tabelle 1. Gefiltert nach den Autoren, die sich mit der Zeitspreizung beschäftigen, gibt die Tabelle einen Überblick, welche Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung in der Literatur diskutiert werden. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Maßnahmen vorgestellt und genauer beschrieben.

Tabelle 3: Übersicht über die Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung
(Quelle: eigene Darstellung)

Literaturquelle		Maßnahme										
Autor	Titel	Bandstopp	Springer	Nacharbeit	Sequenz	Abtaktung	Puffer	Material- bereitstellung	lokale Neuausstattung	Vormontage	Arbeits tempo	Technik
Boysen, N. (2005)	Variantenfließfertigung	X	X	X	X						X	
Dangelmaier, W.; Warnecke, H. - J. (1997)	Fertigungslenkung				X	X						
Decker, M. (1993)	Variantenfließfertigung		X		X		X		X	X		
Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1997)	Produktionsplanung	X	X	X		X						
Gans, Jan Erik (2009)	Neu- u. Anpassungsplanung der Struktur von...	X	X	X	X	X						
Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2000)	Produktion und Logistik				X							
Küpper, H.-U.; Helber, S. (2004)	Ablauforganisation in Produktion und Logistik	X	X	X	X							
Lochmann, M. (1999)	Operative Planung und Steuerung von Mehrprodukt-		X	X	X	X						
Meißner, S. (2009)	Logistische Stabilität in der automobilen				X							
Mollemeier, A. (1997)	Integrierte Steuerung getakteter Variantenfließfertigung		X		X	X	X		X	X	X	X
Neumann, K. (1996)	Produktions- und Operationsmanagement		X		X		X					
Nof, S.; Wilhelm, W.; Warnecke, H.-J. (1997)	Industrial Assembly		X		X						X	
Schneeweiß, C.; Söhner, V. (1995)	Kapazitätsplanung bei moderner Fließfertigung		X		X			X				
Scholl, A. (1995)	Balancing and Sequencing of Assembly Lines	X	X	X	X	X						

Bandstopp

Der Bandstopp, das heißt das Anhalten des Montagebandes für eine bestimmte Zeit, kann dann eingesetzt werden, wenn es variantenbedingt zu einer Überschreitung der zur Verfügung stehenden Taktzeit kommt. Durch die zusätzliche Zeit, in der das Band steht, kann an der betroffenen Station die Montagetätigkeit vollendet werden. Im Anschluss wird das Montageband wieder in Gang gesetzt (Scholl, 1995, S. 82). Ein großer Nachteil dieser Maßnahme ist, dass durch die starre Verkettung der Montagestationen ein Bandstopp immer alle am Band gelegenen Stationen betrifft. Somit fällt die Produktivität des Gesamtsystems bei jedem Anhalten des Bandes stark ab, da so in allen nicht betroffenen Stationen Wartezeit generiert wird. Diese Maßnahme ist eher theoretischer Natur und findet geplant in der Praxis keine Anwendung.

Springer

Der Springer soll die variantenbedingte Überlastung durch zusätzliche Arbeitskraft bewältigen. Dabei wird zwischen einem lokalen und einem externen Springer unterschieden.

Der „lokale Springer“, in der Literatur auch als „Floater“ bezeichnet (z. B. Schneeweiß, Söhner, 1991), ist ein Mitarbeiter einer der benachbarten Stationen, der kurzfristig zur betroffenen Station wechselt und hier unterstützt. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass sich Arbeitsstruktur und Werkzeugbedarf der benachbarten Stationen ähneln und der zur Hilfe kommende Mitarbeiter die entsprechenden Qualifikationen besitzt (Decker, 1993, S. 22). Im Hinblick auf das gesamte Montagesystem erhöht sich durch den Einsatz eines lokalen Springers die Kapazität nicht (Schneeweiß, Söhner, 1991, S. 4).

Im Gegensatz dazu erhöht der „externe Springer“ die zur Verfügung stehende Arbeitskapazität. Bei dem externen Springer handelt es sich um einen Mitarbeiter, der hochqualifiziert ist und große Flexibilität aufweist. Er kann bei Bedarf „von außen“ an die überlastete Stationen gerufen werden und überbrückt dann dort die Kapazitätsunterdeckung (Decker, 1993, S. 23).

Nacharbeit

Kann aufgrund einer Taktzeitüberschreitung ein Arbeitsgang nicht zu Ende gebracht werden, ist es möglich, diesen zu einem späteren Zeitpunkt zu vollenden. Dazu wird der angefangene Arbeitsgang mit Ablauf der Taktzeit abgebrochen. Das somit unvollständige Produkt wird im Anschluss in eine spezielle Werkstatt außerhalb des Bandes verbracht und dort komplettiert (Domschke, Scholl, Voß, 1997, S. 260). Es besteht auch die Möglichkeit, dass der abgebrochene Arbeitsgang an einer späteren Station im Band nachgeholt wird. Dieses bezeichnet man dann als bandgebundene Nacharbeit.

Generell verursacht Nacharbeit durch mehrfaches Handling und Sonderprozesse allerdings immer höhere Kosten. Auch kann sich das Abbrechen eines Arbeitsganges negativ auf die Produktqualität auswirken.

Sequenz

Als Sequenz wird die Reihenfolge der Varianten verstanden, wie diese über das Montageband laufen. Ziel einer guten Reihenfolgeplanung ist, eine gleichmäßige Auslastung des Montagebandes zu erhalten. Dazu werden unmittelbar aufeinander folgende Aufträge so gewählt, dass diese sich zeitlich ausgleichen (Neumann, 1996, S. 157). Wenn Variante A an einer Arbeitsstation einen hohen Montageaufwand besitzt und Variante B an derselben Station einen geringen Aufwand, wird man durch das gleichmäßige Mischen der Varianten eine stabile Auslastung der Station erreichen können. Allerdings ist die Sequenzbildung mittels unterschiedlicher Produkt-

merkmale in der Realität oft sehr schwierig. Dies liegt daran, dass zum einen der Zeitbedarf nicht immer anhand der Merkmale hinreichend genau erfasst werden kann. Zum anderen ist die Priorisierung unterschiedlicher Merkmale schwierig. So könnte in einer Automobilproduktion die Frage auftreten, ob die Reihenfolge der zu montierenden Fahrzeuge durch das Merkmal „mit/ohne Schiebedach“ oder eher durch das Merkmal „mit/ohne Klimaanlage“ bestimmt werden sollte (Decker, 1993, S. 18,19). Offensichtlich ist leicht vorstellbar, dass eine bestimmte Reihenfolge für die Station 1 optimal ist, während dieselbe Reihenfolge für andere Stationen sehr schlecht ist. So gibt es seitens der Montageprozesse, aber auch der Logistik, eine Reihe von Restriktionen, die die Wahlfreiheit bei der Sequenzbildung einschränken und die Planung einer guten Auftragsreihenfolge bei einem Montageband mit vielen Arbeitsstationen sehr schwierig gestalten (Meißner, 2009, S.25).

Abtaktung

Wie bereits im Kapitel 2.1.3 unter dem Stichwort „Fließbandabstimmung“ beschrieben, ist eine geeignete Zuteilung der variantenbeeinflussten Arbeitsoperationen auf die verschiedenen Montagestationen einer Variantenfließfertigung eine geeignete Maßnahme, um eine möglichst geringe Montagezeitdifferenz zu erzielen (Dangelmaier, Warnecke, 1997, S. 488). Auf die dazu verwendeten mathematischen Optimierungsverfahren kann aufgrund ihrer Komplexität hier nicht näher eingegangen werden. Genauere Erläuterungen zu diesen Verfahren finden sich bei Scholl (1995) und Domschke, Scholl und Voß (1997).

Puffer

Um die variantenbedingten Schwankungen auszugleichen, ist es denkbar, hinter jeder Arbeitsstation im Montageband ein kleines Zwischenlager, einen sog. Puffer zu installieren. Die Arbeitskraft hat so die Möglichkeit, ihren Arbeitsrhythmus trotz gegebener Taktzeit in begrenztem Maß selbst zu bestimmen (Warnecke, 1995, S. 46). Dieser Puffer sorgt für eine Entkopplung der Stationen, so dass sich eine Montagezeitüberschreitung ausgleichen lässt.

Allerdings führt die Einrichtung von Puffern in einer Fließmontage zu einem deutlichen Anwachsen der Bestände. Verbunden mit diesem Anwachsen ist zusätzlicher Flächen- und Raumbedarf für die Pufferlager (Mollemeier, 1997, S. 20). Diese Effekte konterkarieren aber gerade das Streben moderner Produktionssysteme nach geringen Beständen und Lagerflächen (z. B. Takeda, 2009). Deshalb wird in den Produktionssystemen der großen Automobilhersteller ein besonderer Schwerpunkt auf schlanke Materialsysteme gelegt. Hier spielen hohe Just-in-Time-Anteile und optimale Flächennutzung innerhalb der Fertigung eine große Rolle (Spanner-Ulmer, 2000, S. 59). Lediglich nach komplexen, störanfälligen Großanlagen im Montageband werden gewisse Sicherheitspuffer zugelassen.

Materialbereitstellung

Ein Teil der Montagezeitdifferenz ist nicht durch die variantenbedingte Arbeitsoperation selbst verursacht, sondern durch das zur Durchführung dieser Arbeitsoperation benötigte Material. Dieses soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden (vgl. Abbildung 15):

In Situation 1 ist das Material für den Serienumfang (die Montage dieses Umfangs startet an Punkt „S“ und endet an Punkt „E1“) wegeoptimiert bereitgestellt. Hingegen muss für Fahrzeuge, die einen variantenbedingten Umfang enthalten (die Montage startet am Punkt „S“ und endet am Punkt „E2“) ein zusätzlicher Weg für den Mitarbeiter in Kauf genommen werden. Die Zeit für diesen zusätzlichen Weg addiert sich mit der variantenbedingten Arbeitsoperation zum Montagezeitunterschied. Eine Verringerung der Zeitspreizung kann durch die veränderte Materialanstellung in Situation 2 beobachtet werden. Hier wurde die Materialanstellung zwischen Serien- und Variantenumfang vertauscht. Dadurch liegt das Material für den Variantenumfang nun wegeoptimiert bereit, was sich durch den verringerten Laufweg auswirkt. Somit kann durch die rechtzeitige und richtige Materialanstellung die Montagezeitdifferenz reduziert werden (Schneeweiß, Söhner, 1991, S. 5). Der gleiche Effekt lässt sich erzielen, wenn man eine vorkommissionierte bedarfsgerechte Materialanstellung einrichtet. Dieses auch als Just-in-Sequence (JiS) bekannte Anlieferungskonzept zeichnet sich dadurch aus, dass es für die unterschiedlichen Materialvarianten nur einen, stets gleichen, Bereitstellungspunkt gibt. In der Konsequenz bedeutet das, dass der Werker immer den exakt gleichen Laufweg hat, egal welche Variante er gerade zu montieren hat. Allerdings ist die Voraussetzung für das JiS-Konzept, dass in einem vorgelagerten Prozessschritt (Supermarkt) das Material in der geplanten Montagereihenfolge der Fahrzeuge vorkommissioniert wird.

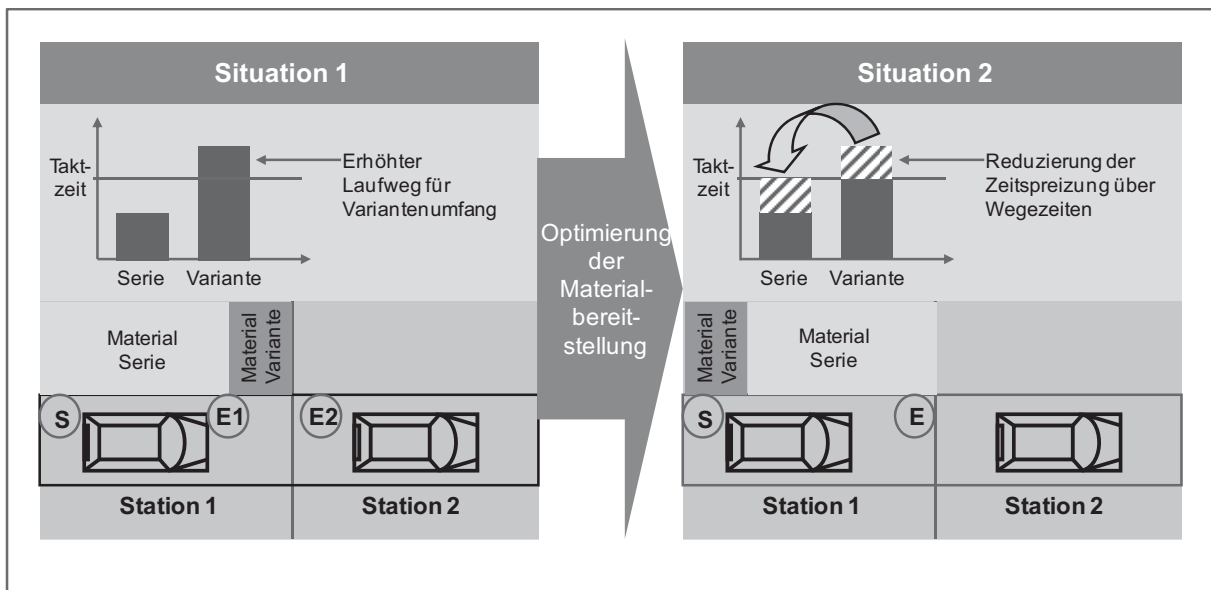


Abbildung 15: Optimierte Materialbereitstellung am Montageband
(Quelle: Darstellung der AUDI AG)

Lokale Neuaustaktung

Im Gegensatz zur bereits beschriebenen Fließbandabstimmung oder Abtaktung (vgl. Abschnitt 2.1.3) geht es bei der lokalen Neuaustaktung darum in einem begrenzten Umfeld, also bei benachbarten Stationen, durch manuelles Tauschen von Arbeitsoperationen eine Reduzierung der Montagezeitdifferenz zu erreichen.

Ein gutes Beispiel für das Vorgehen bei einer solchen Arbeitsgangverschiebung findet sich bei Decker (1993, S. 22,23), das im Folgenden dargestellt werden soll (vgl. Abbildung 16).

Im Taktzeitdiagramm sind drei Aufträge A, B und C zu erkennen, die an den Stationen 1 und 2 montiert werden. Auftrag B benötigt dabei an Station 1 mehr Zeit, als durch die Taktzeit t zur Verfügung steht (schraffierte Fläche). Dieses führt dazu, dass immer dann, wenn Auftrag B an Station 1 montiert wird, eine Wartezeit an Station 2 entsteht. Gelingt es nun, die für die Taktzeitüberschreitung beim Auftrag B verantwortlichen Arbeitsoperationen von der Station 1 auf die Station 2 zu verschieben, wird die Zeitspreizung kompensiert: Auftrag B kann innerhalb der Taktzeit an Station 1 bearbeitet werden und pünktlich an Station 2 weitergegeben werden.

Leider gestaltet sich dieses hier theoretisch dargestellte Vorgehen in der Praxis oft als schwierig. Das hängt damit zusammen, dass bei einer Verschiebung von Arbeitsgängen nicht nur die reine Arbeitsoperation betrachtet werden kann, sondern auch benötigte Werkzeuge und die Materialanstellung am Montageband beachtet werden müssen. Nur wenn diese mit an die Nachbarstation verschoben werden können, gelingt eine lokale Neuaustaktung.

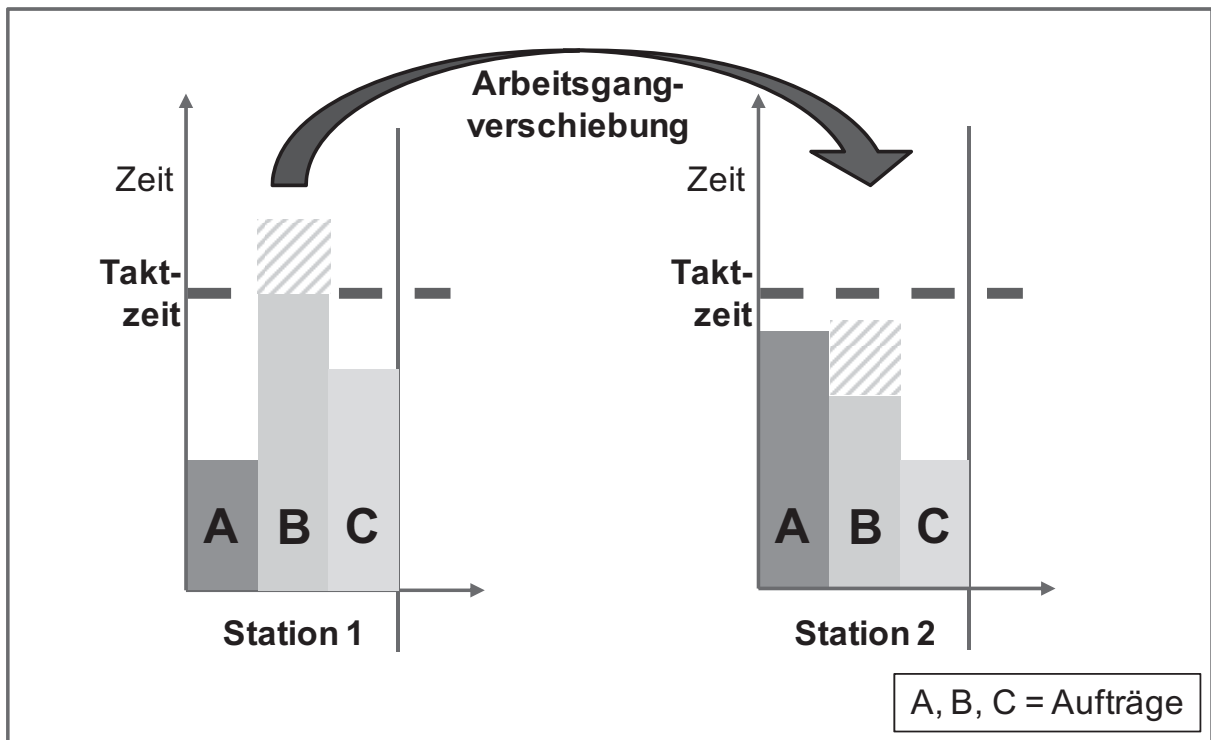


Abbildung 16: Beispiel einer Arbeitsgangverschiebung im Taktzeitdiagramm
(Quelle: eigene Darstellung)

Vormontage

Die Vormontage bietet die Möglichkeit, über die Auslagerung von Arbeitsumfängen die Zeitspreizung in der Montagelinie zu verringern. Dazu ist es allerdings erforderlich, dass neben der Hauptlinie entsprechende Vormontagearbeitsplätze vorhanden sind oder eingerichtet werden können (Mollemeier, 1997, S. 25).

Das Prinzip dieser Maßnahme stellt ein Beispiel (vgl. Abbildung 17) dar: In der Abbildung sind zwei Extremformen zu erkennen. Zum einen eine Montagestation, die insgesamt übertaktet ist und zum anderen eine Montagestation, die untertaktet ist. Bei der übertakteten Montagestation werden Arbeitsoperationen, die eine Zeitspreizung verursachen und die Taktzeit überschreiten, „abgeschnitten“ und in eine Vormontagelinie überführt. Hier können die schwankenden Ausführungszeiten mittels kleiner Puffer oder über die Mischung mit anderen Vormontageaufgaben wesentlich besser kompensiert werden als in der Hauptlinie.

Bei der untertakteten Montagestation wird die Zeitspreizung über zusätzliche Tätigkeiten, die der Mitarbeiter neben der Hauptmontagelinie am Vormontagearbeitsplatz ausführt, kompensiert. Typisch dafür sind kleine, vorbereitende Arbeitsgänge, die sonst im Rahmen der Anlieferung von Modulkomponenten durch den Systemlieferanten ausgeführt würden, wie z. B. das Vormontieren von Dichtungen oder das Entfernen von Schutzverpackungen.

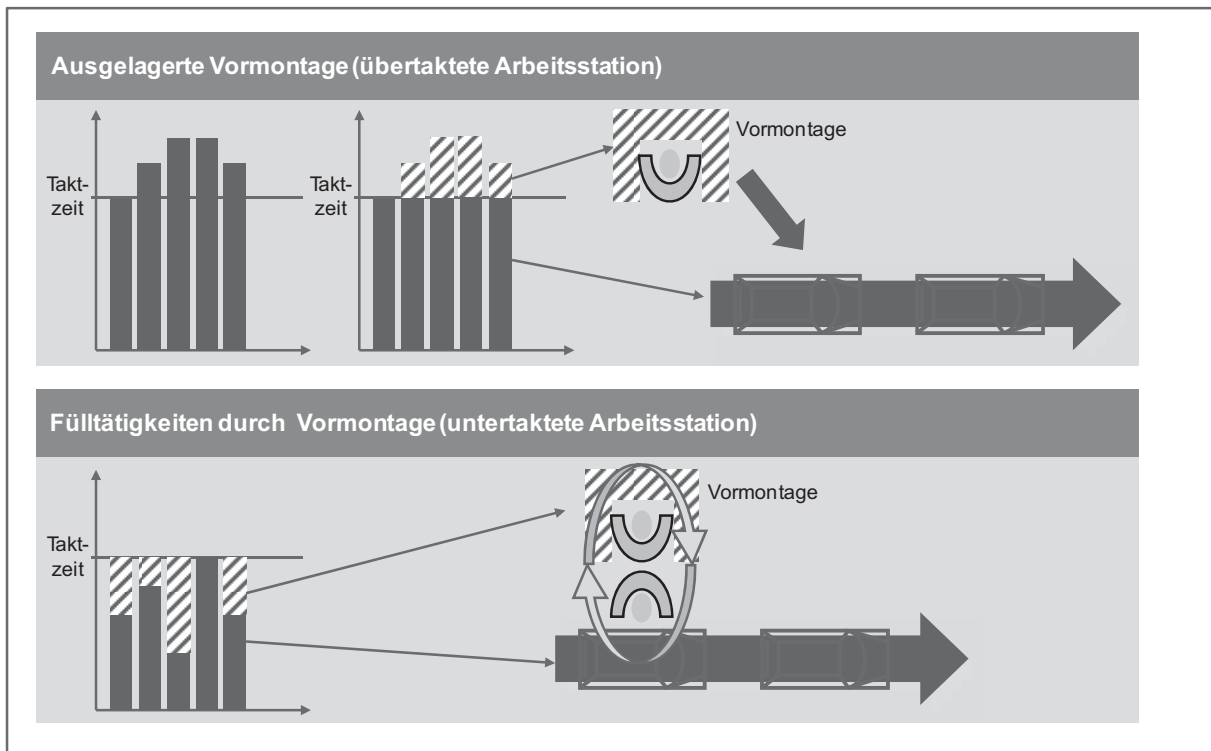


Abbildung 17: Vormontage zum Ausgleich von über- und untertakteten Arbeitsstationen (Quelle: Darstellung der AUDI AG)

Arbeitstempo

Eine sehr einfache Maßnahme, um eine die Taktzeit überschreitende Montagezeitdifferenz zu kompensieren, ist die Erhöhung der Arbeitsintensität durch den jeweiligen Mitarbeiter. Tatsächlich werden in der Praxis über dieses Mittel immer wieder spontan auftretende Spitzenlasten abgefangen, ein geplanter Einsatz dieser Maßnahme ist allerdings nicht gewollt. Das ist damit zu erklären, dass durch schnelleres Arbeiten die Wahrscheinlichkeit steigt, dass die Qualität leidet, Fehler entstehen oder Ausschuss produziert wird (Boysen, 2005, S. 218). Auch ist die Akzeptanz bei den Mitarbeitern und bei der Arbeitnehmervertretung zum geplanten Einsatz dieser Maßnahme in der Regel nicht vorhanden.

Technik

Das mehrfache Bereitstellen der gleichen Betriebsmittel oder Werkzeuge ist eine weitere Möglichkeit, um die Montagezeitdifferenz zu verringern (Mollemeier, S. 25-26), das anhand eines Beispiel kurz erläutert werden soll (vgl. Abbildung 18): Schematisch ist die Montage eines Bauteils zu erkennen, das im Rahmen der Links-/Rechtslenkervarianz auftritt. Dabei ist die Arbeitsstation auf der linken und rechten Seite je mit einem Mitarbeiter besetzt. Zum Verbau dieses Bauteils ist ein Werkzeug notwendig, welches nur auf der linken Seite der Arbeitsstation installiert ist. Kommt nun ein Rechtslenkerfahrzeug in diese Arbeitsstation, entsteht durch den Laufweg um das Fahrzeug (das Werkzeug befindet sich ja nur auf der linken Seite und muss

jetzt vom Mitarbeiter auf die rechte Seite geholt werden) die Montagezeitdifferenz. Wird sowohl links als auch rechts das gleiche Werkzeug installiert, entfällt dieser Laufweg und der Montagezeitunterschied verschwindet.

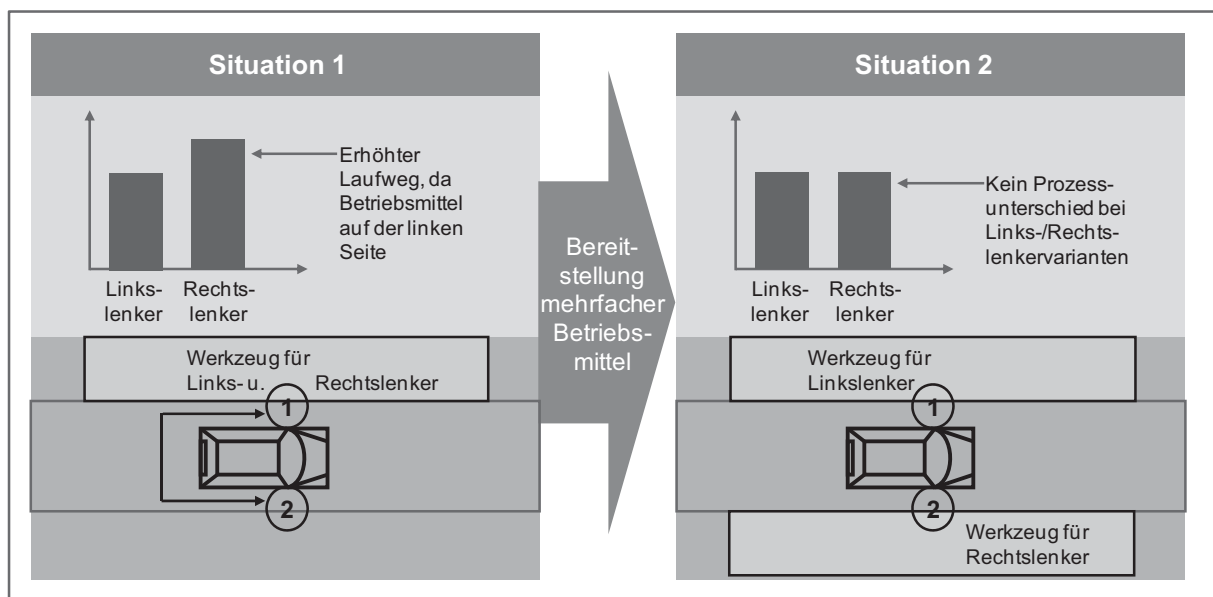


Abbildung 18: Mehrfache (hier: doppelte) Bereitstellung von Betriebsmitteln (Quelle: Darstellung der AUDI AG)

Produktgestaltung

Die Zeitspreizung kann auch dadurch reduziert werden, in dem dieser Aspekt bereits während der Produktgestaltung berücksichtigt wird. Durch eine spezielle montagegerechte Gestaltung können die Varianten einer Baugruppe so konstruiert werden, dass diese im Hinblick auf die Zeitspreizung optimiert werden. Da im weiteren Verlauf dieser Arbeit gezeigt wird, dass dieser Ansatz besonders wirkungsvoll ist und deshalb im Zentrum der Betrachtungen steht, wird an dieser Stelle nicht näher auf diese Maßnahme eingegangen. Vielmehr sei auf das Kapitel 3 verwiesen, welches im Schwerpunkt die Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung darstellt.

Neben den soeben dargestellten technischen und konstruktiven Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung gibt es auch einen marketing-orientierten Ansatz:

Paketierung

Als Paketierung oder Optionsbündelung (Boysen, Ringle, 2005) bezeichnet man die Zusammenfassung von Sonderausstattungsvarianten zu Bestellpaketen. Der Kunde hat dann nicht mehr die Möglichkeit, jedes „Extra“ einzeln zu bestellen. Vielmehr muss er sich zwischen vorkonfigurierten Paketen entscheiden, die unterschiedliche Extras enthalten. Durch diese Maßnahme sinkt die durch Varianz verursachte Zeitspreizung deutlich.

Als Beispiele für zwei unterschiedliche Strategien können die Modelle Toyota Avensis und Volkswagen Golf betrachtet werden (Stand: 2009): Der Avensis ist in den vier Ausstattungslinien Basis, Sol, Executive und TEC-Edition erhältlich. Zusätzlich kann der Kunde dann nur noch zwischen wenigen Extras wählen, die die Toyota-Preisliste auf zwei Seiten zusammenfasst (Toyota, 2009). Der VW Golf ist ebenfalls in vier Ausstattungslinien erhältlich: Trendline, Comfortline, Highline, Blue Motion. Allerdings hat der Kunde zusätzlich die Möglichkeit, unter weit mehr als hundert einzelnen Sonderausstattungspositionen auszuwählen und Kombinationen zu bilden. In der VW-Preisliste fallen die Sonderausstattungen und somit auch die Variantenbildung mit 14 Seiten deutlich umfangreicher aus, als mit den erwähnten zwei Seiten beim Wettbewerber Toyota (Volkswagen, 2009).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es eine Reihe von Maßnahmen gibt, um die Zeitspreizung in der industriellen Großserienproduktion zu beherrschen. Dabei fällt allerdings auf, dass die meisten Maßnahmen sich auf die Gestaltung des Montageprozesses beziehen, in der Regel auf die Minimierung der Montagezeitdifferenz. Nur die Maßnahmen „Produktgestaltung“ und „Paketierung“ nutzen andere Ansatzstellen. Im folgenden Kapitel 2.5 sollen die soeben dargestellten Maßnahmen zu Beherrschung der Zeitspreizung systematisch untersucht werden, um eine Einteilung im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Anwendbarkeit zu erhalten.

2.5 Bewertung der Maßnahmen und Ableitung des Handlungsfeldes

Im Kapitel 2.5 sollen die soeben dargestellten Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung systematisch untersucht werden, um eine Einteilung im Hinblick auf deren Aufwand und Wirkung zu erhalten. Ziel ist es, eine Rangfolge zu erzeugen, die Auskunft darüber gibt, welche Maßnahmen besonders geeignet sind und welche weniger zum Einsatz kommen sollten. Tabelle 4 zeigt die durchgeführte Untersuchung, die im Weiteren genauer erläutert wird.

Tabelle 4: Untersuchung zur Bewertung der Maßnahmen im Hinblick auf Aufwand und Wirkung
(Quelle: eigene Darstellung)

	AUFWAND				WIRKUNG							
	Planungsaufwand	Umsetzungsaufwand	Kosten		Auswirkung auf Flexibilität	Auswirkung auf Qualität	Auswirkung auf Kunden	Denkbare Einsatzhäufigkeit	Nachhaltigkeit	Auswirkung auf Zeitspreizung	Akzeptanz durch Werker	
Produktgestaltung	3	1	1	5	1	2	1	1	1	1	1	8
Springer	1	1	2	4	1	3	1	1	1	3	1	11
Materialbereitstellung	1	1	1	3	1	2	1	1	3	3	1	12
Sequenzsteuerung	3	1	1	5	3	2	1	1	1	3	1	12
Lokale Neuaustaktung	1	3	1	5	1	2	1	1	3	3	1	12
Paketierung	3	1	1	5	1	2	3	3	1	1	1	12
Abtaktung	3	1	2	6	1	2	1	1	3	3	1	12
Vormontage	3	3	3	9	1	1	1	3	1	1	1	9
Technik	1	3	3	7	1	2	1	2	1	3	1	11
Arbeitstempo	1	1	2	4	3	3	2	1	1	3	3	16
Puffer	3	3	3	9	1	2	1	3	1	3	1	12
Bandstopp	1	1	3	5	3	3	1	3	1	3	3	17
Nacharbeit	3	3	3	9	3	3	1	1	1	3	1	13

Um die beiden Dimensionen „Aufwand“ und „Wirkung“ für jede der Maßnahmen bewerten zu können, mussten diese in einzelne Kriterien zerlegt werden. Im Rahmen von Expertengesprächen wurde für die Dimension „Aufwand“ die Einflussgrößen „Planungsaufwand“, „Umsetzungsaufwand“ und „Kosten“ festgelegt. Die Dimension „Wirkung“ sollte mit den Kriterien „Auswirkung auf Flexibilität, Qualität und Kunden“, „Denkbare Einsatzhäufigkeit“, „Nachhaltigkeit“, „Auswirkung auf die Zeitspreizung“ sowie „Akzeptanz durch den Werker“ beschrieben werden (vgl. Tabelle 4). Ebenfalls in den Expertengesprächen wurde die Definition der einzelnen Kriterien festgelegt, die im Folgenden erläutert wird.

Planungsaufwand

Unter Planungsaufwand wird die notwendige Kapazität verstanden, die im Vorfeld zur Vorbereitung und Planung benötigt wird, um die Maßnahmen zur Reduzierung der Zeitspreizung später unter Einhaltung von Zeit- und Kostenzielen umsetzen zu können. Dabei spielt sowohl die Planungsdauer eine Rolle, als auch die Anzahl der Schnittstellen und der sich daraus ergebende Abstimmungsaufwand.

Umsetzungsaufwand

Dieses Merkmal beschreibt zunächst die zur Umsetzung notwendige personelle Kapazität sowie die Dauer der Bau- oder Umbaumaßnahmen. Ferner bewertet der Umsetzungsaufwand, ob zur Umsetzung der Produktionsprozess geändert oder gar unterbrochen werden muss.

Kosten

Unter diesem Begriff werden sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten zusammengefasst.

Auswirkungen auf Flexibilität

Unter Flexibilität wird in diesem Zusammenhang verstanden, wie gut eine Maßnahme dazu beiträgt, die Montage auf Marktveränderungen anzupassen. Darunter ist insbesondere die Veränderung von Stückzahlen und die Veränderung des Variantenmixes gemeint. Eine zu bewertende Maßnahme kann dabei zu einer Verbesserung der Flexibilität führen, keine Auswirkungen haben oder für eine Verschlechterung der Flexibilität sorgen.

Auswirkungen auf Qualität

Dieses Merkmal beschreibt, wie sich das Montageergebnis im Hinblick auf die Qualität durch den Einsatz der gewählten Maßnahme zur Reduzierung der Zeitspreizung verändert. Ein gutes Indiz für die Abschätzung der Qualitätsbeeinflussung ist dabei die entstehende Komplexität in Prozessen und Betriebsmitteln. So kann davon ausgegangen werden, dass eine Verringerung der Komplexität in der Montageaufgabe zu einer Erhöhung der Qualität führt.

Auswirkungen auf Kunden

Darunter ist zu verstehen, inwieweit die Maßnahme den Kunden erreicht und seine Wahrnehmung von Produkt und herstellendem Unternehmen beeinflusst. Dabei wird davon ausgegangen, dass dem Kunden die fabrikinternen Prozesse zunächst gleichgültig sind. Sollten aber durch die Anwendung der Maßnahmen zur Reduzierung der Zeitspreizung Image, Lieferzeit oder Variantenwahlmöglichkeit eingeschränkt werden, wird von einer negativen Auswirkung auf den Kunden ausgegangen.

Denkbare Einsatzhäufigkeit

Unter denkbarer Einsatzhäufigkeit soll verstanden werden, wie oft eine Maßnahme in der Praxis tatsächlich als praktikabel angesehen werden kann. Das Kriterium trägt dem Argument Rechnung, dass sich die Güte einer Maßnahme nicht nur über die Effizienz bewerten lässt, sondern dass auch die Häufigkeit des Maßnahmeneinsatzes ein wesentliches Kriterium ist.

Nachhaltigkeit

Mit Nachhaltigkeit ist in diesem Zusammenhang gemeint, wie gut die Maßnahme zur Reduzierung der Zeitspreizung eine Veränderung im Ablauf des Produktionsprozesses übersteht. Eine moderne Automobilmontage ist von ständigen KVP-Bemühungen

(Kontinuierlicher-Veränderungs-Prozess) geprägt. Das bedeutet, dass im Hinblick auf eine Erhöhung der Produktivität Prozesse umgestellt, Kapazitäten neu verteilt und Bauteile verändert werden. Nur wenn die vorgestellten Maßnahmen diese Veränderungen mit hoher Wahrscheinlichkeit überstehen, können sie als nachhaltig bezeichnet werden.

Maßnahmenwirkung

Bei der Maßnahmenwirkung soll zwischen den Ausprägungen „Reduktion“ und „Kompensation“ unterschieden werden. Reduktion bedeutet, dass durch die Maßnahme eine tatsächliche Verringerung der Zeitspreizung entsteht (Optimierung der Problemursache). Während mit Kompensation gemeint ist, dass die Zeitspreizung durch den Einsatz von Maßnahmen mit gegenläufigen Einfluss in ihrer Wirkung verringert wird (Optimierung der Problemsymptome).

Akzeptanz durch den Werker

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Mitarbeiter am Montageband Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung aufgeschlossen gegenübersteht, da diese für eine gleichmäßige Auslastung und einen regelmäßigen Arbeitsrhythmus zu sorgen. Allerdings gibt es Maßnahmen, die das Problem der Zeitspreizung auf den Werker verlagern und ihn für die Lösung verantwortlich machen. Diese Maßnahmen werden vom Mitarbeiter am Montageband deshalb sicherlich eher abgelehnt.

Zur Quantifizierung der vorgestellten Kriterien wurde eine dreistufige Ausprägungsmatrix entwickelt (vgl. Tabelle 5). Diese wird im Folgenden vorgestellt.

Tabelle 5: Ausprägungsmatrix zur Quantifizierung der Bewertungskriterien
(Quelle: eigene Darstellung)

	Kriterium	Ausprägung		
		Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte
AUFWAND	Planungsaufwand	gering		groß
	Umsetzungsaufwand	gering		groß
	Kosten	keine	gering	groß
WIRKUNG	Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter
	Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter
	Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß
	Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten
	Nachhaltigkeit	ja		nein
	Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation
	Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung

Für jedes der zehn Kriterien in der Tabelle 5 gibt es bis zu drei Ausprägungsformen: von positiv bis negativ. Diesen Ausprägungsformen werden Punktwerte zugeordnet. So entspricht die positive Ausprägungsform des Merkmals einem Punkt, die mittlere Ausprägung zwei Punkten und die negative Ausprägung drei Punkten.

Mit Hilfe dieser Matrix (vgl. Tabelle 5) wurden alle in Kapitel 2.4 vorgestellten Maßnahmen zur Verringerung der Zeitspreizung vom Autor bewertet. Dieses Vorgehen soll im Folgenden für die Maßnahme „Springer“ beispielhaft dargestellt werden (vgl. Markierung in der Tabelle 4). Auf die Beschreibung der Beurteilung aller Maßnahmen wird allerdings aus Gründen der Lesbarkeit an dieser Stelle verzichtet. Diese kann aber im Anhang I nachvollzogen werden.

Der **Planungsaufwand** für den Springer kann als gering (1 Punkt) eingeschätzt werden, da lediglich die Arbeitsplätze identifiziert werden müssen, an denen ein Springer notwendig ist. Ferner muss die Qualifikation des Springers für die an den identifizierten Arbeitsplätzen zu verrichtende Tätigkeiten geplant werden. Die Umsetzung beschränkt sich dann darauf, den Springer anzulernen und die Abläufe ggf. zu optimieren. Der **Umsetzungsaufwand** ist deshalb ebenfalls gering (1 Punkt). Die **Kosten** für Ausbildung und Beschäftigung des Springers sind im Vergleich mit technischen Lö-

sungen ebenfalls als gering zu bewerten (2 Punkte). Ein weiteres Kriterium ist die **Auswirkung auf die Flexibilität**. Ein Springer verbessert die Flexibilität eines Montagesystems (1 Punkt), da kurzfristige Veränderungen in der Auslastung oder im Variantenmix von diesem gut kompensiert werden können. Hingegen sorgt ein Springer für negative **Auswirkungen auf die Qualität** (3 Punkte), da dieser kurzfristig evtl. bereits begonnene Tätigkeiten in einer besetzten Arbeitsstation übernimmt. Dadurch kann es zu Fehlern bei der Ausführung der Montageaufgabe kommen. Dabei hat die Maßnahme „Springer“ allerdings keine **Auswirkungen auf den Kunden** (1 Punkt), da dem Autokäufer gleichgültig ist, ob sein Fahrzeug mit oder ohne den Einsatz dieses Mitarbeiters hergestellt wurde. Ein weiteres Bewertungskriterium ist die **denkbare Einsatzhäufigkeit**. Hier ist festzuhalten, dass an vielen Arbeitsplätzen im Montageband der Einsatz eines Springers gut vorstellbar ist (1 Punkt). Im Hinblick auf die **Nachhaltigkeit** kann festgestellt werden, dass der Einsatz eines Springers auch nach einer Prozessumstellung oder –optimierung möglich ist. Die Maßnahme bleibt also von derartigen Veränderungen unberührt (1 Punkt). Insgesamt führt der Einsatz eines Springers allerdings nur zur **Kompensation** der Zeitspreizung, da durch diesen lediglich zusätzliche Kapazität in das Montagesystem gegeben wird (3 Punkte). Das letzte Kriterium bewertet die **Akzeptanz der Maßnahme beim Werker**. Diese ist sicher positiv zu bewerten (1 Punkt), da die Mitarbeiter am Montageband die temporäre Unterstützung durch einen Springer in der Regel schätzen.

Mit der beschriebenen Bewertung ist es möglich, die unterschiedlichen Maßnahmen im Hinblick auf Ihre Lösungsqualität zu beurteilen. Ziel ist eine Darstellung, die Auskunft gibt, welche Maßnahmen besonders gut oder weniger gut zur Beherrschung der Zeitspreizung geeignet sind. Dazu wurde aus den ermittelten Ergebnissen (vgl. Tabelle 4) eine Portfoliodarstellung abgeleitet (vgl. Abbildung 19). Die X-Achse der Darstellung zeigt den Aufwand (operationalisiert über die Kriterien „Planungsaufwand“, „Umsetzungsaufwand“ und „Kosten“). Auf der Y-Achse wird die Wirkung abgetragen (operationalisiert über die anderen sieben Kriterien). Entsprechend lassen sich in dem beschriebenen Portfolio vier Quadranten definieren, die durch die unterschiedlichen Kombinationen von Aufwand und Wirkung entstehen. Im Quadranten „erstklassig“ finden sich Lösungen, die durch eine hohe Wirkung bei niedrigem Aufwand charakterisiert werden. Der diagonal dazu angeordnete Quadrant zeichnet sich hingegen durch eine geringe Wirkung bei hohem Aufwand aus und wird deshalb als „untauglich“ bezeichnet. Ferner finden sich in der Darstellung die Quadranten „wirkungslos“ und „aufwendig“. Dabei ist unter „wirkungslos“ eine Maßnahme zu verstehen, die einen hohen Einsatz erfordert, aber unbrauchbar ist, um die Zeitspreizung zu beherrschen. Der entgegengesetzte Quadrant „aufwendig“ beschreibt Maßnahmen, die eine hohe Wirksamkeit im Hinblick auf die Zeitspreizung besitzen, deren Umsetzung aber teuer und zeitintensiv ist.

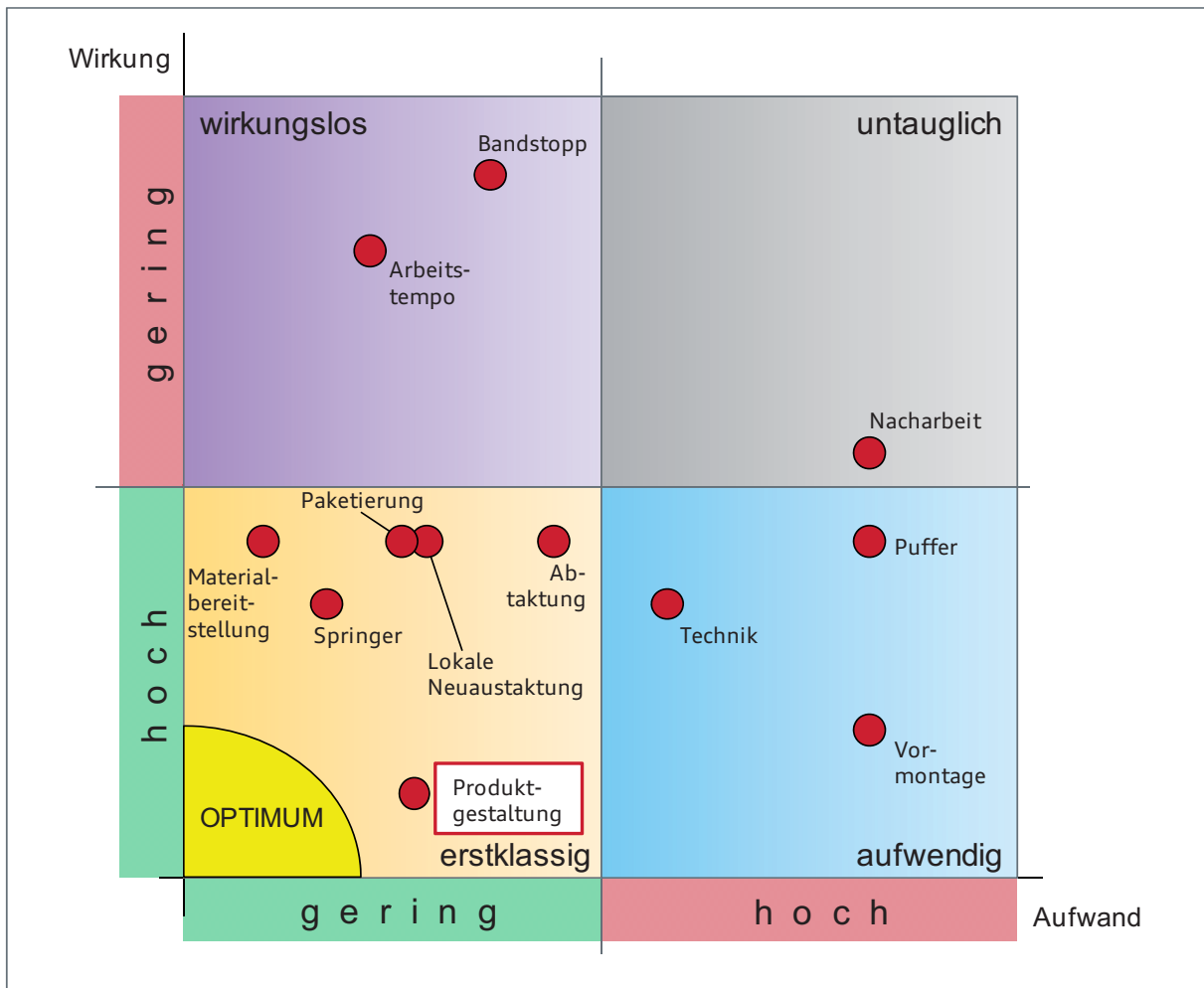


Abbildung 19: Portfoliodarstellung zur Lösungsqualität im Hinblick auf Aufwand und Wirkung (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Auswertung der Portfoliodarstellung (vgl. Abbildung 19) ist zu erkennen, dass es eine Reihe von Maßnahmen gibt, die gut geeignet sind, um die Zeitspreizung zu beherrschen. Diese Maßnahmen finden sich im Quadranten „erstklassig“. Zu ihnen zählen z. B. der Einsatz von Springern, die optimierte Materialbereitstellung und die Produktgestaltung. Als wenig geeignet erscheinen die Maßnahmen Nacharbeit, Erhöhung des Arbeitstempos oder der Bandstopp. Diese Maßnahmen finden sich in den Quadranten „wirkungslos“ bzw. „untauglich“. Besonders hebt sich aber die Maßnahme „Produktgestaltung“ hervor, da diese nahe am Optimum (hohe Wirksamkeit bei gleichzeitigem geringen Aufwand) angeordnet ist. Zwar erfordert diese Maßnahme während der Konstruktions- und Planungsphase einen deutlichen Aufwand, allerdings reduziert diese die Zeitspreizung tatsächlich, so dass eine nachhaltige Lösung möglich wird. Ein weiterer großer Vorteil dieser Maßnahme ist, dass die Kosten aufgrund der Beeinflussung in der frühen Entwicklungsphase deutlich geringer sind, als bei anderen Lösungsansätzen.

2.6 Abgleich der theoretischen Erkenntnisse mit der industriellen Praxis bei der AUDI AG

Um die theoretische Untersuchung und deren Ergebnisse (vgl. Kapitel 2.5) auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen, wurden Expertengespräche mit ausgewählten Mitarbeitern der AUDI AG in Ingolstadt geführt, bei der die vorliegende Arbeit entstanden ist. Eine Reihe von Montageexperten wurden unabhängig voneinander dazu befragt, wie sie die Lösungsqualität der vorgestellten Maßnahmen bewerten. Bei dieser Befragung von Führungskräften aus der Montage sowie von Führungskräften und Referenten des Industrial Engineering bestätigten sich die in der Portfoliodarstellung (vgl. Abbildung 19) gezeigten Ergebnisse: Die Produktgestaltung, der Einsatz eines Springers oder die optimierte Materialbereitstellung wurden als sehr gute Instrumente zur Beherrschung der Zeitspreizung eingeschätzt. Hingegen seien ein erhöhtes Arbeitstempo, der Bandstopp oder die Nacharbeit nicht geeignet, um der Zeitspreizung zu begegnen.

Die theoretischen Erkenntnisse lassen sich auch durch die Anwendungshäufigkeit der verschiedenen Maßnahmen in der industriellen Praxis bei der AUDI AG bestätigen. So werden Maßnahmen des Quadranten „erstklassig“ häufig eingesetzt und haben ihre Eignung an vielen Stellen bewiesen. Hingegen werden die Maßnahmen der Quadranten „wirkungslos“ und „untauglich“ in der Praxis nicht geplant verwendet. Vor allem die Maßnahmen Bandstopp und erhöhtes Arbeitstempo sind in der Realität nicht vorstellbar.

Somit lässt die theoretische Untersuchung (vgl. Kapitel 2.5) übereinstimmend mit den Erkenntnissen aus der industriellen Praxis deutlich erkennen, dass durch geeignete Produktgestaltung der Zeitspreizung sehr wirksam entgegengetreten werden kann. Ausgehend von dieser Erkenntnis erscheint es gerechtfertigt, die Produktgestaltung stärker als bisher zur Beherrschung der Zeitspreizung in den Fokus zu stellen und bereits im Entwicklungsprozess das Thema Zeitspreizung aktiv anzusprechen. Dazu soll durch die Entwicklung einer „Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage“ (kurz: „Methode proZederA“) ein Beitrag geleistet werden. Um diese Methode entwickeln zu können, werden im Kapitel 3 die bekannten Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung vorgestellt, um daraus die wesentlichen Strukturelemente für die neue Methode ableiten zu können.

Kapitel 2: Zusammenfassung

Die Zeitspreizung ist ein Effekt, der dadurch entsteht, dass die Automobilmontage als Variantenfließfertigung organisiert ist, also die unterschiedlichen Varianten in einem „One piece flow“ (Losgröße = 1) über das Montageband laufen. In der Wissenschaft wird im Hinblick auf die Zeitspreizung vor allem der Aspekt der unterschiedlichen Montagezeiten der Varianten diskutiert: Es wird die Beziehung zwischen Montagezeit und Taktzeit untersucht und die sich daraus ergebenden Auswirkungen werden aufgezeigt. Aber auch die Anzahl der Varianten sowie deren Verbraurate haben wesentlichen Einfluss auf die Zeitspreizung, so dass eine erweiterte Definition und Betrachtung notwendig ist. Da das Problem der Zeitspreizung nicht neu ist, gibt es eine Reihe von Ansätzen und Strategien, um diese zu beherrschen. Allerdings zeigt deren bewerteter Vergleich, dass die meisten Maßnahmen bei der Gestaltung des Montageprozesses ansetzen. Da nachgewiesen wird, dass durch geeignete Produktgestaltung der Zeitspreizung sehr wirkungsvoll begegnet werden kann, soll durch die Entwicklung der „Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung“ (kurz: Methode proZederA) dazu ein Beitrag geleistet werden.



3 Montagegerechte Produktgestaltung – Stand der Technik

Das Streben nach einer für die Produktion und speziell für die Montage besonders gut geeigneten Produktgestalt beschäftigt akademische Forschung und industrielle Praxis gleichermaßen seit vielen Jahren.

Hintergrund dieser Bestrebungen ist ein als „Dilemma der Produktentwicklung“ (Vielhaber, 2005, S. 6) bekanntes Phänomen. Dieses besagt, dass während der Entwicklungsphase der Großteil der Produktkosten festgelegt wird, diese aber erst in der Produktionsphase anfallen. Nach Ehrenspiel, Kiewert, Lindemann (2007, S. 13) „verbrauchen“ Entwicklung und Konstruktion nur ca. neun Prozent der Produktkosten, legen ihrerseits aber ca. 70% dieser Kosten fest (vgl. Abbildung 20). Das gerade umgekehrte Verhältnis gilt für die Produktion, die Materialbeschaffung und die Zulieferer: hier werden nur ca. sieben bzw. fünf Prozent der Produktkosten festgelegt. Mit fast 65% (Produktion: ca. 28% + Material, Zulieferer: ca. 38%) fallen aber in diesen Bereichen die größten Kosten an. Entsprechend stehen Produktion und Beschaffung stets im Fokus, wenn es um Fragen der Kostenoptimierung geht.

Um in der Produktion die Kosten deutlich senken zu können, spielt die fertigungs- und montagegerechte Produktgestaltung eine wichtige Rolle. So schätzen produzierende Unternehmen nach einer Untersuchung von Deere (zit. nach Deutsche MTM-Vereinigung, 2009, S. 2) das Rationalisierungspotential mittels montagegerechter Produktgestaltung auf 20% bis 40% ein. Zum Vergleich: Andere Möglichkeiten wie KVP-Maßnahmen oder Arbeitssystem-/ Arbeitsablaufgestaltung erreichen in dieser Untersuchung nur Werte zwischen 10% und 20%.

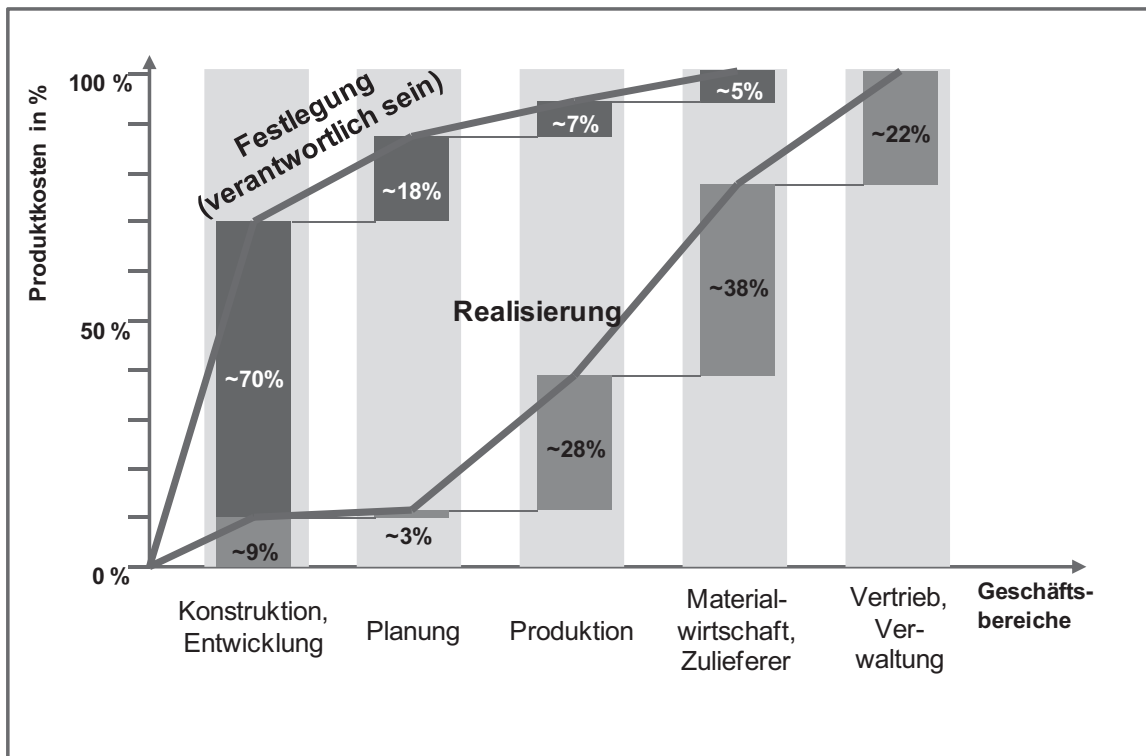


Abbildung 20: Dilemma der Produktentwicklung im Hinblick auf die Produktkosten (Quelle: Ehrlenspiel et al., 2007)

Im Einzelnen werden der montagegerechten Produktgestaltung dabei nach Eversheim (1987, S. 14) unter anderem die folgende Vorteile zugeschrieben:

- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit,
- Reduzierung der Montagekosten,
- Steigerung der Wiederverwendung von Baugruppen,
- Reduzierung der Belastung des Personals,
- Verringerung des Änderungsaufwands,
- Reduzierung der Durchlaufzeit,
- Reduzierung der Montagezeit,
- Erleichterung der Angebotsabwicklung.

Um diese Potentiale zu nutzen, sind in Literatur und Praxis eine ganze Reihe von Methoden, Maßnahmen, Hilfsmittel und Konzepte entwickelt worden, um eine montagegerechte Produktgestaltung sicherzustellen. Die nachfolgenden Ausführungen untersuchen deshalb die bekannten Lösungen und arbeiten die wesentlichen Elemente heraus, die geeignet erscheinen, um eine neue Methode zur montagegerechten Produktgestaltung zu entwickeln: eine Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage.

3.1 Bekannte Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung

Eine Reihe von Autoren (vgl. z. B. Spies, 1997, S. 57; Dahl, 1990, S. 13; Bäßler, 1988, S. 31) haben Kategorisierung der Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung vorgenommen. An dieser Stelle soll die Einteilung in Anlehnung an Redford und Chal (1994, S. 80) erfolgen, ergänzt um die Ordnungssystematik von Caesar (1991, S. 22).

Demnach lassen sich die unterschiedlichen Lösungen in

- Gestaltungsregeln und Beispielsammlungen,
- Computergestützte Expertensysteme,
- Quantitative Bewertungsverfahren (monetäre und nicht-monetäre Verfahren)

einteilen.

Unter „Gestaltungsregeln und Beispielsammlungen“ versteht man Literatur, die über konkrete Konstruktionsregeln dem Entwickler vorgibt, wie eine montagegerechte Konstruktion aussieht. Die Regeln sind häufig kompakt auf wenigen Seiten zusammengestellt und lauten zum Beispiel: „Mache die Komponenten symmetrisch“ oder „Vermeide separate Verbindungselemente“ (Andreasen, Kähler, Lund, 1985, S. 147). Damit diese Regeln besser angewendet und auf konkrete Fragestellungen übertragen werden können, sind häufig umfangreiche Beispielsammlungen mit Skizzen oder sogar Konstruktionszeichnungen angegliedert.

Computergestützte Expertensysteme sollen dem am PC arbeitenden Konstrukteur die Arbeit vereinfachen. Die Idee dieser Systeme ist, die standardmäßig genutzten CAD-Systeme um intelligente Zusatzfunktionen zu erweitern, die den Benutzer bei der montagegerechten Konstruktion unterstützen. Im Optimalfall passt das System die erstellte Konstruktion sogar selbständig an das Ideal einer montagegerechten Produktgestaltung an.

Quantitative Bewertungsverfahren sind Hilfsmittel, die es erlauben, die Produktgestaltung anhand von harten Kriterien zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten. Dabei erfolgt die Bewertung des mehr oder weniger auskonstruierten Produktes anhand von Merkmalen, die in der Summe einen Rückschluss auf die Gesamtgüte der Konstruktion bzgl. der Montagegerechtheit zulassen. Diese Verfahren lassen sich nochmals in monetäre und nicht-monetäre Verfahren unterteilen. Zu den bekanntesten Vertretern der monetären Verfahren zählen der Relativkostenkatalog und die Wertanalyse. Der Relativkostenkatalog gibt dem Konstrukteur über eine vergleichende Bewertung einen Eindruck, welche Produktgestaltung im Hinblick auf Fertigungsverfahren oder Materialien wirtschaftlich günstiger ist. Dazu setzt der Katalog die ver-

schiedenen Verfahren, Materialien oder Bauteile ins Verhältnis und gibt Kennzahlen an. Diese Kennzahlen erlauben Aussagen wie „Verfahren A ist günstiger als Verfahren B“ oder „die Gestaltung mit Schraube C ist teurer als mit Schraube D“ (Redford und Chal, 1994, S. 96, 97). Ziel der Wertanalyse ist es, den vom Kunden erwarteten Wert eines Erzeugnisses zu den geringsten Kosten herzustellen. Dazu wird die Gesamtfunktion des Produktes auf die unterschiedlichen Bauteile aufgeteilt, so dass eine Aufstellung entsteht, die Aufschluss darüber gibt, wie viel ein Bauteil zur Erfüllung der Gesamtfunktion beiträgt. Der gleiche Ansatz wird gewählt, um die Gesamtkosten auf die einzelnen Bauteile zu verteilen. Der Vergleich zwischen Funktions- und Kostenanteil gibt dann Hinweise zur Optimierung (Franke, 2002).

Nicht-monetäre quantitative Verfahren sind in der Regel auf technische Merkmale zur Bewertung der Konstruktion aufgebaut. Bei diesen Verfahren wird die Ausprägung relevanter Merkmale im Hinblick auf eine montagegerechte Produktgestaltung quantitativ bewertet. Eine Berechnungssystematik verknüpft den Erfüllungsgrad der verschiedenen Merkmale und erlaubt es, eine Gesamtaussage über die Güte der Konstruktion zu machen.

Tabelle 6 zeigt einen Literaturüberblick über die verschiedenen, vorgestellten Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung.

Tabelle 6: Übersicht über die in der Literatur diskutierten Lösungen zur montagegerechten Produktgestaltung
(Quelle: eigene Darstellung)

Literaturquelle		
Autor	Titel	Art der Methode
Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T. (1985)	Design for Assembly	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Andresen, U. (1975)	Ein Beitrag zum methodischen...	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Bäßler, R. (1988)	Integration der montagegerechten...	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. (1994)	Design for Assembly	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Caesar, C. (1991)	Kostenorientierte Gestaltungsmethodik...	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Dahl, B. (1990)	Entwicklung eines Konstruktionssystems...	Computergestütztes Expertensystem
Dilling, H.-J. (1978)	Methodisches Rationalisieren von...	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Ericsson, A.; Erixon, G. (1999)	Controlling Design Variants	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Eversheim, W. (Hrsg.) (1987)	Strategien zur Rationalisierung der...	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Gairola, A. (1981)	Montagegerechtes Konstruieren	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung, nicht monetäres Bewertungsverfahren
Hesse, S. (1994)	Montage-Atlas	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Hoenow, G. (1987)	Montagegerechtes Konstruieren	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Kettner, P. (1987)	Konzeption eines Informationssystems...	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Konold, P.; Reger, H. (2009)	Praxis der Montagetechnik	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.) (2006)	Montage in der industriellen Produktion	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Miyakawa, S.; Ohashi, Z. (1976)	Assemblability Evaluation Method	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Molloy, O.; Tilley, S.; Warman, E. (1998)	Design for Manufacturing and Assembly	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Deutsche MTM-Vereinigung (2009)	ProKon	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Muschiol, M. (1988)	Rechnerunterstützte Informationsbereitstellung...	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Myrup Andreasen, M. (1985)	Montagegerechtes Konstruieren	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Pahl, G.; Beitz, W. (2007)	Konstruktionslehre	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
Redford, A.; Chal, J. (1994)	Design for Assembly	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Schmitz, U. (1995)	Wissensbasierte Unterstützung ...	Computergestütztes Expertensystem
Schuh, G. (1989)	Gestaltung und Bewertung von...	moneträres Bewertungsverfahren
Spies, J. (1997)	Montagegerechte Produktgestaltung...	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Ullmann, D. G. (2003)	The mechanical Design Process	nicht-monetäres Bewertungsverfahren
Ungeheuer, U. (1985)	Produkt- und Montagestrukturierung	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung
VDI-Verlag (1998)	Norm 3237	Gestaltungsregeln + Beispielsammlung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, welche die Einflussparameter der Zeitspreizung objektiviert und welche einen Kennwert liefert, der die Kommunikation zwischen Entwicklungs- und Produktionsabteilungen während der Produktgestaltung unterstützt (vgl. Kapitel 1.4). Diese Anforderungen können am besten durch quantitative nicht-monetäre Bewertungsmethoden erfüllt werden. Deshalb erfolgt im Folgenden eine genauere Betrachtung dieser Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung.

3.2 Quantitative nicht-monetäre Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Tabelle 6 zeigt gelb hinterlegt Veröffentlichungen, welche quantitative nicht-monetären Bewertungsverfahren zum Inhalt haben. In diesem Kapitel werden die in diesen Veröffentlichungen genannten Verfahren eingeführt und im Detail beschrieben. Durch die Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Verfahren sollen die Eckpunkte erarbeitet werden, auf denen die neue, zu entwickelnde Methode ruht. Abbildung 21 zeigt die im weiteren Verlauf zu erläuternden Verfahren, geordnet nach Entstehungszeitpunkt und Herkunft. Die Darstellung zeigt, dass Verfahren, die innerhalb der vergangenen dreißig Jahre in Wissenschaft, Industrie oder in der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie entstanden sind, untersucht werden. An den in der Wissenschaft entstandenen Verfahren lässt sich dabei gut der Wandel der Interessenschwerpunkte der akademischen Forschung ablesen: So war in den 1980er Jahren das Thema „Automatisierte Montage“ im Zusammenhang mit der CIM-Thematik (Computer-integrated Manufacturing) stark im Fokus, während ein Jahrzehnt später eher die Frage nach einer modularen Produktgestaltung diskutiert wurde. Bei den Verfahren, welche mit einer Beteiligung der Industrie entstanden sind, sind dagegen keine Strömungen zu erkennen.

Die folgende Beschreibung stellt jedes Verfahren detailliert vor. Eine Übersicht über die Inhalte der Bewertungsverfahren findet sich außerdem in Anhang II als standardisierter Steckbrief.

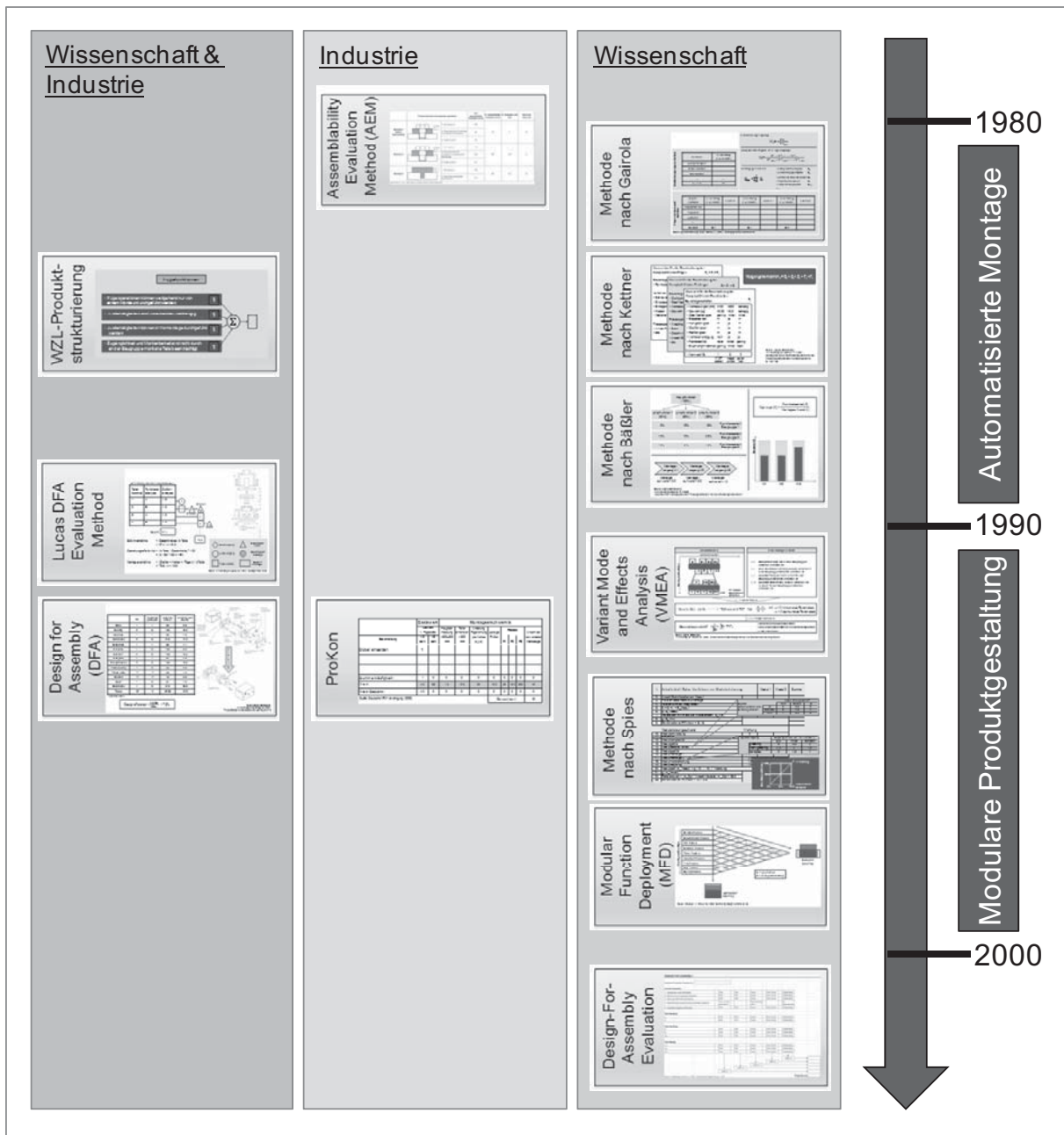


Abbildung 21: Übersicht über die untersuchten quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren
(Quelle: eigene Darstellung)

Assemblability Evaluation Method (AEM)

Diese Methode (Redford, Chal, 1994, S. 105-111 und Hesse, 1994, S. 31) wurde von der Firma Hitachi Ltd. im Jahr 1976 entwickelt. Ziel des Verfahrens ist es, die Montage zu vereinfachen, in dem das Fügen und Verbinden der Bauteile verbessert wird. Dazu wurden 20 Elementaraufgaben definiert, aus denen jede Montageaufgabe zusammengesetzt werden kann. Ein Beispiel für eine derartige Elementaraufgabe ist das Bereitstellen des Basisteils. Jede dieser Elementaraufgaben besitzt ein eigenes Symbol.

Das Vorgehen der Methode läuft folgendermaßen ab (vgl. Abbildung 22): Zunächst wird die Montageaufgabe mit den notwendigen Fügebewegungen beschrieben. Dann wird mittels der 20 Elementaraufgaben jeder Montageaufgabe ein Strafwert zugeordnet, der mit der Komplexität und dem Aufwand der Aufgabe anwächst.

	Produktstruktur und Montageoperationen	Strafwerte	E: Assemblability evaluation score	K: Assembly cost ratio	Zu verbessernde Teile	
Struktur 1 (vor Verbesserung)		1. Grundplatte A ausrichten	73	1	B	
		2. Block B auflegen und ausrichten				50
		3. Schraube C anziehen				65
Struktur 2		1. Grundplatte A ausrichten	88	0,8	C	
		2. Block B auflegen und mittels Zentrierstiften ausrichten				100
		3. Schraube C anziehen				65
Struktur 3		1. Grundplatte A ausrichten	89	0,5	B	
		2. Block B auflegen und eindrücken				80

Abbildung 22: Beispiel Assemblability Evaluation Method (AEM)
(Quelle: Redford et al., 1994)

Dann werden zwei Kennzahlen zur Bewertung ermittelt. Zum einen der Assemblability evaluation score (E) und der Assembly cost ratio (K). Die Kennzahl E ergibt sich über die Addition aller Strafwerte, geteilt durch die Anzahl der Elementaraufgaben. Die Kennzahl K ist der Vergleich der Kosten von zwei Gestaltungsvarianten und ergibt sich aus der Division der Kosten des überarbeiteten Produktes durch die Kosten des Ausgangsproduktes. Die Methode definiert, dass ein Wert für $E < 80$ und $K > 0,7$ als ungenügend einzustufen ist und eine Überarbeitung notwendig ist. Damit eine Überarbeitung zielgerichtet erfolgen kann, werden eine Vorgehensanleitung und Praxisbeispiele angeboten.

Um die Methode anwenden zu können, sind genaue Konstruktionszeichnungen sowie das Wissen um die Montagereihenfolge notwendig. Da durch die 20 Elementaraufgaben (ähnlich den 19 Bewegungselementen des MTM-Verfahrens) sehr detailliert gearbeitet wird, ist die Anwendung der Methode für komplexere Produkte sehr aufwendig.

Design for Assembly (DFA)

Design for Assembly, kurz DFA, ist wohl die bekannteste Methode zur montagegerechten Produktgestaltung. Entwickelt wurde das Verfahren von den Amerikanern Boothroyd, Dewhurst und Knight (1994). Im Mittelpunkt des Vorgehens steht das Bemühen Montagezeit und –kosten über eine Verringerung der Teileanzahl zu reduzieren. Die Bewertung der Montagegüte erfolgt über eine Kennzahl, die als Designeffizienz bezeichnet wird.

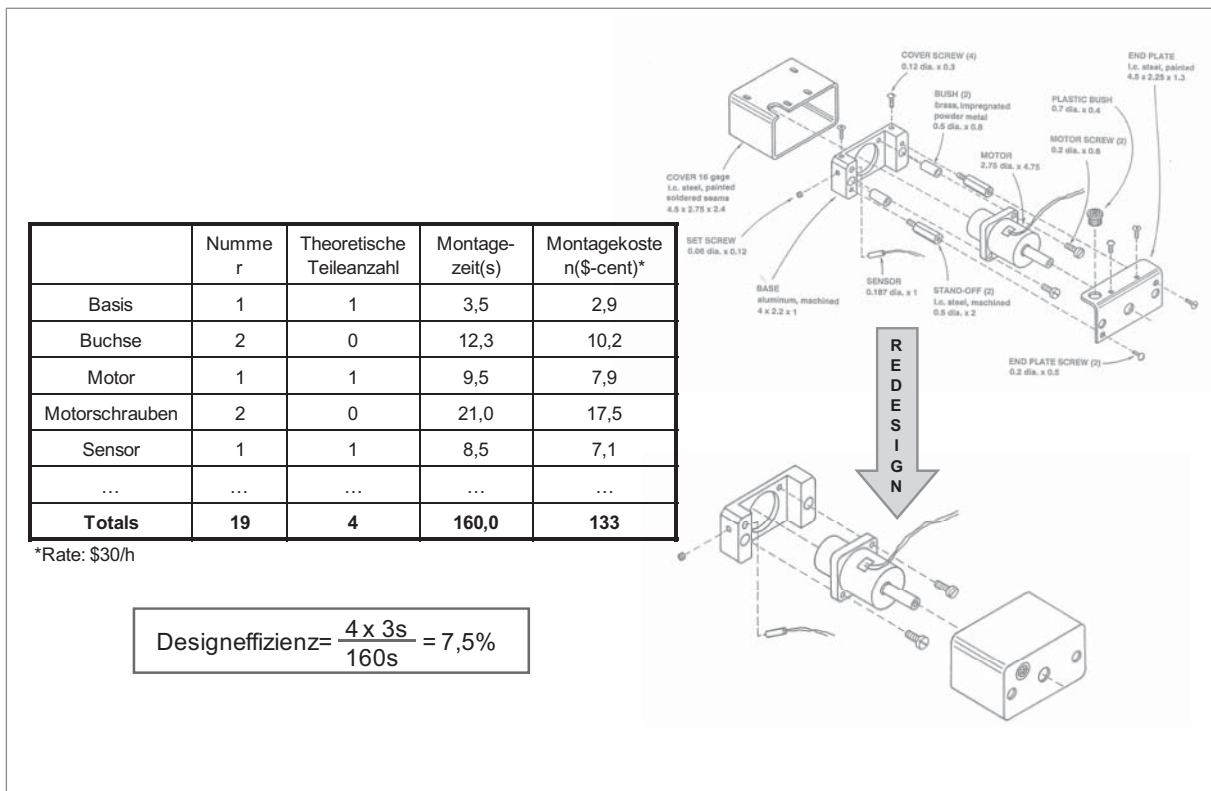


Abbildung 23: Design for Assembly (DFA), angewendet auf das Beispiel „Antriebseinheit“ (Quelle: angelehnt an Boothroyd et al., 1994)

Die Anwendung der Methode soll anhand eines Beispiel dargestellt werden (vgl. Abbildung 23): Eine Antriebseinheit wird montiert, die im Wesentlichen aus einem Elektromotor sowie dem umgebenden Gehäuse besteht. Zuerst wird die Kennzahl Designeffizienz für die Ausgangskonstruktion (Zeichnung rechts oben) berechnet. Dazu wird in der gezeigten Tabelle jedes Einzelteil sowie dessen Häufigkeit eingetragen. Danach erfolgt die Überlegung, ob Teile durch Umkonstruktion bzw. Funktionsintegration entfallen oder reduziert werden könnten. Das Ergebnis dieser Überlegung ergibt die theoretische Teileanzahl.

Dann wird für jedes Bauteil die Montagezeit in Sekunden in die Tabelle eingetragen. Die Ermittlung dieser Montagezeit wäre per MTM-Verfahren möglich, allerdings bietet die DFA-Methode einen eigenen Ansatz zur Zeitbestimmung an. Aus umfangreichen

Tabellen lässt sich über die Eingabe von Bauteileigenschaften, Teileorientierung, Geometrie und Montageeignung die Vorgabezeit ermitteln.

Die letzte Tabellenspalte gibt die Montagekosten an. Die Berechnung dieses Wertes erfolgt über eine einfache Multiplikation der Montagezeit mit dem Stundensatz (im vorliegenden Beispiel beträgt der Satz \$30/h).

Mit den nun vorliegenden Informationen lässt sich die Designeffizienz berechnen. Diese ergibt sich aus dem Quotienten von optimaler Montagezeit zu tatsächlicher Montagezeit. Dabei ergibt sich die optimale Montagezeit aus der Multiplikation von theoretischer Teileanzahl (im Beispiel sind das vier Teile) und optimaler Montagezeit pro Teil. Die optimale Montagezeit wurde von den Autoren durch empirische Studien auf stets 3 Sekunden festgelegt. Für das gezeigte Beispiel ergibt sich so eine Designeffizienz von 7,5%.

Für die Kennzahl definiert die Methode keine Skala, die eine Unterscheidung zwischen einer guten und einer schlechten Gestaltung zulässt. Prinzipiell gilt allerdings: je höher die Kennzahl, umso besser die Montagegüte. Die Designeffizienz der Ausgangskonstruktion von 7,5% ist also eher schlecht. Mittels genereller Leitlinien zur Reduzierung der Teileanzahl, die die Methode zur Verfügung stellt, wurde die Konstruktion verbessert (Zeichnung rechts unten). Diese Gestaltungsalternative enthält deutlich weniger Teile und erreicht deshalb eine Design-Effizienz von 26%.

Neben dem relativen Vergleich der Varianten über die Kennzahl Designeffizienz ist bei der DFA-Methode auch ein absoluter Vergleich über Montagezeit und Montagekosten möglich. Auch beim absoluten Vergleich schneidet die überarbeitete Konstruktion besser ab: Während die Ausgangskonstruktion 160s Montagezeit und 133\$-cent Montagekosten verbraucht, sind es nach der Optimierung nur noch 46s Montagezeit und 38,4 \$-cent Montagekosten.

Die eigentliche Durchführung der Methode ist aufgrund der wenigen Eingangsinformationen und nur einer Kennzahl sehr einfach, was auch der Grund für die weite Verbreitung der Methode sein dürfte. Allerdings bedarf es zur Anwendung einer auskonstruierten Produktgestaltung, inkl. der notwendigen Zeichnungen. Ein weiteres Erschwernis dürfte die eigentliche Umkonstruktion nach durchgeführter Analyse sein: Nur dem geübten Konstrukteur wird es gelingen, mittels der generellen Leitlinien eine konkrete Umgestaltung durchzuführen.

Design-For-Assembly Evaluation

Die von Ullman (2003) entwickelte Methode hat zum Ziel, die Montagegüte über die Reduzierung der Teileanzahl sowie über die Optimierung von Teilehandling und Fügebewegung zu verbessern. Die Bewertung erfolgt anhand einer Bewertungstabelle (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Bewertungstabelle Design-For-Assembly Evaluation (Quelle: angelehnt an Ullman, 2003)

DESIGN FOR ASSEMBLY					
Montagebewertung für		<input type="text"/>			
Allgemeine Faktoren					
1. Minimale Teileanzahl		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
2. Minimale Anzahl von separaten Verschlüssen		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
3. Basisbauteil enthält Befestigungselemente		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
4. Ausrichten der Teile während der Montage notwendig		Zweifaches oder mehrfaches Ausrichten	...		Kein Ausrichten
5. Effizienz der Montagereihenfolge		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
Teilebereitstellung					
6...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
7...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
Teilehandling					
8...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
9...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
10...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
Fügen					
11...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
12...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
13...		schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet

Total x 0	...	Total x 6	Total x 8
			↓
			Total Score <input type="text"/>

Mittels dieser Tabelle werden allgemeine Faktoren, Faktoren zur Teilebereitstellung, zum Teilehandling sowie zum Fügen bewertet. Im Detail wird zum Beispiel bei den allgemeinen Faktoren nach der Auslegung auf eine minimale Teileanzahl und wenige Verschlüsselemente gefragt. Ferner spielen die Nutzung eines Basisbauteils und eine gute Montagereihenfolge eine wichtige Rolle.

Alle Einzelkriterien werden dann mittels einer fünfstufigen Skala bewertet, die von schlecht bis ausgezeichnet reicht. Sind alle Einzelkriterien bewertet, erfolgt die spaltenweise Summierung der Bewertungsergebnisse. Die Anzahl der Nennungen pro Bewertungsstufe wird dann mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert. Dieser reicht vom Wert „0“ bis zum Wert „8“. Die gewichteten Teilergebnisse werden abschließend zu einem Gesamtergebnis („Total Score“) aufaddiert.

Diese Kennzahl („Total Score“) kann zwischen 0 und 104 Punkten liegen. Je höher der Punktwert ist, umso besser ist dabei auch die Produktgestaltung. Da es keine definierte Punktgrenze gibt, die eine Unterscheidung zwischen einer guten und einer schlechten Produktgestaltung zulässt, eignet sich das Verfahren nur, um einen relativen Vergleich zwischen unterschiedlichen Gestaltungsvarianten durchzuführen.

Die Methode ist aufgrund der übersichtlichen Gestaltung der Bewertungstabelle sehr einfach durchzuführen. Um die verschiedenen Faktoren aber umfassend bewerten zu können, ist eine genau festgelegte und auskonstruierte Produktgestalt notwendig. Ein Einsatz dieser Methode im frühen Entwicklungsstadium erscheint deshalb unwahrscheinlich.

Lucas DFA Evaluation Method

Die Lucas DFA Evaluation Method (Redford, Chal, 1994, S. 112-120 und Hesse, 1994, S. 33) entstand aus einer Zusammenarbeit zwischen der Firma Lucas Organization und der Universität von Hull (UK). Das Verfahren wurde entwickelt, um die Montagekosten durch gezielte Produktveränderung zu reduzieren. Dazu werden die Bauteile in der Reihenfolge der Montage in das Assembly Sequenz Flowchart (ASF) eingetragen (vgl. Abbildung 24). Das ASF ist das zentrale Element der Methode und stellt eine spezielle Art des Montagegraphen dar.

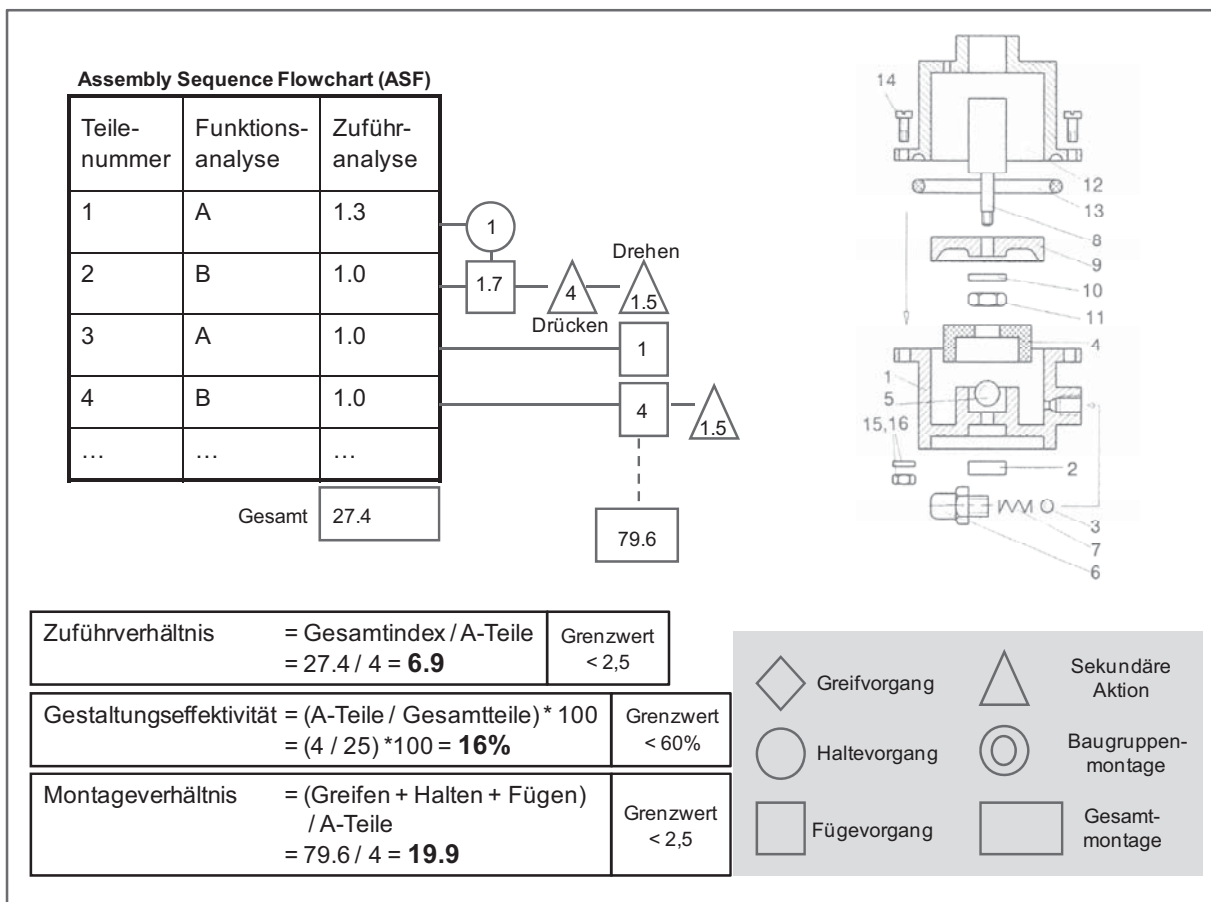


Abbildung 24: Beispiel Lucas DFA Evaluation Method (Quelle: angelehnt an Hesse, 1994)

Zunächst wird im ASF im Rahmen der Funktionsanalyse bestimmt, ob es sich um sog. A- oder B-Teile handelt. A-Teile sind essentielle Teile, die nicht eingespart werden können. B-Teile zeichnen sich dadurch aus, dass diese prinzipiell über eine Funktionsintegration beseitigt werden können. Dann folgt die Zuführanalyse. Bei dieser wird über zielgerichtete Fragen zu den jeweiligen Bauteilen geklärt, wie sich die Zuführsituationen im Hinblick auf Bauteilgestalt, Material, etc. gestalten. Die Summe aller Einzelwerte der Zuführanalyse ergibt den Gesamtindex. Im Anschluss erfolgt die Bewertung der eigentlichen Montage. Dazu wird der Montageprozess mittels Symbolen für die Kategorien Greifen, Halten, Fügen und Sekundäre Aktion (z. B. Drehen oder Drücken) rechts neben dem AFS abgebildet.

Die Bewertung des Produktes erfolgt dann anhand von drei Kennzahlen. Eine als „Gestaltungseffektivität“ bezeichnete Kennzahl berechnet sich durch die Division der Anzahl der A-Teile durch die Gesamtanzahl der Teile und wird in Prozent angegeben. Die zweite Kennzahl ist das Zuführverhältnis. Dieses ist als Division von Gesamtindex des Zuführverhältnisses und Anzahl der A-Teile definiert. Die dritte Kennzahl ist das Montageverhältnis. Dieses entsteht als Quotient der Montagekategorien (Greifen, Halten, etc.) und Anzahl der der A-Teile.

Für alle drei Kennzahlen sind Grenzwerte festgelegt, die anzeigen, wann eine Überarbeitung des Produktes notwendig ist (Gestaltungseffektivität $< 60\%$; Zuführverhältnis $< 2,5$; Montageverhältnis $< 2,5$). Ferner gibt die Methode allgemeine Hinweise wie bei überschrittenen Grenzwerte konstruktiv zu reagieren ist.

Da jedes einzelne Bauteil mehreren Analysen (Funktions-, Zuführ-, Montageanalyse) zu unterziehen ist, ist der Aufwand zur Anwendung der Methode sehr hoch. Auch der notwendige Datenbedarf an genauen Konstruktionszeichnungen und Kenntnissen über die Montagereihenfolge ist erheblich.

Methode nach Bäßler

Dieses Bewertungsverfahren aus dem Jahre 1988 (Bäßler, 1988) beschäftigt sich mit einer ganzheitlichen Optimierung der Produktgestalt, wobei es einen besonderen Schwerpunkt auf den Aspekt der automatisierten Montage setzt. Zur Beurteilung der Montagegüte der Konstruktion wird der sog. Kennwert für die Montagegerechtigkeit (K) errechnet.

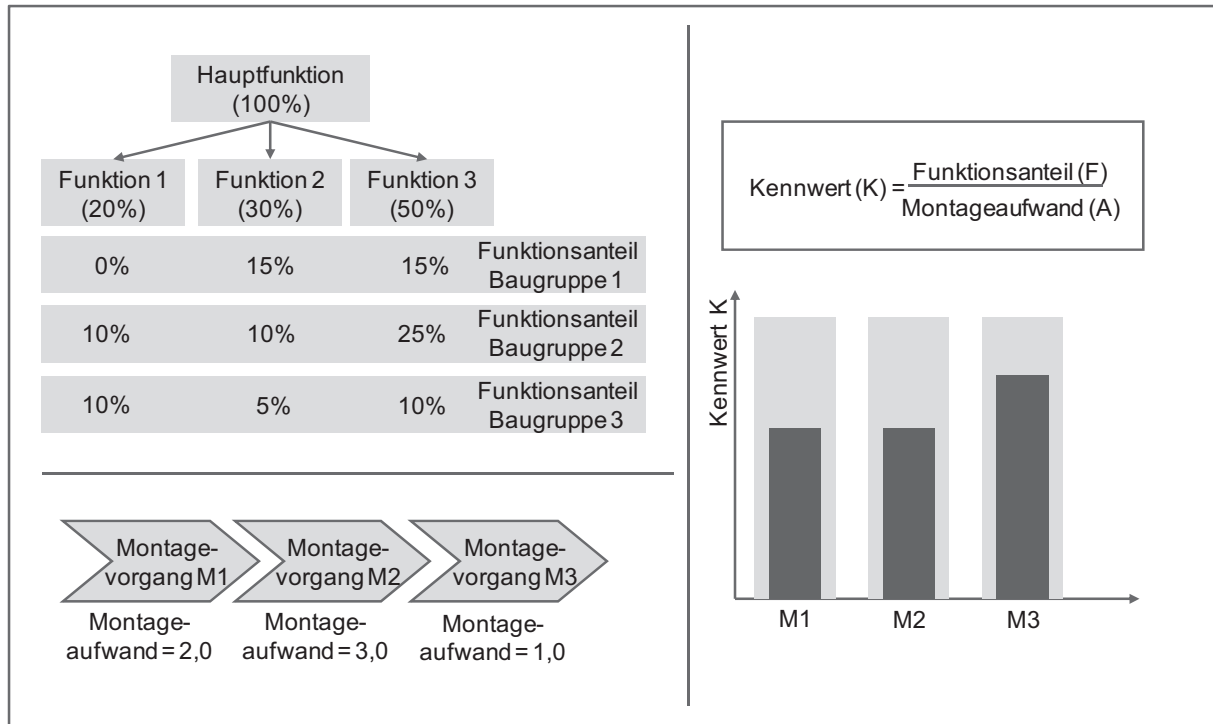


Abbildung 25: Überblick über die Methode nach Bäßler (Quelle: angelehnt an Bäßler, 1988)

Zunächst wird die Hauptfunktion des Produktes in die unterschiedlichen Unterfunktionen unterteilt (vgl. Abbildung 25). Je nach Komplexität des Produktes kann auch noch eine weitere Unterteilung der Unterfunktionen erfolgen. Die Funktionsanteile werden dann den verschiedenen Baugruppen zugeordnet. Anhand einer Punktetafel wird für jede Unterfunktion der zugehörige Montageaufwand ermittelt. Der Kennwert „K“ für die Montagegerechtigkeit ergibt sich schließlich aus dem Quotienten von Funktionsanteil „F“ und Montageaufwand „A“. Ein niedriger Kennwert „K“ weist auf montagetechnische Schwachstellen hin, dessen Optimierung die Methode mit einer detaillierten Checkliste zur Konstruktionsverbesserung unterstützt. Allerdings ist für den Kennwert „K“ kein Grenzwert definiert, der über eine ggf. notwendige Optimierung entscheidet.

Die Berechnung des Kennwertes „K“ ist einfach möglich und schnell verständlich. Allerdings ist die Aufteilung der Funktionsanteile auf die Baugruppen gerade bei

komplexen Produkten sehr aufwendig. Ferner sind zur Anwendung der Methode genaue Kenntnisse über die Produktstruktur sowie die Montagereihenfolge notwendig.

Methode nach Gairola

In seiner an der Technischen Universität Darmstadt vorgelegten Dissertation entwickelt Gairola Gestaltungsrichtlinien und Beispielsammlungen sowie eine Bewertungsmethode zum montagegerechten Konstruieren (Gairola, 1981). Ziel der Bewertungsmethode, ist die optimale Gestaltung von Konstruktionen im Hinblick auf eine automatisierte Montage. Dazu werden drei wesentliche Kennzahlen erhoben: die Handhabungseignung W_h , der Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs W_f sowie die Montagegerechtheit G_{BG} (vgl. Abbildung 26).

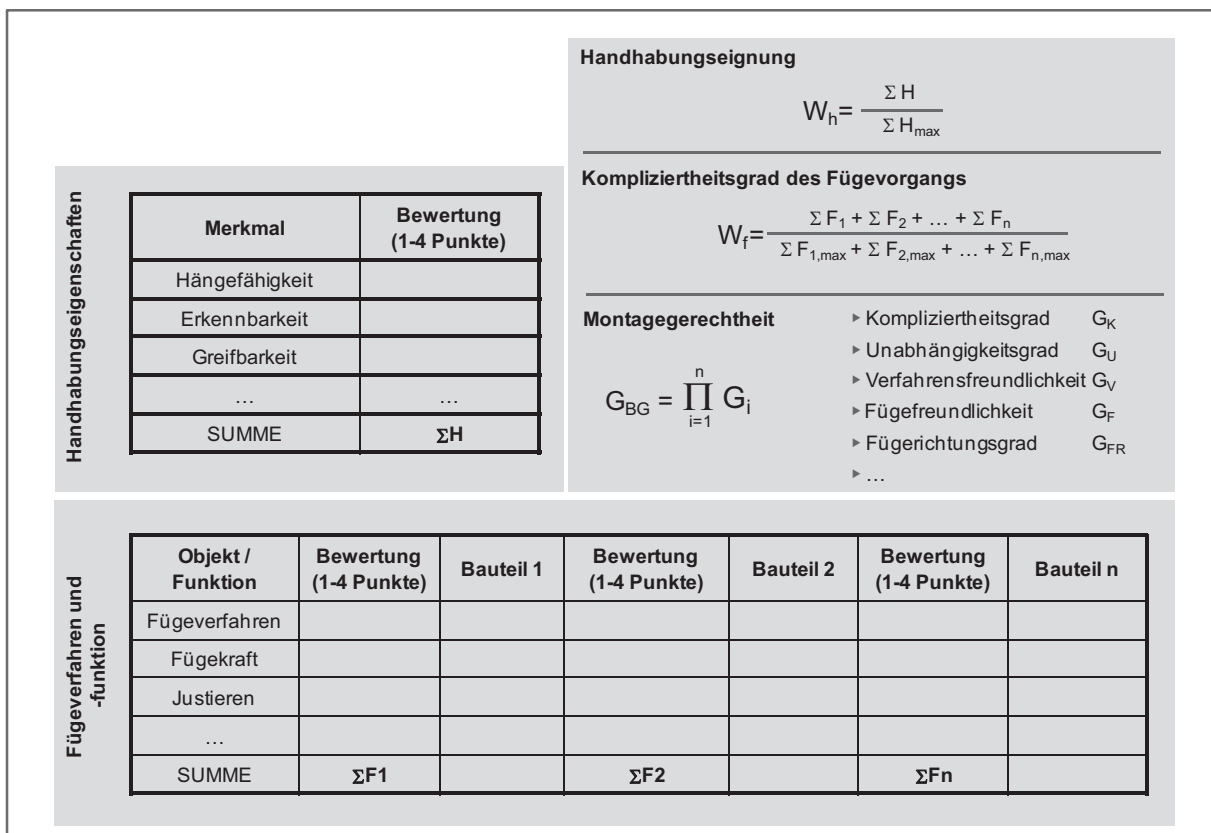


Abbildung 26: Überblick über die Methode nach Gairola (Quelle: angelehnt an Gairola, 1981)

Dabei werden die Kennzahlen „Handhabungseignung W_h “ und „Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs W_f “ für einzelne Bauelemente oder –teile berechnet, während die Kennzahl „Montagegerechtheit G_{BG} “ für ganze Baugruppen kalkuliert wird. Die Handhabungseignung W_h wird zunächst beurteilt, indem 18 unterschiedliche Merkmale zu den Handhabungseigenschaften wie Hängefähigkeit oder Greifbarkeit mit Punktwerten zwischen ein und vier Punkten bewertet werden. Dann wird die so erreichte Punktzahl zur maximal möglichen Punktzahl in Beziehung gesetzt. Ähnlich erfolgt die

Berechnung der Kennzahl „Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs W_f “. Diese wird aus der Beurteilung von insgesamt 26 Merkmalen zum Fügeverfahren und zur Fügefunktion für jedes Bauteil gebildet. Wieder sind pro Merkmal ein bis vier Punkte zu vergeben. Auch hier wird anschließend die erreichte Punktzahl zur maximal möglichen Punktzahl in Beziehung gesetzt. Die Kennzahl „Montagegerechtheit G_{BG} “ ist eine Gesamtkennzahl, die sich aus der multiplikatorischen Verknüpfung von zehn einzelnen Kennzahlen wie des „Kompliziertheitsgrades G_K “ (Anzahl der Fügeflächen) oder des „Unabhängigkeitsgrades G_U “ (Anzahl der Fügepartner) der Baugruppe ergibt. Die einzelnen Teilkennzahlen, die zur Montagegerechtheit G_{BG} zusammengefasst werden, werden dabei durch unterschiedliche mathematische Verknüpfungen der jeweiligen Einflussgrößen errechnet. Für die Kennzahlen auf Bauelemente- oder Bauteileebene „Handhabungseignung W_h “ und „Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs W_f “ gibt es eine dreistufige Skala, welche die Einteilung der Ergebnisse in „gut“, „bedingt“ und „schlecht“ zulässt. Für die Kennzahl „Montagegerechtheit G_{BG} “ auf Baugruppenebene ist ein Grenzwert von 0,5 definiert. Konstruktionen, die im Ergebnis diesen Wert unterschreiten, sollten überarbeitet werden.

Zur Anwendung der Methode benötigt man zunächst genaue Kenntnisse über die Produktstruktur sowie über die Montagereihenfolge. Diese Eingangsinformationen werden dann über eine sehr große Anzahl von Merkmalen und Teilkennzahlen zum Bewertungsergebnis zusammengeführt. Aufgrund der Vielzahl der zu verarbeitenden Daten und deren aufwendigen Verknüpfung ist die Methode von Gairola sehr komplex. Eine manuelle Anwendung in der industriellen Praxis dürfte sich deshalb in der Fläche kaum durchgesetzt haben. Erst die EDV-gestützte Umsetzung der Methode könnte dieses Ziel erreichen.

Methode nach Kettner

Das im Rahmen einer Dissertation an der RWTH Aachen entwickelte Verfahren (Kettner, 1987) bewertet die Produktgestaltung im Hinblick auf den Aufwand zur Automatisierung der Montage. Zur Bewertung werden bei der Kettner-Methode die Tätigkeiten Bereitstellen, Zubringen und Fügen zunächst getrennt betrachtet. Für jede dieser Tätigkeiten wird anhand von Bauteileigenschaften und Prozessparametern eine Kennzahl ermittelt (vgl. Abbildung 27).

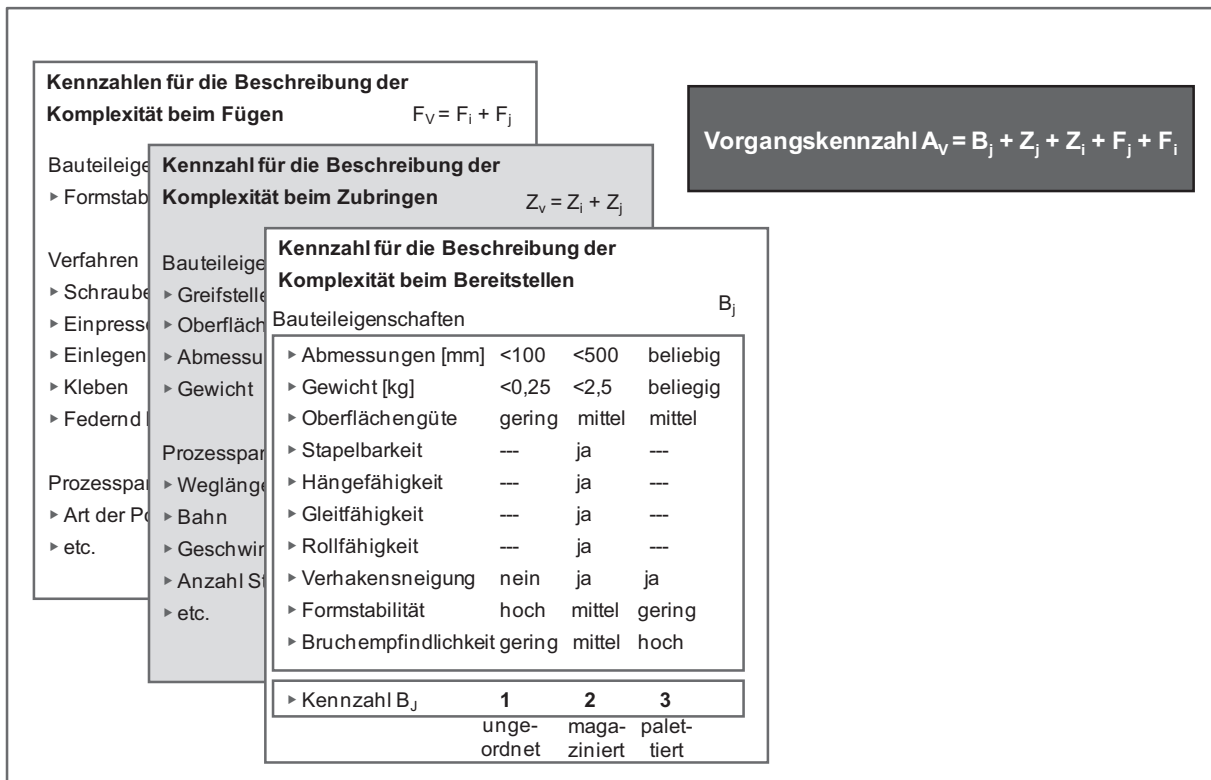


Abbildung 27: Überblick über die Methode nach Kettner (Quelle: angelehnt an Kettner, 1987)

Die so ermittelten Teilkennzahlen werden dann mittels teils aufwendiger Algorithmen zu Gesamtkennzahlen zusammengefasst. Die einfachste Gesamtkennzahl ist dabei die Vorgangskennzahl A_v , die sich über die Addition der Kennzahlen für Bereitstellen, Zubringen und Fügen ergibt. Höher aggregierte Kennzahlen sind die Stationskennzahl A_s und die Produktkennzahl A_p . Diese bauen ebenfalls auf den vorgestellten Teilkennzahlen auf, verdichten diese aber durch das Einbeziehen von unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren.

Für alle Kennzahlen gilt, dass diese umso positiver sind, je kleiner ihre Zahlenwerte sind. Die Methode kennt keine definierten Eingriffsgrenzen, ab denen die Gestaltung überarbeitet werden muss. Folglich eignet sich die Methode auch nur, um vergleichende Betrachtungen durchzuführen.

Da die Methode sehr viele einzelne Bauteileigenschaften und Prozessparameter abfragt und diese dann über teils aufwendige Algorithmen zu Kennzahlen zusammenfasst, ist es nicht für die manuelle Durchführung geeignet. Eine sinnvolle Anwendung lässt sich nur EDV-gestützt abbilden.

Methode nach Spies

Das in Teilen an die Design-for-Assembly-Methode angelehnte Vorgehen entstand im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich (Spies, 1997). Ziel der Methode ist die Optimierung der Produktmodularisierung mit Fokus auf der Minimierung der

Schnittstellen sowie der Verbesserung der Modulumfangs. Um diese Ziele zu erreichen, arbeitet das Verfahren mit zwei Kennzahlen: der modulexternen Effizienz und der modulinternen Effizienz (vgl. Abbildung 28).

1.	Arbeitsblatt Spies-Verfahren zur Modularisierung		Modul 1	Modul 2	Summe
2.	Anzahl Schnittstellen am Modul				
3.	+ davon besonders aufwendige				
4.	- davon sinnvoll integrierbar				
5.	2. +3. -4. = S Modul				
6.	$\Sigma(S_{\text{Modul}})$				
7.	theoretisch minimale Schnittstellenzahl (S_{Min})				
8.	$\Sigma(S_{\text{Min}})$				
9.	Modulexterne Effizienz = 8. / 6.				
Modularisierungsaufwand			Wichtung		
10.	Modulentwicklung		2		
11.	Baureihe				
12.	Modulkomplexität		Fügebewegung		
13.	Modulgröße		Zugänglichkeit (ohne Wenden)		
14.	Modulbeschaffenheit		gut mittel schlecht		
15.	Modulqualität		gradlinig nicht gradlinig komplex		
16.	Modulmontage 1		2		
17.	Modulmontage 2		2,5		
18.	Modulinstandhaltung		1,5		
19.	Modulrecycling		1,5		
20.	Modulzahl ($m_{\text{Modul}} = \Sigma(10. \dots 19.) \cdot \text{Wichtung}$)				
21.	$\Sigma(m_{\text{Modul}})$				
22.	Referenzwert = ($m_{\text{Opt}} \cdot \text{Anzahl Module}$), $m_{\text{Opt}} = 58,5$				
23.	Modulinterne Effizienz = 21. / 22.				

separat vorzumontieren und zu transportieren?		Modul ist biegeschlaff			
		ja	nein	teilweis	ja
ja		3	2,5	2	
teilweise		2	1,5	1	
nein		1	0,5	0	

Fügebewegung		Zugänglichkeit (ohne Wenden)		
		gut	mittel	schlecht
gradlinig		3	2,5	2
nicht gradlinig		2,5	2	1,5
komplex		2	1,5	1

Abbildung 28: Arbeitsblatt Spies-Verfahren zur Modularisierung (Quelle: angelehnt an Spies, 1997)

Die modulexterne Effizienz ist das Verhältnis von tatsächlichen Schnittstellen des Moduls zu den theoretisch minimal denkbaren Schnittstellen. Dabei werden die tatsächlichen Schnittstellen einfach ausgezählt, wobei besonders aufwendige Schnittstellen doppelt gezählt werden und sinnvoll integrierbare Schnittstellen abgezogen werden. Zur Ermittlung der theoretisch minimalen Anzahl der Schnittstellen stellt Spies drei Kernfragen zur Verfügung, deren Beantwortung darüber entscheidet, ob die Schnittstelle essentiell ist. Die modulinterne Effizienz bewertet den Aufwand zur Modularisierung. Dazu werden anhand von zehn Kriterien deren Ausprägung beurteilt und das Ergebnis einem Punktwert zugeordnet. Beispielhaft ist diese Punktzurteilung für die Kriterien „14. Modulbeschaffenheit“ und „17. Modulmontage 2“ zu erkennen (vgl. Abbildung 28). Im Anschluss an die Beurteilung aller Kriterien werden die Punkte aufsummiert und zu einem Referenzwert (optimaler Wert) in Beziehung gesetzt.

Da beide Kennzahlen als Ergebnis einen %-Wert liefern ist das optimale Ergebnis 100% für jede Kennzahl. Je weiter die tatsächlichen Ergebnisse von 100% abwei-

chen, umso schlechter ist die Konstruktion. Ein Grenzwert, ab dem eine Überarbeitung auf jeden Fall notwendig ist, wird nicht festgelegt.

Die Anwendung des Verfahrens ist im Hinblick auf die Logik sehr einfach, das Arbeitsblatt ist übersichtlich und gut gegliedert. Ein großer zeitlicher Aufwand entsteht allerdings bei komplexen Produkten, die aus vielen einzelnen Modulen bestehen. Auch benötigt die Methode eine ganze Reihe von Eingangsinformationen zum Produktaufbau und zur Bauteilgestaltung, um korrekt angewendet zu werden.

Modular Function Deployment (MFD)

Unter der Bezeichnung „Modular Function Deployment“ der Autoren Ericsson und Erixon (1999, S.29-41) ist ein ganzheitlicher Entwicklungsansatz zu verstehen, in den eine Bewertungsmethode zur montagegerechten Produktgestaltung integriert ist. Diese Bewertungsmethode ist dabei so ausgelegt, dass sie für ein optimales Produktdesign im Hinblick auf die Modularität sorgt.

Zur Anwendung der Methode werden alle zu montierenden Bauteile in der Reihenfolge des Zusammenbaus in eine sog. Schnittstellenmatrix eingetragen. Abbildung 29 zeigt diese Matrix am Beispiel der Montage eines Staubsaugers.

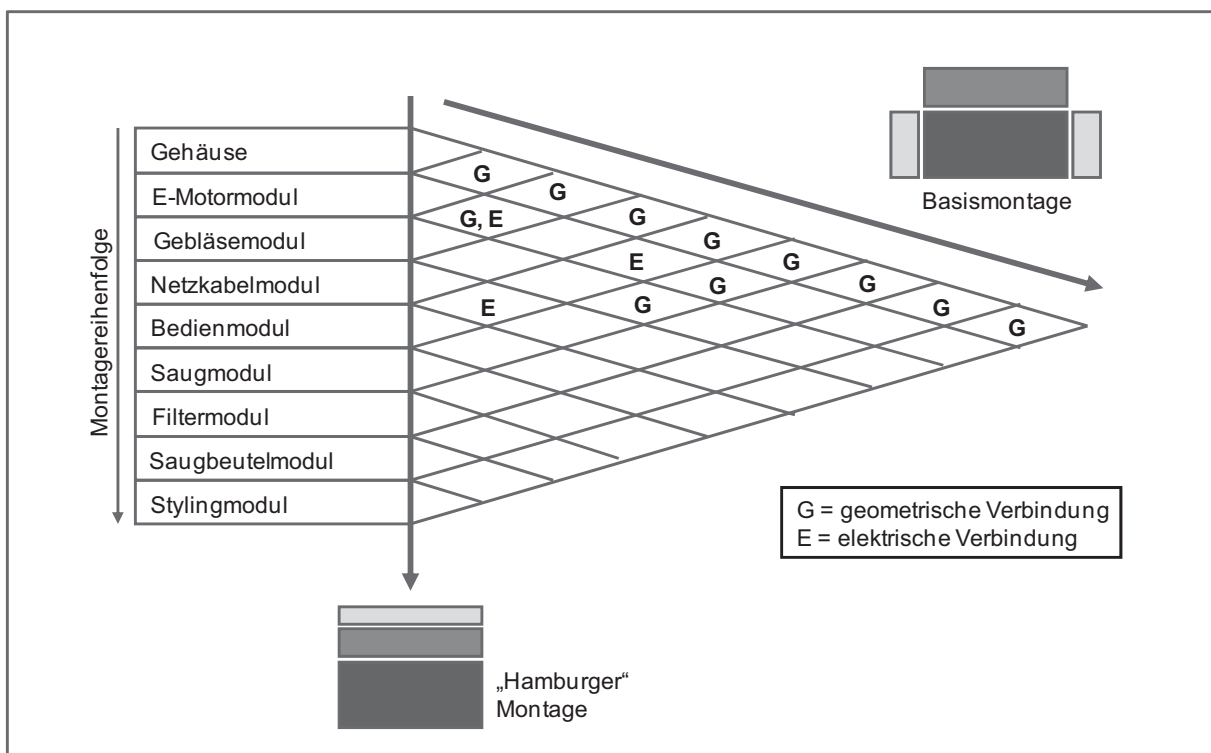


Abbildung 29: Modular Function Deployment (MFD), angewendet auf das Beispiel „Staubsauger“
(Quelle: angelehnt an Ericsson et al., 1999)

Die Schnittstellenmatrix enthält zwei Optima: „Hamburger“-Montage und Basismontage. Das bedeutet, dass optimaler Weise entweder alle Bauteile um ein zentrales

Basisbauteil montiert werden (Basismontage) oder, dass die Bauteile aufeinander geschichtet werden („Hamburger“-Montage). Zur Analyse werden in einem paarweisen Vergleich alle Bauteile zueinander bewertet. Dabei sind zwei Kriterien zu beurteilen:

- Gibt es zwischen den Bauteile eine geometrische Verbindung?
- Gibt es zwischen den Bauteilen eine elektrische Verbindung?

Die physische Verbindung wird dann durch den Kennbuchstaben „G“ (geometrische Verbindung) in die Matrix eingetragen. Der Kennbuchstabe „E“ (elektrische Verbindung) wird da eingetragen, wo es eine elektrische Verbindung zwischen zwei Bauteilen gibt.

Die Bewertung der Montagegüte erfolgt dann rein grafisch über die Betrachtung der Abweichung vom Optimum. Dazu wird aus den zwei Optima dasjenige ausgewählt, das von den meisten Bauteilen bereits erfüllt wird. Im Beispiel des Staubsaugers (vgl. Abbildung 29) ist das die Basismontage aufgrund der vielen eingetragenen Kennbuchstaben „G“ im oberen Bereich der Schnittstellenmatrix. Das bedeutet, dass alle Bauteile die eine Eintragung außerhalb des gewählten Optimums haben (in unserem Beispiel die Bauteile „Netzkabelmodul“ und „Gebläsemodul“) verbessert werden müssen. Um das Verfahren anwenden zu können, benötigt man als Eingangsinformationen den groben Produktaufbau sowie die Montagereihenfolge. Die Durchführung der Methode ist verhältnismäßig einfach, allerdings ist die Aussagekraft aufgrund der rein grafischen Betrachtung sehr begrenzt. Da es keine Kennzahl gibt, können die Ergebnisse nur mit Hilfe der Schnittstellenmatrix kommuniziert werden. Besonders beim Vergleich vieler Gestaltungsvarianten kann das zu Problemen führen.

ProKon

Von der MTM-Vereinigung wurde Ende der 1990er Jahre die Methode ProKon entwickelt (Deutsche MTM-Vereinigung, 2009). Die Bezeichnung steht für produktionsgerechte Konstruktion. Die Methode hat sich zum Ziel gesetzt, Schwachstellen in der Konstruktion, die zu Montageerschwernissen in der manuellen Montage führen, zu erkennen und zu verbessern. Das zentrale Element der Methode ist das ProKon-Analyseblatt (vgl. Abbildung 30). Dieses soll anhand eines einfachen Beispiels kurz erläutert werden.

Beschreibung	Basiswert		Montageerschwernis							
	Gewicht 1. Fügestelle		...	mit Fest- halten	Nach- richten beim Fügen	...	Prozess			Anzahl der verwendeten Werkzeuge
	< 8 daN	>8 daN					P1	P2	P3	
Dübel einsetzen	1		...	1		...				
						
						
Summe Häufigkeit:	1	0	...	1	0	...	0	0	0	0
Wert:	40	55	...	20	10	...	50	150	300	40
Wert Gesamt:	40	0	...	20	0	...	0	0	0	0
										60

Abbildung 30: Beispiel zur Anwendung von ProKon
(Quelle: angelehnt an Deutsche MTM-Vereinigung, 2009)

In dieses Analyseblatt werden zunächst alle Bauteile des Produktes in der chronologischen Verbaureihenfolge eingetragen. Dann wird für jedes Bauteil die Montagesituation beschrieben, in dem Angaben zum Basiswert und zu den Montageerschwernissen in das Analyseblatt eingetragen werden. So wird für jedes Kriterium, welches für das betrachtete Bauteil zutrifft, die Häufigkeit eingetragen. In dem Beispiel (vgl. Abbildung 30) gibt es nur einen Dübel, der eingesetzt werden muss: Deshalb steht in der entsprechenden Zeile für die zutreffenden Kriterien eine „1“. Wären vier Dübel einzusetzen, hätte jeweils eine „4“ in das Analyseblatt eingetragen werden müssen. Dann werden für jedes Bauteil die Montageerschwernisse erfasst. Im Beispiel des Dübels wird in der Rubrik „mit Festhalten“ eine „1“ gesetzt. Den Abschluss der Analyse bildet die Berechnung der ProKon-Einheiten. Dazu werden zunächst für jedes Kriterium spaltenweise die Häufigkeiten aufaddiert. Diese Häufigkeit, die pro Spalte ermittelt worden ist, wird dann mit den definierten ProKon-Einheiten multipliziert, die für jedes Kriterium im Analyseblatt feststehen. Im Anschluss werden dann alle Einzelergebnisse der Spalten (Häufigkeit x ProKon-Einheiten) zu einem Gesamtergebnis aufsummiert. Das so berechnete Ergebnis in ProKon-Einheiten eignet sich, um verschiedene Gestaltungsvarianten miteinander zu vergleichen. Dabei gilt: je weniger ProKon-Einheiten, desto besser die Lösung. Wie ungenügende Lösungsvarianten verbessert werden können, beschreibt die Methode mittels allgemeingültiger Aussagen zur montagegerechten Produktgestaltung. Um das in ProKon-Einheiten berechnete Ergebnis für den Anwender aussagekräftiger zu machen, kann der Wert auch mittels eines Faktors in Montagezeit umgerechnet werden. Allerdings enthält die Methode keinen Grenzwert, der festlegt, ab wann die Produktgestaltung überarbeitet werden muss.

Insgesamt ist die Methode einfach anzuwenden: Es gibt eine überschaubare Anzahl von Kriterien und Regeln. Zur Durchführung der Methode werden Angaben zur Montagereihenfolge, zur Anzahl der Einzelteile, zur Produktstruktur sowie die grobe Füßegeometrie benötigt.

Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)

Im Rahmen seiner Dissertation entwickelte Caesar an der RWTH Aachen die Methode „Variant Mode and Effects Analysis“ zur variantenoptimalen Produktgestaltung (Caesar, 1991).

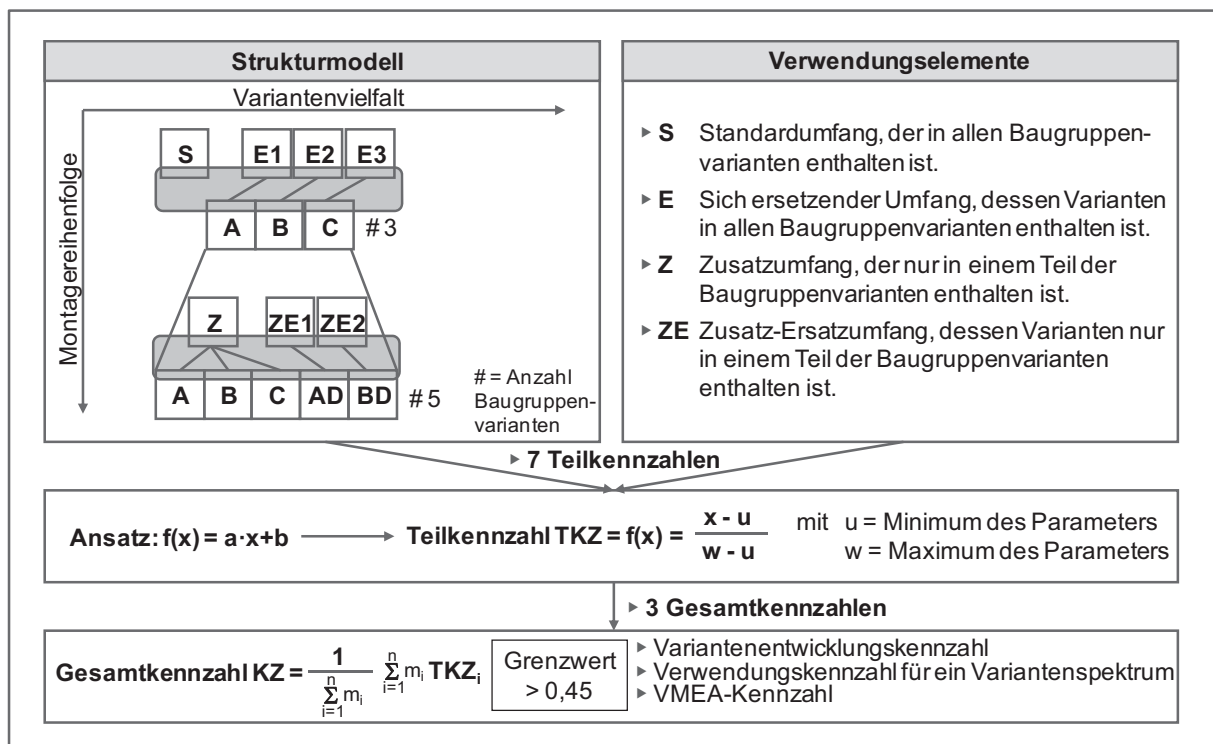


Abbildung 31: Überblick Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)
(Quelle: angelehnt an Caesar, 1991)

Grundlage der Methode ist das Strukturmodell, das den Produktaufbau mittels standardisierter Elemente, sog. „Verwendungselemente“, beschreibt (vgl. Abbildung 31). Für diese Verwendungselemente (z. B. „S“ für einen Standardumfang, der in allen Baugruppenvarianten vorkommt) sucht Caesar nach deren optimaler Ausprägung im Gesamtprodukt. Die jeweiligen Optima beschreibt er über sieben unterschiedliche Teilkennzahlen. So definiert er z. B. als Teilkennzahl 1 möglichst wenige E-Umfänge je Spektrum oder als Teilkennzahl 3 einen möglichst hohen Stückzahlanteil für Z-Umfänge. Dabei entwickelt Caesar die Teilkennzahl jeweils nach dem gleichen Vorgehen. Ausgehend von der Gradengleichung $f(x) = a \cdot x + b$ leitet er unter Annahme von Randbedingungen wie z. B. der Forderung, dass die Kennzahl minimal den Wert

„0“ und maximal den Wert „1“ annimmt, eine allgemeine Funktion ab. Diese allgemeine Funktion für die Teilkennzahlen (TKZ) lässt sich dann durch Einsetzen des minimalen und maximalen Wertes des betrachteten Parameters auf die unterschiedlichen Teilziele anpassen.

Die unterschiedliche Zusammenfassung der untereinander gewichteten Teilkennzahlen ergibt dann die Gesamtkennzahlen „Variantenentwicklungszahl“, „Verwendungskennzahl für ein Variantenspektrum“ und „VMEA-Kennzahl“. Mittels dieser Kennzahlen ist es möglich, die Produktgestaltung so zu optimieren, dass die Variantenvielfalt auf Einzelteil- und Baugruppenebene verkleinert wird, die Angebotsvielfalt jedoch beibehalten werden kann. Dabei sind die Kennzahlen so ausgelegt, dass diese im besten Fall den Wert „0“ und im schlechtesten Fall den Wert „1“ annehmen. Für die VMEA-Kennzahl gilt, dass ab einem Wert größer als 0,45 eine Überarbeitung der Konstruktion dringend angeraten ist.

Zur Anwendung der Methode sind die Kenntnis über die grobe Produktstruktur sowie über Basismodule und Montagereihenfolge notwendig. Da die Berechnung der unterschiedlichen Teilkennzahlen sowie insbesondere deren Zusammenfassung zu den drei Gesamtkennzahlen mathematisch komplex sind, lässt sich die Methode durchgängig wohl nur im Rahmen einer IT-Lösung umsetzen.

WZL-Produktstrukturierung

Dieses Bewertungsverfahren (Eversheim, 1987) wurde am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen entwickelt. Es hat zum Ziel, das Produkt im Hinblick auf vormontierbare, in sich abgeschlossene Baugruppen, zu strukturieren. Dabei ist die angestrebte Produktmodularisierung auf Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion, speziell des Werkzeugmaschinenbaus, ausgerichtet.

Die Bewertung erfolgt anhand von 17 unterschiedlichen Kriterien, die Themen wie z. B. Schnittstellen, Kundenwünsche, Montageprozesse und Kosten abbilden. Bevor das entworfene Produkt mittels dieser 17 Kriterien bewertet werden kann, muss zunächst ein Soll-Profil erstellt werden, an dem später das Ist-Profil des realen Produktes gemessen werden kann. Zur Erstellung des Soll- oder Anforderungsprofils wird für alle 17 Kriterien die angestrebte Ausprägung vorgegeben. Das geschieht, indem für jedes der Kriterien festgelegt wird, ob der minimale, der maximale oder ein mittlerer Wert zu erreichen ist. Diese Festlegung für alle 17 Kriterien ergibt in Summe das Anforderungsprofil.

Ist das Anforderungsprofil definiert, kann das Ist-Profil erstellt werden. Dazu wird für jedes der 17 Bewertungskriterien die erreichte Punktzahl ermittelt. Dieses geschieht über die Addition von erfüllten Unterkriterien. Abbildung 32 zeigt beispielhaft für das Bewertungskriterium „Fügefunktionen“ die entsprechenden Unterkriterien mit den zugeordneten Punktwerten.

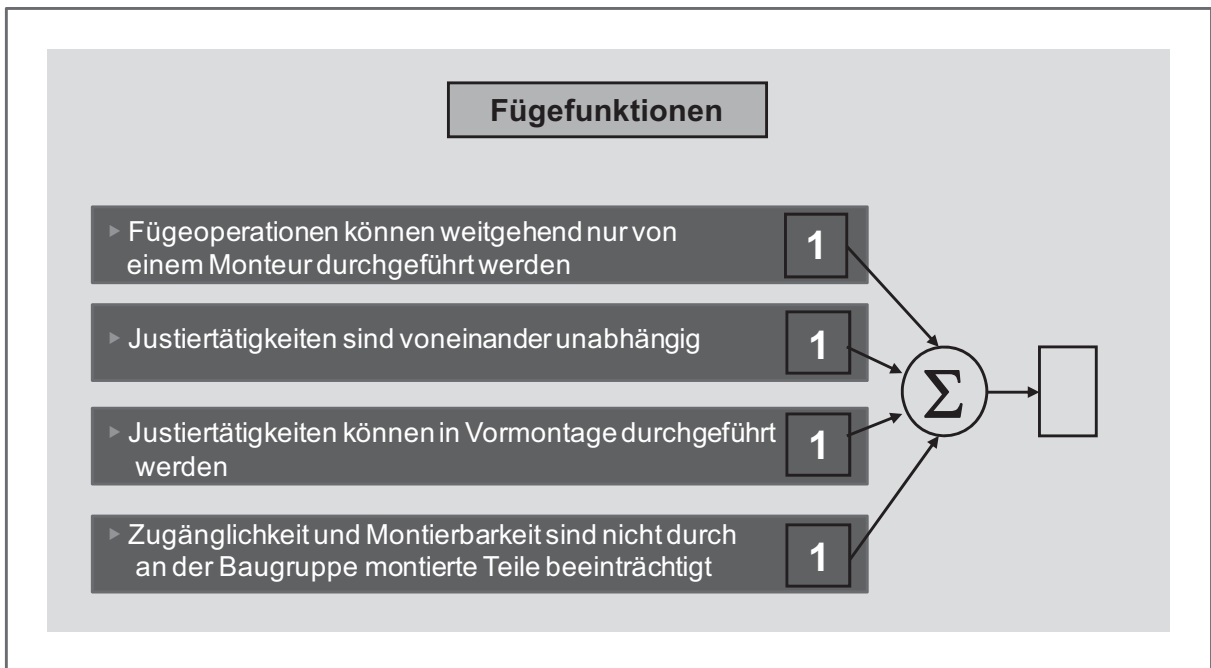


Abbildung 32: Beispiel „Fügefunktion“ der WZL-Produktstrukturierung
(Quelle: angelehnt an Eversheim, 1987)

Sind alle 17 Kriterien bewertet, wird das so entstandene Profil mit dem vorher festgelegten Anforderungsprofil verglichen. Dabei erfolgt der Vergleich Kriterium für Kriterium. Es wird nicht eine Gesamtpunktzahl aus der Addition der Einzelpunktzahlen der Kriterien errechnet, da es nicht auf die bloße Anzahl der Punkte in Summe ankommt. Vielmehr ist es von Bedeutung, in welchem Kriterium wieviele Punkte erreicht wurden und wie sich das einzelne Kriterium im Soll-Ist-Vergleich darstellt.

Dementsprechend gibt es auch keine allgemeingültige Punktgrenze, die eine Unterscheidung zwischen guter und schlechter Produktstruktur zulässt. Eine Aussage darüber ist immer nur relativ im Vergleich zwischen Soll und Ist möglich. Weichen Kriterien zwischen Anspruch und Wirklichkeit stark voneinander ab, ist eine Überarbeitung notwendig. Dazu bietet die Methode einen kurzen Leitfaden mit Hinweisen zum Vorgehen an.

Die Methode ist operativ einfach durchzuführen, allerdings benötigt sie eine Vielzahl von Eingangsinformationen. Da es sich bei diesen Informationen nicht nur um Merkmale der Produktgestalt oder der Montageeigenschaften handelt, sondern auch Kriterien aus den Bereichen Vertrieb und Finanz bewertet werden, dürfte in der Praxis der Aufwand zur Anwendung der Methode erheblich sein.

3.3 Vergleich der quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Um die in Kapitel 3.2 vorgestellten Verfahren systematisch miteinander vergleichen zu können, muss ein entsprechendes Schema oder ein Ordnungsrahmen festgelegt werden. In diesem Fall kommt die aus der Systemtheorie entlehnte Darstellung eines sog. „einfachen Systems“ zum Einsatz (vgl. Abbildung 33). Dieses wird von Girod, Rabenstein und Stenger (2007, S. 5) wie folgt charakterisiert: „In vielen Fällen kann man die an einem System anliegenden Signale einteilen in Eingangssignale und Ausgangssignale. Die Eingangssignale existieren unabhängig vom System und werden von ihm nicht beeinflusst. Stattdessen reagiert das System auf diese Signale. Ausgangssignale tragen Informationen, die vom System erzeugt werden, oftmals als Antwort auf Eingangssignale.“

Diese, vor allem in der Elektrotechnik, gebräuchliche Systemdefinition eignet sich aber auch sehr gut für die Methodenbetrachtung. Dabei wird die Methode durch das System repräsentiert. Die Methode hat Eingangsinformationen, die unabhängig von dieser zustande kommen, und erzeugt Ausgangswerte, die durch die Anwendung der Methode entstehen. Dabei stellt die eigentliche Vorgehensanweisung innerhalb der Methode, z. B. der anzuwendende Rechenalgorithmus, die Übertragungsfunktion dar.

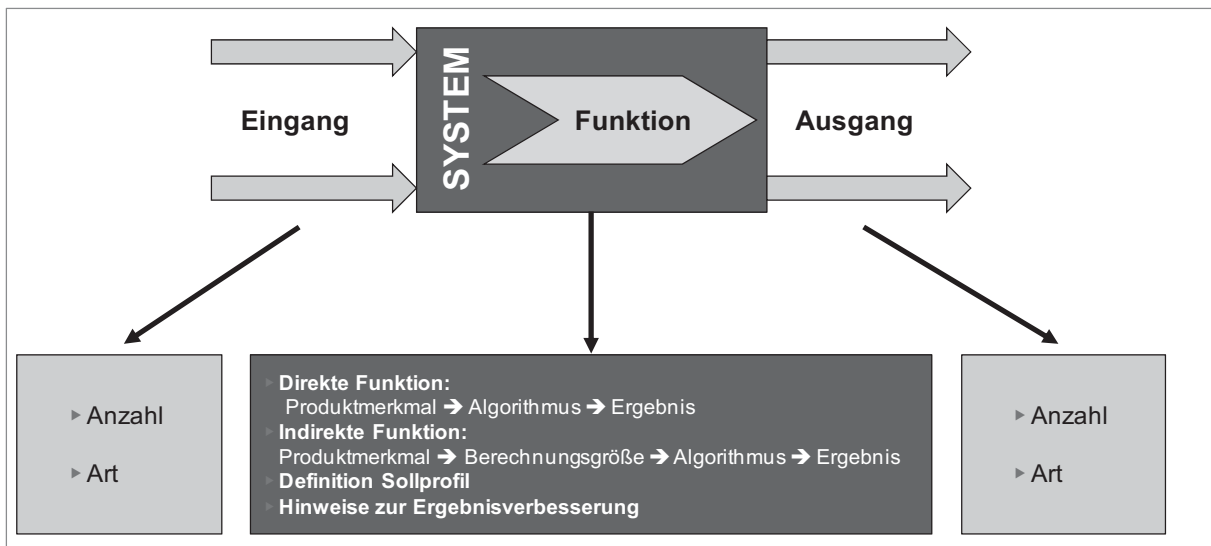


Abbildung 33: Darstellung des „einfachen Systems“ zum Methodenvergleich (Quelle: angelehnt an Girod et al., 2007)

Zum Vergleich der vorgestellten Methoden können in Anlehnung an die beschriebene Systemdarstellung die Eingangs- und Ausgangsinformationen nach Art und Anzahl unterschieden werden (vgl. Abbildung 33). Der Methodenkern (dargestellt durch das System mit Übertragungsfunktion) wird durch die Ausprägungen „direkte Funktion“ und „indirekte Funktion“ sowie durch „Sollprofil“ und „Hinweise zur Ergebnisverbesserung“ charakterisiert. Diese Ausprägungsformen werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

Tabelle 8 fasst alle wesentlichen Kriterien der vorgestellten Verfahren zusammen. Dabei erfolgt die Gliederung nach dem „einfachen System“.

Tabelle 8: Vergleich der quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren entlang des „einfachen Systems“
(Quelle: eigene Darstellung)

Name der Methode		Assemblability Evaluation Method (AEM)	Design for Assembly	Design-For-Assembly Evaluation	Lucas DFA Evaluation Method	Methode nach Bäßler	Methode nach Gairola	Methode nach Kettner	Methode nach Spies	Modular Function Deployment (MFD)	ProKon	Variant Mode and Effects Analysis	WZL-Produktstrukturierung
Ziel der Methode		Fügen u. Verbinden der Bauteile verbessern	Verringerung der Teileanzahl	Verringerung der Teileanzahl + Optimierung Teilehandling	Allg. Optimierung der Produktgestalt	Allg. Optimierung der Produktgestalt Automat. Montage	Automatisierte Montage	Automatisierte Montage	Produktmodularisierung	Produktmodularisierung	Optimierung der Produktgestalt zur manuellen Montage	Verringerung der technischen Varianten	Produktmodularisierung
Umgebung	Herkunft der Methode												
	Dissertation / Wissenschaft			X		X	X	X	X	X		X	
	Industrie	X									X		
	Wissenschaft+Industrie		X		X								X
	Veröffentlichung												
Jahr	1976	1994	2003	1989	1988	1981	1987	1997	1999	1994	1991	1987	
Verständlichkeit der Methode	komplex	X			X		X	X				X	
	einfach		X	X		X			X	X	X		X
	Notwendige Eingangsinformationen												
Eingang	Konstruktionszeichnung	X	X	X	X			X					
	Montagereihenfolge	X			X	X	X			X	X	X	
	Produktstruktur					X	X		X	X	X	X	X
	weitere Informationen												X
Methodenkern	Funktion												
	Direkt									X		X	
	Indirekt	X	X	X				X			X		X
	Kombiniert				X	X	X		X				
	Definition Sollprofil												
	Ja												
Nein	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Hinweise zur Ergebnisverbesserung	Ja	X	X		X	X	X		X		X		X
	Nein			X				X		X		X	
	Kennzahl												
Ausgang	Anzahl	2	1	1	3	1	3	3	2	grafisch	1	3	17
	Relativ	X	X		X	X	X		X	---		X	
	Absolut			X				X		---	X		X
	Grenzwert												
	mit Grenzwert	X			X		X			---		X	
ohne Grenzwert		X	X		X		X	X	---	X		X	

Um die Methode ganzheitlich in einen Kontext einordnen zu können, wird zunächst die Herkunft und das Veröffentlichungsjahr beschrieben. Im Hinblick auf die Herkunft der Methode wird unterschieden, ob diese an einer Universität, also eher theoretisch

getrieben, entstanden ist, oder ob es sich um ein Industrieverfahren oder eine Kooperationsarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft handelt. Ferner wird die Einschätzung des Autors im Hinblick auf die Verständlichkeit der Methode wiedergegeben. Hier geht es um die Frage, ob die Methode schnell zu verstehen und einfach auszuführen ist, oder ob das Verfahren komplex gestaltet wurde.

Jede Methode wird dann auf die Art und Anzahl der notwendigen Eingangsinformationen untersucht. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art, mit der das Bewertungsergebnis zustande kommt, also der Algorithmus oder die Vorgehensweise. Hier gibt es die Unterscheidung zwischen einer direkten, einer indirekten und einer kombinierten Ergebnisermittlung. Die direkte Ergebnisermittlung bezeichnet eine Vorgehensweise, in der die betrachteten Parameter direkt in die Rechenvorschrift zur Ermittlung der Ergebniskennzahl(en) eingehen. Im Gegensatz dazu ist die indirekte Ergebnisermittlung zu sehen. Bei diesem Vorgehen werden zunächst den verschiedenen Ausprägungen der betrachteten Parameter über Tabellenwerte bestimmte Punktwerte zugeordnet. Diese Punktwerte fließen dann in den Algorithmus zur Bestimmung der Ergebniskennzahl(en). Eine kombinierte Ergebnisermittlung liegt dann vor, wenn Teile der Ergebniskennzahl(en) über Punktwerte und andere Teile über eine direkte Berechnung zu Stande kommen. Weitere Unterschiede entstehen durch die Notwendigkeit, ein Sollprofil als Bewertungsgrundlage zu erstellen oder den Hinweis auf Möglichkeiten, wie durch eine Veränderung der Produktgestalt das Bewertungsergebnis verbessert werden kann.

Die Ausgangsgrößen der Methode werden ebenfalls nach Art und Anzahl unterschieden. Ein wichtiges Element zur Differenzierung ist dabei die Kennzahl. Nach Finster (1995, S. 42-43), Schott (1988, S. 19-21) oder Gladen (2008, S. 16-17) lassen sich Kennzahlen generell in Absolutzahlen und Verhältnis- oder Relativzahlen unterscheiden (vgl. Abbildung 34). Absolutzahlen entstehen durch Summen, Differenzen und Mittelwerte. Typische Beispiele für Absolutzahlen sind Umsatz oder Gewinn.

Die Verhältnis- oder Relativzahlen entstehen hingegen durch das Dividieren von zwei Zahlen. Dabei unterscheidet man zwischen Gliederungs-, Beziehungs- und Indexzahlen (vgl. Abbildung 34). Eine Gliederungszahl setzt sich aus zwei Angaben zur gleichen Masse zusammen. Während im Zähler die Teilmasse geführt wird, steht im Nenner die Gesamtmasse. Eine Gliederungszahl kann gut als Prozentwert angegeben werden. Ein bekanntes Beispiel für die Gliederungskennzahl ist der Marktanteil, der die Verkäufe des eigenen Produktes mit den Gesamtverkäufen in einem bestimmten Markt vergleicht.

Die Beziehungszahl setzt zwei eigenständige Massen, die zunächst keine Verbindung haben, zueinander in Relation. Das Verhältnis von PS pro kg Gewicht, die sog.

Leistungsdichte, ist im Automobilbau ein klassisches Beispiel für eine Beziehungszahl. Bleibt die Indexzahl als letzter Vertreter der Verhältnis- bzw. Relativzahlen. Hier wird die gleiche Masse zu unterschiedlichen Zeitpunkten beobachtet und dann zueinander bewertet. Hier hat sich der Ansatz bewährt, den betrachteten Parameter (z. B. Umsatz) für ein durchschnittliches Geschäftsjahr zu 100 zu setzen und alle weiteren Jahre zu diesem Durchschnittsjahr in Beziehung zu setzen.

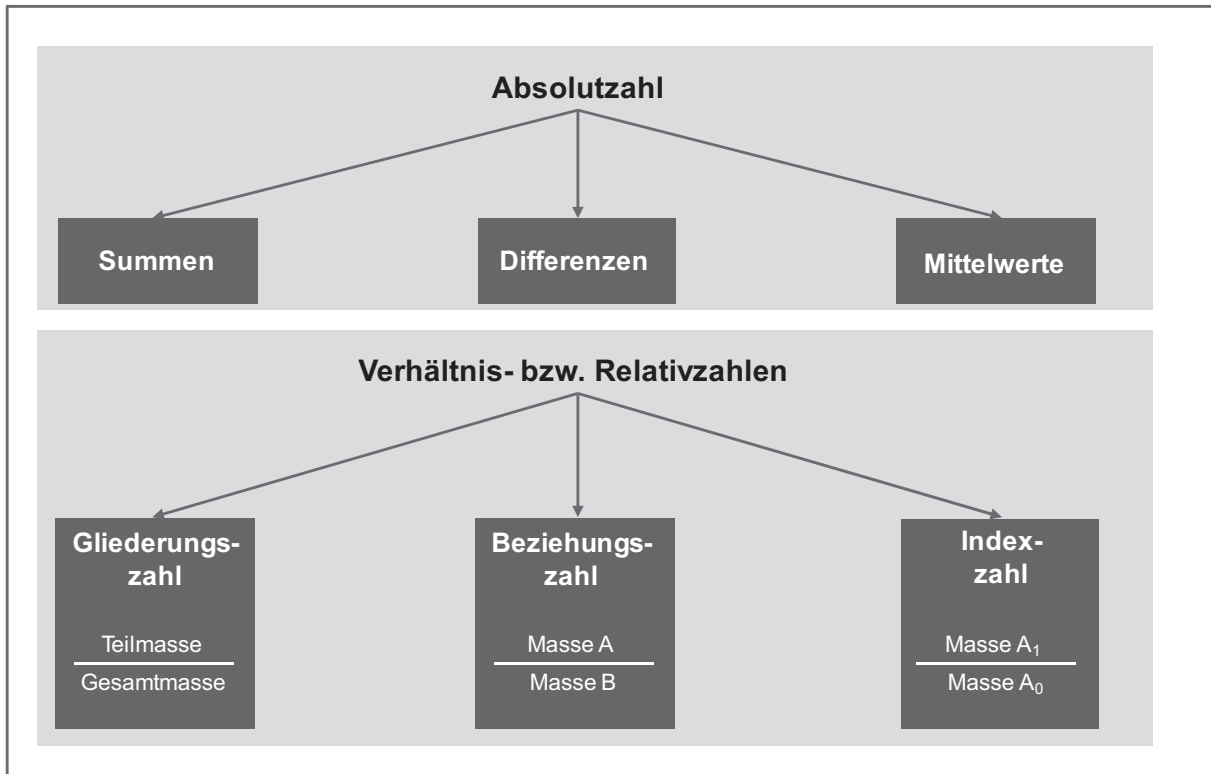


Abbildung 34: Differenzierung unterschiedlicher Kennzahlenarten
(Quelle: Finster, 1995)

Auch die Anzahl der Kennzahlen ist ein Element, das die Unterscheidung der Methoden zulässt. Je mehr Kennzahlen zu bestimmen sind, umso aufwendiger ist die Methode anzuwenden. Einige der vorgestellten Methoden berechnen zuerst sog. Teilkennzahlen, also Kennzahlen, die nur eine Aussage über einen bestimmten Parameter zulassen, bevor diese Teilkennzahlen zu einer oder mehreren Gesamtkennzahlen zusammengefasst werden. Ferner unterscheiden sich die Methoden im Hinblick auf einen Grenzwert, der in Bezug auf die Kennzahl(en) angegeben ist. Der Grenzwert bezeichnet dabei eine Eingriffsgrenze, ab dem die Produktgestaltung allgemeingültig unzureichend ist und überarbeitet werden muss. Enthält eine Methode einen oder mehrere Grenzwerte, die es ermöglichen, gute von schlechten Lösungen zu unterscheiden, ist es möglich, auch nur eine einzelne Gestaltungsvariante isoliert zu untersuchen. Fehlt dieser Grenzwert können nur mehrere Varianten im Vergleich be-

trachtet werden und in Relation zueinander bewertet werden. Eine absolute Bewertung ist ohne Grenzwert nicht möglich.

Beim Vergleich der verschiedenen Verfahren (vgl. Tabelle 8) fällt zunächst auf, dass es im Hinblick auf die Zielsetzungen der Methoden durchaus Schwerpunkte gibt, wie z. B. die Produktgestaltung für eine automatisierte Montage oder die Gestaltung in Modulbauweise. Es ist aber keines der Verfahren für die produktbasierte Reduzierung der Zeitspreizung geeignet. Ferner erlaubt der angestellte Vergleich eine grundsätzliche Unterscheidung in einfache und komplexe Verfahren. Anhand der untersuchten Kriterien entlang des „einfachen Systems“ konnten besonders gut für die komplexen Verfahren die bestimmenden Elemente identifiziert werden. Diese werden im Folgenden zur Entwicklung der „Methode proZederA“ genutzt. Die Negierung der identifizierten Elemente soll zu einer einfachen und leicht anzuwendenden Methode führen. Die Ausarbeitung der genauen Anforderungen erfolgt dabei in Kapitel 4.

Aus dem angestellten Vergleich der Bewertungsverfahren (vgl. Tabelle 8) ergibt sich, dass komplexe quantitative nicht-monetäre Bewertungsverfahren in der Regel folgende Gestaltungselemente besitzen:

- Die Eingangsinformation besteht aus mehreren Informationsquellen. Es werden unterschiedliche Produktinformationen zur Methodenanwendung benötigt.
- Es wird mehr als eine Kennzahl berechnet. Teilweise müssen unterschiedliche Teilkenzahlen zu einer Gesamtkennzahl zusammengefügt werden.
- Die Interpretation der Kennzahlen ist nur im Kontext der anderen Rechengrößen der Methode möglich, da es sich um Relativzahlen handelt.

Kapitel 3: Zusammenfassung

Da während der Entwicklungsphase auch der Großteil der späteren Produktionskosten festgelegt werden („Dilemma der Produktentwicklung“), gibt es seit jeher Bestrebungen über entsprechende Produktgestaltung diese Kosten zu minimieren. Deshalb sind unterschiedliche Ansätze und Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung entstanden. Dabei lassen sich diese in Gestaltungsregeln, computergestützte Expertensysteme und quantitative Bewertungsverfahren unterscheiden. Ein systematischer Vergleich der zwölf in der Literatur meist genannten quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren ermöglicht es, die wesentlichen Gestaltungselemente (z. B. Art und Anzahl der Ein- und Ausgangsinformationen sowie deren Verarbeitung innerhalb der Methode) dieser Methoden herauszuarbeiten. Diese bilden das notwendige Fundament zur Entwicklung der neuen „Methode proZederA“.

4 Entwicklung der „Methode proZederA“

Nach den Überlegungen zum Effekt der Zeitspreizung (vgl. Kapitel 2) und der Vorstellung und Bewertung von bekannten Verfahren zur montagegerechten Produktgestaltung (vgl. Kapitel 3), schließt sich nun der zentrale Bestandteil der vorliegenden Arbeit an: Aus der gewonnenen Erkenntnis, dass zum einen die Produktgestaltung eine gute Möglichkeit bietet, um die Zeitspreizung zu reduzieren (vgl. Kapitel 2.5), zum anderen keine bekannte Methode die Zeitspreizung berücksichtigt (vgl. Tabelle 8), soll eine Methode entstehen, die es ermöglicht, bereits bei der Entwicklung des Produktes die Zeitspreizung zu beachten. Das dabei durchlaufene Vorgehen zur Methodenentwicklung ist Inhalt des nun folgenden vierten Kapitels.

Zunächst müssen die genauen Anforderungen abgeleitet werden, die die neue Methode erfüllen soll. Im Kapitel 4.1 wird dazu ein entsprechendes Lastenheft erarbeitet. Im Kapitel 4.2 wird in Anlehnung an das Lastenheft die Entwicklung der neuen Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage beschrieben. Das neue Verfahren wird dabei als „Methode proZederA“ bezeichnet.

4.1 Definition der Anforderungen an die „Methode proZederA“

Im vorangegangenen Methodenvergleich (vgl. Kapitel 3.3) wurden die Bestandteile der vorgestellten Methoden analysiert und detailliert beschrieben. Dieses Wissen wird jetzt benötigt, um die neu zu entwickelnde Methode so zu gestalten, dass diese optimale Eigenschaften besitzt und so einen hohen Wirkungsgrad erzielen kann. Dazu werden im Folgenden die Anforderungen formuliert, die die neue Methode erfüllen soll. Dieses geschieht in Form eines Lastenheftes, welches aus zwei Quellen gespeist wird (vgl. Abbildung 35): Zunächst gehen die negierten Gestaltungselemente von komplexen quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren (vgl. Kapitel 3.3) in das Lastenheft ein, verbunden mit dem Ziel, eine leicht anwendbare Methode zu entwickeln. Eine weitere Quelle bilden die Untersuchungen von Zanker, Grabowski & Geiger sowie Gausmeier (zit. nach Pulm, 2004, S. 79-80), die der Frage nachgegangen sind, welche Schwachstellen Methoden besitzen und warum Methoden in der Praxis nicht im gewünschten Umfang zum Einsatz kommen.

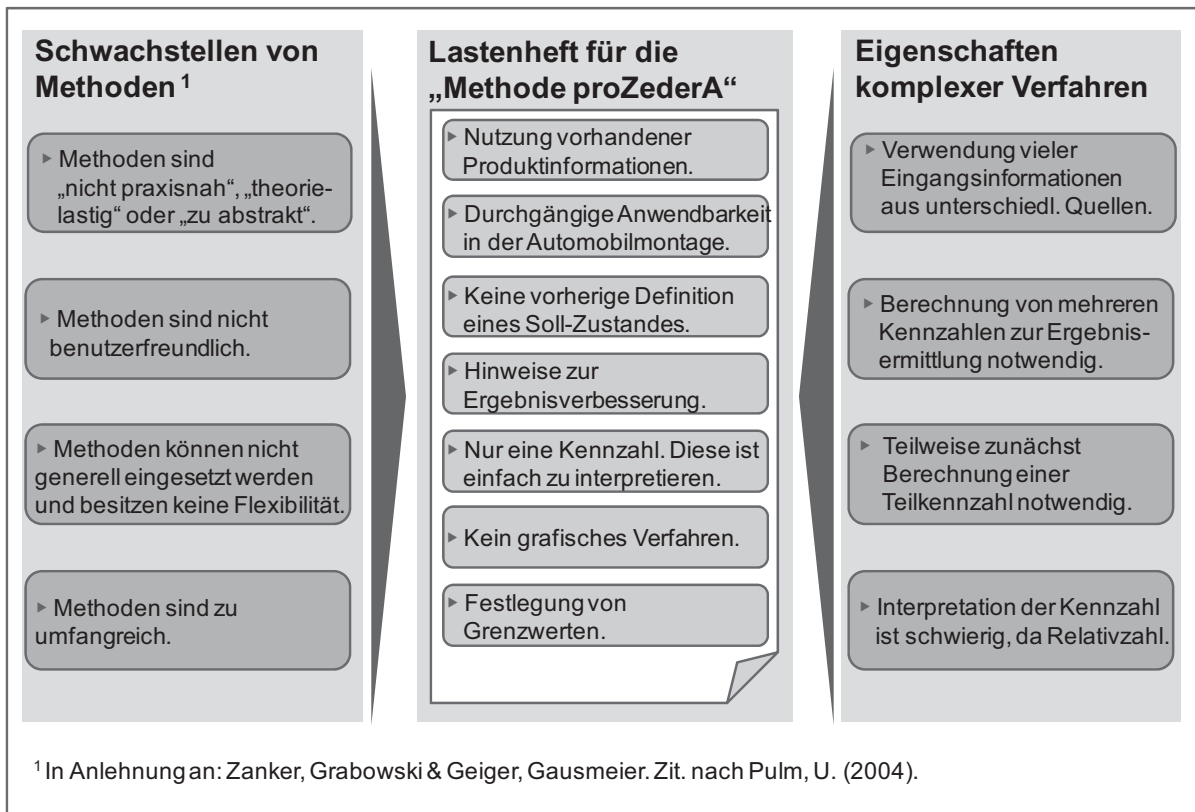


Abbildung 35: Erstellung des Lastenheftes für die neue „Methode proZederA“
(Quelle: eigene Darstellung)

Aus dem Methodenvergleich (vgl. Tabelle 8) können konkret die folgende Anforderungen an die „Methode proZederA“ abgeleitet werden (Negierung der Eigenschaften von komplexen Verfahren):

- Die Eingangsinformationen der neuen Methode soll nur aus wenigen Informationsquellen stammen.
- Es soll zur Ergebnisbestimmung nur eine Kennzahl berechnet werden. Diese soll ohne das vorherige Bestimmen von Teilkennzahlen berechenbar sein.
- Die berechnete Kennzahl muss einfach interpretierbar sein. Es ist deshalb eine Absolutzahl als Berechnungsergebnis anzustreben.

Die weiteren Anforderungen stammen aus den Untersuchungsergebnissen von Zanker, Grabowski & Geiger sowie Gausmeier (zit. nach Pulm, 2004, S. 79-80). Diese haben unterschiedliche Schwachstellen von Methoden ausgemacht, deren Negierung wiederum zu einer geeigneten Methode führt. Im Einzelnen sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Die Methode muss praxisnah sein. Sie darf nicht zu abstrakt oder „theorielastig“ sein.
- Die Benutzerfreundlichkeit ist eine wichtige Eigenschaft einer guten Methode.

- Es ist wichtig, dass die neue Methode flexibel ist und generell eingesetzt werden kann, also nicht nur auf wenige Spezialfälle beschränkt bleibt.
- Die Methode darf nicht zu umfangreich sein.

Die genannten Anforderungen aus den eigenen Untersuchungen (vgl. Tabelle 8) sowie aus der Literatur führen zu folgendem Lastenheft (vgl. Abbildung 35) für die zu entwickelnde Methode zur Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage. Im Hinblick auf die Eingangsinformationen gilt es, eine Methode zu schaffen, die einfach in den bestehenden Konstruktions- und Entwicklungsprozess eingegliedert werden kann und zu deren Anwendung wenige, nur bereits verfügbare Produktinformationen benötigt werden. Ein explizites Erzeugen von Daten, die außer für die Anwendung der Methode nicht benötigt werden, führt zweifelsohne zu Akzeptanzproblemen im Unternehmen. Aus dem gleichen Grund muss die neue Methode so gestaltet werden, dass diese nicht nur auf ein paar Spezialfälle angewendet werden kann, sondern durchgängig für die Montage einsetzbar ist.

Ferner soll im Hinblick auf eine einfache Nutzung eine Methode entstehen, die eine direkte Bewertung der Konstruktion erlaubt, ohne dass vorher zunächst ein Referenz- oder Sollzustand beschrieben werden muss. Die Angabe von Gestaltungsmöglichkeiten zur Verbesserung des Bewertungsergebnisses ist eine weitere wichtige Anforderung.

Im Hinblick auf eine einfache Anwendung sowie auf ein aussagekräftiges Ergebnis soll die neue Methode nur eine Kennzahl besitzen. Dieses gewährleistet, dass das Bewertungsergebnis schnell dargestellt und eingeordnet werden kann. Weiterhin ist diese Kennzahl so zu gestalten, dass diese einfach interpretierbar ist (Absolutzahl). Ferner wird eine rein grafische Methode zur Bewertung (vgl. „Modular Function Deployment“, Kapitel 3.2) abgelehnt. Besonders im Hinblick auf eine gute Kommunikation der Ergebnisse ist das grafische Ergebnis eher ungeeignet.

Abschließend muss die Methode eine Skalierung (Festlegung eines oder mehrerer Grenzwerte) der Bewertungsergebnisse anbieten. Diese Vorgabe stellt sicher, dass eine eindeutige Information vorliegt, ob eine Umgestaltung notwendig ist oder nicht. Ferner sorgen absolute Grenzwerte für die Möglichkeit, die Gestaltungsgüte vor und nach der Umkonstruktion zu vergleichen.

Das erarbeitete Lastenheft gibt bei der folgenden Entwicklung (vgl. Kapitel 4.2) der „Methode proZederA“ die Rahmenbedingungen vor und erlaubt bei der Validierung der Methode (vgl. Kapitel 5.4) den Abgleich zwischen Soll und Ist, ermöglicht also eine Aussage zum Grad der Zielerreichung.

4.2 Aufbau der „Methode proZederA“

Um die Gestaltungsgüte von Variantengruppen im Hinblick auf die Zeitspreizung beurteilen zu können, betrachtet die „Methode proZederA“ die drei bereits aus der Definition (vgl. Kapitel 2.3) bekannten Parameter:

- die Anzahl der Varianten pro Baugruppe,
- die Verbauraten der Varianten,
- sowie die produktbasierte Montagezeitdifferenz.

Die ersten beiden Parameter sind in aller Regel einfach festzulegen: die Anzahl der Varianten kann abgezählt werden und die Verbauraten der einzelnen Varianten können dem Vertriebsprogramm entnommen werden. Die Festlegung des produktbasierten Montagezeitunterschiedes ist allerdings nicht ohne Hilfsmittel möglich.

Um auch diesen Parameter bestimmen zu können, wurde deshalb zunächst ein Bewertungsbogen entwickelt, der es erlaubt, auf einfache und schnelle Weise die produktbasierte Montagezeitdifferenz zu ermitteln. Im Kapitel 4.2.1 wird dieser Bewertungsbogen vorgestellt. Um mit den bekannten Parametern die Gestaltungsgüte im Hinblick auf die Zeitspreizung bestimmen zu können, wird eine Kennzahl entwickelt. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 4.2.2 beschrieben. Im Anschluss wird ein Grenzwert abgeleitet, der es erlaubt, die Kennzahl zu interpretieren. So ist eine Aussage möglich, ob eine Gestaltung gut oder schlecht gelungen ist. Die Entwicklung dieses Grenzwertes wird in Kapitel 4.2.3 erklärt. Es folgt die Aufstellung von Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung. Diese Handlungsempfehlungen sollen bei einem negativen Bewertungsergebnis (Kennzahl außerhalb des Grenzwertes) helfen, die Variantengestaltung so zu optimieren, dass der Grenzwert nach der Überarbeitung nicht mehr verletzt wird. Diese Gestaltungsrichtlinien werden in Kapitel 4.2.4 erläutert.

4.2.1 Entwicklung eines Bewertungsbogens zur Bestimmung der produktbasierten Montagezeitdifferenz

Es ist schwer möglich, den produktbasierten Montagezeitunterschied zwischen verschiedenen Varianten ohne Hilfsmittel abzuschätzen. Da diese Information aber notwendig ist, um die Güte der Variantengestaltung im Hinblick auf die Zeitspreizung beurteilen zu können, wurde ein Bewertungsbogen entwickelt, mittels dessen Hilfe eine schnelle Abschätzung dieses Parameters möglich ist.

Kapitel 4.2.1.1 beschreibt zunächst die Datenerhebung, die über die Sammlung von Praxisbeispielen das Fundament für den Bewertungsbogen liefert. Darauf aufbauend wird die Bestimmung der Einflussfaktoren vorgenommen, die für die Entstehung einer produktbasierten Montagezeitdifferenz verantwortlich sind. Diese Analyse ist In-

halt des Kapitels 4.2.1.2. Die dann identifizierten Faktoren müssen quantifiziert werden, um ihre Wertigkeit im Hinblick auf den Montagezeitunterschied aufzuzeigen. In Kapitel 4.2.1.3 werden die dabei entstandenen Ergebnisse zusammengefasst..

4.2.1.1 Datenerhebung

Die Zeitspreizung kann an einer Reihe von Baugruppen beobachtet werden. Auch ist es relativ einfach, in einer Automobilmontage einzelne Varianten einer Komponenten ausfindig zu machen, bei denen Zeitspreizung vorliegt. Um aber eine Datengrundlage für die Entwicklung der neuen Methode zu erhalten, muss systematisch nach einer größeren Anzahl von Praxisbeispielen gesucht werden, um diese später genauer analysieren zu können. Wichtig dabei ist, dass eine aussagefähige Sammlung zustande kommt, und nicht nur eine Aufstellung von wenigen Einzelfällen. Nur durch eine umfassende Datenerhebung kann die Grundlage geschaffen werden, um daraus eine allgemeingültige und –anwendbare Methode zu entwickeln.

Im vorliegenden Fall wurde die Datenerhebung bei der AUDI AG am Standort Ingolstadt vorgenommen. Über einen längeren Zeitraum wurde in den Montagelinien der Modelle Audi A3 sowie Audi A4, Audi A5 und Audi Q5 nach Baugruppen gesucht, die zu einer Zeitspreizung bei der Montage führen. Insgesamt konnten 34 Baugruppen (ein Beispiel dafür ist die Frontklappenauskleidung, vgl. Abbildung 36) identifiziert werden, die unterschiedlich viele Varianten aufweisen und deren Montage deshalb mit einer Zeitspreizung verbunden ist.

Von diesen 34 Baugruppen wurde eine Anzahl von 13 Baugruppen aussortiert, nicht weiter analysiert und folglich auch nicht als Datengrundlage für die Entwicklung der neuen Methode genutzt. Dieser Schritt ist damit zu begründen, dass es sich hier um Baugruppen handelt, bei denen keine Möglichkeit besteht, durch Produktgestaltung eine Reduzierung der Zeitspreizung zu erreichen. Beispiele dieser 13 aussortierten Baugruppen sind die Türen oder das Schiebedach.

Es ist einfach nachvollziehbar, dass die Arbeitsstation, an welcher der Türanbau erfolgt, eine große Zeitspreizung aufweist, sofern Modelle mit unterschiedlicher Anzahl von Türen auf einer Montagelinie hergestellt werden. Kommt z. B. das Fahrzeug mit nur zwei Türen an diese Arbeitsstation, ist die notwendige Montagezeit vergleichsweise gering. Fährt hingegen das Fahrzeug mit vier Türen in die Station ein, entsteht ein doppelt so hoher Zeitbedarf.

Ähnliches gilt für die Montage des Schiebedachs: Die zuständige Arbeitsstation hat einen hohen Zeitbedarf, wenn der Einbau des Schiebedachs erfolgt. Fährt ein Fahrzeug in die Station ein, für das kein Schiebedach bestellt worden ist, fällt die Montagezeit auf null Minuten.

Die gezeigten Beispiele machen deutlich, dass es Baugruppen gibt, deren Montage zu einer erheblichen Zeitspreizung führen, welche aber durch den Konstrukteur durch gezielte Variantengestaltung de facto nicht beeinflussbar sind. Entsprechend können derartige Beispiele auch nicht als Datengrundlage für die Methodenentwicklung herangezogen werden.

Die verbleibenden 21 Baugruppen erscheinen als gut geeignet, um die durch Produktgestaltung verursachte Zeitspreizung zu untersuchen und bilden somit die Datengrundlage für die weitere Methodenentwicklung (in Anlage III findet sich eine genaue Aufstellung dieser Baugruppen).

4.2.1.2 Qualitative Bestimmung der Einflussfaktoren

Im nächsten Schritt gilt es, die 21 gesammelten Baugruppen (vgl. Anlage III) genauer zu untersuchen, um die Einflussfaktoren zu identifizieren, die zu einem Montagezeitunterschied führen. Dabei ist es zunächst nur das Ziel, eine qualitative Aussage machen zu können. Im Mittelpunkt des Interesse steht also die Frage „Was führt zu einer Differenz in der Montagezeit?“. Die quantitative Betrachtung, also die Frage „Wie groß ist der Einfluss des einzelnen Faktors auf diese Differenz“, wird im folgenden Untersuchungsschritt geklärt.

Um die Einflussfaktoren auf die Montagezeitdifferenz zu identifizieren, wurden die verschiedenen Varianten der 21 Baugruppen genauer auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Gestaltung in Abhängigkeit von Modell, Derivat oder Variante analysiert. Dabei konnten pro Baugruppe mindestens je zwei Varianten miteinander verglichen werden. Viele der Praxisbeispiele hatten aber auch drei oder mehr Varianten (vgl. Anlage III). Deshalb konnten insgesamt 58 vergleichende Analysen durchgeführt werden, um die verursachenden Faktoren des Montagezeitunterschieds zu identifizieren. Das dabei angewendete Vorgehen soll anhand des Beispiels „Frontklappenauskleidung“ erklärt werden. Die sog. Frontklappenauskleidung existiert in zwei Varianten (vgl. Abbildung 36), die an einer Arbeitsstation montiert werden. Die Frontklappenauskleidung füllt die gesamte Innenseite der Motorhaube aus und sorgt so für eine Schall- und Wärmeisolierung des Motorraums. Vor Ort konnte ein Montagezeitunterschied zwischen den zwei Varianten von 0,08 Min. festgestellt werden.

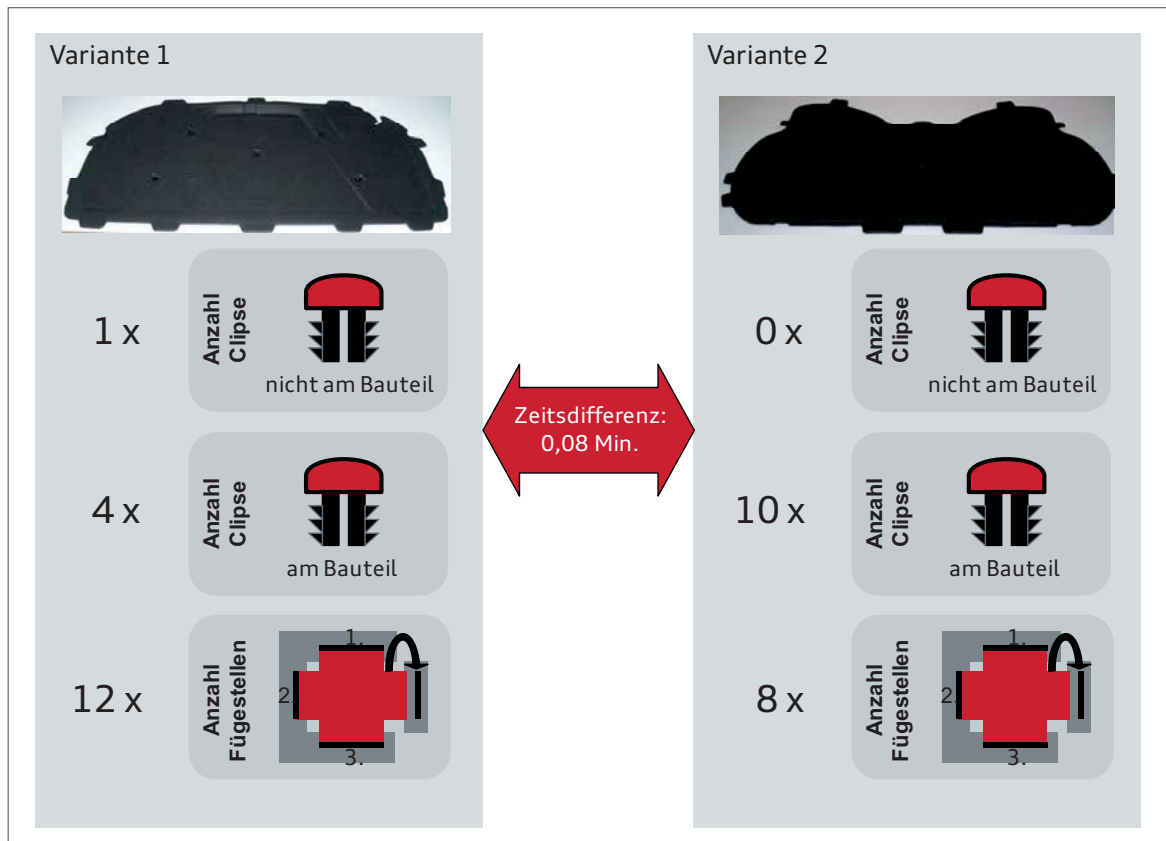


Abbildung 36: Zeitliche Betrachtung der zwei Varianten der Frontklappenauskleidung (Quelle: eigene Darstellung)

Der Vergleich der beiden Varianten zeigt die Unterschiede in der Geometrie sowie im Befestigungskonzept. Variante 1 ist mit zwölf Laschen gestaltet worden, die ins Blech der Motorhaube gefügt werden müssen. Ferner wird diese Variante mit fünf Clipsen fixiert. Dabei sind vier dieser Clipse bereits Bestandteil der Frontklappenauskleidung, während ein Clip separat hinzugefügt werden muss.

Variante 2 besitzt hingegen acht Laschen und wird mit zehn Clipsen, die bereits vormontiert sind, im Blech der Motorhaube befestigt.

Insgesamt konnten anhand dieses Beispiels also zwei unterschiedliche Einflussfaktoren identifiziert werden: die Anzahl der Fügstellen sowie Art und Anzahl der verwendeten Clipse.

Wie anhand des Beispiels der Frontklappenauskleidung erklärt, wurden 57 weitere vergleichende Analysen durchgeführt. Dadurch konnten schlussendlich zwölf Faktoren identifiziert werden, die eine für die Zeitspreizung ursächliche Montagezeitdifferenz verursachen. Abbildung 37 fasst die identifizierten Einflussfaktoren zusammen.

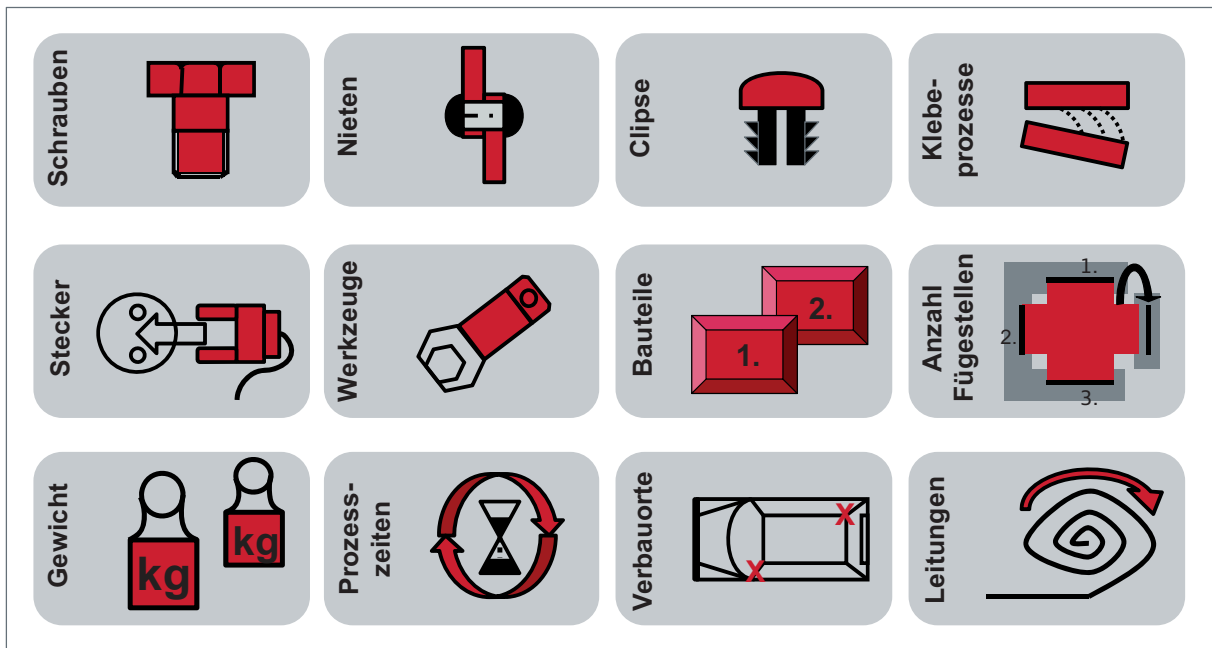


Abbildung 37: Zwölf identifizierte Einflussfaktoren für die produktbasierte Montagezeitdifferenz
(Quelle: eigene Darstellung)

Es kann festgehalten werden, dass die Anzahl und Art der verwendeten Schrauben, Nieten und Clipse Einflussfaktoren sind. Ferner zählen die Anzahl und Art der Klebprozesse sowie die Anzahl der Stecker und die evtl. notwendige Werkzeugwechsel ebenfalls zu den gesuchten Faktoren. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Anzahl der zu montierenden Bauteile pro Variante. Es kann z. B. vorkommen, dass eine Variante eine Zierblende besitzt, die bei der Montage der anderen Variante nicht vorgesehen ist. Wie bereits im Beispiel „Frontklappenauskleidung“ vorgestellt, ist auch die Anzahl der Fügestellen ein zu beachtender Faktor. Ferner konnte ein großer Gewichtsunterschied zwischen den Varianten als ursächlich für Montagezeitunterschiede ausgemacht werden, da die deutlich schwere Variante zusätzlichen Aufwand durch einen zweiten Mitarbeiter oder eine Hebehilfe erfordert. Ebenso zählt die produktbezogene Prozesszeit zu den identifizierten Faktoren. Ein weiterer Faktor, der häufig bei der Montage von Steuergeräten eine Rolle spielt, ist, dass die unterschiedlichen Varianten an sich in der Montage gleich sind, aber an unterschiedlichen Orten im Fahrzeug verbaut werden. So kann z. B. Variante A des Motorsteuergeräts in der linken Fronthälfte des Fahrzeugs montiert werden, während Variante B seinen Platz in der rechten Heckhälfte findet. Die unterschiedliche Anzahl von Leitungen, die von der zu montierenden Variante abgehen, sind ebenfalls als Einflussfaktor identifiziert worden.

Wichtig ist an dieser Stelle noch einmal der Hinweis, dass bei der beschriebenen vergleichenden Analyse nur die Faktoren identifiziert worden sind, die für die produktseitige Differenz der Montagezeit verantwortlich sind. Es war nicht Ziel des Vorgehens, alle Faktoren zu ermitteln, die einen Verbrauch von Montagezeit beinhalten. Verdeutlicht werden soll dieses an den verschiedenen Zeitanteilen der vorgestellten Frontklappenauskleidung (vgl. Abbildung 38).

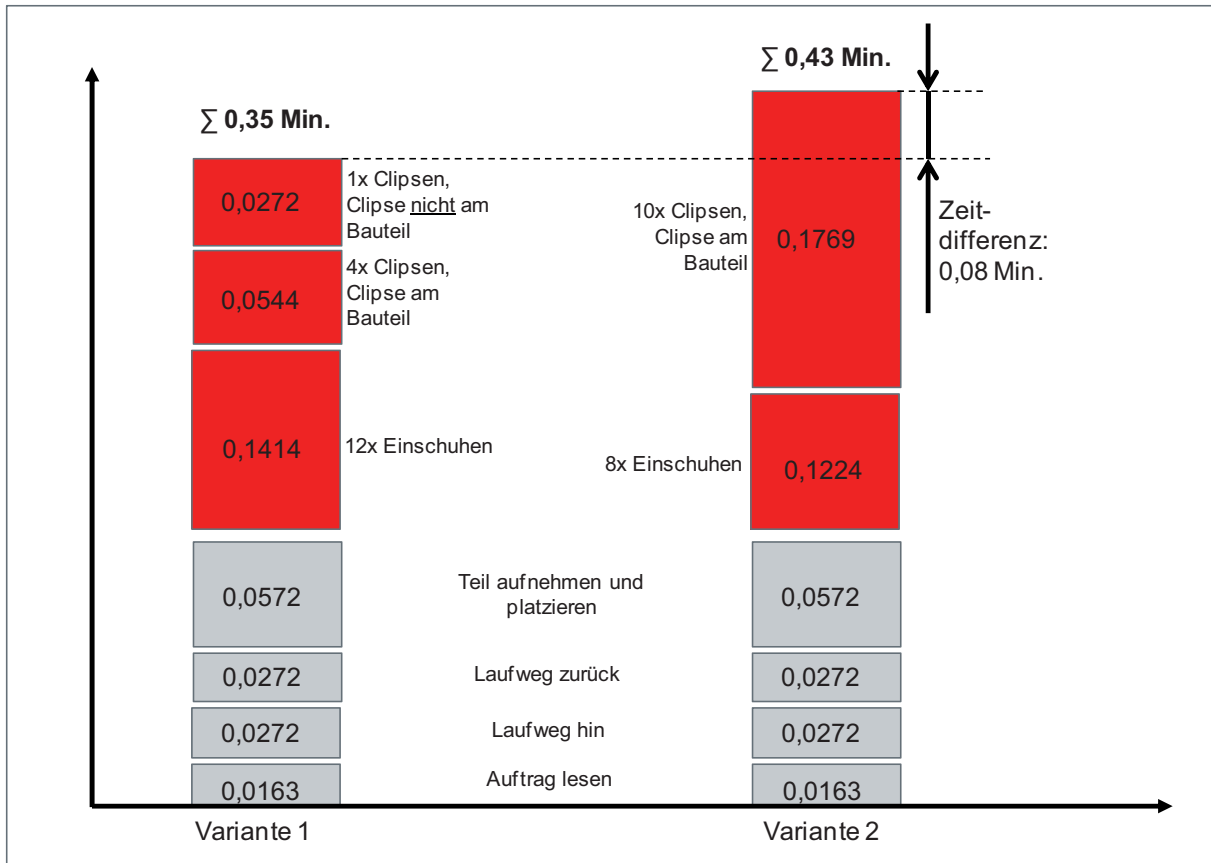


Abbildung 38: Betrachtete Zeitanteile am Beispiel der Frontklappenauskleidung (Quelle: eigene Darstellung)

Die beiden Säulendiagramme in der Grafik beschreiben jeweils alle zur Montage der Frontklappenauskleidung notwendigen Zeitanteile. Während die linke Säule für die vollständige Montage von Variante 1 in Summe 0,35 Min. ausweist, stellt die rechte Säule für Variante 2 in Summe 0,43 Min. dar. Die Differenz der Summen ergibt gerade den Montagezeitunterschied von 0,08 Min.

Weiterhin ist aus der Grafik zu erkennen, dass jeweils die unteren Zeitanteile (grau eingefärbt) für beide Varianten identisch sind und rein durch die Gestaltung des Prozesses (z. B. über die Länge des Laufwegs) bestimmt werden. Diese Zeitanteile wurden bei der beschriebenen vergleichenden Analyse nicht als Einflussfaktoren identifiziert, da sie vom Konstrukteur bei der Gestaltung nicht beeinflussbar sind. Vielmehr

stellen die jetzt bereits bekannten, und von der Produktgestalt beeinflussbaren Zeitanteile (in der Grafik rot eingefärbt), den Untersuchungsgegenstand dar.

4.2.1.3 Quantitative Bestimmung der Einflussfaktoren

Der nächste Schritt ist nun die quantitative Bestimmung der Einflussfaktoren. Es geht hier also um die Frage, wie groß der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die Montagezeitdifferenz ist.

Um die Einflussgröße jedes einzelnen der vorgestellten Faktoren auf die Montagezeitdifferenz bestimmen zu können, braucht man ein Maß für dessen Verbrauch an Montagezeit. Wenn die Größenordnungen der vorgestellten Faktoren im Hinblick auf die Montagezeit bekannt sind, lässt sich der Montagezeitunterschied durch einfache Differenzbildung berechnen.

Dieser Gedanke kann sehr einfach an dem Beispiel „Frontklappenauskleidung“ (vgl. Abbildung 36) nachvollzogen werden. Kennt man hier den Zeitbedarf für einmaliges „Einschuhen“ sowie den Zeitverbrauch für das Befestigen von vor- und nicht vormontierten Clipsen, kann durch entsprechende Multiplikation und nachfolgende Differenzbildung die Größe des produktbasierten Montagezeitunterschieds berechnet werden.

Es muss folglich der Verbrauch von Montagezeit für jeden der identifizierten Faktor festgeschrieben werden, um dessen quantitativen Einfluss auf die Montagezeitdifferenz zu bestimmen.

Allgemein bekannt ist, dass die Kalkulation von Montagezeiten kein neues Problem ist und dazu mehrere umfangreiche Lösungssysteme bereits existieren. An dieser Stelle sei an das Work-Faktor-Verfahren (Work-Factor-Gemeinschaft, 2008) erinnert oder das bereits erwähnte Vorgehen nach REFA oder MTM (vgl. Kapitel 2.3). Da das MTM-Verfahren als Basismethode des Industrial Engineering im Produktentstehungs- und herstellungsprozess angesehen werden kann (Spanner-Ulmer, Hensel, 2010, S. 42), wurde dieses als Grundlage für die quantitative Bestimmung der zwölf Einflussfaktoren gewählt.

Um den Verbrauch von Montagezeit für die Faktoren zu bestimmen, wurde auf die sog. „Standardvorgänge“ von MTM zurückgegriffen. Diese Standardvorgänge sind für die betriebliche Anwendung aggregierte Prozessbausteine, die besonders häufig vorkommende Verrichtungen beschreiben (Bokranz, Landau, 2006, S. 827). Es handelt sich dabei also um eine Sammlung von wichtigen betriebstypischen Vorgängen, die in ihren unterschiedlichen Ausprägungen beschrieben, zeitlich bewertet und in einer Datensammlung abgelegt sind. Abbildung 39 stellt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Datenkarte „Schraubarbeiten“ des deutschen MTM-Instituts (2004) vor.

Schraubarbeiten		Kode	TMU	EH	ET	Ergänzungswerte			
						Hilfsmittel			Telle
von Hand						M-EH			M-ET
						1	2	3	3
Stecken und Gang suchen	eine Hand	M-SAA	85						
	zwei Hände	M-SBA	125						
Stecken und eindrehen	eine Hand	M-SCA	145						
	zwei Hände	M-SDA	185						

Schraubarbeiten		Kode	TMU
von Hand			
Stecken und Gang suchen	eine Hand	M-SAA	85
	zwei Hände	M-SBA	125
Stecken und eindrehen	eine Hand	M-SCA	145
	zwei Hände	M-SDA	185

Abbildung 39: Ausschnitt MTM-Datenkarte "Schraubarbeiten"
 (Quelle: Deutsches MTM-Institut, 2004)

In der Darstellung ist zu erkennen, dass es für das Schrauben von Hand einen Unterschied macht, ob ein „Gang“ gesucht werden muss oder nicht. Ferner unterscheidet sich die Montagezeit durch die Ausführung mit einer Hand oder mit zwei Händen. In der Spalte „TMU“ lassen sich dann die unterschiedlichen Montagezeiten von 85 bis 185 TMU (1 TMU [Time Measurement Unit] = 0,0006 Min.) ablesen. Der hier beschriebene Ausschnitt ist allerdings nur ein kleiner Teil der ganzen Datenkarte: insgesamt umfasst diese fast 20 verschiedene Kategorien von Schraubarbeiten.

Nach dieser Systematik der MTM-Methode existieren spezifisch für die Automobilmontage entworfene Standardvorgänge für zahlreiche der identifizierten zwölf Einflussfaktoren. Diese Datensammlung wurde genutzt, um die Einflussgröße der verschiedenen Faktoren festzuschreiben.

Dazu wurden zunächst die Häufigkeiten der verschiedenen Verrichtungsvarianten einer Datenkarte analysiert. Die Idee dabei war, dass die Datenkarte für Standardvorgänge zwar alle Verrichtungsvarianten beschreibt, in der Praxis aber eine Konzentration auf wenige Varianten stattfindet. Diese wenigen, häufig genutzten, Verrichtungsvarianten sollten ausreichend sein, um in der Phase der Produktgestaltung den zeitlichen Einfluss auf die produktbasierte Montagezeitdifferenz abzuschätzen. Dieser Idee folgend wurden die Fertigungspläne der AUDI AG für die Modelle Audi A3, Audi A4, Audi A5 und Audi Q5 am Standort Ingolstadt auf die Verwendung von Standardvorgängen untersucht.

Für jeden der identifizierten Einflussfaktoren, zu dem eine Datenkarte mit Standardvorgängen existiert, wurde ein spezielles Diagramm angefertigt. Dieses Diagramm zeigt auf der X-Achse die unterschiedlichen Montagezeiten für die Ausführung der verschiedenen Verrichtungsvarianten. Im Fall des vorgestellten Ausschnittes von der Datenkarte „Schraubarbeiten“ (vgl. Abbildung 39) würde die X-Achse folglich vier Einträge aufweisen: 85, 125, 145 und 185 TMU. Auf der zugehörigen Y-Achse wurde die Häufigkeit aufgetragen, mit der eine Verrichtungsvariante im Fertigungsplan genutzt wird.

Die Abbildung 40 zeigt beispielhaft, dass es diverse unterschiedliche Montagevarianten für das Clipsen gibt, die zeitlich von 30 TMU bis 140 TMU reichen. Allerdings ist auch sichtbar, dass nur drei der unterschiedlichen Verrichtungsvarianten wirklich häufig vorkommen: Es gibt deutliche Maxima bei 50, 75 und 95 TMU. Insgesamt wurde der Standardvorgang „Clipsen“ in den untersuchten Fertigungsplänen 1295 Mal verwendet. Es entfielen dabei bereits 867 Benutzungen nur auf die drei Werte von 50, 75 und 95 TMU. Deshalb wurde für den Einflussfaktor „Clipsen“ festgelegt, dass es nur diese drei Ausführungsvarianten gibt, welche zu unterscheiden sind. Zwar zeigt die Datenkarte für den Standardvorgang „Clipsen“ deutlich mehr unterschiedliche Verrichtungsvarianten, aber zur einfachen Anwendung der Methode und aufgrund der begrenzten Produktinformationen im Entwicklungsprozess gilt es, hier eine Beschränkung zu treffen. Dass diese Beschränkung statistisch gerechtfertigt ist, zeigt die Abdeckungsquote von ca. 70%, die sich aus dem Verhältnis von 867 Verwendungen der drei häufigen Verrichtungsvarianten zur Gesamtverwendungsanzahl von 1295 ergibt.

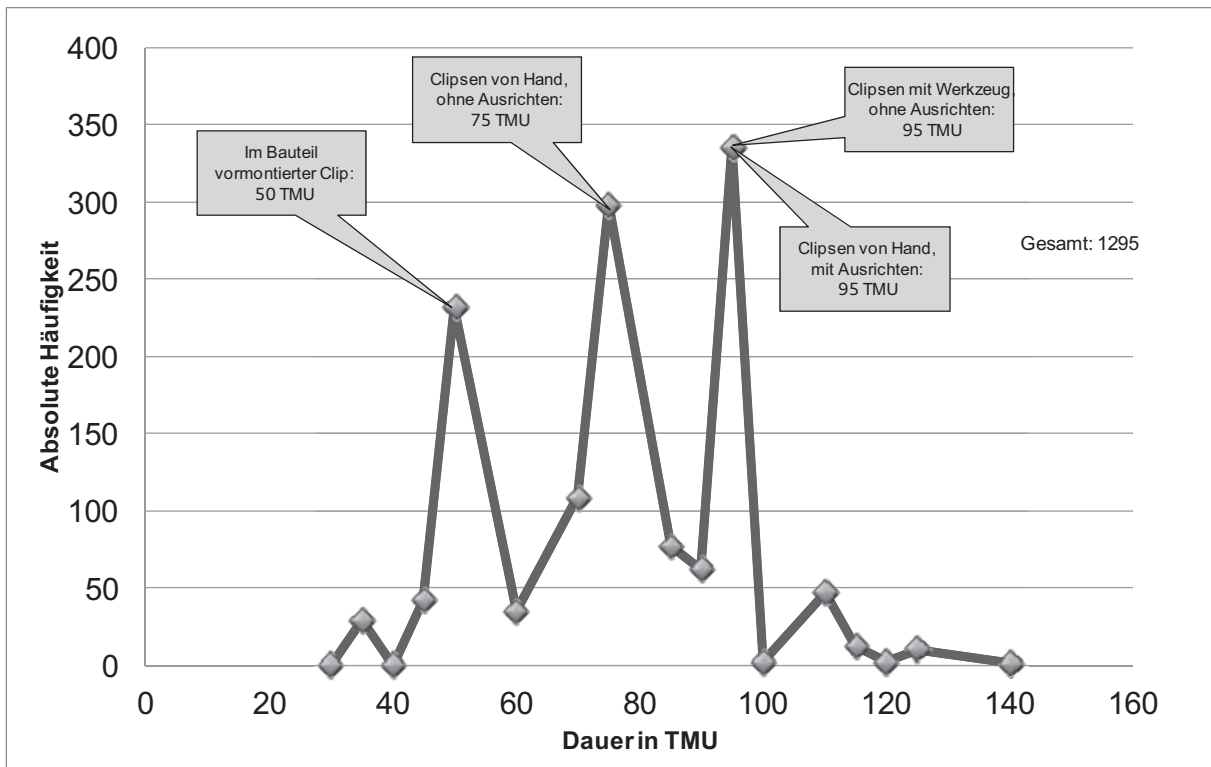


Abbildung 40: Auswertung der Untersuchungen für den Standardvorgang "Clipsen"
(Quelle: eigene Darstellung)

Durch einen Blick in die Beschreibung der Datenkarte lassen sich den drei Zahlenwerten der Maxima (50, 75 und 95 TMU) die unterschiedlichen Fälle zuordnen: Das Befestigen eines vormontierten Clips benötigt 50 TMU, ein nicht vormontierter Clip ohne Ausrichten braucht 75 TMU und 95 TMU sind für das genaue Clipsen mit Ausrichten oder das Clipsen mit Werkzeug anzusetzen.

Dieses Vorgehen wurde für zehn der zwölf Einflussfaktoren gewählt, um deren Einfluss auf die Montagezeitdifferenz quantitativ bewerten zu können. Dabei sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Größenordnungen der Montagezeiten durch diesen Ansatz vereinfacht und entsprechend ungenauer abgebildet werden, als bei einer richtigen MTM-Analyse des Montagevorgangs. Wie aber auch schon erwähnt, erscheint diese Vereinfachung statthaft, da im Mittelpunkt der Methode nicht die exakte Zeitbestimmung aller Montagetätigkeiten für jede Produktvariante steht, sondern vielmehr eine frühe Abschätzung des Montagezeitunterschieds. Neben dem eben beschriebenen Vorgehen gab es aber auch Einflussfaktoren, für die keine Standardvorgänge existieren, so dass eine alternative Bestimmung notwendig wurde. Dort, wo das der Fall war, wurden durch theoretische Ableitungen Ersatzwerte erzeugt. Das dazu angewendete Vorgehen soll am Beispiel des Einflussfaktors „Gewicht“ exemplarisch vorgestellt werden. Im Rahmen der Datenerhebung konnte beobachtet werden, dass immer dann eine Montagezeitdifferenz auftrat, wenn die unterschiedlichen Varianten ein deutlich differierendes Gewicht hatten. Bei genauerer

Analyse stellte sich heraus, dass ein deutlicher Gewichtsunterschied (> 10kg) dazu führte, dass der Montageprozess durch einen zweiten Mitarbeiter oder eine technische Vorrichtung unterstützt werden musste. Dieser, dann aufwendigere Ablauf, verursachte in Konsequenz den Montagezeitunterschied. Zur Abbildung dieser Ursachen wurde mit erfahrenen MTM-Instruktoren und betrieblichen MTM-Experten der zeitliche Aufwand beschrieben und bewertet, der durch diesen Prozessunterschied entsteht. Abbildung 41 zeigt die angefertigten MTM-UAS-Analysen und den dadurch kalkulierten Ersatzwert von 180 TMU für das beschriebene Beispiel.

Theoretische Ableitung von „Ersatzwerten“		
▶ Bedingung: Gewichtsunterschied > 10kg		
Notwendige zusätzliche Zeit für den Einsatz eines Handlingsgerätes		
▶ 2 x Schritt	2 KA	50 TMU
▶ 1 x Werkzeughandhabung	1 HC2	70 TMU
▶ 2. Fügestelle	1 PC1	30 TMU
▶ 2 x Betätigen	2 ZA1	10 TMU
▶ Gesamt		160 TMU
Notwendige zusätzliche Zeit für den Einsatz eines zweiten Mitarbeiters		
▶ 2 x Schritt	2 KA	50 TMU
▶ Bauteil handhaben	1 AN2	145 TMU
▶ Gesamt		195 TMU
▶ Durchschnittswert: 180 TMU		

Abbildung 41: Bestimmung von Ersatzwerten bei nicht vorhandenen Standardvorgängen (Quelle: eigene Darstellung)

Mittels der dargestellten Auswertung von Standardvorgängen oder durch die Bestimmung von Ersatzwerten konnte für alle zwölf Einflussfaktoren deren Einflussgröße auf die Montagezeitdifferenz bestimmt werden.

Die nun sowohl qualitativ als auch quantitativ bekannten Einflussfaktoren wurden so zusammengestellt, dass ein Bewertungsbogen entstand, mit dessen Hilfe ein Konstrukteur die relevanten Einflussfaktoren seiner Produktgestaltung einfach identifizieren kann, um die Montagezeitdifferenz abzuschätzen zu können. Dazu wurden alle Einflussfaktoren, deren Unterkategorien sowie die dazugehörigen Zeitwerte in TMU in einer Tabelle zusammengefasst. Tabelle 9 zeigt diese am Beispiel des Einflussfaktors „Clip“. Die vollständige Darstellung für alle identifizierten Faktoren ist in Anlage IV zu finden.

Tabelle 9: Vorgehen zur Erstellung des Bewertungsbogens am Beispiel des Faktors „Clipsen“

(Quelle: eigene Darstellung)

			TMU	Punkte	Ganze Punkte
	Clipse	Ein vormontierter Clip	50	0,1563	16
	Clipse	Ein Clip, von Hand, ohne Ausrichten	75	0,2344	23
	Clipse	Ein Clip, von Hand, mit Ausrichten oder mit Werkzeug	95	0,2969	30

Umrechnung Punkte in Min: Punkte*0,00192=Min.

Die nun für jeden Einflussfaktor durch den Zeitverbrauch in TMU bekannte Auswirkung auf den Montagezeitunterschied wurde dann in ganze Punkte umgerechnet. Diese Umrechnung geschah aus zwei Gründen: Zuerst sollte dadurch deutlich gemacht werden, dass die ermittelten Werte keinesfalls so genau sind wie die MTM-Angaben in TMU. Es sei nochmals betont, dass sich die ermittelten Zeitwerte zwar zur Abschätzung des produktbasierten Montagezeitunterschiedes in der Konstruktionsphase eignen, allerdings dürfen diese nicht für eine vollwertige MTM-Analyse genutzt werden.

Zum anderen sollte die für das MTM-Verfahren typische Zeitangabe in TMU (Time Measurement Unit) vermieden werden, um Personen, die nicht mit MTM vertraut sind, einen einfachen Zugang zu ermöglichen. Zu dieser Personengruppe können in der Regel auch die Konstrukteure gezählt werden.

Die dargestellten ganzen Punktwerte (vgl. Tabelle 9) wurden wie folgt errechnet: alle TMU-Werte wurden durch den Faktor 320 dividiert und anschließend mit dem Faktor 100 multipliziert. Dabei sind die beide Faktoren (320 und 100) wahllos gesetzt worden, nur bestimmt durch das Ziel gute, also ganzzahlige, Punktwerte zu erreichen. Generell können auch andere Faktoren gewählt werden, solange für alle Werte die Umrechnung mit demselben Faktoren erfolgt. Da 1 TMU einer Zeit von 0,0006 Minuten entspricht, ist es auch möglich, die erzeugten Punktwerte in Zeitangaben zurückzurechnen. Dazu muss die entsprechende Punktzahl nur mit dem Faktor 0,00192 multipliziert werden.

Abschließend konnten alle qualitativen und quantitativen Informationen über die identifizierten Einflussfaktoren auf einem übersichtlichen Bewertungsbogen zusammengestellt werden (vgl. Abbildung 42). Dieser Bewertungsbogen stellt die notwendigen Informationen bereit, um den produktbasierten Montagezeitunterschied abschätzen zu können. Ein Anwendungsbeispiel für den hier vorgestellten Bewertungsbogen findet sich in Kapitel 5.

	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Ein Klebestreifen</td><td>39</td></tr> <tr><td>Eine Lehle benutzen</td><td>47</td></tr> <tr><td>Eine Rolle benutzen</td><td>64</td></tr> <tr><td>Eine Bauteilreinigung</td><td>138</td></tr> <tr><td>Eine Kleberaube</td><td>193</td></tr> </tbody> </table>	Ein Klebestreifen	39	Eine Lehle benutzen	47	Eine Rolle benutzen	64	Eine Bauteilreinigung	138	Eine Kleberaube	193	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Einem Stecker stecken</td><td>23</td></tr> </tbody> </table>	Einem Stecker stecken	23		
Ein Klebestreifen	39															
Eine Lehle benutzen	47															
Eine Rolle benutzen	64															
Eine Bauteilreinigung	138															
Eine Kleberaube	193															
Einem Stecker stecken	23															
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Eine Fügestelle</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>	Eine Fügestelle	6	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Ein Montageeinzelteil</td><td>23</td></tr> <tr><td>Ein Montageeinzelteil, Gewicht > 1kg + sperrig (>30x30/>80cm)</td><td>48</td></tr> </tbody> </table>	Ein Montageeinzelteil	23	Ein Montageeinzelteil, Gewicht > 1kg + sperrig (>30x30/>80cm)	48								
Eine Fügestelle	6															
Ein Montageeinzelteil	23															
Ein Montageeinzelteil, Gewicht > 1kg + sperrig (>30x30/>80cm)	48															
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Werkzeug aufnehmen und ablegen</td><td>13</td></tr> <tr><td>Werkzeugeinsatz aufnehmen und ablegen</td><td>41</td></tr> </tbody> </table>	Werkzeug aufnehmen und ablegen	13	Werkzeugeinsatz aufnehmen und ablegen	41	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Ein anderer Verbauort</td><td>27</td></tr> </tbody> </table>	Ein anderer Verbauort	27								
Werkzeug aufnehmen und ablegen	13															
Werkzeugeinsatz aufnehmen und ablegen	41															
Ein anderer Verbauort	27															
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Ein vormontierter Clip</td><td>16</td></tr> <tr><td>Ein Clip, von Hand, ohne Ausrichten</td><td>23</td></tr> <tr><td>Ein Clip, von Hand, mit Ausrichten oder mit Werkzeug</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>	Ein vormontierter Clip	16	Ein Clip, von Hand, ohne Ausrichten	23	Ein Clip, von Hand, mit Ausrichten oder mit Werkzeug	30	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Eine Schraube, von Hand heften</td><td>28</td></tr> <tr><td>Eine Maschinenschraube mit Akkuschrauber</td><td>38</td></tr> <tr><td>Eine Blechschraube mit Akkuschrauber</td><td>41</td></tr> <tr><td>Eine Maschinenschraube mit EC-Schrauber</td><td>56</td></tr> </tbody> </table>	Eine Schraube, von Hand heften	28	Eine Maschinenschraube mit Akkuschrauber	38	Eine Blechschraube mit Akkuschrauber	41	Eine Maschinenschraube mit EC-Schrauber	56
Ein vormontierter Clip	16															
Ein Clip, von Hand, ohne Ausrichten	23															
Ein Clip, von Hand, mit Ausrichten oder mit Werkzeug	30															
Eine Schraube, von Hand heften	28															
Eine Maschinenschraube mit Akkuschrauber	38															
Eine Blechschraube mit Akkuschrauber	41															
Eine Maschinenschraube mit EC-Schrauber	56															
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Einen Wickelclip an einer Einzelleitung clippen</td><td>19</td></tr> <tr><td>Einen Wickelclip am Kabelbaum clippen</td><td>27</td></tr> <tr><td>Eine Leitung <= 30 cm verlegen</td><td>33</td></tr> </tbody> </table>	Einen Wickelclip an einer Einzelleitung clippen	19	Einen Wickelclip am Kabelbaum clippen	27	Eine Leitung <= 30 cm verlegen	33	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Eine Prozesszeit (<= 0,1 Min.)</td><td>52</td></tr> </tbody> </table>	Eine Prozesszeit (<= 0,1 Min.)	52						
Einen Wickelclip an einer Einzelleitung clippen	19															
Einen Wickelclip am Kabelbaum clippen	27															
Eine Leitung <= 30 cm verlegen	33															
Eine Prozesszeit (<= 0,1 Min.)	52															
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Einen Popniet, Automatikzuführung, Nietanlage</td><td>23</td></tr> <tr><td>Einen Popniet, Einzelzuführung, Akkuziehler</td><td>42</td></tr> <tr><td>Einen Gewindenniet</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>	Einen Popniet, Automatikzuführung, Nietanlage	23	Einen Popniet, Einzelzuführung, Akkuziehler	42	Einen Gewindenniet	100	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Einsatz 2. Mann oder Handlingsgerät</td><td>56</td></tr> </tbody> </table>	Einsatz 2. Mann oder Handlingsgerät	56						
Einen Popniet, Automatikzuführung, Nietanlage	23															
Einen Popniet, Einzelzuführung, Akkuziehler	42															
Einen Gewindenniet	100															
Einsatz 2. Mann oder Handlingsgerät	56															

Abbildung 42: Bewertungsbogen zur Abschätzung der produktbasierten Montagezeitdifferenz (Quelle: eigene Darstellung)

4.2.2 Entwicklung der Kennzahl zur Bewertung der produktbasierten Zeitspreizung

Da nun mit dem entwickelten Bewertungsbogen die produktbasierte Montagezeitdifferenz abgeschätzt werden kann (vgl. Kapitel 4.2.1), sind alle eingangs genannten Parameter (Variantenanzahl, Verbaurate und produktbasierte Montagezeitdifferenz) bekannt, um die Güte der Variantengestaltung im Hinblick auf die Zeitspreizung zu beurteilen. Dabei soll diese Beurteilung mittels einer Kennzahl erfolgen, die alle Parameter zu einem Wert verdichtet. Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben die Entwicklung einer Berechnungsvorschrift zur Bestimmung dieser Kennzahl.

Zunächst ist festzulegen, welche Charakteristika die Kennzahl besitzen soll. Das heißt, es muss definiert werden, wie sich die Kennzahl mit Veränderung der bekannten Parameter verhalten soll. Dazu wurde zunächst festgelegt, dass die Kennzahl umgekehrt proportional zur Gestaltungsgüte ist. Das bedeutet, dass eine gute Variantengestaltung zu einer kleinen Kennzahl führt, während eine schlechte Gestaltung Ausdruck in einer hohen Kennzahl findet. Im Detail wurden die folgenden Festlegungen getroffen:

- Die Kennzahl wird größer, je größer die Anzahl der Varianten ist. Denn eine geringe Anzahl von Varianten ist in vielerlei Hinsicht (Prozessstabilität, Fehlerhäufigkeit, Arbeitsrhythmus, etc.) günstiger als eine große Anzahl von Varianten.
- Die Kennzahl wird größer, je stärker die Verbaurate der Varianten streuen. Mit Hinblick auf einen stabilen und gleichmäßigen Montageprozess ist es günstig, wenn eine Variante hauptsächlich produziert wird und nur sehr selten eine Exotenvariante die Routine unterbricht. Das heißt, dass eine Variantenpaarung bei der Variante A zu 90% und Variante B zu 10% montiert wird, günstiger ist als eine Aufteilung der Verbaurate auf je 50% für beide Varianten A und B.
- Die Kennzahl wird größer, je größer die produktbasierte Montagezeitdifferenz wird. Varianten die beinahe die gleiche Montagezeit besitzen sind deutlich günstiger als Varianten, die sich in Ihrer Montagezeit stark unterscheiden.

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass die entwickelte Formel (vgl. Abbildung 43) zur Berechnung der Kennzahl geeignet ist, die die zuvor beschriebenen Charakteristika besitzt. Anhand dieser Abbildung soll im Weiteren das Vorgehen zur Berechnung der Kennzahl theoretisch dargestellt werden.

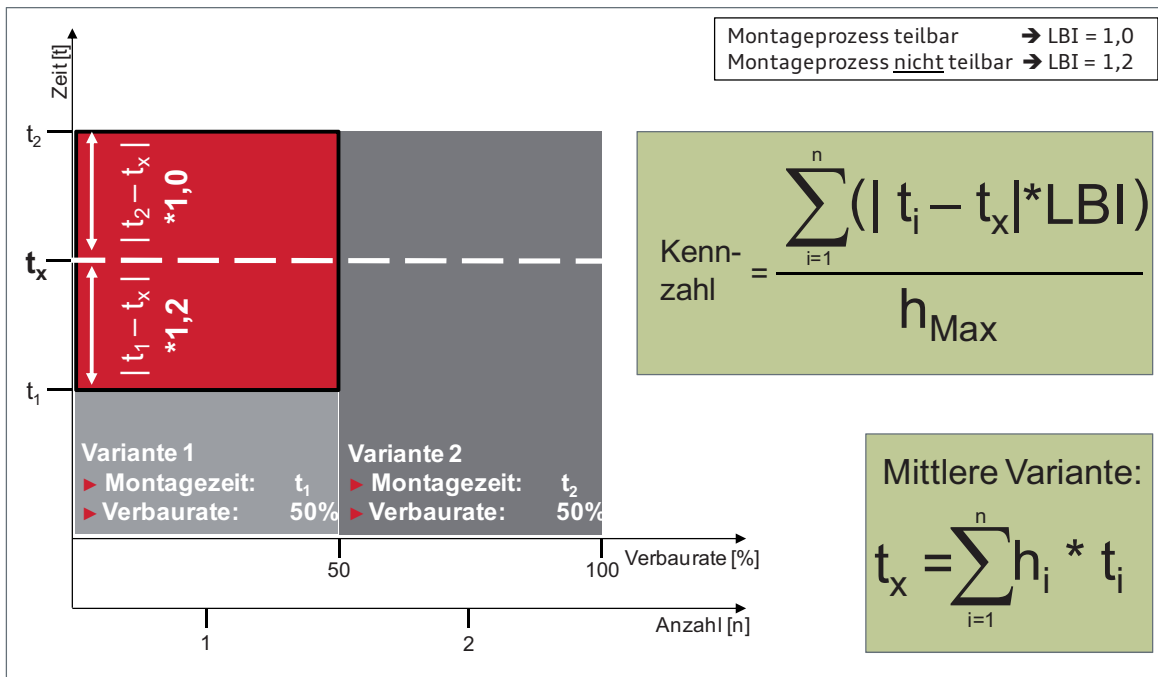


Abbildung 43: Formel zur Berechnung der Kennzahl
(Quelle: eigene Darstellung)

In dem Diagramm (vgl. Abbildung 43) sind zwei Varianten zu erkennen. Diese Varianten besitzen eine produktbasierte Montagezeit von t_1 bzw. t_2 . Beide Varianten haben eine Verbraurate von 50%.

Um die Kennzahl zu berechnen, wird wie folgt vorgegangen:

- Zunächst wird eine mittlere Variante t_x berechnet. Diese mittlere Variante ergibt sich aus der Summe der Multiplikationen der Verbrauraten (h_i) mit den produktbasierten Montagezeiten (t_i).
- Diese mittlere Variante t_x dient im Weiteren als Bezugspunkt: Für jede Variante wird der Abstand zur mittleren Variante t_x berechnet ($|t_i - t_x|$). Damit es keine Rolle spielt, ob dieser Abstand positiv oder negativ ist, wird jeweils der Betrag errechnet.
- Dem berechneten Abstand $|t_i - t_x|$ wird dann eine weitere Information in Form des Line Balancing Index (LBI) hinzugefügt. Dieser Index ist 1,0, sofern der Montageprozess für die betrachtete Variante gut zerteilt werden kann. Ist das nicht der Fall, und der Montageprozess kann sinnvoll nur an einem Stück ausgeführt werden, nimmt der LBI den Wert 1,2 an. Hintergrund für den LBI ist die Überlegung, dass ein gut zerteilbarer Montageprozess auf mehrere Arbeitsstationen verteilt werden kann und sich so die Zeitspreizung für die einzelne Station reduziert. Sofern das Aufteilen eines Montageprozesses mit Zeitspreizung auf mehrere Stationen nicht möglich ist, soll dieser Nachteil mit einem Strafwert von 20% gekennzeichnet werden (deshalb LBI=1,2). Dabei wurde

die Größenordnung des Strafwertes von 20% durch ein Gremium von Experten aus den Bereichen Montage und Industrial Engineering festgelegt.

- Abschließend wird der Gesamtausdruck durch die höchste aller Verbrauraten (h_{Max}) dividiert.

Ein Anwendungsbeispiel zur Berechnung der Kennzahl sowie der Nachweis, dass die Kennzahl die zuvor beschriebenen Eigenschaften tatsächlich erfüllt, findet sich in Kapitel 5.

4.2.3 Ableitung von Grenzwerten zur Bewertung der produktbasierten Zeitspreizung

Mit dem dargestellten Vorgehen (vgl. Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.2) lässt sich eine Kennzahl berechnen. Um nun eine Aussage machen zu können, ob das erhaltende Ergebnis gut oder schlecht ist, bedarf es eines Grenzwertes. Dieser Grenzwert entscheidet darüber, ob das Variantendesign überarbeitet werden muss oder nicht. Fehlt ein derartiger Grenzwert, ist es nur möglich, verschiedene Gestaltungen miteinander zu vergleichen. Es gibt dann aber keine allgemeingültige Größe, die eine Unterscheidung zwischen guten und schlechten Konstruktionen zulässt. Deshalb ist es für die Anwendbarkeit der „Methode proZederA“ wichtig, dass ein Grenzwert festgelegt wird.

Die Grundlage für die Festlegung des Grenzwertes bilden die Auslastungssituationen der Planungs- und Betriebsphase. Dazu wurde der folgende Gedanke entwickelt: In einem idealen Montagesystem wäre die Montagezeitdifferenz zwischen den verschiedenen Varianten einer Baugruppe gleich Null. Es wäre also unerheblich, welche Variante gerade montiert wird, da alle Varianten den gleichen Montagezeitbedarf hätten. Da dieses Ideal in der Realität allerdings nicht anzutreffen ist, wird bei der Planung einer Montagelinie die Auslastung nicht auf 100%, sondern nur auf 95% festgelegt. So bleibt zunächst ein Puffer von 5% zur 100% Auslastung (Montagezeit = Taktzeit), um Montagezeitschwankungen auszugleichen. Weiter gibt es aus der Praxis die Erkenntnis, dass eine kurzzeitige Auslastung des Montagesystems von 105%, z. B. durch die Montage einer Variante mit besonders hohem Zeitbedarf verursacht, akzeptabel ist. Insgesamt bedeutet das also, dass für das Montagesystem eine Sicherheit von 10% vorgehalten wird (geplant wird auf 95% und im Betrieb sind auch Spitzen von 105% akzeptabel). Diese Überlegung wurde auf die in Kapitel 4.2.2 vorgestellte Formel zur Berechnung der Kennzahl übertragen, um einen Grenzwert zu berechnen. Abbildung 44 zeigt am Beispiel einer Montagelinie mit 90s Taktzeit, wie mittels dieser Vorgehensweise ein Grenzwert errechnet werden kann.

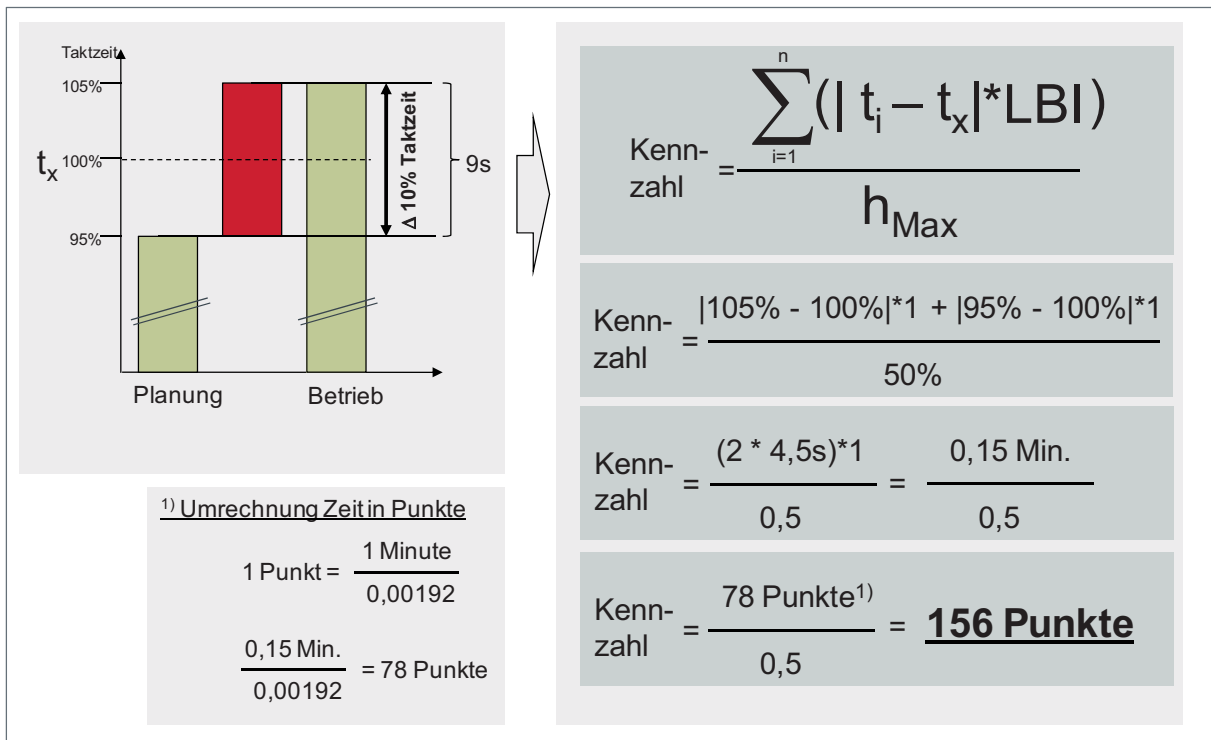


Abbildung 44: Beispiel zur Festlegung des Grenzwertes der „Methode proZederA“ (Quelle: eigene Darstellung)

Die beiden Auslastungssituationen von Planung (95%) und Betrieb (105%) stellen bei dieser Betrachtungsweise (vgl. Abbildung 44) die zwei Extremvarianten des Montagesystems dar. Eine Auslastung unter 95% ist nicht wünschenswert und eine Auslastung über 105% ist nicht möglich. Der Zielwert der Auslastung liegt bei 100%. Das bedeutet also, dass man eine Situation erreichen möchte, bei dem die Auslastung im Mittel bei 100% liegt, wobei aber Abweichungen in einer Spanne von 95% bis 105% akzeptiert werden.

Mit dieser Überlegung und den genannten Werten kann mittels der bekannten Berechnungsformel der Grenzwert errechnet werden: Zunächst wird die mittlere Variante t_x auf 100% festgesetzt, da ja im Mittel eine Auslastung von 100% gewünscht ist. Der Abstand der beiden Varianten $|t_i - t_x|$ von der mittleren Variante beträgt dann gerade je 5%. Bezogen auf das Beispiel einer Montagelinie mit 90s Taktzeit entsprechen diese 5% genau 4,5 Sekunden. Laut Berechnungsformel ergibt sich so oberhalb des Bruchstriches der Ausdruck $2 \times 4,5s \times 1,0$. Der LBI spielt bei dieser Betrachtung keine Rolle und wird deshalb zu 1,0 gesetzt.

Damit, wie gewünscht, die mittlere Variante t_x bei 100% liegt, muss eine Gleichverteilung von 50% bei der Auftretenswahrscheinlichkeit der beiden Extremvarianten (95% und 105%) unterstellt werden. Somit nimmt der Ausdruck h_{Max} den Wert 0,5 an. Setzt man diesen Zahlenwert in die Formel ein, erhält man als erstes Zwischenergebnis für die Montagelinie mit 90s Taktzeit den Ausdruck 0,15 Min. geteilt durch 0,5. Wie im

Abschnitt 4.2.1.3 erklärt wurde, gibt es aufgrund der gewählten Basismethode MTM eine Entsprechung zwischen Zeit- und Punktwerten. Der entsprechende Umrechnungsfaktor hat den Wert 0,0019 (vgl. Tabelle 9). Rechnet man mit diesem Faktor weiter, erhält man schlussendlich einen Wert von 156 Punkten. Im Falle der Montagelinie mit 90s Taktzeit bedeutet das also, dass Gestaltungen mit einem Punktwert ≤ 156 Punkte in Ordnung sind. Ergibt die Berechnung der Kennzahl einen Wert > 156 Punkte, muss eine Überarbeitung der Gestaltung erfolgen.

Die Größe des Grenzwertes hängt direkt von der Taktzeit der Montagelinie ab. Um den Anwender von der Aufgabe zu entlasten, den Grenzwert selbst zu berechnen, bzw. diesen bei Veränderungen der Taktzeit anpassen zu müssen, wurden feste Grenzwerte vorausberechnet. Abbildung 45 zeigt diese Grenzwerte, die in Abhängigkeit der Taktzeitklassen berechnet worden sind. Der Anwender braucht so nur die richtige Taktzeitklasse auszuwählen und kann direkt den passenden Grenzwert ablesen.

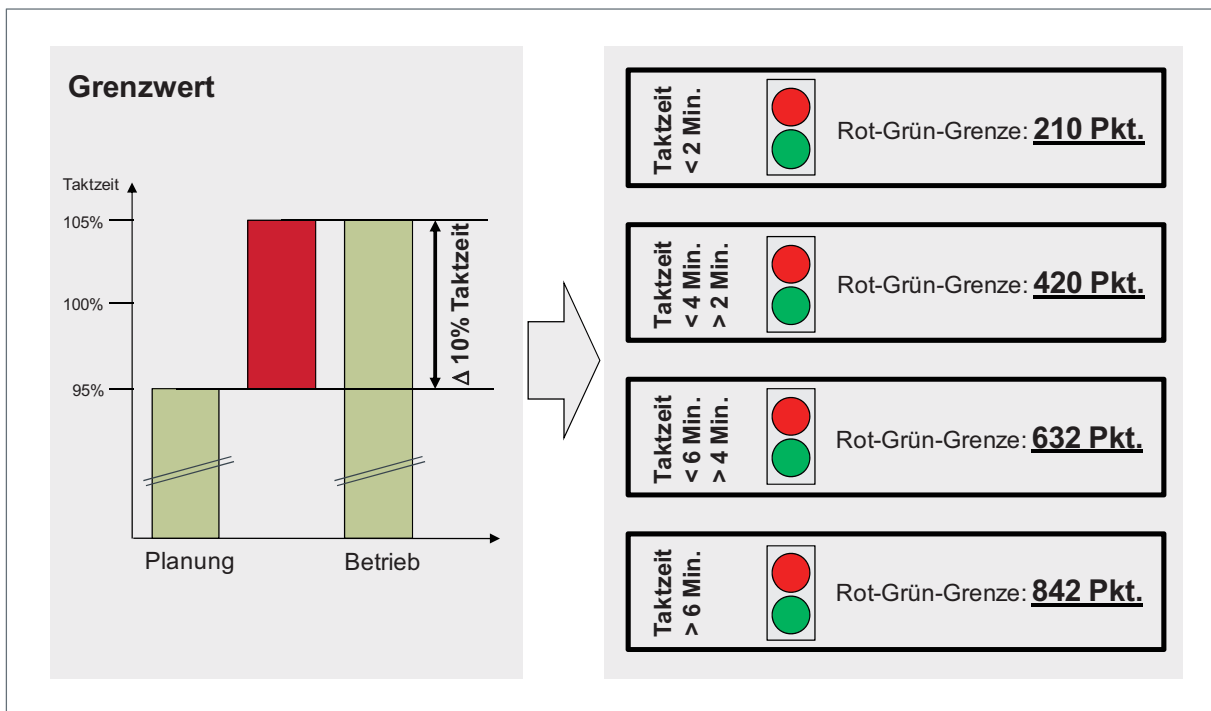


Abbildung 45: Berechnete Grenzwertklassen in Abhängigkeit der Taktzeit (Quelle: eigene Darstellung)

4.2.4 Aufstellung von Regeln zur Verbesserung der Variantengestaltung

In den Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3 wurde die Entwicklung der neuen Methode beschrieben. Mit dem dort dargestellten Vorgehen ist es nun möglich, die Kennzahl zu berechnen und diese Kennzahl mit dem entsprechenden Grenzwert abzugleichen. So kann eine Aussage im Hinblick auf die Güte der Variantengestaltung getroffen wer-

den. Sofern die berechnete Kennzahl den Grenzwert überschreitet, ist es notwendig, die Gestaltung zu überarbeiten und Optimierungen vorzunehmen. Damit derartige Verbesserung möglich sind, wurden Gestaltungsregeln entwickelt, die den Methoden-anwender (z. B. den Konstrukteur) bei dieser Arbeit unterstützen sollen. Diese Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung sollen im Folgenden vorgestellt werden (vgl. Abbildung 46).

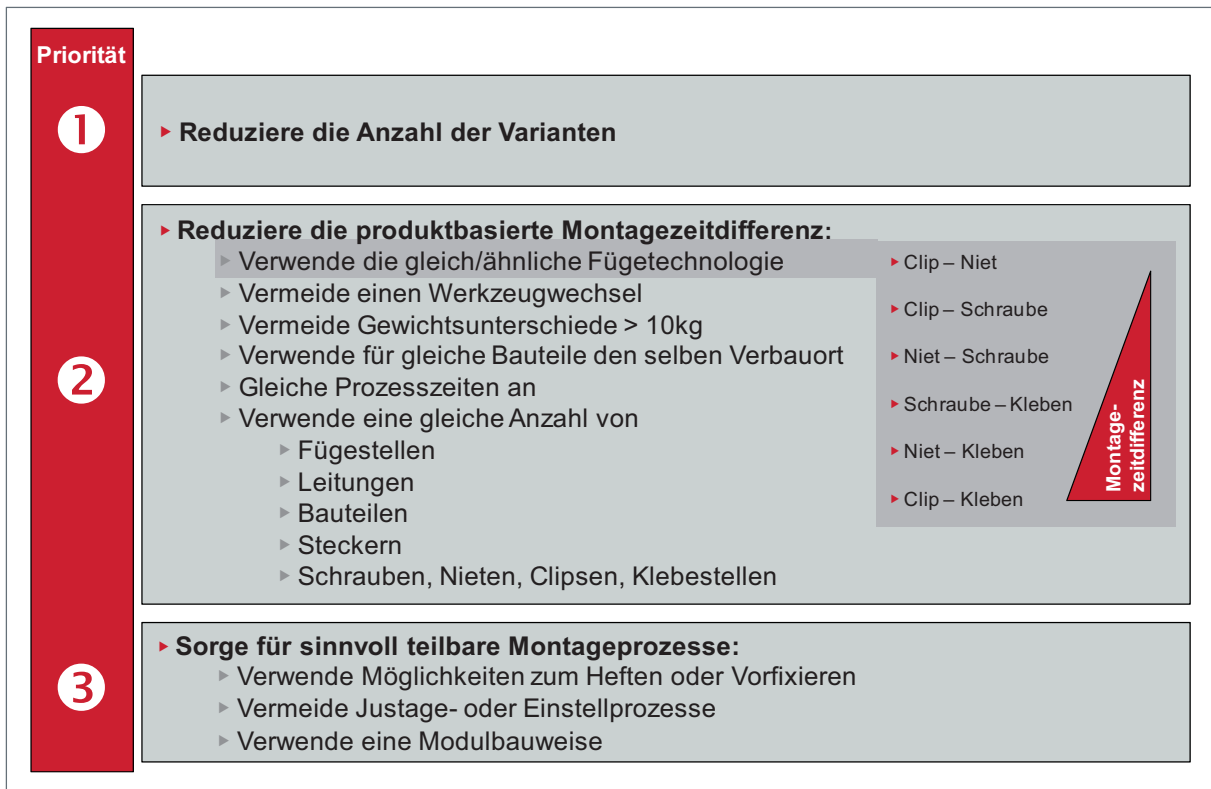


Abbildung 46: Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung (Quelle: eigene Darstellung)

Für die entwickelten Gestaltungsregeln wurde eine Prioritätsreihenfolge festgelegt, nach denen deren Anwendung erfolgen sollte. Dabei liegt der Vorrangfolge die Wirksamkeit der unterschiedlichen Maßnahmen zugrunde:

- Das erste Mittel der Wahl zur Verbesserung einer unzureichenden Variantengestaltung sollte die Reduzierung der Anzahl der Varianten sein. Diese Maßnahme schafft nicht nur im Hinblick auf die Zeitspreizung deutliche Entlastung, sondern führt auch in anderen Bereichen zu klaren Verbesserungen. So verringert sich die Logistikkomplexität durch die Reduzierung der Anzahl der Varianten, aber auch die Materialanstellung am Montageband wird vereinfacht. Außerdem führt eine geringe Variantenzahl während des Montageprozesses zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit von Falschverbauten.

- Sollte eine Reduzierung der Variantenanzahl nicht in Betracht kommen (was in der Realität häufig der Fall ist, da Forderungen nach kundenindividuellen Fahrzeugen und die Nutzung von Baukastenstrategien zu einer Vielzahl notwendiger Varianten führen), bietet die Reduzierung der produktbasierten Montagezeitdifferenz eine gute Möglichkeit, um die Gestaltung zu optimieren. Hier ist es sinnvoll, bei den verschiedenen Varianten auf eine gleiche oder zumindest ähnliche Fügetechnologie zu achten. Abbildung 46 zeigt dazu verschiedene Paarungen von Fügetechnologien und deren Auswirkung auf die Montagezeitdifferenz. Während die Paarung „Clip – Niet“ nur zu einer geringen Differenz führt, hat die Kombination „Clip – Kleben“ einen großen Zeitunterschied. Weitere Möglichkeiten zur Reduzierung der produktbasierten Montagezeitdifferenz sind die Vermeidung von Werkzeugwechseln oder der Verbau von gleichen Bauteilen am selben Verbauort. Außerdem führt eine Gestaltung, bei der die Varianten jeweils eine gleiche Anzahl von Fügstellen, Steckern, Nieten, etc. haben zu einer Reduzierung des Montagezeitunterschieds. Weitere Möglichkeiten dieser Gestaltungsoption können der Abbildung (vgl. Abbildung 46) entnommen werden.
- Die letzte Möglichkeit zur Optimierung bildet die Gestaltung von gut zerteilbaren Montageprozessen. Ist der Verbauprozess einer Variante gut in mehrere Teilprozesse gliederbar, kann dieser einfach auf mehrere Arbeitsstationen im Montageband aufgeteilt werden und muss nicht an einer einzigen Station erfolgen. Anders ausgedrückt: Wenn man eine große Montagezeitdifferenz hat und diese auch nicht minimieren kann, sollte man diese in kleinere Teile zerteilen und auf mehrere Arbeitsplätze aufteilen. Um teilbare Montageprozesse zu erhalten, ist es sinnvoll, an Bauteilen Vorfixierungen oder Heftmöglichkeiten vorzusehen. Dadurch kann das erste Verbinden des Bauteils mit dem Fahrzeug an einem Arbeitsplatz erfolgen, während die endgültige Montage, z. B. durch Verschrauben, an einem anderen Arbeitsplatz durchgeführt wird. Ferner ist es sinnvoll, generell eine Modulbauweise zu verfolgen. Die hier bereits vorgesehenen Schnittstellen sorgen für eine einfache Teilbarkeit der Montageprozesse. Letztlich gilt es, Einstell- und Justageprozesse zu vermeiden, die oft zeitintensiv sind und aus Qualitätsgründen in der Regel nicht durch unterschiedliche Mitarbeiter an verschiedenen Arbeitsplätzen ausgeführt werden dürfen.

Kapitel 4: Zusammenfassung

Die „Methode proZederA“ ermöglicht die Bewertung der produktbasierten Zeitspreizung durch die Berechnung einer Kennzahl, welche die wesentlichen Einflussgrößen der Zeitspreizung (Variantenanzahl, Verbaurate und produktbasierte Montagezeitdifferenz) vereint. Während die Eingangsgrößen „Variantenanzahl“ und „Verbaurate“ einfach zu bestimmen sind, wird die produktbasierte Montagezeitdifferenz mittels eines neu entwickelten Bewertungsbogens abgeschätzt. Dieser enthält zwölf Einflussfaktoren, die zu einer produktbasierten Montagezeitdifferenz führen. Durch die Analyse von 21 realen Fahrzeugbaugruppen und deren 58 Varianten konnten diese Faktoren qualitativ bestimmt werden. Die quantitative Festlegung der identifizierten Einflussfaktoren erfolgte über eine Analyse der zugehörigen MTM-Standardvorgänge. Um die berechnete Kennzahl anschließend interpretieren zu können, wurden Grenzwert festgelegt, die es erlauben, „gute“ von „schlechten“ Ergebnissen zu unterscheiden. Dabei sind die ermittelten Grenzwerte abhängig von der jeweiligen Taktzeit des betrachteten Montagesystems. Abschließend wurden Gestaltungshinweise erarbeitet, um ungenügende Variantendesigns (Kennzahl > Grenzwert) verbessern zu können. Die „Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung“ geben Hilfestellung wie über die Reduzierung der Variantenanzahl, die Verringerung der produktbasierten Montagezeitdifferenz sowie über die bessere Teilbarkeit des Montageprozesses eine optimierte Variantengestaltung gelingen kann.

5 Validierung der „Methode proZederA“

Ziel des folgenden fünften Kapitels ist es, die entwickelte Methode im Hinblick auf Konsistenz und Richtigkeit zu überprüfen. Außerdem soll die neue Methode auf ein reales Beispiel aus der industriellen Praxis angewendet werden.

Im Detail sollen folgende Aspekte beleuchtet werden: Es soll überprüft werden, ob

- die Theorie, auf der die Methode basiert, richtig ist,
- die neue Methode industriell anwendbar ist,
- die Methode, die an sie gestellten Anforderungen (vgl. Kapitel 4.1) erfüllt.

Dazu wird in Kapitel 5.1 zunächst untersucht, ob der entwickelte Bewertungsbogen (vgl. Kapitel 4.2.1) korrekte Ergebnisse liefert. Ferner gilt es zu klären, ob die Formel zur Berechnung der Kennzahl (vgl. Kapitel 4.2.2) die zuvor geforderten Charakteristika besitzt. Im Kapitel 5.2 ist der Nachweis zu erbringen, dass die Methode, die an sie gestellten Anforderungen, z. B. im Hinblick auf Einfachheit und Aufwand, erfüllt. Weiter soll in Kapitel 5.3 mit einem Beispiel aus dem betrieblichen Alltag zum einen die praktische Nutzung der Methode verdeutlicht werden. Zum anderen soll damit der Nachweis geführt werden, dass eine industrielle Anwendbarkeit möglich ist. Abschließend wird die Frage nach Stärken und Schwächen der Methode im Kapitel 5.4 diskutiert.

5.1 Evaluierung des Bewertungsbogens

Der in Kapitel 4.2.1 entwickelte Bewertungsbogen dient dazu, den produktbasierten Montagezeitunterschied abzuschätzen, da dieser Wert als Eingangsgröße zur Berechnung der Kennzahl erforderlich ist. Bei der kritischen Betrachtung des entwickelten Bewertungsbogens stellen sich vor allem zwei Fragen:

- Wie exakt kann der produktbasierte Montagezeitunterschied mittels des Bewertungsbogens abgeschätzt werden?
- Enthält der Bewertungsbogen alle Faktoren, die zur Abschätzung des produktbasierten Montagezeitunterschieds notwendig sind?

Zur Beantwortung der ersten Frage wurden umfangreiche Untersuchungen an 15 realen Fahrzeugbaugruppen mit insgesamt 25 Varianten vorgenommen. In Form des paarweisen Vergleichs (vgl. z. B. Heinen, 1983) wurde der reale produktbasierte Montagezeitunterschied mit der mittels des Bewertungsbogens abgeschätzten Montagezeitdifferenz verglichen. Abbildung 47 zeigt dieses Vorgehen am Beispiel der Frontklappenauskleidung.

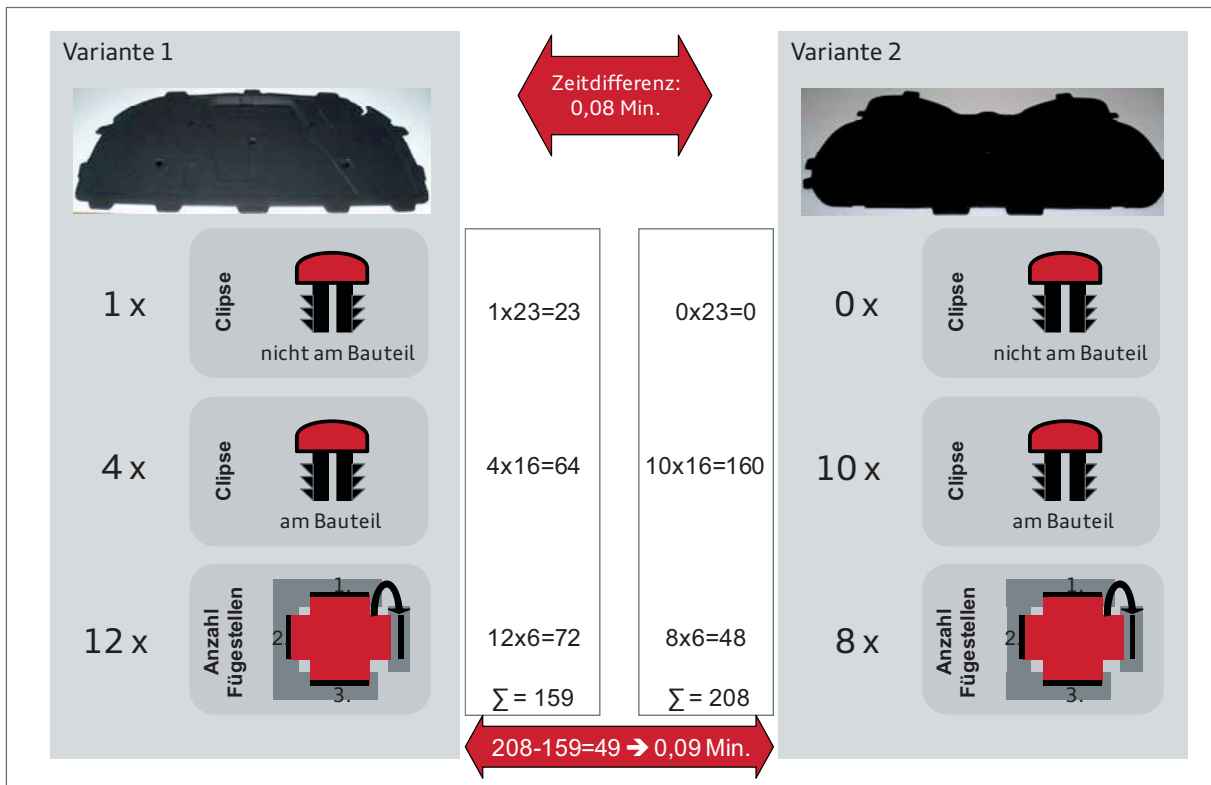


Abbildung 47: Bewertungsbeispiel „Frontklappenauskleidung“
(Quelle: eigene Darstellung)

Die schon aus den vorangegangenen Betrachtungen bekannte Frontklappenauskleidung kommt in zwei Varianten vor, die sich im Wesentlichen im Hinblick auf die Geometrie sowie auf das Befestigungskonzept unterscheiden. Vor Ort, an der Montagelinie, entsteht deshalb ein realer produktbasierter Montagezeitunterschied von 0,08 Min. Mit Hilfe der Faktoren „Clipse“ und „Anzahl Fügstellen“ aus dem Bewertungsbogen wurde die Montagezeitdifferenz abgeschätzt. Im Fall des vorliegenden Beispiels ergab sich so ein Ergebnis von 49 Punkten (208 Punkte – 159 Punkte). Da die Punktwerte auf MTM-Bewertungen aufbauen, gibt es eine Entsprechung zwischen Punktwerten und Zeit (vgl. Kapitel 4.2.1.3): Mittels des Faktors 0,00192 (vgl. Tabelle 9) kann der Punktwert in einen Zeitwert überführt werden. Für die betrachtete Frontklappenauskleidung ergab sich so ein abgeschätzter produktbasierter Montagezeitunterschied von 0,09 Min. Ergebnis des vorgestellten Vergleichs ist also, dass der mittels des Bewertungsbogens abgeschätzte Wert nur um 0,01 Min (0,09 Min. – 0,08 Min.) vom realen Wert abweicht.

Die soeben beschriebene Analyse wurde an insgesamt 25 verschiedenen Beispielen vorgenommen. Dabei konnte eine mittlere Abweichung der mit dem Bewertungsbogen bestimmten Werten zu den realen Werten von 0,05 Min. berechnet werden. Zwar gab es zwischen den verschiedenen Beispielen Streuung im Hinblick auf die Differenz realer Wert zu abgeschätzter Wert, allerdings lag diese stets im Rahmen

der statistisch zulässigen Grenzen (3σ -Regel erfüllt). Im Hinblick darauf, dass das Ziel des Bewertungsbogens nicht die genaue Berechnung der Zeitdifferenz ist, sondern vielmehr eine einfache und schnelle Abschätzung beabsichtigt wird, kann man somit von einer guten Genauigkeit ausgehen.

Die zweite Frage, nach der Vollständigkeit des Bewertungsbogens, lässt sich ebenfalls mit den durchgeführten Untersuchungen beantworten: Bei den 25 betrachteten Beispielen gelang die Abschätzung des produktbasierten Montagezeitunterschiedes stets durch die Anwendung der zwölf auf dem Bewertungsbogen beschriebenen Faktoren. Es konnte kein Beispiel gefunden werden, auf das die Faktoren nicht angewendet werden konnten. Entsprechend ist davon auszugehen, dass zumindest der größte Teil der realen Anwendungsfälle mit dem vorliegenden Bewertungsbogen bearbeitet werden kann. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es weitere Faktoren gibt, die zur Bestimmung des produktbasierten Montagezeitunterschiedes eine Rolle spielen. Sollten derartige Faktoren in der Zukunft durch flächendeckende Anwendung der Methode identifiziert werden, können diese aber in die vorliegende Methode integriert werden. Dank des modularen Ansatzes des Bewertungsbogens können diese neuen Faktoren mittels des in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Vorgehens einfach ergänzt werden.

5.2 Evaluierung der Formel zur Berechnung der Kennzahl

In Kapitel 4.2.2 wurden für die Formel zur Berechnung der Kennzahl (vgl. Abbildung 43) Vorhersagen getroffen, wie sich diese bei der Veränderung von Eingangsparametern verhält. Ziel der Betrachtungen ist der Nachweis, dass die entwickelte Formel tatsächlich anforderungskonform reagiert. Dazu wurde eine einfache Form der Kurvendiskussion durchgeführt. Da die Formel aus den drei unabhängigen Einflussfaktoren

- Variantenanzahl,
- Verbaurate und
- produktbasierte Montagezeitdifferenz

besteht, ist es nur mit mathematisch sehr aufwendigen Mitteln möglich, eine gleichzeitige Veränderung aller drei Parameter zu untersuchen. Aufgrund der einfacheren Durchführung und der besseren Interpretierbarkeit der Ergebnisse wurde die Kurvendiskussion deshalb so gestaltet, dass jeweils nur ein Parameter verändert wird, während die anderen zwei Parameter konstant bleiben. Entsprechend dieser Herangehensweise wurden drei separate Analysen durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden.

5.2.1 Veränderung der Einflussgröße „Variantenanzahl“

Abbildung 48 zeigt den Kurvenverlauf der Berechnungsformel bei einer Veränderung der Variantenanzahl. Für die Betrachtung wurden die anderen beiden Einflussparameter, Montagezeitdifferenz und Verbraurate, konstant gehalten.

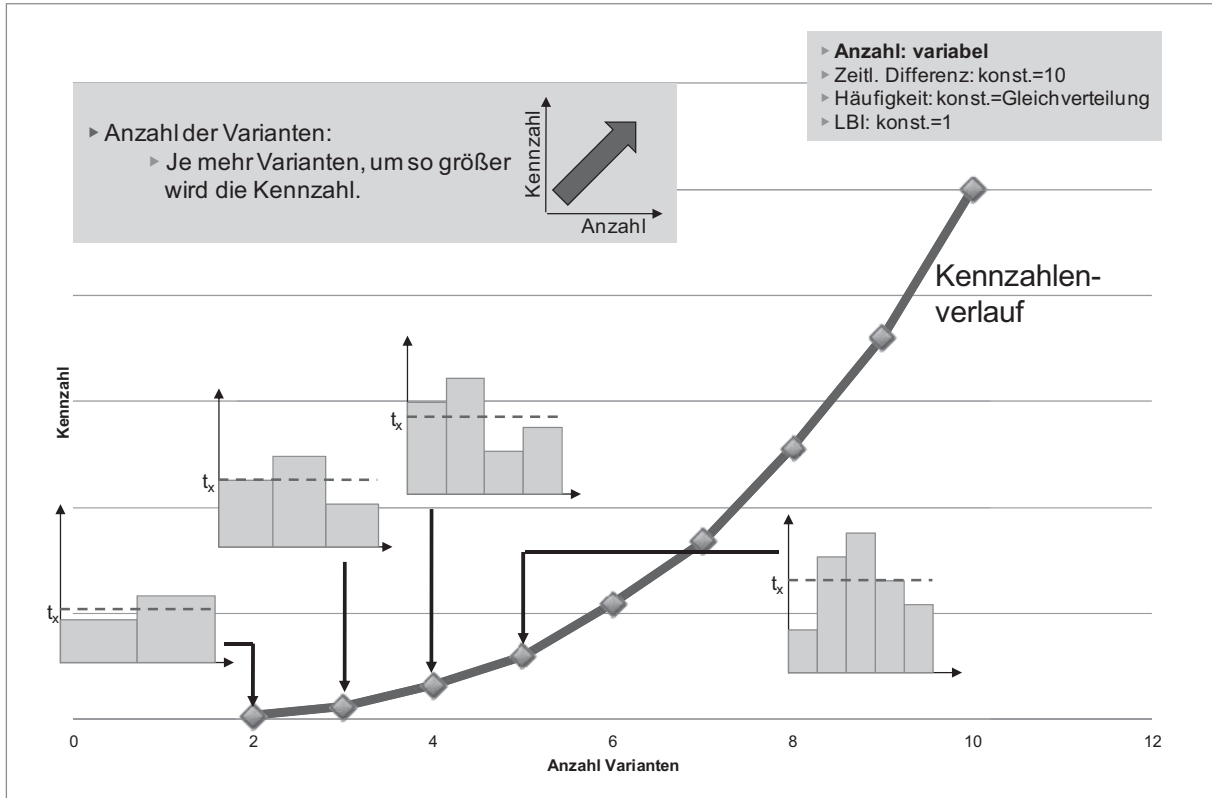


Abbildung 48: Betrachtung des Kennzahlenverlauf bei veränderter Variantenanzahl (Quelle: eigene Darstellung)

In der Abbildung 48 ist deutlich zu erkennen, dass mit einer Erhöhung der Variantenanzahl (X-Achse) die Kennzahl ansteigt. Zur besseren Verständlichkeit wurde in die Abbildung für die Variantenanzahl 2 bis 5 der bereits aus Abbildung 43 bekannte Diagrammetyp eingefügt.

Ebenfalls lässt der Graphenverlauf erkennen, dass der Anstieg parabelförmig verläuft. Das ist eine durchaus gewünschte Charakteristik, da wenige Varianten in der Regel unumgänglich und notwendig sind, um kundenindividuelle Produkte herzustellen. Eine sehr große Variantenanzahl führt aber zu überproportionaler Komplexität und muss daher vermieden werden.

Insgesamt zeigt die Grafik den geforderten Kurvenverlauf: die Kennzahl wird größer, je größer die Anzahl der Varianten ist.

5.2.2 Veränderung der Einflussgröße „produktbasierte Montagezeitdifferenz“

Im nächsten Schritt wurden die Parameter „Variantenanzahl“ und „Verbaurrate“ konstant gehalten und die produktbasierte Montagezeitdifferenz verändert. Das Ergebnis der Analyse zeigt Abbildung 49.

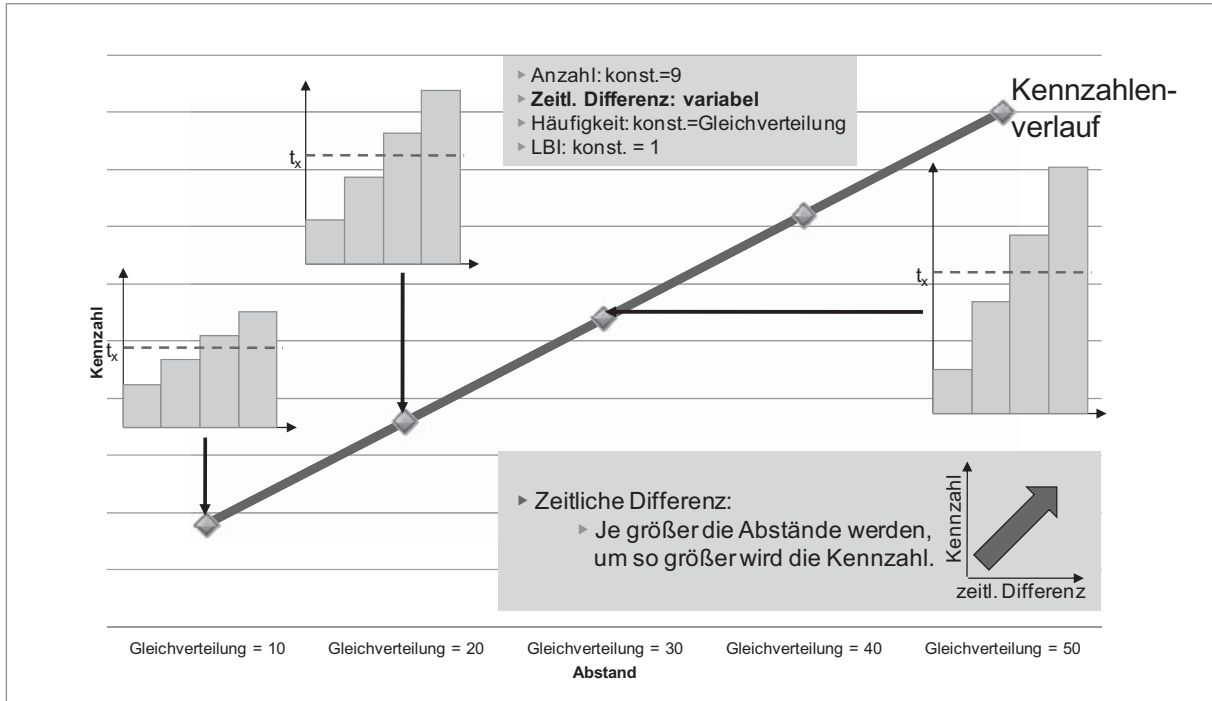


Abbildung 49: Betrachtung des Kennzahlenverlaufs bei veränderter produktbasierter Montagezeitdifferenz
(Quelle: eigene Darstellung)

Deutlich ist zu erkennen, dass die Kennzahl steigt, je größer der Montagezeitunterschied zwischen den Varianten ist. In der abgebildeten Analyse wurde eine Gleichverteilung bei den zeitlichen Abständen zwischen den Varianten unterstellt. Das bedeutet, dass Variante A 10 Zeiteinheiten Montagezeitbedarf hat, Variante B 20 Zeiteinheiten und Variante C 30 Zeiteinheiten, usw. Weitere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass auch bei ungleichmäßigen Zeitdifferenzen der Charakter der Kennzahl erhalten bleibt. Es lässt sich deshalb festhalten, dass die Kennzahl größer wird, je größer die produktbasierte Montagezeitdifferenz wird.

5.2.3 Veränderung der Einflussgröße „Verbaurate“

Abschließend wurde untersucht, was passiert, wenn Montagezeitdifferenz und Variantenanzahl konstant bleiben, aber die Verbaurate variabel ist. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Abbildung 50 zu sehen.

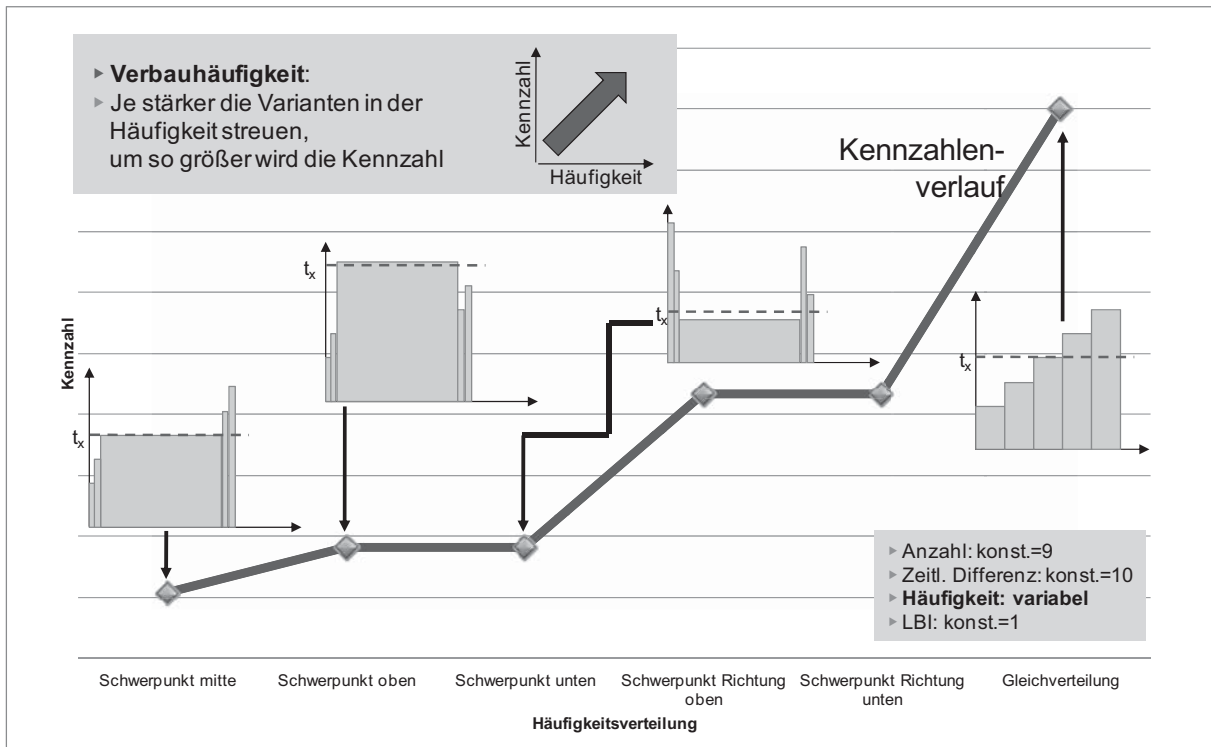


Abbildung 50: Betrachtung des Kennzahlenverlaufs bei veränderter Verbaurate (Quelle: eigene Darstellung)

Auf der X-Achse des Diagramms sind verschiedene Häufigkeitsverteilungen aufgetragen, die von den eingefügten kleinen Diagrammen verdeutlicht werden. Im Wesentlichen gibt es bei der Häufigkeitsverteilung drei Ausprägungen: Schwerpunkt Mitte, Schwerpunkt oben/unten und Gleichverteilung. Gemeint ist damit, ob es eine prägende Variante gibt, die hauptsächlich verbaut wird, und wo diese im Bezug auf die anderen Varianten (Exoten) liegt. „Schwerpunkt Mitte“ bedeutet folglich, dass es eine Hauptvariante gibt, wobei die anderen, kaum verbauten Exoten zeitlich oberhalb und unterhalb der Hauptvariante liegen. Da diese Situation für den Montageprozess sehr günstig ist (man pendelt um die Taktzeit, es gibt nur ab und zu einen Ausreißer nach oben oder unten.), wird er mit einer niedrigen Kennzahl abgebildet. Das andere Extrem ist die Gleichverteilung. Hier gibt es keine prägende Variante. Vielmehr werden alle Varianten gleich oft verbaut. In der Praxis bedeutet diese Situation ein ständiges „Springen“ zwischen den verschiedenen Varianten. Da es dadurch beim Montageprozesse zu Qualitäts- und Auslastungsproblemen kommt, führt die Gleichverteilung zu einer entsprechend hohen Kennzahl. Zusammengefasst lässt sich festhalten,

dass die Kennzahl, wie gewünscht, größer wird, je stärker die Verbraurateile der Varianten streuen.

In der Summe zeigen die angestellten Untersuchungen, dass der Verlauf der Kennzahl vollständig anforderungskonform ist. Für jeden der drei unabhängigen Einflussfaktoren konnte nachgewiesen werden, dass bei dessen Veränderung die Kennzahl sich in vorherbestimmter Art verändert. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die entwickelte Formel zur Berechnung der Kennzahl (vgl. Abbildung 43) richtig ist.

5.3 Anwendung der „Methode proZederA“ auf ein Praxisbeispiel

Nachdem durch die Betrachtungen (vgl. Kapitel 5.1 und 5.2) nachgewiesen wurde, dass die Methode theoretisch richtige Ergebnisse liefert, soll diese nun auf ein reales Beispiel angewendet werden. Dadurch soll zum einen gezeigt werden, wie das tatsächliche Vorgehen zur Ergebnisermittlung abläuft. Zum anderen soll das Anwendungsbeispiel den Nachweis erbringen, dass die Methode proZederA gut in der industriellen Praxis einsetzbar ist.

Abbildung 51 zeigt das Klimabedienteil des Audi A3 (Taktzeit der Audi A3-Montage: ca. 1,5 Min.), auf das die Methode im Folgenden angewendet wird.



Abbildung 51: Evaluierung der Methode am Beispiel des Klimabedienteils Audi A3 (Quelle: eigene Darstellung)

Das Klimabedienteil existiert in drei unterschiedlichen Varianten: Es gibt eine Variante für die Heizung/Lüftung, eine Variante für die halbautomatische Klimaanlage und eine Variante für die vollautomatische Klimaautomatik. Dabei unterscheiden sich die Varianten im Hinblick auf ihre Verbauraten sehr stark (1%, 4% und 95%). Ferner gibt es eine unterschiedliche Anzahl von Steckern mit denen das Bedienteil an die Fahrzeugelektronik angeschlossen wird. Ein letzter Unterschied der Varianten besteht im Befestigungskonzept: Während das Bedienteil für die vollautomatische Klimaautomatik einfach mit Widerhaken im Schacht verrastet wird, werden die anderen beiden Varianten mit insgesamt acht Schrauben befestigt. Damit die Schraubenköpfe später nicht zu sehen sind, wird zusätzlich noch eine Sichtblende montiert.

Mit diesen Angaben ist es nun möglich, die Güte der Variantengestaltung im Hinblick auf die Zeitspreizung zu bestimmen. Dazu wird, wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, zunächst der produktbasierte Montagezeitunterschied mit dem Bewertungsbogen (vgl. Abbildung 42) abgeschätzt. Abbildung 52 zeigt das entsprechende Vorgehen.

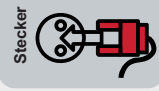
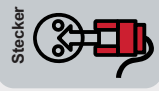
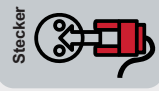




Variante 1: Heizung / Lüftung	Variante 2: Halbautomat. Klimaanlage	Variante 3: Vollautomat. Klimaautomatik
 2 x 23P. = 46 P.	 4 x 23P. = 92 P.	 4 x 23P. = 92 P.
 8 x 38P. = 304 P.	 8 x 38P. = 304 P.	
 1 x 23P. = 23 P.	 1 x 23P. = 23 P.	
<hr/>	<hr/>	<hr/>
GESAMT 373 P.	GESAMT 419 P.	GESAMT 92 P.

Abbildung 52: Abschätzung der produktbasierten Montagezeitdifferenz mit dem Bewertungsbogen
(Quelle: eigene Darstellung)

Für die Variante 1 „Heizung/Lüftung“ ergibt sich aus der Kombination von zwei Steckern (46 Punkte), acht Schrauben (304 Punkte) und der zusätzlichen Montage der Sichtblende (23 Punkte) ein Wert von 373 Punkten. Für die Variante 2 „halbautomatische Klimaanlage“ müssen die selben Faktoren herangezogen werden, allerdings sind in diesem Fall vier Stecker zu stecken (92 Punkte), was zu einem Gesamtwert von 419 Punkten führt. Die Variante 3 „Vollautomatische Klimaautomatik“ hat nur den Faktor „Stecker“ und erreicht so einen Wert von 92 Punkten (4 x 23 Punkte). Mit diesen Punkten ist es nun möglich, die in Kapitel 4.2.2 vorgestellte Kennzahl zu berechnen. Dazu wird zunächst die mittlere Variante t_x berechnet, die im vorliegenden Fall 108 Punkte beträgt (vgl. Abbildung 53). Das Ergebnis für die mittlere Variante wird dann in die Formel zu Berechnung der Kennzahl eingesetzt. Ebenfalls wird in die bekannte Formel der Line Balancing Index (LBI) eingesetzt. Dieser besitzt für die Varianten 1 und 2 den Wert „1,0“, da der Montageprozess für diese Varianten gut geteilt werden kann (die Sichtblende kann zu einem späteren Zeitpunkt montiert werden). Der LBI für die Variante 3 ist „1,2“, da dieser Montageprozess nicht gesplittet werden kann.

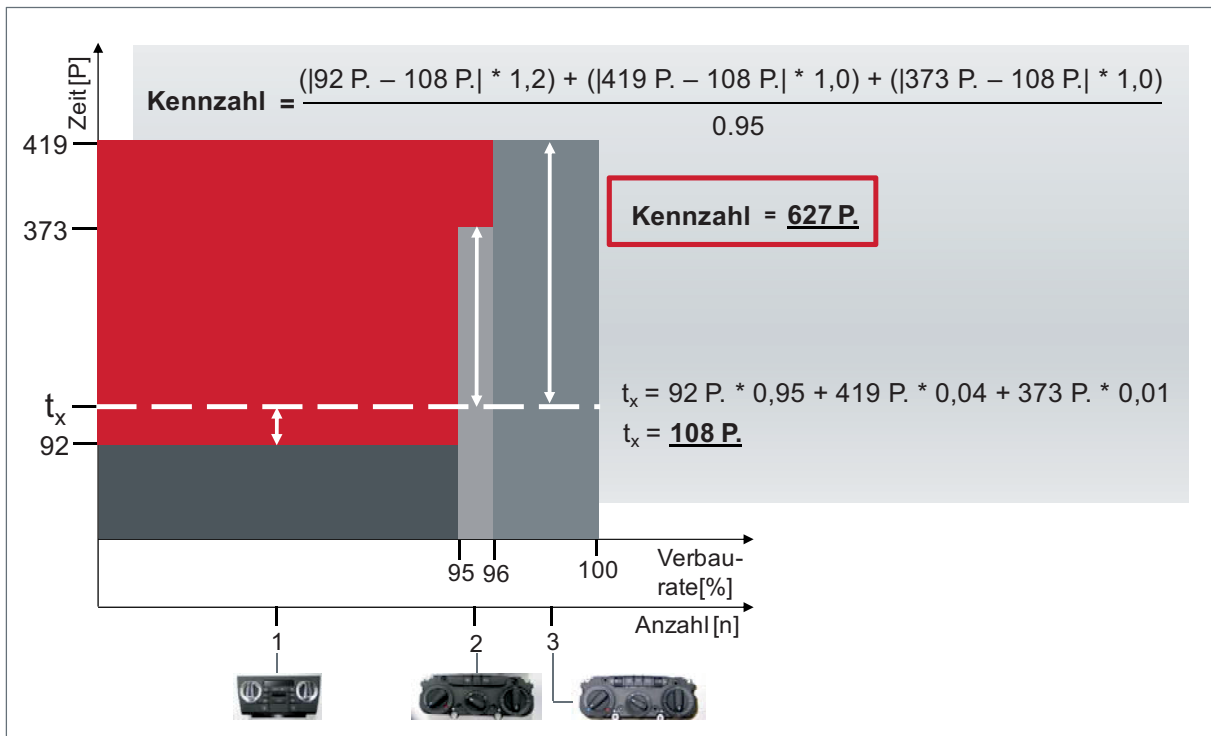


Abbildung 53: Kennzahlberechnung für das Beispiel „Klimabedienteil Audi A3“
(Quelle: eigene Darstellung)

Somit wird für das beschriebene Variantendesign eine Kennzahl von 627 Punkten berechnet. Vergleicht man diesen Wert mit dem zulässigen Grenzwert von 210 Punkten (vgl. Abbildung 43, Taktzeit < 2 Min.), stellt man fest, dass das ermittelte Ergebnis oberhalb der zulässigen Marke liegt, weshalb eine Optimierung des Designs notwendig ist. Dies erfolgt mittels der in Kapitel 4.2.4 vorgestellten Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung.

Verbesserungsvorschlag:

im vorliegenden Beispiel bieten sich folgende Verbesserungsmöglichkeiten an:

- Aufgrund der sehr geringen Verbaurrate der Variante 1 „Heizung/Lüftung“ (nur 1%), könnte diese Variante gut aus dem Produktionsprogramm gestrichen werden, so dass serienmäßig eine halbautomatische Klimaanlage verbaut würde.
- Bei der Variante 2 „halbautomatische Klimaanlage“ wäre zu untersuchen, ob eine Befestigung mit nur vier Schrauben ausreicht. Entsprechend könnte die Anzahl von Verschraubungen im Rahmen der Montage um vier reduziert werden.

Für das nun optimierte Variantendesign erfolgt abermals die Berechnung der Kennzahl. Dabei ist das Vorgehen identisch mit dem eben Beschriebenen. Abbildung 54 fasst die wesentlichen Rechenschritte in der bekannten Darstellung zusammen.

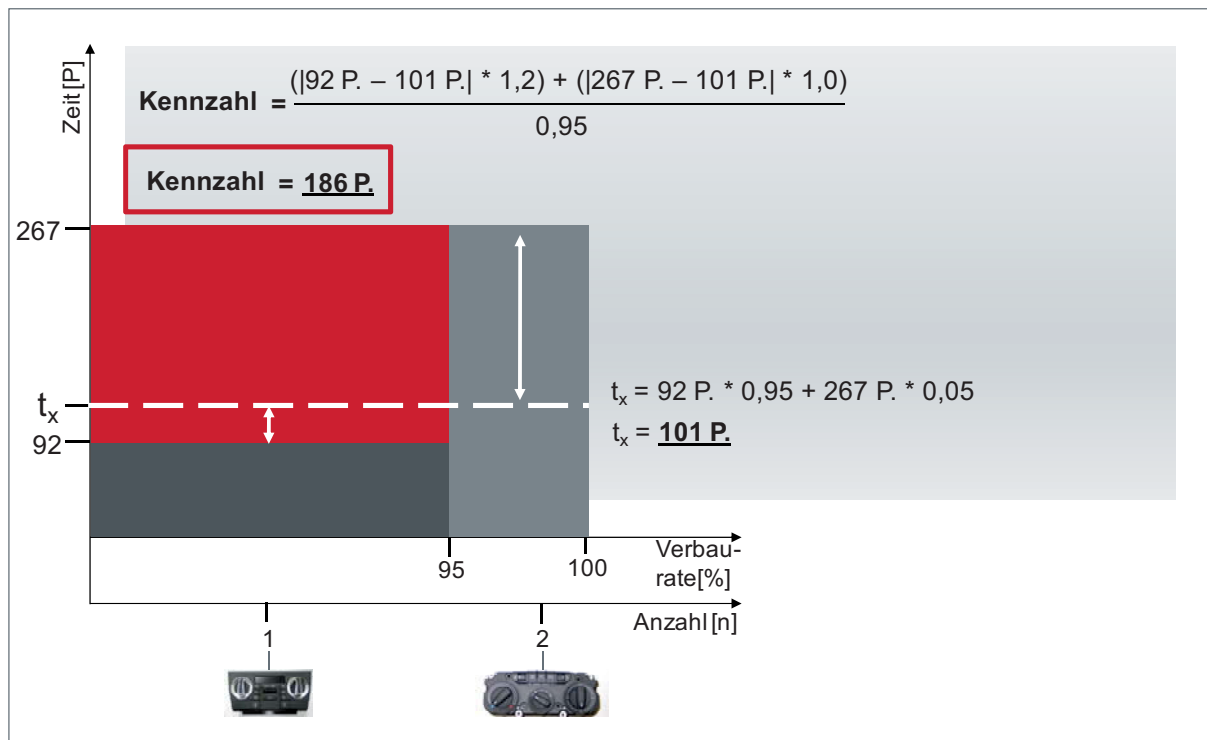


Abbildung 54: Erneute Kennzahlberechnung für das Beispiel „Klimabedienteil Audi A3“
 (Quelle: eigene Darstellung)

Das jetzt ermittelte Ergebnis von 186 Punkten liegt deutlich unterhalb des zulässigen Grenzwertes von 210 Punkten. Somit ist die Gestaltung im Hinblick auf die Zeitspreizung akzeptabel und braucht nicht weiter überarbeitet zu werden.

5.4 Stärken und Schwächen der „Methode proZederA“

Abschließend werden die im Rahmen der Validierung der „Methode proZederA“ gemachten Erfahrungen zusammengefasst und diskutiert. Daraus kann ein Stärken-Schwächen-Profil der Methode abgeleitet werden (vgl. Abbildung 55).

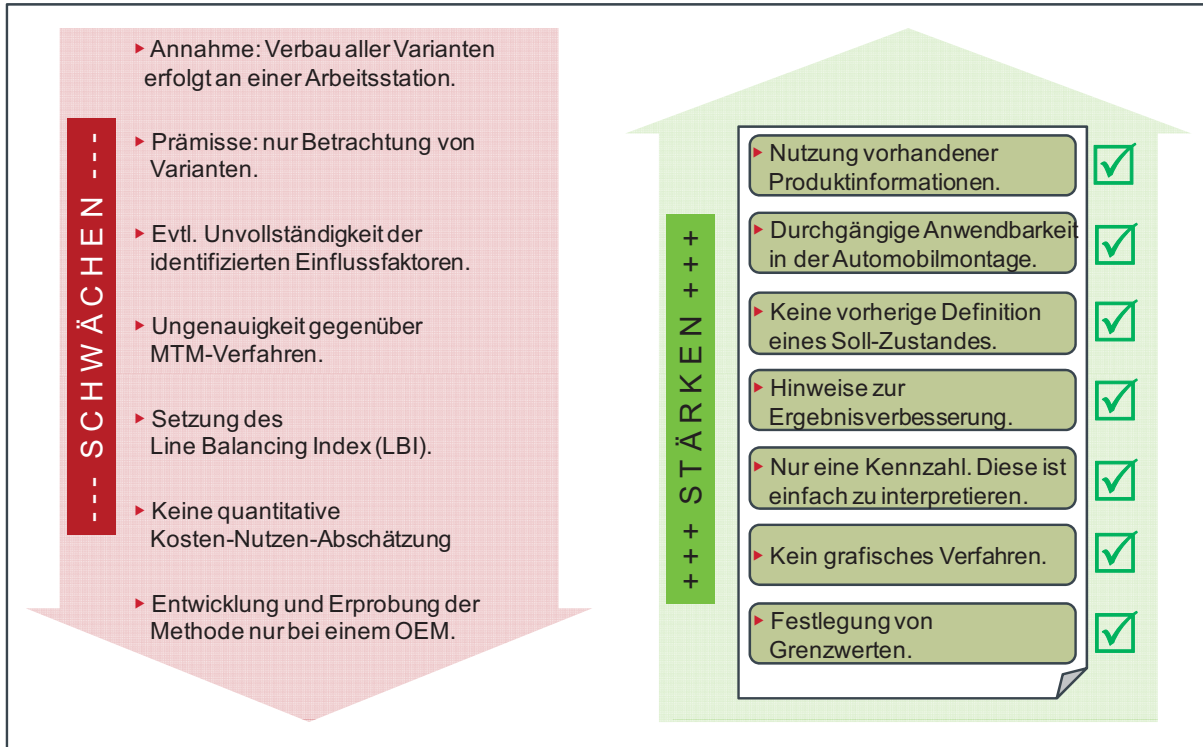


Abbildung 55: Stärken-Schwächen-Profil
(Quelle: eigene Darstellung)

Trotz der bereits im Kapitel 5.3 nachgewiesenen guten Anwendbarkeit besitzt die neuentwickelte Methode einige Schwächen und Unzulänglichkeiten, die im folgenden Abschnitt thematisiert werden sollen:

- Die „Methode proZederA“ ist zunächst dadurch eingeschränkt, dass ein Verbau der betrachteten Varianten an der gleichen Arbeitsstation im Montageband unterstellt wird. Diese Annahme entspricht in weiten Fällen auch der Realität, allerdings kann es Restriktionen geben, die den Verbau der Varianten an unterschiedlichen Arbeitsstationen im Montageband notwendig machen. Zwar ist eine Berechnung der Kennzahl auch dann möglich, wenn die Varianten an unterschiedlichen Arbeitsstationen montiert werden, allerdings eignen sich die festgelegten Grenzwerte dann nicht mehr zur Interpretation (deren Grundlage ist eben die Betrachtung einer einzelnen Station, an der alle Varianten montiert werden). Im Hinblick auf die Grenzwerte ist weiter festzustellen, dass diese aus realistischen Annahmen abgeleitet worden sind. Es

sind aber auch andere Prämissen denkbar, die dann zu veränderten Grenzwerten führen würden.

- Eine weitere Beschränkung der Methode ist dadurch entstanden, dass zur Entwicklung des Bewertungsbogens nur unterschiedliche Varianten eines Bauteils betrachtet worden sind. Entsprechend sind die identifizierten Faktoren wahrscheinlich nicht ausreichend, um auch unterschiedliche Bauteile, die zusammen an einer Arbeitsstation montiert werden, im Hinblick auf die Zeitspreizung zu bewerten.
- Ferner muss darauf hingewiesen werden, dass der Bewertungsbogen nur Einflussfaktoren enthält, die auch Rahmen der Datensammlung identifiziert werden konnten. Eine Garantie auf Vollständigkeit besteht deshalb nicht.
- Die Größenordnungen für die Punktwerte der Einflussfaktoren auf dem Bewertungsbogen wurden sorgfältig abgeleitet, unterliegen aber gegenüber dem MTM-Verfahren deutlichen Abweichungen. Diese Ungenauigkeiten sind die Folge von Vereinfachungen, die aufgrund der Forderung nach einer einfach und schnell anzuwendenden Methode gemacht worden sind.
- Die Größenordnung des Line Balancing Index (LBI) wurde im Rahmen einer Expertenrunde definiert und anhand einiger Beispiele validiert. Es ist aber nicht auszuschließen, dass eine Setzung anderer Zahlenwerte zweckmäßig sein kann.
- Eine quantitative Gegenüberstellung von Kosten zu Nutzen gelingt nicht. Zwar ließen sich die Kosten für die Anwendung der Methode zumindest vom Grundsatz her abschätzen, in dem man den notwendigen Zeitbedarf zur Anwendung der Methode mit einem entsprechenden Kostensatz multiplizierte. Eine seriöse Abschätzung des Nutzens ist indes nicht möglich. Grund dafür ist, dass sich die durch die Methodenanwendung ergebenden Gestaltungsverbesserungen in der Regel auf viele Unternehmensbereiche (nicht nur auf die Montage) erstrecken und so kaum noch nachverfolgbar sind. So verbessert z. B. eine Reduzierung der Anzahl der Produktvarianten nicht nur die Situation in der Montage, sondern auch der Einkauf und die Logistik profitieren davon. Auch wenn man den Ansatz wählte, nur den Einfluss auf die Montage quantifizieren zu wollen, gelingt das kaum. So lassen sich Faktoren wie „geringere Fehlerhäufigkeit durch gleichmäßige Prozesse“ oder „größere Gestaltungsfreiheiten bei der Sequenzbildung“ kaum monetär ausdrücken. Allerdings betrifft dieses Nachweisproblem von Kosten zu Nutzen nicht nur die „Methode proZederA“, sondern ist bei mehreren Methoden zur montagegerechten Produktgestaltung zu finden. So berichten zum Beispiel Spies (1997, S. 142) und Caesar (1991, S. 134) von ähnlichen Problemen.

- Abschließend muss ebenfalls als Schwäche bewertet werden, dass sowohl die Entwicklung der Methode als auch deren Validierung ausschließlich anhand von Beispielen der AUDI AG erfolgt ist. Ein Einsatz der Methode bei anderen OEMs, wie z. B. bei der BMW AG oder bei der Daimler AG, hat nicht stattgefunden. Dementsprechend bleibt offen, ob das dargestellte Vorgehen auch dort einsetzbar ist. Allerdings liegt die Vermutung nahe, dass die Anwendung der Methode auch bei anderen Automobilproduzenten gelingen sollte, da sich Prozesse und Produkte nicht grundsätzlich unterscheiden.

Die Stärken der Methode zeigen sich in der Umsetzung der im Kapitel 4.1 formulierten Anforderungen aus dem Lastenheft (vgl. Abbildung 35). Somit kann zunächst festgehalten werden, dass die Methode sehr zielgerichtet entwickelt worden ist. Im Detail lassen sich folgende Vorteile festhalten, die auch am eben vorgestellte Anwendungsbeispiel (vgl. Kapitel 5.3) beobachtet werden können:

- Der Aufwand zur Anwendung ist sehr überschaubar, da nur wenige Produktinformationen erforderlich sind.
- Die im Rahmen dieser Dissertation betrachteten Praxisbeispiele zeigen, dass die Methode auf ein breites Spektrum von Montagebauteilen angewendet werden kann und nicht nur auf die Betrachtung einiger weniger Spezialfälle beschränkt bleibt.
- Die Bewertung der vorliegenden Produktgestaltung kann sofort beginnen. Eine vorherige Definition eines Sollzustandes ist nicht erforderlich. Aufgrund des simplen Algorithmus können bereits nach kurzer Anlernphase auch von unerfahrenen Benutzern Kennzahlenberechnungen vorgenommen werden.
- Falls es notwendig sein sollte, das Variantendesign zu überarbeiten, enthält die „Methode proZederA“ Hinweise zur Gestaltungsverbesserung. Die „Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung“ unterstützen den Anwender bei evtl. notwendigen Optimierungsmaßnahmen.
- Nach erfolgter Überarbeitung ist durch die erneute Berechnung der Kennzahl die Möglichkeit gegeben, die Wirksamkeit der Veränderungen anhand der veränderten Kennzahl zu beurteilen.
- Das Verfahren hat keinen grafischen Ansatz, sondern liefert als Ergebnis eine einzige Kennzahl. Diese ist einfach zu interpretieren (Absolutzahl). Außerdem wurde darauf geachtet, dass der Rechenweg stets gleich abläuft. Es gibt keine, von den Eingangswerten abhängigen, unterschiedlichen Rechenwege.
- Damit nicht nur unterschiedliche Varianten relativ zueinander verglichen werden können, wurden Grenzwerte festgelegt, die eine generelle Unterscheidung zwischen gutem und schlechtem Variantendesign zulassen und so die



Frage beantworten, ab wann eine Überarbeitung der Gestaltung notwendig ist.

- Durch die Entwicklung eines Referenzprozesses (erfolgt in Kapitel 6) kann die Methode in den bestehenden Produktentstehungsprozess integriert werden.

Nachdem die Validierung der „Methode proZederA“ gezeigt hat, dass diese grundsätzlich richtig ist und auch eine Anwendung in der Praxis gut gelingt, geht es im Kapitel 6 um die Frage, wie und wo die Methode in den Produktentwicklungsprozess integriert werden kann, um maximale Wirkung entfalten zu können.

Kapitel 5: Zusammenfassung

Die entwickelte „Methode proZederA“ wurde im Hinblick auf die Erfüllung der gestellten Anforderungen, die logische Richtigkeit und die industrielle Anwendbarkeit untersucht. Dazu wurden alle Bestandteile der neuen Methode im Detail analysiert. Dabei ergab sich zunächst, dass die mittels Bewertungsbogen abgeschätzte produktbasierte Montagezeit im Vergleich zum realen Ergebnis im Mittel nur um 0,05 Min. abweicht. Ferner konnte nachgewiesen werden, dass die Formel zur Berechnung der Kennzahl anforderungskonform bei Veränderung der Eingangsparameter reagiert. Dazu wurden für jede der drei unabhängigen Eingangsgrößen „Variantenanzahl“, „Verbaurate“ und „produktbasierte Montagezeitdifferenz“ eigene Betrachtungen im Sinne einer einfachen Kurvendiskussion angestellt. Die industrielle Nutzbarkeit der Methode konnte durch die Anwendung auf das reale Bauteil „Klimabedienteil Audi A3“ bei der AUDI AG dargestellt werden. Im Rahmen eines Stärken-Schwächen-Vergleichs konnte ermittelt werden, dass die Methode alle gestellten Anforderungen erfüllt. Allerdings besitzt diese dennoch einige, wenige Schwächen, aber auch große Stärken, welche ausführlich diskutiert wurden.

6 Verankerung der Methode im Produktentstehungsprozess

Damit die „Methode proZederA“ ihren Nutzen in der betrieblichen Anwendung auch vollständig entfalten kann, ist es wichtig, diese systematisch und durchgängig anzuwenden. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen die Rahmenbedingungen für den Methodeneinsatz geklärt werden und es muss eine durchdachte Einführungsstrategie vorhanden sein (Pastowsky, Schmitt, 1997, S. 126). Wie dieses gelingen kann, ist Inhalt dieses Kapitels.

Zunächst muss sichergestellt werden, dass die Methode im richtigen Moment im Produktentstehungs- bzw. Entwicklungsprozess zur Anwendung kommt. Damit diese Forderung erfüllt werden kann, sollen deshalb zunächst diese Prozesse genauer untersucht werden und die Prozesspunkte festgelegt werden, an denen die neue Methode verankert werden kann. Daraus wird ein Referenzprozess zur Methodenanwendung abgeleitet. Ferner enthält das Kapitel eine Strategie zur Einführung der „Methode proZederA“.

6.1 Der Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess ist zunächst ein Teilprozess des Produktlebenszyklus'. Dieser übergeordnete Prozess beschreibt die verschiedenen Lebensphasen eines Produktes, beginnend mit der Kreation und endend mit der Verschrottung oder dem Recycling. Dabei unterteilt sich der Lebenszyklus in die Produktentstehung, die Produktherstellung, den Produktbetrieb und die Produktentsorgung. Der Produktentstehungsprozess beinhaltet als Teil des Produktlebenszyklus' alle Tätigkeiten von der Generierung einer Produktidee bis zur Herstellung eines realen und verkaufbaren Produktes (vgl. Abbildung 56). Er beginnt also mit der Suche nach der Idee, was auf dem Markt ein gut verkaufbares Produkt wäre und endet mit der Übergabe einer funktionierenden Produktionsanlage an den Betreiber (Ehrlenspiel, 2003, S. 158).

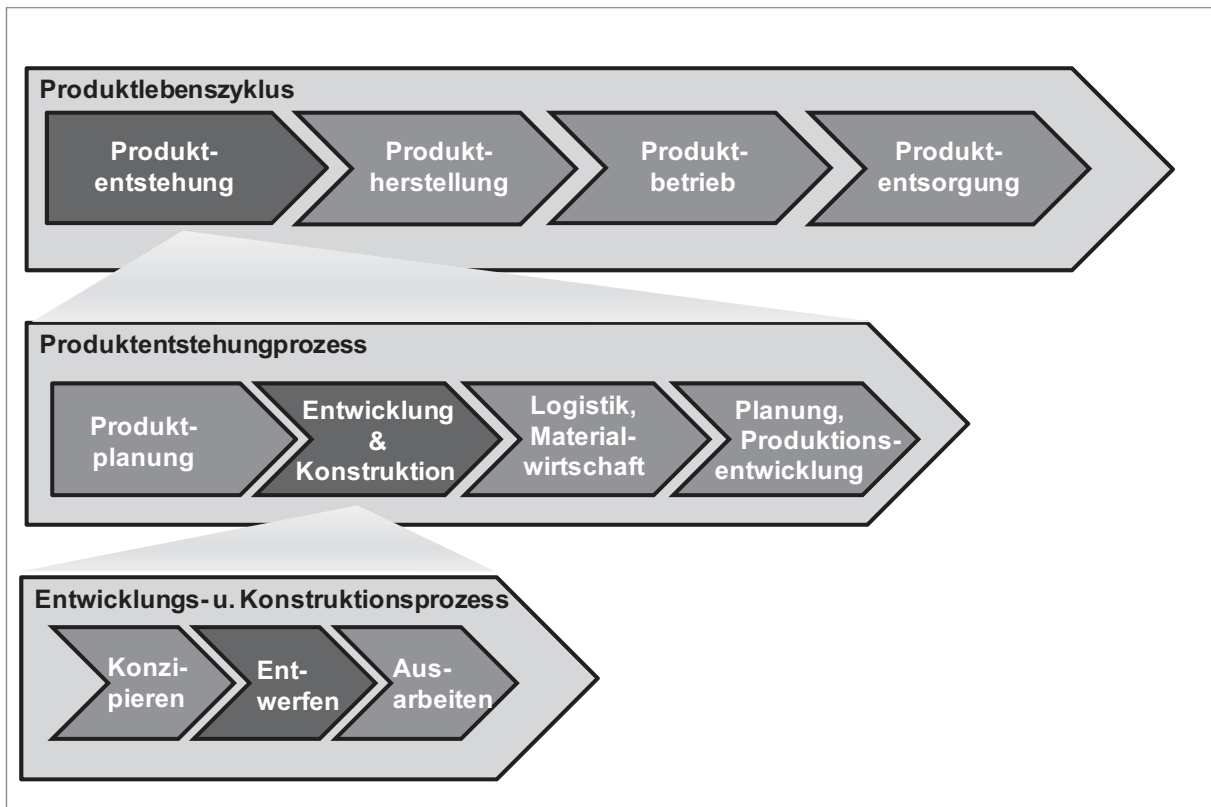


Abbildung 56: Der Produktentstehungsprozess
(Quelle: angelehnt an Ehrlenspiel, 2003)

Als erste Tätigkeit im Produktentstehungsprozess wird die Produktplanung vorgenommen. In dieser frühen Phase geht es um die Suche nach Produktideen, also um die Frage, wie ein Produkt aussehen könnte, das sich später wettbewerbsfähig am Markt platzieren lässt. Dazu werden die wesentlichen produktspezifischen Anforderungen fixiert. Es handelt sich um eine ganze Reihe technischer Daten. Beispiele für diese Vorgaben im Automobilbau sind u. a. der Benzinverbrauch, das Fahrzeuggesamtgewicht, die Qualität, die Ergonomie oder die Höchstgeschwindigkeit. In zunehmenden Maße werden aber auch sog. „soft facts“ wie Fahrkomfort oder Außengestaltung erfasst. Diese Festlegungen werden dann in einem Pflichtenheft festgeschrieben und bilden damit die „Leitplanken“ des folgenden Entwicklungsprozesses (Gentner, 1994, S. 54-56). Neben den reinen Produktvorgaben werden in dieser Phase aber bereits auch Festlegungen zu wirtschaftlichen Belangen wie den Herstellungskosten oder dem angestrebten Deckungsbeitrag getroffen. Dann beginnt der Teilprozess „Entwicklung und Konstruktion“. Dieser Prozess umfasst die Phasen Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten. Da die Verankerung der neuen Methode sinnvoller Weise in diesen Phasen stattfinden sollte, wird auf diesen Prozess gesondert im Kapitel 6.1.1 eingegangen. Nachdem im Produktentstehungsprozess die Phasen Konzept, Entwurf und Ausarbeitung (vgl. Kapitel 6.1.1) durchlaufen sind, beginnt die Planung der Logistikstrukturen und der Produktionsanlagen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die hier dargestellte, streng sequentielle Gliederung eher

theoretischer Natur ist. Die Abläufe der Produktentwicklung und der Planung sind eng miteinander vernetzt und finden größtenteils parallel statt (vgl. Kapitel 6.1.2).

Damit das fertig entwickelte Produkt zu marktfähigen Preisen verkauft werden kann, ist es von großer Bedeutung den Prozess zur Produktherstellung genau zu planen und alle Abläufe exakt festzulegen. Dazu ist es u. a. notwendig, die Materialströme weg- und zeitoptimiert auszugestalten. Ferner müssen die Grundlagen geschaffen werden, um die Materialbewegungen steuern und überwachen zu können.

Aber auch die eigentliche Produktherstellung muss exakt geplant werden. Dieser sehr umfangreiche Prozess kann an dieser Stelle nur skizziert werden, da er unzählige Teilaufgaben umfasst. So beschäftigt sich die Planung mit der Konzeption und Inbetriebnahme der Fabrikstruktur und der Produktionsanlagen. Ferner werden die Einzelprozesse der Teilefertigung und Montage entworfen und zur Serienreife qualifiziert. Aber auch die Erstellung sämtlicher Produktionsunterlagen wie z. B. des Fertigungsplans oder der Arbeitsanweisungen finden innerhalb der Planung statt.

6.1.1 Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren

Der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ist Teil des schon beschriebenen Produktentstehungsprozesses. Eine allgemeingültige Beschreibung des Entwickeln und Konstruierens findet sich in den VDI-Richtlinien 2221 und 2210, die für die folgenden Beschreibungen herangezogen worden sind.

Der Vorgang des Entwickeln und Konstruierens beginnt nachdem in der Produktplanung die wesentlichen Randbedingungen des neuen Produktes festgelegt worden sind und endet mit einem detaillierten Gesamtentwurf in Form von Stücklisten, Zeichnungen und Prototypen.

Dabei verläuft dieser Prozess in den schon aus dem Produktentstehungsprozess bekannten drei Phasen Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

Das Konzipieren beschäftigt sich mit der Funktionsfindung und der Prinzipienerarbeitung. Daran schließt sich das Gestalten oder Entwerfen an. Abschließend erfolgt die Ausarbeitung durch die Detaillierung des Entwurfes. Diese drei Phasen werden weiter in sieben Einzelschritte unterteilt (vgl. Abbildung 57).

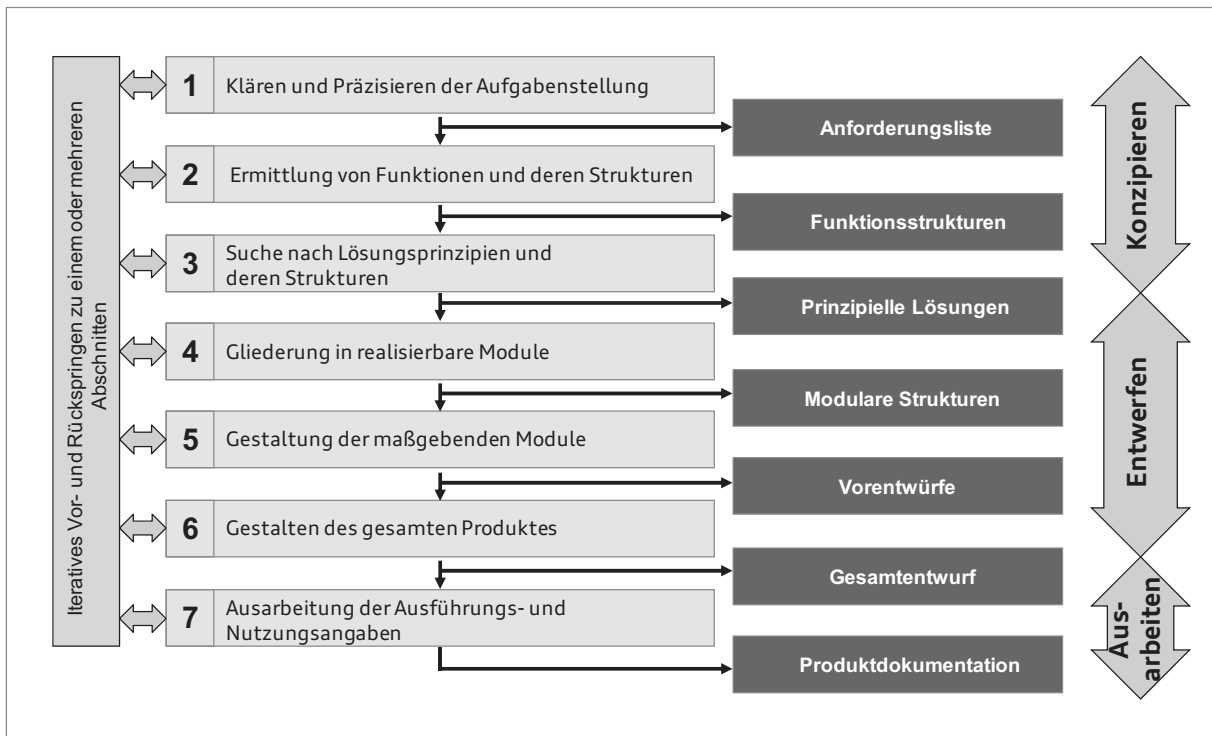


Abbildung 57: Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren
(Quelle: VDI-Richtlinie 2221)

Der abgebildete Prozess beginnt mit der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung. In einer Anforderungsliste werden dazu alle Merkmale festgehalten, die das Produkt genau beschreiben und die von diesem später zu erfüllen sind. Danach folgt die Erarbeitung der Funktionsstruktur. Dabei geht es um die Festlegung von Teilfunktionen und deren Kombination zu einer Gesamtfunktion. Liegen die Funktionen vor, wird nach prinzipiellen Lösungen gesucht, um die Funktionen zu verwirklichen. Dabei bedient man sich im ersten Schritt oft physikalischer oder chemischer Effekte, die geeignet sind, die gewünschte Funktion zu realisieren. Im Anschluss daran erfolgt der Grobentwurf des Produktes als modulare Struktur, der bereits reale Baugruppen und Schnittstellen erkennen lässt. Dieser Grobentwurf wird dann weiter ausgestaltet und führt zu den Vorentwürfen der maßgeblichen Produktmodule. Abschließend erfolgt die Ausarbeitung der Konstruktion zu einem Gesamtentwurf und die Erstellung der Produktdokumentation.

6.1.2 Simultaneous Engineering

Die Abläufe im Produktentstehungsprozess geschehen keineswegs so sequentiell, wie diese bisher beschrieben worden sind (vgl. Kapitel 6.1). Vielmehr wird eine sog. integrierte Produkterstellung angestrebt (Ehrlenspiel, 2003, S. 188). Das bedeutet, dass im Gegensatz zur traditionellen, stark arbeitsteiligen Entwicklung, alle beteiligten Mitarbeiter und Abteilungen eng und möglichst unmittelbar zusammenarbeiten.

Ein zweiter wesentlicher Aspekt der integrierten Produktentwicklung ist die Straffung des Entwicklungszeitplanes durch Parallelisierung der Aufgabenbearbeitung.

Um die Idee der integrierte Produktentwicklung in die Praxis umsetzen zu können, haben sich im Wesentlichen die Philosophien oder Methodensysteme des Simultaneous Engineering, bzw. im englischen Sprachgebrauch: Concurrent Engineering, sowie das Total Quality Management etabliert (Ehrlenspiel, 2003, S. 199). Da die Standardorganisationsform im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie das Simultaneous Engineering ist (Klug, 2010, S. 71), wird dieses im Folgenden genauer beschrieben.

Nach Ehrlenspiel (2003, S. 217) versteht man unter Simultaneous Engineering „die zielgerichtete, interdisziplinäre Zusammen- und Parallelarbeit von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung mit Hilfe eines straffen Projektmanagements, wobei der gesamte Produktlebenslauf betrachtet wird“. So lassen sich nach Stanke und Berndes (1997, S. 15-28, zit. nach Klug, 2010, S. 71-72) Parallelisierung, Standardisierung und Integration als Strategiegrundsätze des Simultaneous Engineering erkennen. Durch **Parallelisierung** der einzelnen Teilprozesse des Produktentstehungsprozesses soll die Gesamtdurchlaufzeit reduziert und unnötige Zeitpuffer vermieden werden. Es ist das Bestreben durch geschickte Kombination der einzelnen Aufgabenpakete die Zeit bis zur Marktreife des Produktes möglichst zu minimieren. Allerdings geht mit der Parallelisierung der Teilprozesse eine deutliche Steigerung der Entscheidungskomplexität einher, die durch geeignete organisatorische Konzepte aufgefangen werden muss.

Die **Standardisierung** richtet sich in diesem Zusammenhang im Wesentlichen auf den Austausch von Informationen. Ziel ist es, eine personen- und ergebnisunabhängige Beschreibung aller notwendigen Informationen im Produktentstehungsprozess zu erreichen. Der Strategiegrundsatz **Integration** beschreibt die Vernetzung aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Fraktionen. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Partner und der Komplexität des Produktes stellt dieses in der Automobilindustrie eine besondere Herausforderung dar. Man begegnet dieser Herausforderung durch das Arbeiten in Teamstrukturen. So werden zu jedem Teilsystem des Fahrzeuges interdisziplinäre Simultaneous-Engineering-Teams (SE-Teams) gebildet, die die Entwicklung vorantreiben. Typische Beispiele für die Aufgabenbereiche derartiger SE-Teams sind die Teilsysteme Fahrwerk, Karosserie oder Fahrzeuginnenausstattung (Klug, 2010, S. 72).

Damit die Vernetzung innerhalb der SE-Teams weniger stark vom Engagement des einzelnen Teammitgliedes abhängt, kann diese streckenweise institutionalisiert werden. So begleiten Automobilhersteller den Produktentstehungsprozess in der Regel mit einer Workshopserie, die von der Konzeptphase bis zum Anlauf der Produktion

des neuen Fahrzeuges reicht. Die zu bestimmten Phasen anstehenden Entscheidungen werden dort gemeinschaftlich erarbeitet und getroffen. Diese sog. 3P-Workshops (Production + Preparation + Planning) leisten aber auch einen wesentlichen Beitrag bei der Umsetzung des Frontloadinggedankens (Faust, 2009, S. 368), da hier Mitarbeiter zusammentreffen, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus für das Produkt verantwortlich sind. Unter **Frontloading** versteht man dabei das Bestreben, den Aufwand für Problemerkennung und Optimierung von einem Zeitpunkt nach Produktionsstart auf vor den Produktionsstart zu verlegen. Man identifiziert und löst Probleme also bereits im Rahmen des Produktentstehungsprozesses und wartet nicht, bis diese sich in der laufenden Serie auswirken. Naturgemäß liegen Kosten und Möglichkeiten dazu in der frühen Phase in einem deutlich besseren Verhältnis als später, nach erfolgtem Produktionsstart (vgl. Abbildung 20).

Eine wesentliche Informationsquelle bildet beim Frontloading das Wissen um Problemschwerpunkte in der Produktion des aktuell hergestellten Produktes. Es gilt, diese Informationen über geeignete Wege in die SE-Teams zu leiten. Als guter Ansatz haben sich hier die Design-for-X-Methoden (z. B. Design-for-Assembly) erwiesen, welche die Anforderungen der Fertigung und Montage zusammenfassen und konkretisieren. Außerdem erfüllen einige dieser Methoden die Forderung, dass die von der Produktion eingebrachten Verbesserungsvorschläge verbindlich bewertbar sind (Stein, 2009, S. 367).

6.2 Referenzprozess zur Methodenanwendung

Damit die neu entwickelte Methode zur produktbasierten Reduzierung der Zeitspreizung dauerhaft Eingang in die Praxis findet, muss diese sich in das beschriebene SE-Gerüst einfügen. Es gilt deshalb zunächst zu prüfen, ob die Methode für die SE-Arbeit geeignet ist. Dazu werden die Methodeigenschaften an den Strategiegrundsätzen des Simultaneous Engineering nach Stanke und Berndes (1997, S. 15-28, zit. nach Klug, 2010, S. 71-72) gespiegelt. Im weiteren Verlauf soll dargestellt werden, an welcher Stelle genau innerhalb des Produktentstehungsprozesses der Einsatz der Methode am besten gelingen kann.

Der erste Aspekt, bei dem die „Methode proZederA“ einen Beitrag zum SE-Gedanken liefern kann, ist das Bestreben, einen standardisierten Austausch von Informationen sicherzustellen, der personen- und ereignisunabhängig ist. Dieses ist deshalb der Fall, da über die Kennzahl objektiv und standardisiert Informationen über die Zeitspreizung aufbereitet werden können, die dann ausgetauscht und verarbeitet werden können. Auf dem Gebiet des Frontloadings leistet die Methode ebenfalls einen wichtigen Beitrag. Dank der entwickelten Kennzahl ist es möglich, die Forderungen

gen der Produktion im Hinblick auf die Zeitspreizung genau zu bewerten und diese in den SE-Prozess einfließen zu lassen. Ferner können innerhalb der 3P-Workshops mit den beteiligten Mitarbeitern aus allen Fraktionen mögliche Lösungsalternativen einfach bewertet und verglichen werden. Ebenfalls können die Auswirkungen der gemeinsam gefundenen Variantenoptimierung auf die Montage schnell abgeschätzt werden.

Wie die Überlegungen zeigen, ist die neue Methode gut geeignet, um innerhalb der SE-Strukturen bei der Produktentwicklung eingesetzt zu werden. Die nächste Frage ist, an welchen Stellen genau in diesem Prozess die Methode zum Einsatz kommen sollte.

Um mit dem Einsatz der neuentwickelten Methode eine optimale Verbesserung im Hinblick auf die Zeitspreizung erreichen zu können, wurde der im Folgenden beschriebene Referenzprozess entwickelt (vgl. Abbildung 58).

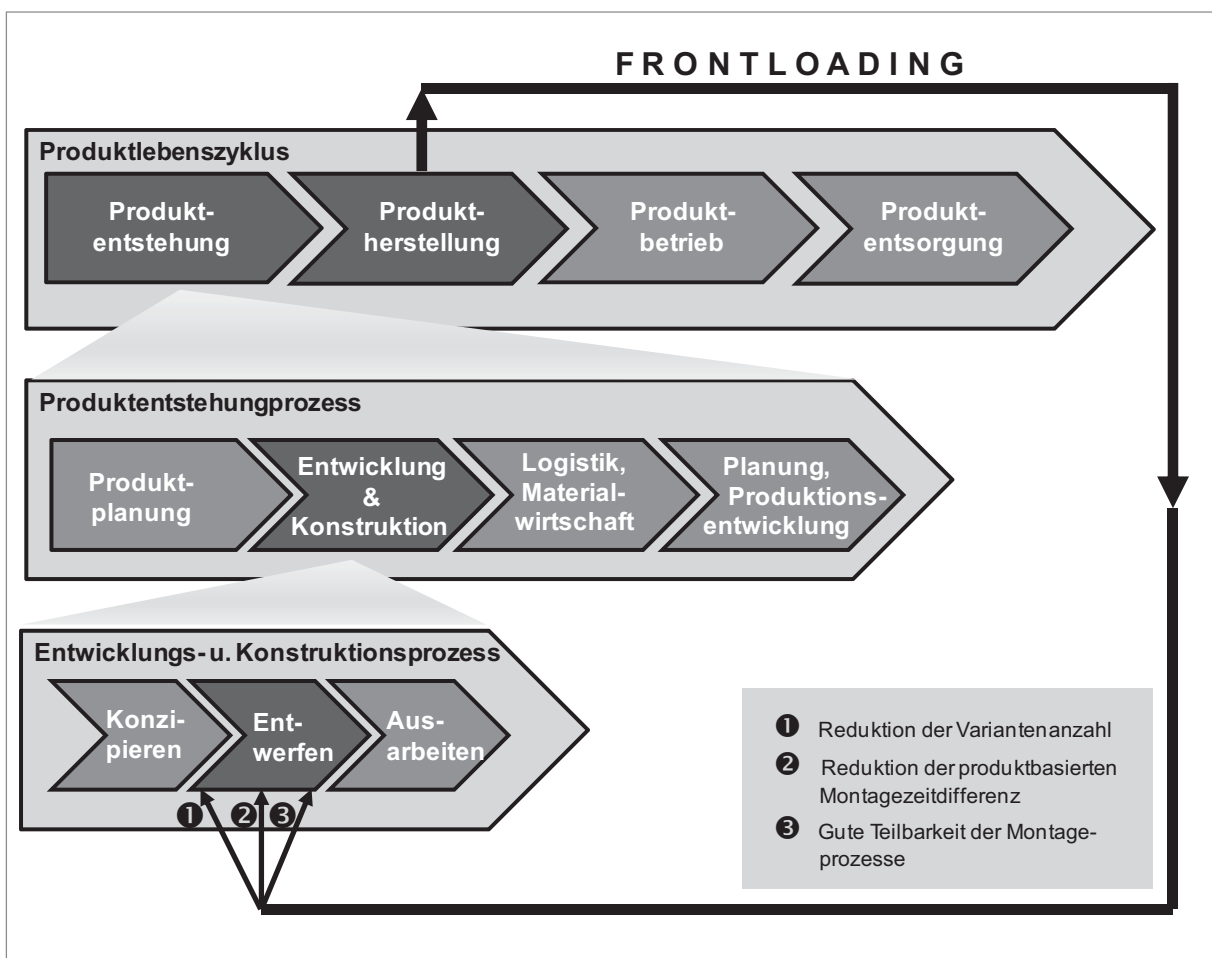


Abbildung 58: Referenzprozess zum Einsatz der neuen Methode
(Quelle: eigene Darstellung)

Der erste Einsatz der Methode sollte ca. drei bis vier Jahre vor Produktionsbeginn des Nachfolgermodells stattfinden. Zu diesem Zeitpunkt gilt es, die aus der täglichen Produktion des aktuellen Fahrzeuges bekannten Schwachstellen im Hinblick auf die Zeitspreizung zu untersuchen. Mittels der „Methode proZederA“ ist es möglich die Varianten objektiv zu bewerten und zu beurteilen, ob eine konstruktive Verbesserung für das Nachfolgermodell notwendig ist. Die objektiv als suboptimal klassifizierten Bauteile werden dann im Rahmen des Frontloadings in den Entwicklungsprozess des Nachfolgermodells zurückgespiegelt.

Wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben wurde, gibt es mehrere „Stellhebel“, um eine zeitspreizungsoptimale Variantengestaltung zu erreichen. Diese unterschiedlichen Einflussmöglichkeiten führen dazu, dass es aus dem Frontloading unterschiedliche „An-dockstellen“ im Entwicklungsprozess des Nachfolgemodells gibt. Zunächst gilt es, bei den identifizierten Umfängen die Anzahl der Varianten zu reduzieren (vgl. Priorität der Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung in Kapitel 4.2.4). Dieses Vorhaben muss relativ früh in den Entwicklungsprozess eingebracht werden, da die Anzahl der Varianten bereits bald nach Beginn der Entwurfsarbeiten festgelegt wird. Deshalb sieht der dargestellte Referenzprozess (vgl. Abbildung 58) vor, dass diese Information bereits zu Beginn der Entwurfsarbeiten eingebracht wird, wenn aus Funktionen und Strukturen die Module abgeleitet und beschrieben werden. Können Variantengestaltungen durch die Maßnahmen „Reduzierung der produktbasierten Montagezeitdifferenz“ oder „Gestaltung von sinnvoll teilbaren Montageprozessen“ (vgl. Kapitel 4.2.4) verbessert werden, so werden diese Lösungsstrategien zu einem etwas späteren Zeitpunkt in den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess eingebracht, wenn im Rahmen der Phase „Gestaltung maßgebender Module“ (vgl. Abbildung 57) das Produkt ausgestaltet wird und die Vorentwürfe entstehen. Ab dieser Phase bis zum Ende des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses ist die „Methode proZederA“ fortlaufend einzusetzen, um getroffene Gestaltungsentscheidungen im Hinblick auf die Zeitspreizung zu überprüfen und evtl. korrigieren zu können. Ebenfalls ergibt sich die Möglichkeit, die mit fortschreitender Entwicklungsarbeit steigende Detaillierung des Produktes zu nutzen, um die bereits gemachte Bewertung zu aktualisieren und deren Genauigkeit dadurch zu erhöhen.

Im folgenden Abschnitt steht im Mittelpunkt der Betrachtung, wie die neue Methode zielgerichtet eingeführt und nachhaltig in der bestehenden Organisation verankert werden kann.

6.3 Entwicklung einer Strategie zur Einführung der „Methode proZederA“

Die „Methode proZederA“ kann nur dann effizient eingesetzt werden, wenn diese an der richtigen Stelle im Produktentwicklungsprozess zum Einsatz kommt und von den richtigen Mitarbeitern angewendet wird. Damit aber eine derartige Situation überhaupt entstehen kann, muss die neue Methode zielgerichtet in gewachsene Strukturen und Prozesse eingegliedert und langfristig verankert werden. Dazu wurde eine Einführungsstrategie entwickelt, die sich auf eine Reihe von Erkenntnissen aus den Wissenschaftsdisziplinen des Changemanagements sowie des Knowledge-managements stützt.

Das **Changemanagement** befasst sich damit, wie Veränderungen und Wandel in eine Organisation getragen werden können, damit diese von den Menschen positiv aufgenommen werden und deren Durchsetzung langfristig erfolgreich verläuft (Steinle, Eggers, Ahlers, 2008, S. 9, 10). Hingegen beschäftigt sich das **Wissens- oder Knowledgemanagement** damit, welches Wissen eine Organisation zur erfolgreichen Ausführung ihrer Funktion benötigt, wie dieses Wissen erreicht, angewendet und gespeichert werden kann (Probst, Raub, Romhardt, 2003, S. 28, 29).

Abbildung 59 zeigt die entwickelte Einführungsstrategie für die „Methode proZederA“, die im Weiteren ausführlich dargestellt wird. Dabei wurden die Rahmenbedingungen eines großindustriellen Automobilherstellers (hier: der AUDI AG) zugrunde gelegt. Die Einführungsstrategie sieht einen Zeitraum von ca. einem Jahr vor, bis die „Methode proZederA“ vollständig eingeführt worden ist.

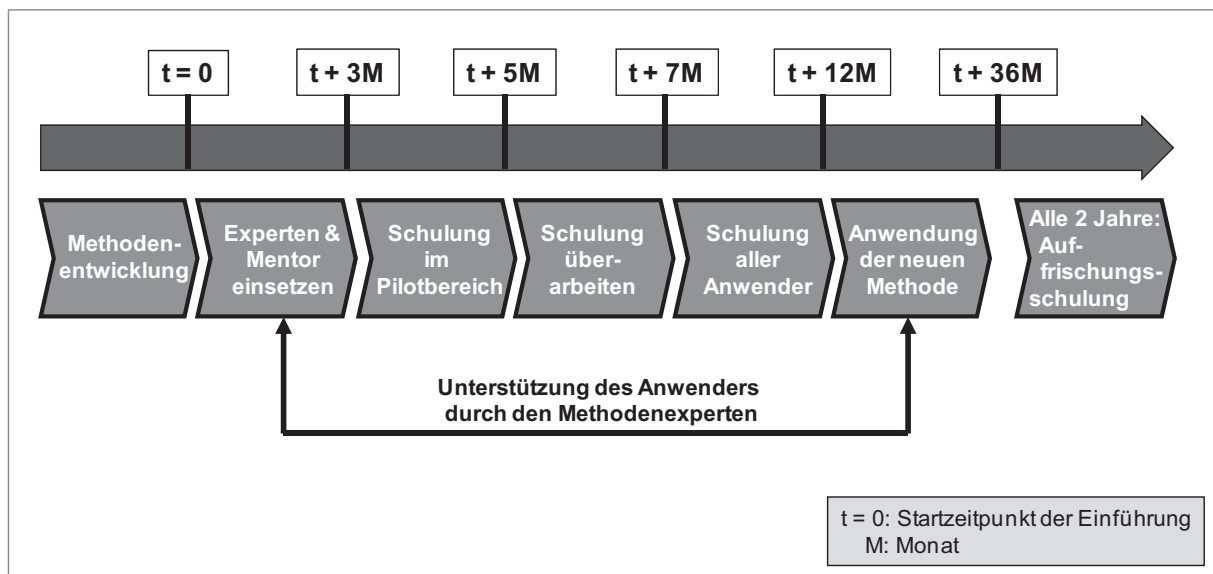


Abbildung 59: Strategie zur Einführung der „Methode proZederA“
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Einführung beginnt nach Abschluss und Validierung der Methodenentwicklung (vgl. Kapitel 4 und 5). Als erster Schritt der Einführungsstrategie ist ein Methodenexperte sowie ein Mentor einzusetzen. Der Methodenexperte, eine Person, die in der Regel bereits an der Methodenentwicklung maßgeblich beteiligt war, leitet den Einführungsvorgang fachlich. Das bedeutet, dass er bei der Auswahl des Pilotbereichs berät, die Schulungsunterlagen erstellt und bei Bedarf überarbeitet sowie die Schulungen durchführt. Außerdem steht er den Anwendern der Methode später als beratende Instanz zur Verfügung. Der Mentor ist ein mit ausreichender Macht ausgestatteter Manager. Dieser kann durch sein Eintreten als leitender Mitarbeiter die Bedeutung der neuen Methode unterstreichen und so die abwartende Zurückhaltung oder offene Ablehnung, die einer Neuerung von den Mitarbeitern in der Regel entgegengebracht wird, durchbrechen. Außerdem kann dieser bei Bedarf auch evtl. auftretende Widerstände bei der Einführung überbrücken (Stetter, 2000, S. 71).

Sind die genannten Positionen besetzt, kann nach ca. drei Monaten eine erste Schulung in einem Pilotbereich erfolgen. Dabei bietet die Nutzung eines Pilotbereiches im Gegensatz zur sog. All-at-Once-Strategie (Einführung der neuen Methode zum gleichen Zeitpunkt in allen Bereichen) den Vorteil, dass die Methodenanwendung in realen Situationen studiert werden kann und es so möglich ist, die Bedürfnisse der Anwender zu erkennen. Ferner können aus dem Pilotbereich Schulungsbeispiele gewonnen werden, die später bei der Einführung der Methode in der gesamten Organisation genutzt werden können. Schließlich bietet der Pilotbereich eine gute Orientierungshilfe, um den Zeitplan zur Methodeneinführung in der Gesamtorganisation realistisch gestalten zu können. Zur Auswahl eines geeigneten Pilotbereiches haben Usher und Steinmetz (zit. nach Stetter, 2000, S. 124) folgende Regeln aufgestellt:

- Der Pilotbereich sollte in seiner Art den von der Methodeneinführung betroffenen Gesamtbereich des Unternehmens widerspiegeln.
- Der Pilotbereich sollte eine Reihe guter Anwendungsbeispiele zur Verfügung stellen können.
- Der Pilotbereich sollte von den Ressourcen her in der Lage sein, den Methodenversuch auszuführen.
- Der Pilotbereich sollte von allen Beteiligten, inkl. des Managements, als Test- und Erprobungsumgebung respektiert werden.

Die Schulung für den Pilotbereich ist so zu gestalten, dass dem späteren Anwender das Ziel der Methode sowie deren Aufbau und Funktion klar wird. Ferner ist es wichtig, dass die Mitarbeiter die logischen Zusammenhänge der Methode verstehen, die zu einem bestimmten Ergebnis führen. Außerdem muss erklärt werden, nach welchen Regeln die Methode anzuwenden ist, also welche Prozeduren eingehalten wer-

den müssen. Bei der Erstellung der Schulungsunterlagen ist nach Probst, Raub und Romhardt (2003, S. 181-183) auch besonderes Gewicht auf die grafische Gestaltung zu legen, da es für den Schulungserfolg einen großen Unterschied macht, wie die Informationen dargestellt werden. Abbildung 60 zeigt dieses am Beispiel eines Textes von der Länge einer DIN-A4-Seite. Während der Text auf der linken Seite in einem Stück alle Information aneinanderreicht, ist die selbe Information auf der rechten Seite optisch aufbereitet worden. Durch die Visualisierung, Zusammenfassung und Gliederung der einzelnen Informationen gelingt es dem Gehirn wesentlich einfacher, den Text zu verstehen. Probst et al. (2003, S. 182) nennen das ein „hirngerechtes Dokument“.

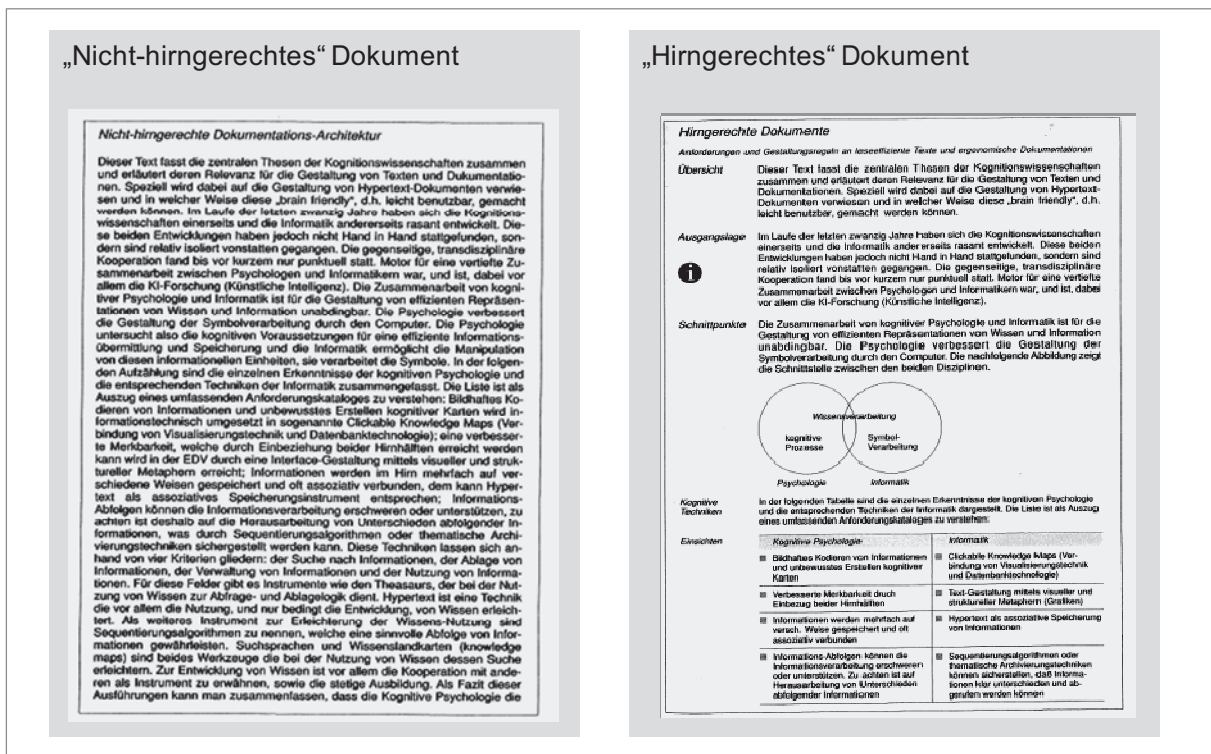


Abbildung 60: „Hirngerechte Dokumente“ (Quelle: Probst et al., 2003)

Ist die neue Methode theoretisch erklärt worden, geht es darum, das neue Wissen anzuwenden, also zu trainieren. Es hat sich gezeigt, dass das Training besonders effektiv ist, wenn die benutzten Beispiele nicht abstrakter Natur sind, sondern direkt aus dem Arbeitsbereich der Anwender stammen. Auch sollten die Schulungsbeispiele so ausgewählt werden, dass bei deren Bearbeitung ein tieferes Verständnis der Methode entsteht, indem Ausgangssituation und Ergebnis in einem nachvollziehbaren Verhältnis zueinander stehen (Stetter, 2000, S. 117-121).

Nachdem die Schulungen im Pilotbereich abgeschlossen sind (ca. fünf Monate nach Beginn der Einführung), schließt sich eine Phase an, in der die gemachten Erkennt-

nisse dokumentiert und ausgewertet werden. Ziel ist es, aus den in den Pilotschulungen gemachten Erfahrungen Optimierungen abzuleiten („Lessons learned“) und das Schulungsprogramm für den flächendeckenden Einsatz vorzubereiten. Im Rahmen dieser Phase kann zum Beispiel die Vorbereitung zusätzlicher Praxisbeispiele fallen oder das Einfügen von Rechenbeispiele in die Unterlagen, damit theoretisch beschriebene Berechnungen (vgl. z. B. Abbildung 43) einfach nachvollzogen werden können.

Mit den gesammelten Erfahrungen aus dem Pilotbereich und dem überarbeiteten Schulungskonzept kann dann die flächendeckende Unterweisung in der neuen Methode beginnen. Für die Einführung der „Methode proZederA“ bedeutet das, dass zunächst die zentralen Personen der SE-Teams (vgl. Kapitel 6.1.2) geschult werden müssen: Das sind in erster Linie die Entwickler und Konstrukteure sowie die Planungsingenieure von Montageumfängen. Aber auch die Vorgesetzten der genannten Mitarbeitergruppen müssen in der „Methode proZederA“ qualifiziert werden. Das ist deshalb wichtig, damit bei komplexen Entscheidungen für oder gegen eine bestimmte Variantengestaltung die Ergebnisse der „Methode proZederA“ von den Entscheidern (Vorgesetzten) richtig interpretiert werden können. Nach dieser Schulungsserie sollten die Mitarbeiter in der Lage sein, die neu eingeführte Methode anzuwenden. Für ein OEM von der Größe der AUDI AG schätzt der Autor, dass nach ca. einem Jahr dieses Ziel erreicht ist und die Methode flächendeckend angewendet werden kann. Allerdings wird es im betrieblichen Alltag immer wieder zu Situationen kommen, in denen eine Betreuung oder Beratung des Anwenders notwendig ist. Dieses kann zum Beispiel dann der Fall sein, wenn ein Mitarbeiter die Methode nach längerer Zeit erstmalig wieder anwenden muss. Oder es ergibt sich ein besonders kompliziertes Problem, auf das die Methode angewendet werden soll, und es ist deshalb der Rat eines Experten nötig. Schließlich kann es auch passieren, dass zwei Anwender bei dem gleichen Problem zu unterschiedlichen Ergebnissen gekommen sind. Dann ist ein Methodenexperte von Nöten, der diesen Widerspruch auflösen kann (Stetter, 2000, S. 117-121).

Viele Studien haben belegt, dass die Nutzung des zur Verfügung gestellten Wissens in der Regel dadurch gesteuert wird, wie bequem dieses zu erlangen ist. Eine kurzes Telefonat oder ein „Gespräch über den Schreibtisch“ ziehen die meisten Mitarbeiter einer Datenbankanfrage oder eigenen Recherche in der Bibliothek vor (Probst, Raub, Romhardt, 2003, S. 178). Deshalb ist es für die Nachhaltigkeit einer neu eingeführten Methode ein zentraler Aspekt, dass es einen derartigen Ansprechpartner gibt, der Anwendern mit Expertenwissen weiterhelfen kann. Dieser Ansprechpartner, wie auch immer man ihn nennen will, ob „Wissensmanager“, „Methodenexperte“ oder „Supportspezialist“, muss zunächst eine sehr hohe Fachkompetenz besitzen, um vom

ratsuchenden Mitarbeiter ernst genommen zu werden. Ferner muss sich dieser Methodenkenner kurzfristig und unbürokratisch eines Problems annehmen können und auch zeitnah in einem Telefonat oder persönlichen Gespräch eine Rückmeldung geben können. Sind die Bearbeitungszeiträume zu lang und die bürokratischen Hürden zu hoch, um den Methodenkenner um Rat zu fragen, wird der einfache Methoden-anwender sich im Zweifel damit zufrieden geben, seine nicht 100%ig richtige Lösung zu akzeptieren.

Trotz der Möglichkeiten, die der „direkte Draht“ zwischen Anwender und Methoden-experte bietet, ist darauf zu achten, dass die in der „Methode proZederA“ geschulten Mitarbeiter regelmäßig ihr Wissen trainieren und auffrischen. Dazu sollten im Abstand von ca. zwei Jahren Auffrischungsschulungen stattfinden. Im Rahmen dieser Veranstaltungen können Neuerungen in der Methode erläutert werden und schwierige Anwendungsfälle diskutiert werden. Außerdem bietet diese Schulung ein Forum für ein Feedback zwischen Praxis und Theorie. Der Methodenexperte, der die Auffrischungsschulung leitet, bekommt von den Anwendern Rückmeldungen zu Schwachstellen und Ungenauigkeiten der Methode.

Im Kapitel 6 wurde gezeigt, wie der Produktentwicklungsprozess aufgebaut ist und wie dieser durch das Simultaneous-Engineering-Konzept in der Automobilindustrie organisatorisch umgesetzt wird. Anhand dieser Betrachtungen konnten die Ansatzstellen identifiziert werden um einen Referenzprozess zu beschreiben, der die „Methode proZederA“ dauerhaft und nachhaltig in der Produktentwicklung verankert. Außerdem wurde eine Einführungsstrategie entwickelt, die es erlaubt, die neue Methode binnen eines Jahres flächendeckend in der bestehenden Organisation zu verankern. Das folgende Kapitel 7 fasst alle gemachten Erkenntnisse abschließend zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Fragestellungen im Hinblick auf die Zeitspreizung.

Kapitel 6: Zusammenfassung

Damit die neuentwickelte „Methode proZederA“ wirksam bei der Produktentwicklung eingesetzt werden kann, wurde ein entsprechender Referenzprozess beschrieben. Dieser knüpft an den in der Regel bestehenden Produktentwicklungsprozess an, der in der Automobilindustrie durch das Simultaneous-Engineering-Konzept organisatorisch umgesetzt wird. Ferner wurde eine Einführungsstrategie entwickelt, um die neue Methode in den bestehenden Strukturen zu verankern. Diese besteht aus fünf Schritten und ermöglicht die Einführung der neuen Methode binnen eines Jahres. Bei der Gestaltung der Einführungsstrategie sind aktuelle Erkenntnisse des Change- und Knowledge-Management berücksichtigt worden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des letzten Kapitels werden zunächst alle wesentlichen Informationen noch einmal in kurzer Form dargestellt und die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Ferner schließt sich die Frage an, welche Themenkomplexe offen geblieben sind und nicht im Rahmen dieser Arbeit beleuchtet werden konnten. Dazu wird abschließend der weitere Forschungsbedarf skizziert und mögliche Ansatzpunkte beschrieben.

7.1 Zusammenfassung

Seit den Tagen Henry Fords werden Automobile auf Fließbändern produziert. Diese damalige Revolution in der Produktionsorganisation kam aber noch ohne die Betrachtung des Faktors Varianz aus: Alle Autos eines Herstellers waren gleich, hatten oft sogar die selbe Farbe.

Der moderne Automobilbau kommt hingegen nicht ohne Varianz aus: Kunden wollen individuelle Autos fahren und beim Export sind nationale Marktbesonderheiten und die einheimische Gesetzgebung zu beachten. Um diesen hohen Variantenreichtum produzieren zu können, sind heutige Montagelinien nach dem „One-Piece-Flow“-Prinzip organisiert. Das bedeutet, dass die verschiedenen herzustellenden Varianten nicht los-weise sondern scheinbar ungeordnet über das Montageband fahren. Durch dieses Organisationsprinzip entsteht die sog. Zeitspreizung, die durch die unterschiedliche Montagezeit der einzelnen Varianten an einer Montagestation am augenscheinlichsten ist. Deren weitere Parameter sind die Anzahl der montierten Varianten sowie deren Montagehäufigkeit. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Zeitspreizung wie folgt definiert:

Die Zeitspreizung ist ein Effekt der Variantenfließfertigung, der durch das Zusammenspiel von Variantenanzahl, Verbauraten und Montagezeitdifferenz entsteht. Dabei können Auslastungsdefizite, Produktivitätsverluste und Qualitätsprobleme die Folgen sein. Die Zeitspreizung zu beherrschen wird umso schwerer, je mehr Varianten existieren, je stärker die Verbaurate streut und je größer die Montagezeitdifferenz ist.

Da die Zeitspreizung in der Automobilmontage kein neues Problem ist, wurden eine Reihe unterschiedlicher Lösungsstrategien entwickelt, um eine wirtschaftliche Montage trotz dieses Effekts abbilden zu können. Ein durchgeführter Vergleich bekannter Maßnahmen und Methoden zur Beherrschung der Zeitspreizung brachte eine wesentliche Erkenntnis: Fast alle bekannten Maßnahmen nutzen als Ansatzstelle das Prozessdesign. Über eine umfassende Bewertung (vgl. Anlage I) aller bekannten Lösungsansätze konnte jedoch gezeigt werden, dass ein geeignetes Produktdesign den größten Erfolg verspricht, um die Zeitspreizung in einem beherrschbaren Rahmen zu halten. Deshalb sollte durch die Entwicklung einer Methode zur produktba-

sierten Reduzierung der Zeitspreizung in der Automobilmontage (kurz: „Methode proZederA“) ein Beitrag geleistet werden, um in Zukunft dieses Potential besser erschließen zu können.

Um eine Ausgangsbasis für die Methodenentwicklung zu erhalten, wurden zunächst die wesentlichen Verfahren zur montagegerechten Produktgestaltung systematisch untersucht. Dabei wurden sehr bekannte Verfahren, wie z. B. das Design-for-Assembly-Verfahren nach Boothroyd et al. genauso untersucht, wie weniger bekannte Ansätze. Hier sind beispielsweise die Methode nach Bäßler oder die Methode nach Spies zu nennen. Im Ergebnis konnten die wesentlichen Elemente identifiziert werden, die eine Produktgestaltungsmethode ausmachen, wie beispielsweise die Art der Eingangsinformationen oder deren Berechnungsvorschriften. Diese Kernelemente wurden dann verwendet, um die Struktur und Arbeitsweise der neuen Methode zu konzipieren und auszuarbeiten. Wesentliches Ziel dabei war, eine benutzerfreundliche, schnell zu erlernende und einfach anzuwendende Methode zu kreieren.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde die „Methode proZederA“ so gestaltet, dass sie die wesentlichen Parameter der Zeitspreizung erfasst, diese in einer Kennzahl bündelt und so eine Interpretation der Güte der Produktgestaltung im Hinblick auf die Zeitspreizung zulässt. Als wesentliche Parameter der Zeitspreizung wurden die Anzahl der Varianten, deren Verbauhäufigkeit sowie der produktbasierte Montagezeitunterschied identifiziert. Während die ersten beiden Parameter einfach zu benennen sind – die Anzahl der Varianten kann abgezählt werden und die Verbauhäufigkeit liefert das Produktionsprogramm – ist die Bestimmung des produktbasierten Montagezeitunterschieds eine komplexere Aufgabe. Zu ihrer Lösung wurde ein spezieller Bewertungsbogen entwickelt. Dieser besteht aus zwölf Faktoren, die für eine produktbasierte Montagezeitdifferenz ursächlich sind, sowie deren Größenordnung. Zur Festlegung der Dimensionen der Faktoren wurde dabei auf die bewährte MTM-Methode zurückgegriffen. Der so entstandene Bewertungsbogen erlaubt es, die produktbasierte Montagezeitdifferenz einfach und schnell abzuschätzen. Dabei ist er zwar wesentlich ungenauer als eine MTM-Analyse, erreicht aber eine hinreichende Präzision, um die Ergebnisse mit den anderen erwähnten Parametern zu verrechnen. Dieses geschieht bei der Bildung einer Kennzahl, für die die folgenden Charakteristika gelten:

- Die Kennzahl wird größer, je größer die Anzahl der Varianten ist. Eine geringe Anzahl von Varianten ist in vielerlei Hinsicht (Prozessstabilität, Fehlerhäufigkeit, Arbeitsrhythmus, etc.) günstiger, als eine große Anzahl von Varianten.
- Die Kennzahl wird größer, je stärker die Verbraurate der Varianten streuen. Im Hinblick auf einen stabilen und gleichmäßigen Montageprozess ist es günstig, wenn eine Variante hauptsächlich produziert wird und nur sehr selten eine Exotenvariante die Routine unterbricht. Das heißt, dass eine Variantenpaarung bei der Variante A zu 90% und Variante B zu 10% montiert wird, günstiger ist, als eine Aufteilung der Verbraurate auf je 50% für beide Varianten A und B.
- Die Kennzahl wird größer, je größer die produktbasierte Montagezeitdifferenz wird. Varianten, die beinahe die gleiche Montagezeit besitzen, sind deutlich günstiger als Varianten, die sich in Ihrer Montagezeit stark unterscheiden.

Um mittels der Kennzahl eine Aussage treffen zu können, ob das bewertete Variantendesign im Hinblick auf die Zeitspreizung gut oder schlecht ist, wurde ein Grenzwert definiert. Dieses Limit wurde auf Basis der minimalen, der angestrebten und der maximalen Auslastung des Montagesystems berechnet und hängt direkt von der Taktzeit ab. Damit ist mittels eines einfachen Vergleichs von errechneter Kennzahl zu Grenzwert die Entscheidung möglich, ob das bewertete Design überarbeitet werden muss. Sollte dieses der Fall sein, helfen die ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelten „Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung“ bei der Optimierung. Dabei handelt es sich um Hinweise, wie über eine reduzierte Variantenanzahl, die Verringerung der produktbasierten Montagezeitdifferenz sowie über die bessere Teilbarkeit des Montageprozesses eine optimierte Variantengestaltung gelingen kann. So konnte ein ganzheitlicher Ansatz entwickelt werden, der von der Analyse über die Bewertung bis hin zur Optimierung alle wesentlichen Komponenten einer Gestaltungsunterstützung enthält. Dieses konnte durch reale Anwendungsbeispiele aus der industriellen Praxis belegt werden.

Damit die entwickelte Methode ihr Potential ausreichend entfalten kann, ist es notwendig, diese in die bestehenden Strukturen eines Automobilherstellers einzuführen. Dazu wurde zunächst der Produktentstehungsprozess genau analysiert: Ziel dieser Betrachtung war es, ein Verständnis für die zeitliche Abfolge und die Arbeitsteilung innerhalb dieses komplexen Prozesses zu erhalten. Mit den daraus generierten Ergebnissen war es möglich, einen Referenzprozess für die Nutzung der „Methode proZederA“ zu beschreiben. Dieser Referenzprozess ordnet die Methodenanwendung den entsprechenden Teilprozessen zu, so dass klare „Andockstellen“ am bestehenden Produktentwicklungsprozess für den Einsatz der Methode definiert wer-

den konnten. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass sich die Nutzung der neuen Methode in das in der Automobilindustrie bestehende Organisationskonzept des Simultaneous Engineering problemlos einfügt. Damit die entwickelte Methode und der erarbeitete Referenzprozess auch zum Einsatz kommt und nachhaltig genutzt wird, war die Frage zu beantworten, wie beides in eine bestehende Organisation zu tragen ist. Dazu konnte eine Einführungsstrategie entwickelt werden, die eine flächendeckende Verankerung der Neuerungen innerhalb eines Jahres ermöglicht. Diese enthält wesentliche Erkenntnisse der Disziplinen des Change- und Knowledge Managements: So weisen die herangezogenen Veröffentlichungen z. B. darauf hin, dass der Methodennutzer einen persönlichen Ansprechpartner bei diffizilen Anwendungsfällen dem Studium der Fachdokumentation vorzieht, so dass dieser mit Methodeneinführung ebenfalls installiert werden sollte.

Obwohl die hier dargestellte Zusammenfassung das Bild eines ganzheitlichen, in sich abgeschlossenen Ansatzes zeichnet, sind einige Aspekte und Themenkomplexe nicht betrachtet worden. Diese werden in Kapitel 7.2 näher erläutert. Sie bilden die Ausgangsbasis für evtl. zukünftige Forschungsarbeiten zur besseren Beherrschbarkeit der Zeitspreizung in der Automobilmontage.

7.2 Ausblick

Um das Thema Zeitspreizung an anderer Stelle weiterzuentwickeln und zu vertiefen, eignen sich die folgenden Überlegungen:

- Umsetzung der „Methode proZederA“ in einem IT-Tool.
- Erweiterung der Einflussfaktoren der „Methode proZederA“
- Erweiterung des Bewertungsrahmens der „Methode proZederA“
- Bildung von varianzarmen Montagehauptlinien in Kombination mit Exotenlinien

Umsetzung der „Methode proZederA“ in einem IT-Tool

Ein besonderes Anliegen bei der Entwicklung der „Methode proZederA“ war es, eine Anwendungsprozedur zu schaffen, die einfach einzuhalten ist und die stets gleich abläuft, also keine Varianz beinhaltet. Dieses sorgt beim Methodennutzer für eine schnelle Erlernbarkeit und einfache Anwendung. Allerdings ist die Methode, so wie sie hier beschrieben worden ist, eine reine „Papier- und Bleistift-Methode“. Das bedeutet, der Anwender muss alle Rechenschritte selbst durchführen und die Ergebnisse an geeigneter Stelle dokumentieren. Doch gerade auf Grund des streng logischen Aufbaus der Methode eignet sich diese, um in einem IT-Tool umgesetzt zu werden. Denkbar wäre z. B. zunächst eine einfache Excel-basierte Lösung zu programmieren, die den Anwender durch den Berechnungsprozess führt und so den Weg zur Ergebnisermittlung vereinfacht und beschleunigt. Sollte es zu einer großflächigen Einführung der Methode kommen, ist zu prüfen, wie diese in die Standardprogramme der SE-Arbeit integriert werden kann. Damit entstünde die Möglichkeit, die Ergebnisse der Methodenanwendung direkt mit allen anderen Produktinformationen zu verknüpfen.

Erweiterung der Einflussfaktoren der „Methode proZederA“

Die entwickelte Methode hat aktuell ihren Schwerpunkt auf der rein manuellen, wertschöpfenden Montagetätigkeit bei Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb. Das bedeutet, dass mit den erfassten Einflussfaktoren (vgl. Bewertungsbogen in Abbildung 37) keine Bestimmung der Zeitspreizung zwischen Fahrzeugen mit herkömmlichen Antrieb und Fahrzeugen mit alternativen Antrieb möglich ist. Ferner können auch Einstell- und Justageprozesse nicht betrachtet werden. Beide Faktoren werden allerdings in der Zukunft stark an Bedeutung gewinnen. So kann mit großer Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die Montage von Fahrzeugen mit herkömmlichen Antriebskonzept sowie die Montage von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb zunächst auf einem gemeinsamen Montageband erfolgt, da die Stückzahlen der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben zunächst keine solitäre Linie rechtfertigen dürften. Dieser Umstand wird zu starker Zeitspreizung an vielen Arbeitsstationen im Monta-

gebund führen, da je nach Antriebsart ganz unterschiedliche Komponenten zu montieren sind. Es dürfte somit in der Zukunft eine der größten Herausforderungen für die Produktionsabteilungen sein, eine wirtschaftliche Montage beider Antriebsarten auf einem Montageband zu organisieren. Einen guten Beitrag zu dieser Aufgabe könnte die auf alternative Antriebsarten erweiterte „Methode proZederA“ dabei leisten.

Ferner ist im Rahmen der Verbreitung sowie der Vermehrung von Fahrerassistenzsystemen davon auszugehen, dass die bei deren Montage notwendigen Einstell- und Justageprozesse zunehmen. Dieses soll kurz am Beispiel eines Head-Up-Displays (HUD) verdeutlicht werden: Damit ein HUD die Fahrinformationen zuverlässig an die richtige Stelle in der Windschutzscheibe spiegeln kann, ist ein spezieller Einstellprozess notwendig. Dieser findet in der Regel in einer gesonderten Station im Montageband statt, an der die Einstellungen für die meisten Fahrerassistenzsysteme erfolgt. Dadurch entsteht allerdings an dieser Station Zeitspreizung, welche von den verschiedenen Einstellprozessen der Fahrerassistenzsysteme abhängt.

Um auch die gerade beschriebenen zukünftigen Ursachen für die Zeitspreizung mit der „Methode proZederA“ bewerten zu können, erscheint es sinnvoll, diese entsprechend zu erweitern. Eine Integration der dazu notwendigen Einflussfaktoren in die bestehende Architektur der Methode erscheint dabei aus heutiger Sicht als gut möglich.

Erweiterung des Bewertungsrahmen der „Methode proZederA“

Die entwickelte Methode bewertet die Zeitspreizung, die zwischen den verschiedenen Varianten eines Bauteils entsteht. Interessant erscheint aber auch der Aspekt, ganze Fahrzeugvarianten im Hinblick auf die Zeitspreizung miteinander vergleichen zu können. Der Gedanke ist also, den Bewertungsrahmen von der Bauteilebene auf die Fahrzeugebene zu vergrößern. Das bedeutet, dass nicht mehr die einzelne Arbeitsstation als Bilanzhülle fungiert, sondern dass die Bewertung auf Basis des gesamten Montagesystems erfolgt. Damit dieses gelingen kann, bedarf es allerdings umfangreicher Entwicklungsarbeit an der Methode. So ist zunächst der Katalog der Einflussfaktoren entsprechend zu erweitern, um den Montagezeitunterschied zwischen verschiedenen Fahrzeugvarianten abschätzen zu können. Ferner ist der Grenzwert zur Kennzahl so anzupassen, dass damit der Gesamtmontageprozess bewertet werden kann. Auch wird es notwendig sein, die entwickelten „Regeln zur zeitspreizungsgerechten Gestaltung“ (vgl. Abbildung 48) zu überarbeiten und zu ergänzen.

Bildung von varianzarmen Montagehauptlinien in Kombination mit Exotenlinien

Neben der in dieser Arbeit verfolgten Idee, die Beherrschbarkeit der Zeitspreizung über eine geeignete Produktgestaltung zu verbessern, soll der Fokus auf eine neue Idee bei der Liniengestaltung gelenkt werden: der Bildung von varianzarmen Montagehauptlinien in Kombination mit Exotenlinien. Gemeint ist damit eine produktionsseitige Trennung zwischen den wenigen Modellvarianten, die viel nachgefragt werden, und den vielen Modellvarianten, die wenig nachgefragt werden (Exoten), zu erreichen. Es soll also eine Montagehauptlinie entstehen, die in großer Stückzahl die wenigen Standardmodelle produziert. Parallel zu dieser Linie läuft eine Exotenlinie, bei der die Unterschiede zwischen den Modellvarianten sehr groß sind und deshalb Bauteilvarianten und Montageprozesse ständig wechseln. In Bezug auf die Zeitspreizung bedeutet das, dass diese bei der Montagehauptlinie sehr gering wäre. Hingegen müsste die Exotenlinie eine deutlich spürbare Zeitspreizung beherrschen. Dieses kann aber gelingen, in dem man die Parameter für beide Linien unterschiedlich setzt. So wäre die Montagehauptlinie mit Standardpersonal, einer relativ kleinen Taktzeit und wenig Material am Band zu fahren. Die Exotenlinie benötigte hingegen hochqualifiziertes Expertenpersonal, eine lange Taktzeit sowie viel Fläche in Bandnähe, um die vielen unterschiedlichen Bauteilvarianten bereitstellen zu können.

Kapitel 7: Zusammenfassung

Das Kapitel stellt alle wesentlichen Ergebnisse der Arbeit im Rahmen einer Übersicht zusammen. Abgeleitet aus den bearbeiteten Fragestellungen ergeben sich die offengebliebenen Themenkomplexe, die für spätere Forschungsaktivitäten als Ausgangsbasis in Betracht kommen. Im Einzelnen konnten vier zukünftige Handlungsfelder identifiziert werden. Zunächst wäre die Anregung zu nennen, die als „Papier-und Bleistift-Methode“ entwickelte „Methode proZederA“ in ein IT-Tool zu überführen, um dem Nutzer die Methodenanwendung zu erleichtern. Ferner erscheint eine Erweiterung der Einflussfaktoren sinnvoll, um in Zukunft auch die Zeitspreizung bewerten zu können, die durch die Montage von Fahrzeugen mit alternativem Antriebskonzept entsteht. Dasselbe Vorgehen eignet sich, um die zunehmende Anzahl von Einstell- und Justageprozess abzubilden. Ein weiterer Ansatzpunkt für zukünftige Arbeiten umfasst die Erweiterung des Bewertungsrahmens der Methode. Gemeint ist damit, dass nicht nur unterschiedliche Varianten eines Bauteils im Hinblick auf die Zeitspreizung untersucht werden können. Vielmehr wird die Betrachtung auf ganze Fahrzeugvarianten ausgedehnt. Abschließend bleibt zu überlegen, ob die Zeitspreizung alternativ in Zukunft über ein spezielles Liniendesign beherrschbar wäre. So könnten Standardvarianten mit einer geringen Zeitspreizung auf einer Montagehauptlinie hergestellt werden, während Exotenvarianten mit großer Zeitspreizung auf einer separaten Montagelinie produziert werden.



Literaturverzeichnis

Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T. (1985). Montagegerechtes Konstruieren. Berlin: Springer-Verlag.

Andresen, U. (1975). Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren bei der montagegerechten Gestaltung von Teilen der Grossserienfertigung. Dissertation TU Braunschweig. Braunschweig: Eigenverlag.

Askin, R.; Standridge, C. (1993). Modeling and Analysis of Manufacturing Systems. Washington: John Wiley & Sons Verlag.

Audi (2011). Homepage der AUDI AG (Stand: 30.08.2011): <http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen.html>.

Bäßler, R. (1988). Integration der montagegerechten Produktgestaltung in den Konstruktionsprozeß. Berlin: Springer-Verlag.

Bokranz, R.; Landau, K. (2006). Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. (1994). Product Design for Manufacture and Assembly. New York: Marcel Dekker, Inc.

Boysen, N. (2005). Variantenfließfertigung. Dissertation Universität Hamburg. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Boysen, N.; Ringle, C. (2005). Optionsbündelung und Fertigungsablauf in der Automobilindustrie. In: OR, Annual International Conference of the German Operations Research Society, 2005. Berlin: Springer-Verlag, S. 149-154.

Buchner, C. (2008). Die Wirkung von Produktvielfalt auf die Markenstärke. Theoretische Überlegungen, empirische Befunde und Handlungsempfehlungen am Beispiel des Premiumsegments des Automobilmarktes. Dissertation Universität München. München: FGM.

Bürger, M. (1997). Konfiguration flexibler Fließproduktionssysteme. Dissertation Universität zu Köln. Berlin: Galda + Wilch Verlag.

Caesar, C. (1991). Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte: Variant Mode and Effects Analysis (VMEA). Dissertation RWTH Aachen. Düsseldorf: VDI-verlag.

Dahl, B. (1990). Entwicklung eines Konstruktionssystems zur Unterstützung der montagegerechten Produktgestaltung. Dissertation RWTH Aachen. Aachen: Eigenverlag.

Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J. (1997). Fertigungslenkung: Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung. Berlin: Springer-Verlag.

Decker, M. (1993). Variantenfließfertigung. Heidelberg: Physica-Verlag.

Deutsche MTM-Vereinigung (2009). ProKon: Lehrgangsunterlage – C/JF. Hamburg: Eigenverlag.

Deutsches MTM-Institut (2004). UAS-Standardvorgänge Montage „Schraubarbeiten“. Zeuthen: Eigenverlag.

Dilling, H.-J. (1978). Methodisches Rationalisieren von Fertigungsprozessen am Beispiel montagegerechter Produktgestaltung. Dissertation TU Darmstadt. Darmstadt: Eigenverlag.

Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1997). Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte. Berlin: Springer-Verlag.

Dorninger, C. (1991). Kundenindividuelle Fertigung. Dissertation Universität Wien. Wien: Linde Verlag.

Endreß, N. (2009). Wie viel Auswahl wünscht sich ein Premiumkunde? Optimierung der internationalen Variantenkomplexität im Bereich Farben und Materialien am Beispiel des Audi A6. Masterthesis Hochschule Künzelsau. Künzelsau: Eigenverlag.

Ehrlenspiel, K. (2003). Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München: Carl Hanser Verlag.

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U. (2007). Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer-Verlag.



Ericsson, A.; Erixon, G. (1999). Controlling Design Variants: Modular Product Platforms. Dearborn / Fairfield (USA): ASME Press.

Eversheim, W. (Hrsg.) (1987). Strategien zur Rationalisierung der Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Faust, P. (2009). Lean durch Frontloading. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Jahrg. 104 (2009), S. 366-370.

Finster, H. (1995). EDV-gestützte Unternehmensführung auf Basis von Kennzahlen: Die Erstellung eines Systemkonzeptes unter besonderer Berücksichtigung der Problemlagen bei der automobilen Großserienfertigung. Dissertation KU Eichstätt. Frankfurt/Main: Europäischer Verlag der Wissenschaften.

Fischer, J. (2008). Kostenbewusstes Konstruieren. Berlin: Springer-Verlag.

Franke, H.-J. (2002). Script zur Vorlesung „Konstruktionslehre I“. TU Braunschweig. Braunschweig: Eigenverlag des Inst. f. Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente.

Gairola, A. (1981). Montagegerechtes Konstruieren: Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik. Dissertation TU Darmstadt. Darmstadt: Eigenverlag.

Gans, J. E. (2009). Neu- und Anpassungsplanung der Struktur von getakteten Fließproduktionssystemen für variantenreiche Serienprodukte in der Montage. Dissertation Universität Paderborn. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.

Gentner, A. (1994). Entwurf eines Kennzahlensystems zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von Entwicklungsprojekten: dargestellt am Beispiel der Entwicklungs- und Anlaufphasen in der Automobilindustrie. München: Verlag Vahlen.

Girod, B.; Rabenstein, R.; Stenger, A. (2007). Einführung in die Systemtheorie: Signale und Systeme in der Elektromechanik und Informationstechnik. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag.

Gladen, W. (2008). Performance Measurement: Controlling mit Kennzahlen. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V. (1991). Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte, Anwendung. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Gottl-Ottilienfeld, F. von (1924). Fordismus? Paraphrasen über das Verhältnis von Wirtschaft und technischer Vernunft bei Henry Ford und Frederick W. Taylor. In: Harms, B. (Hrsg.). Vorträge im wissenschaftlichen Klub des Instituts für Weltwirtschaft und Seeverkehr an der Universität Kiel. Jena: Kommissionsverlag von Gustav Fischer.

Grunwald, S. (2001). Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. Dissertation TU München. München: Eigenverlag.

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2000). Produktion und Logistik. Berlin: Springer-Verlag.

Handelsblatt (2010). Weltweiter Autoabsatz: Studie prognostiziert für 2011 Rekordjahr. 12.11.2010 <http://www.handelsblatt.com>

Heinen, E. (1983). Industriebetriebslehre.
Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler.

Hesse, S. (1994). Montage-Atlas: Montage- und automatisierungsgerecht konstruieren. Darmstadt: Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag.

Höck, M. (1998). Produktionsplanung und -steuerung einer flexiblen Fertigung: Ein prozessorientierter Ansatz. Dissertation Universität Hamburg. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Hoenow, G. (1987). Montagegerechtes Konstruieren: die neuen Anforderungen der Montageautomatisierung. Berlin: Eigenverlag der Kammer der Technik (DDR).

Johansson, M. (1989). Product design and materials handling in mixed-model assembly. Dissertation Technische Universität Göteborg. Göteborg: Eigenverlag.

Kettner, P. (1987). Konzeption eines Informationssystems für die Planung automatisierter Montagesysteme. Dissertation RWTH Aachen. Aachen: Eigenverlag.

Kiener; Maier-Scheubeck; Obermaier; Weiß (2006). Produktionsmanagement. München: Oldenbourg Verlag.

Klug, F. (2010). Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin: Springer-Verlag.



Konold, P.; Reger, H. (2009). Praxis der Montagetechnik: Produktdesign, Planung, Systemgestaltung. Wiesbaden: Vieweg Verlag.

Kraus, P. (2005). Plattformstrategien: Realisierung einer varianz- und kostenoptimierten Wertschöpfung. Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: Meisenbach Verlag.

Kreutzburg, C. (2009). Der Autokäufer – das bekannte Wesen: Persönlichkeitsdispositionen und Kundenorientierung. Dissertation FU Berlin. Marburg: Tectum-Verlag.

Kurbel, K. (2005). Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. München: Oldenbourg Verlag.

Küpper, H.-U.; Helber, S. (2004). Ablauforganisation in Produktion und Logistik. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Liebl, A. (2010). Analyse der Produktvarianz und deren Auswirkung auf die Kapazitätsauslastung in der Produktion am Beispiel des Automobilbaus. Diplomarbeit Universität Stuttgart. Stuttgart: Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb.

Lindemann, U. (2009). Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin: Springer-Verlag.

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T. (2009). Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design. Berlin: Springer-Verlag.

Lochmann, M. (1999). Operative Planung und Steuerung von Mehrprodukt-Fließlinien. Dissertation TU Berlin. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.) (2006). Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis. Berlin: Springer-Verlag.

Luczak, H., Eversheim, W., Schotten, M. (1998). Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Berlin: Springer-Verlag.

Lutz, L. (1974). Abtakte von Montagelinien. Mainz: Krausskopf-Verlag.

Meifert, H. (2008). Marketing-Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. Wiesbaden: Gabler-Verlag.

Meißner, S. (2009). Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfließfertigung. Dissertation TU München. München: Eigenverlag.

Mollemeier, A. (1997). Integrierte Steuerung getakteter Variantenfließlinien. Dissertation Universität Paderborn. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Molloy, O.; Tilley, S.; Warman, E. (1998). Design for Manufacturing and Assembly: Concepts, Architectures and Implementation. London: Chapman & Hall.

Muschiol, M. (1988). Rechnerunterstützte Informationsbereitstellung für den Konstruktionsprozess am Beispiel montageorientierter Gestaltungsrichtlinien. Dissertation TU Berlin. München: Carl Hanser Verlag.

Myrup Andreasen, M. (1985). Montagegerechtes Konstruieren. Berlin: Springer-Verlag.

Nedeß, Christian (1997). Organisation des Produktionsprozesses. Stuttgart: Teubner Verlag.

Neumann, K. (1996). Produktions- und Operations-Management: Produktionsplanung, Produktionssteuerung, Produktionskontrolle. Berlin: Springer-Verlag.

Nof, S.; Wilhelm, W.; Warnecke, H.-J. (1997). Industrial Assembly. London: Chapman & Hall Verlag.

Norm DIN 199. Teil 2. (1977). Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen. Berlin: Beuth Verlag.

Pahl, G.; Beitz, W. (2007). Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. Berlin: Springer-Verlag.

Pastowsky, M.; Schmitt, T. (1997). Montagerrelevante Entwicklungsprozesse. In: Frieling, E. (Hrsg.). Automobilmontage in Europa. Frankfurt/Main: Campus Verlag, S. 114 – 158.

Ponn, J.; Lindemann, U. (2008). Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Optimierte Produkte – systematisch von Anforderungen zu Konzepten. Berlin: Springer-Verlag.



Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K. (2003). Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Wiesbaden: Gabler-Verlag.

Proff, H.; Proff, H. (2008). Dynamisches Automobilmanagement: Strategien für Hersteller und Zulieferer im internationalen Wettbewerb. Wiesbaden: Gabler-Verlag.

Pulm, U. (2004). Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dissertation TU München.

03.11.2010 <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/mw/2004/pulm.pdf>

Redford, A.; Chal, J. (1994). Design for Assembly: Principles and Practice. Berkshire, England: McGRAW-HILL Book Company Europe.

REFA (1991). Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung, Teil 3. München: Carl Hanser Verlag.

Sawik, T. (1999). Production Planning and Scheduling in Flexible Assembly Systems. Berlin: Springer-Verlag.

Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H. (2010). Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer-Verlag.

Schlott, S. (2005). Wahnsinn mit Methode. Automobil-Produktion, Januar 2005, S. 38-42.

Schmitz, U. (1995). Wissensbasierte Unterstützung des montage- und demontagegerechten Konstruierens. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Schneeweiß, C.; Söhner, V. (1991). Kapazitätsplanung bei moderner Fließfertigung. Heidelberg: Physica-Verlag.

Scholl, A. (1995). Balancing and Sequencing of Assembly Lines. Dissertation TU Darmstadt. Heidelberg: Physica-Verlag.

Schott, G. (1988). Kennzahlen: Instrument der Unternehmensführung. Wiesbaden: Forkel-Verlag.

Schuh, G. (1989). Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten: Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten. Dissertation RWTH Aachen. Düsseldorf: VDI-Verlag.



Shiroma, P. (1996). Efficient Production Planning and Scheduling: An Integrated Approach with Genetic Algorithms and Simulation. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Steinle, C.; Eggers, B.; Ahlers, F. (2008). Change Management: Wandlungsprozesse erfolgreich planen und umsetzen. München: Rainer Hampp Verlag.

Spanner-Ulmer, B. (2000). Produktionssysteme im Vergleich. In: Institut f. angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.). Arbeitsorganisation in der Automobilindustrie. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem, S. 40-88.

Spanner-Ulmer, B.; Hensel, R. (2010). Die MTM-Normleistung: die Konstante unter den Variablen. In: Britzke, B. (Hrsg.). MTM in einer globalisierten Wirtschaft: Arbeitsprozesse systematisch gestalten und optimieren. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie. S. 66 - 84.

Spies, J. (1997). Montagegerechte Produktgestaltung am Beispiel des komplexen Großserienproduktes Automobil. Dissertation ETH Zürich. Zürich: Eigenverlag.

Steffen, R. (1977). Produktionsplanung bei Fließbandfertigung. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Stetter, R. (2000). Method Implementation in Integrated Product Development. Dissertation TU München. München: Eigenverlag.

Stuffer, R. (1994). Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation TU München. München: Carl Hanser Verlag.

Syska, A. (2006). Produktionsmanagement: Das A-Z wichtiger Methoden. Wiesbaden: Gabler-Verlag.

Takeda, H. (2009). Das synchrone Produktionssystem: just in time für das ganze Unternehmen. München: mi-Verlag.

Toyota (2009). Preisliste Modell Avensis. Tokio: Toyota Motor Corporation.

Uekermann, F. (2008). Bildung neuer automobiler Segmente aus Kundensicht: Kategorien- und Urteilsbildung in Abhängigkeit von Stimulusambiguität und der Nennung eines Kategorienlabels. Dissertation Universität St. Gallen. Stuttgart: WiesingerMedia.



Ullman, D. G. (2003). The Mechanical Design Process. New York: McGraw-Hill.

Ungeheuer, U. (1985). Produkt- und Montagestrukturierung: Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion. Dissertation RWTH Aachen. Aachen: Eigenverlag.

Vahrenkamp, R. (1996). Produktions- und Logistikmanagement. München: Oldenbourg Verlag.

VDI (1998). VDI-Richtlinie 3237. Düsseldorf: VDI-Verlag.

VDI (1993). VDI-Richtlinie 2221. Düsseldorf: VDI-Verlag.

VDI (1975). VDI-Richtlinie 2210. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Vielhaber, M. (2005). Assembly Oriented Design: Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosseriebaus. Dissertation Universität des Saarlandes. Saarbrücken: Eigenverlag des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik.

Volkswagen (2009). Preisliste Modell Golf. Wolfsburg: Volkswagen AG.

Warnecke, H.-J. (1995). Der Produktionsbetrieb 2: Produktion, Produktionssicherung. Berlin: Springer-Verlag.

Warnecke, H.-J. (Hrsg.) (1996). Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb: Technik, Organisation, Betriebswirtschaft. Berlin: Springer-Verlag.

Westkämper, E. (2006). Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin: Springer-Verlag.

Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L. (Hrsg.). (2004). Variantenbeherrschung in der Montage: Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe. Berlin: Springer-Verlag.

Wiendahl, H.-P. (2008). Betriebsorganisation für Ingenieure. München: Carl Hanser Verlag.



Wildemann, H. (2008). Variantenmanagement: Leitfaden zur Komplexitätsreduzierung, -beherrschung und –vermeidung in Produkt und Prozess. München: TCW.

Work-Factor-Gemeinschaft für Deutschland e. V. (2008). Homepage des Vereins. 6.01.2011 <http://www.work-factor.de>

Zenner, C. (2006). Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Dissertation Universität des Saarlandes. Saarbrücken: Eigenverlag.



Anlagenverzeichnis

Anlage I	Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung
Anlage II	Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung
Anlage III	Genauer untersuchte Baugruppen
Anlage IV	Erstellung des Bewertungsbogens

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Vormontage

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Identifikation der Vormontageumfänge. Planung einer Nebenlinie/Arbeitsplatz zur Vormontage. Planung des JIT-Transfers Vormontage -> Hauptlinie.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Einrichtung einer Nebenlinie/Arbeitsplatz zur Vormontage. Einrichtung des JIT-Transfers Vormontage -> Hauptlinie.
Kosten	keine	gering	groß	Kosten für Einrichtung einer Nebenlinie/Arbeitsplatz zur Vormontage. Kosten für JIT-Transfer Vormontage -> Hauptlinie.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch die Vormontage wird die Auslastung am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Durch die Vormontage werden zusätzliche Aufgaben vom Montageband abgezogen. Dadurch vereinfacht sich die Tätigkeit am Montageband und die Qualität steigt.
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Die Wertschöpfungstiefe in modernen Automobilmontagen liegt bereits nur noch bei 20-30%. Das bedeutet, dass viele Vormontageumfänge bereits outgesourct wurden. Es ist schwer, passende Umfänge zu finden.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Prozessveränderungen im Montageband tangieren die Vormontage kaum.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Durch die Vormontage werden die für die Zeitspreizung verantwortlichen Arbeitsoperationen aus der Montagelinie entfernt.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Materialbereitstellung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Betrachtung auf eine Arbeitsstation begrenzt. Erfassung Ist-Stand. Ableitung Soll-Stand.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Betrachtung auf eine Arbeitsstation begrenzt. Physische Umstellung des Materials an der Arbeitsstation.
Kosten	keine	gering	groß	Umstellung des Materials erzeugt zu vernachlässigende Kosten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch optimierte Materialbereitstellung werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einzahlhäufigkeit	häufig	mittel	selten	An jeder Arbeitsstation gibt es eine Reihe von Materialien und Behälter. Entsprechend gibt es auch stets viele Möglichkeiten durch Umstellen zu optimieren.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Eine Veränderung des Montageprozesses bringt oft eine Verlegung von Bauteilen mit sich.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch eine optimierte Materialbereitstellung nur geglättet.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Sequenzsteuerung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Jede Arbeitsstation hat unterschiedliche Merkmale, die bei der Sequenzbildung eine Rolle spielen. Priorisierung der Merkmale und Finden eines Gesamtoptimums für alle Station ist sehr schwierig.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Eingabe und Pflege der gefundenen Sequenz in den Leitrechner.
Kosten	keine	gering	groß	Einstellung und Pflege der Sequenz erzeugt zu vernachlässigende Kosten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Wenn in einer festgelegten Sequenz gefertigt wird, ist es nicht möglich, Stückzahlen und Variantenmix schnell zu verändern.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einsatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Viele Arbeitszeitüberschreitungen lassen sich auf einzelne Arbeitsumfänge zurückführen. Diese können in eine Sequenz aufgenommen werden.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Durch die Umstellung von einzelnen Arbeitsabläufen änderten sich die Anforderungen an die Sequenz kaum oder gar nicht.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch eine Sequenzsteuerung nur geglättet.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Paketierung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Welche Pakete sollen angeboten werden? Welche einzelnen anwählbare Extras sollen gestrichen werden? Es ist sehr schwierig, diese Fragen zu beantworten. Wenn man hier Fehler macht, verliert die Marke schnell an Attraktivität.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Entfernung der nicht mehr benötigten Varianten.
Kosten	keine	gering	groß	Weniger Varianz erzeugt keine Kosten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch geringere Varianz wird die Auslastung am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Die Paketierung führt zu einer Einschränkung der Wahlfreiheit des Kunden bzgl. Sonderausstattung.
Denkbare Einzahlhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Besonders im Premiumsegment legen viele Kunden Wert darauf, ein individuelles Fahrzeug zu fahren. Durch Bildung von Ausstattungspaketen wird die Individualisierungsmöglichkeit stark eingeschränkt.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Es gibt keine Wechselbeziehung zwischen Prozessumstellungen und dem Angebot von Sonderausstattung in Paketen.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Durch eine Reduzierung der Varianten wird auch die Varianz in den Bearbeitungszeiten verringert.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Workern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Ausprägung		Begründung			
			Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte
Bewertung der Maßnahme: Springer	Merkmal				
	Planungsaufwand	gering		groß	Identifikation der Arbeitsplätze, an denen ein Springer notwendig ist und Ausbildung des Springers auf diese Tätigkeit.
	Umsetzungsaufwand	gering		groß	Einlernen des Springers und ggf. Optimierung der Abläufe.
	Kosten	keine	gering	groß	Ausbildung und Beschäftigung eines Springers erzeugt nur geringe Kosten.
	Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch einen Springer werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
	Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Durch einen Springer wird eine angefangene Montageaufgabe plötzlich übernommen. Durch die Übernahme kann es zu Fehlern oder Falschverbauten kommen.
	Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
	Denkbare Einsatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Der Einsatz eines Springers, der kurzfristig aushilft, ist an vielen Stellen denkbar.
	Nachhaltigkeit	ja		nein	Springer können auch nach der Prozessumstellung eingesetzt werden.
	Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch einen Springer nur geglättet.
	Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Technik

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Da die Technik doppelt (z. B. links u. rechts vom Band) bereitgestellt wird, entspricht der Planungsaufwand nicht dem einer Neuplanung. Allerdings gibt es Details, die angepasst werden müssen.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Einbau der Technik, inkl. Medien- und Datenleitungen.
Kosten	keine	gering	groß	Einbau und Wartung der doppelten Technik erzeugt deutliche Kosten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch doppelte Technik werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantennix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einsatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Der Einbau doppelter Technik ist an Voraussetzung gekoppelt wie verfügbarer Platz und ausreichende Medien- und Datenanbindung.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Installierte Technik bleibt bei Prozessveränderungen in der Regel erhalten.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch doppelte Technik nur geglättet.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werker akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Lokale Neuausstattung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Betrachtung auf wenige Arbeitsstationen begrenzt. Identifikation der kritischen Arbeitsfolgen und Verlegen dieser auf benachbarte Arbeitsstationen.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Umstellung diverser Materialien. Anpassung der Abläufe. Qualifikation der Mitarbeiter auf neue Abläufe.
Kosten	keine	gering	groß	Umstellung des Materials und der Abläufe erzeugt zu vernachlässigende Kosten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch lokale Neuausstattung werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einzahlhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Eine lokale Neuausstattung kann an vielen Stellen erfolgen.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Bei Verlagerungen von Arbeitsoperationen geht die ehemalige Ausstattung teilweise verloren.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch lokale Neuausstattung nur geglättet.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Produktgestaltung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Bewertung und Darstellung der genauen Defizite des Bauteils. Einsteuerung in den Entwicklungsprozess. Optimierung der Bauteilgestalt mit vielen konkurrierenden Zielen.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Produktion der Bauteile nach den neuen Konstruktionsvorgaben.
Kosten	keine	gering	groß	Im Rahmen der frühen Produktgestaltung sind Änderungen kaum mit Kosten verbunden.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch entsprechende Produktgestaltung werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einzahlhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Die vorliegende Dissertation zeigt, dass es viele Bauteile gibt, die im Hinblick auf die Zeitspreizung verbessert werden können.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Vorteile bei der Produktgestaltung bleiben auch bei Prozessveränderungen erhalten.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Durch zeitspreizungsoptimierte Produktgestaltung wird die Varianz in den Bearbeitungszeiten tatsächlich verringert.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Werkern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Bandstopp

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Vorsehen einer Reissleine, die an allen Arbeitsplätzen hängt, um das Band zu stoppen.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Installation der Reissleinen.
Kosten	keine	gering	groß	Durch einen Bandstopp steht die gesamte Montagelinie und die Produktivität fällt. Es kommt zu Stückzahlverlusten.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch einen Bandstopp gehen Stückzahlen verloren. Dadurch kann nicht das vom Markt gefragte Produktionsprogramm in der vorgegebenen Zeit hergestellt werden.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Durch einen Bandstopp entsteht beim verursachenden Arbeiter Stress, da er weiss, dass jetzt das gesamte Montageband steht. Das führt zu Fehlern. Außerdem wird der reguläre Ablauf an allen anderen Stationen unterbrochen, was ebenfalls zu Fehlern führen kann.
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Da ein Bandstopp extrem unproduktiv ist, vermeidet man diesen, wenn immer möglich.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Ein Bandstopp ist unabhängig von der Prozesskonfiguration.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Ein Bandstopp sorgt für zusätzliche Bearbeitungszeit zum Preis des unproduktiven Wartens aller anderen, nicht betroffenen Arbeitsstationen.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Ein Bandstopp führt beim auslösenden Werker zu Stress. Die anderen Werker sind zum Warten gezwungen.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Nacharbeit

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Identifikation der Arbeitsplätze, an denen Nacharbeit entsteht. Planung von Ausschusstellen und -prozessen. Planung des Nacharbeitsbereiches und der zugehörigen Prozesse.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Umsetzung von Ausschusstellen und -prozessen. Umsetzung des Nacharbeitsbereiches und der zugehörigen Prozesse.
Kosten	keine	gering	groß	Kosten für Bau und Betrieb von Ausschusstellen und -prozessen.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Nacharbeit kostet Zeit. Dadurch kann nicht das vom Markt gefragte Produktionsprogramm in der vorgegebenen Zeit hergestellt werden.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Durch Unterberechnung der Montageaufgabe und Fertigstellung in der Nacharbeit kann es zu Fehlern kommen.
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Sofern die Nacharbeit einmal eingerichtet ist, kann diese viele nicht beendete Montageaufgaben kompletieren.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Prozessveränderungen im Montageband tangieren die Nacharbeit kaum.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Durch die Nacharbeit werden die für die Zeitspreizung verantwortlichen Arbeitsoperationen aus der Montagelinie entfernt.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Workern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Abtaktung

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Nach dem Fließbandabgleich muss in unzähligen Optimierungsschleifen nach der optimalen Abtaktung gesucht werden.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Zuordnung der Arbeitsfolgen nach dem gefundenen Optimum
Kosten	keine	gering	groß	Eine optimale Abtaktung kann aufgrund der Komplexität nur mit Spezialsoftware und ggf. entsprechender Beratung erfolgen.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch entsprechende Abtaktung werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung
Denkbare Einsatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Durch eine geeignete Abtaktung lassen sich sehr viele Bearbeitungszeitunterschiede in den Griff bekommen.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Bei Verlagerungen von Arbeitsoperationen geht die ehemalige Abtaktung teilweise verloren.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch geeignete Abtaktung nur geglättet.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Workern akzeptiert.

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Puffer		Ausprägung			Begründung
		Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Planungsaufgaben: Größe der Puffer? Lage der Puffer? Gestalt der Puffer?	
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Einbau der Pufferlager in die Montagelinie.	
Kosten	keine	gering	groß	Kosten für den Bau der Pufferlager. Kapitalbindungskosten für höhere Bestände.	
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Durch Puffer werden Auslastungsschwankungen am Montageband geglättet. Dadurch können Stückzahlen und Variantenmix stark schwanken, ohne dass es an den Arbeitsstationen zu Problemen kommt.	
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Keine Auswirkung	
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Keine Auswirkung	
Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Puffer sind nur da einsetzbar, wo es ausreichenden Platz gibt und die Kapitalbindungskosten nicht zu hoch werden.	
Nachhaltigkeit	ja		nein	Puffer bleiben bei Prozessveränderungen in der Regel erhalten.	
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Die variierenden Bearbeitungszeiten werden durch Puffer ausgeglichen, da die Stationen dann entkoppelt sind.	
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Arbeitsrhythmus führen, werden von Workern akzeptiert.	

Anlage I: Bewertung der Maßnahmen zur Beherrschung der Zeitspreizung

Bewertung der Maßnahme: Arbeitstempo

Merkmal	Ausprägung			Begründung
	Positiv 1 Punkt	Mittel 2 Punkte	Negativ 3 Punkte	
Planungsaufwand	gering		groß	Keine Planung notwendig.
Umsetzungsaufwand	gering		groß	Keine Aufwand notwendig.
Kosten	keine	gering	groß	Wird häufiger ein schnelleres Arbeitstempo verlangt kommt es beim Werker zu Stress. Langfristig ist mit höheren Krankenständen zu rechnen.
Auswirkung auf Flexibilität	besser	keine	schlechter	Höheres Arbeitstempo führt zu Stress und Fehlern. Veränderte Produktionsprogramme verstärken diesen Effekt noch.
Auswirkung auf Qualität	besser	keine	schlechter	Durch Arbeiten mit erhöhtem Arbeitstempo und unter Zeitdruck entsteht Stress, der zu Fehlern führt.
Auswirkung auf Kunden	keine	gering	groß	Viele OEMs bieten bei der Neuwagenabholung eine Besichtigungstour durch die Montage an. Arbeiten dort einzelne Mitarbeiter hastig unter Zeitdruck kann das beim Kunden zu einer negativen Wahrnehmung kommen.
Denkbare Einatzhäufigkeit	häufig	mittel	selten	Über eine kurzzeitige Anpassung des Arbeitstempos lassen sich viele Bearbeitungszeitunterschiede ausgleichen.
Nachhaltigkeit	ja		nein	Ein Veränderung des Arbeitstempos ist unabhängig von der Prozesskonfiguration.
Maßnahmenwirkung	Reduktion		Kompensation	Durch erhöhtes Arbeitstempo soll die variable Mehrbelastung des Werkes aufgefangen werden.
Akzeptanz durch Werker	Annahme		Ablehnung	Erhöhtes Arbeitstempo führt zu Stress.

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Assemblability Evaluation Method (AEM)

Ziel der Methode

- ▶ Verbesserung von Fügen und Verbinden der Bauteile

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Konstruktionszeichnungen
- ▶ Montager Reihenfolge

Vorgehen

- ▶ Beschreibung der Montageaufgabe mittels 20 Elementaraufgaben.
- ▶ Zuordnung von Strafwerten (Strafwert wächst mit Komplexität der Aufgabe).
- ▶ Addition der Strafwerte.
- ▶ Addition der Anzahl an benötigten Elementaraufgaben.
- ▶ Berechnung der Kennzahlen.

Ergebnis

- ▶ 2 Kennzahlen: Assemblability Evaluation Score (E), Assembly Cost Ratio (K).
- ▶ Assembly Cost Ratio (K) vergleicht Kosten Ausgangskonstruktion zu Alternativkonstruktionen.
- ▶ Assemblability Evaluation Score (E) vergleicht Strafwerte zu Anzahl notwendiger Elementaraufgaben.
- ▶ Grenzwerte für die Kennzahlen: ab $E < 80$ und $K > 0,7$ ist die Konstruktion ungenügend.

Funktionsskizze

	Produktstruktur und Montageoperationen	Strafwerte	E: Assemblability evaluation score	K: Assembly cost ratio	Zu verbessernde Teile
Struktur 1 (vor Verbesserung)		1. Grundplatte ausrichten A	73	1	B
		2. Block B auflegen und ausrichten			
		3. Schraube anziehen C			
Struktur 2		1. Grundplatte ausrichten A	88	0,8	C
		2. Block B auflegen und mittels Zentrierstiften ausrichten			
		3. Schraube anziehen C			
Struktur 3		1. Grundplatte ausrichten A	89	0,5	B
		2. Block B auflegen und eindrücken			

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Design for Assembly (DFA)

Ziel der Methode

- ▶ Verringerung der Teileanzahl

Notwendige Eingangsdaten

- ▶ Konstruktionszeichnungen

Vorgehen

- ▶ Auflistung aller notwendigen Einzelteile und der zugehörigen Montagezeit.
- ▶ Bestimmung der minimal denkbaren Anzahl an Einzelteilen für die Konstruktion.
- ▶ Berechnung der Kennzahl.

Ergebnis

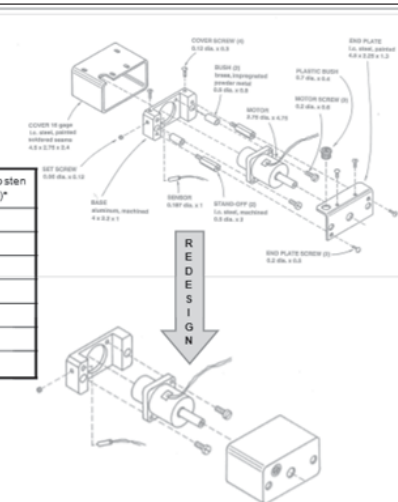
- ▶ Eine Kennzahl: Design-Efficiency.
- ▶ Design-Efficiency: vergleicht minimal mögliche Montagezeit mit der tatsächlichen Montagezeit.
- ▶ Je größer die Kennzahl wird, um so besser ist die Konstruktion. Grenzwerte für die Kennzahl existieren nicht.

Funktionsskizze

	Nummer	Theoretische Teileanzahl	Montagezeit(s)	Montagekosten (\$-cent)*
Basis	1	1	3,5	2,9
Buchse	2	0	12,3	10,2
Motor	1	1	9,5	7,9
Motorschrauben	2	0	21,0	17,5
Sensor	1	1	8,5	7,1
...
Totals	19	4	160,0	133

*Rate: \$30/h

$$\text{Designeffizienz} = \frac{4 \times 3s}{160s} = 7,5\%$$



Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Design-For-Assembly Evaluation

Ziel der Methode

- ▶ Verringerung der Teileanzahl
- ▶ Optimierung von Teilehandling und Fügebewegung

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Konstruktionszeichnungen

Vorgehen

- ▶ Bewertung der Konstruktion anhand von vorgegebenen Kriterien.
- ▶ Alle Kriterien sind in eine fünfstufigen Skala unterteilt.
- ▶ Gewichtete Addition aller Punkte aus den Bewertungen der Kriterien.

Ergebnis

- ▶ Eine Kennzahl: Total Score.
- ▶ Die Kennzahl kann zwischen 0 und 104 Punkten liegen.
- ▶ Je größer die Kennzahl wird, um so besser ist die Konstruktion. Grenzwerte für die Kennzahl existieren nicht.

Funktionsskizze

DESIGN FOR ASSEMBLY

Montagebewertung für

Allgemeine Faktoren

1. Minimale Teileanzahl	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
2. Minimale Anzahl von separaten Verschüssen	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
3. Basisbauteile mit Befestigungselemente	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
4. Ausrichten der Teile während der Montage notwendig	Zweifaches oder mehrfache Ausrichten	...	sehr gut	Kein Ausrichten
5. Effizienz der Montageabfolge	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet

Teilebereitstellung

6...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
7...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet

Teilehandling

8...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
9...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
10...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet

Fügen

11...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
12...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet
13...	schlecht	...	sehr gut	ausgezeichnet

Total Score

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Lucas DFA Evaluation Method

Ziel der Methode

- ▶ Optimierung der Produktgestalt

Notwendige Eingangsinformationen

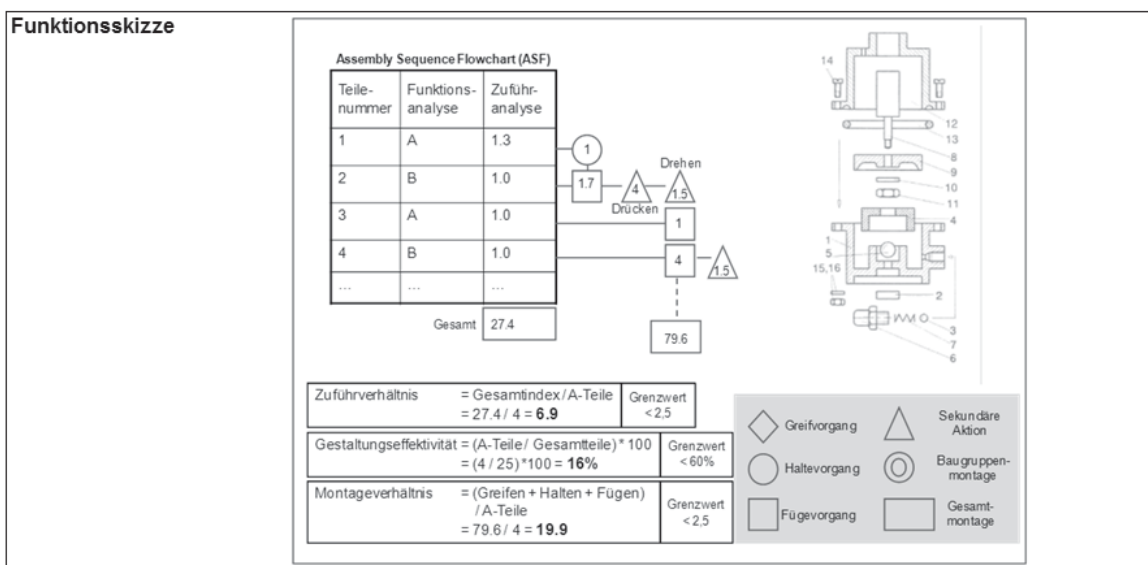
- ▶ Konstruktionszeichnungen
- ▶ Montagereihenfolge

Vorgehen

- ▶ Die Bauteile werden in der Montagereihenfolge in das Assembly Sequenz Flowchart (ASF) eingetragen.
- ▶ Einteilung der Bauteile in A-Teile (funktionswichtige Teile) und B-Teile (funktionsunwichtige Teile).
- ▶ Bewertung der Zuführeigenschaften über Punktwerte mittels vorgegebener Kriterien.
- ▶ Addition aller Punkte der Zuführeigenschaften zum Gesamtindex.
- ▶ Bewertung der Montage mittels Grundvorgängen die mit Punktwerten verknüpft sind.
- ▶ Addition aller Punkte aus der Montagebewertung.
- ▶ Berechnung der Kennzahlen.

Ergebnis

- ▶ Drei Kennzahlen: Zuführverhältnis, Gestaltungseffektivität und Montageverhältnis.
- ▶ Zuführverhältnis: vergleicht Gesamtindex aus der Zuführanalyse mit der Anzahl A-Teile.
- ▶ Gestaltungseffektivität: vergleicht Anzahl A-Teile zur Gesamtanzahl der Bauteile.
- ▶ Montageverhältnis: vergleicht Punktwerte der Grundvorgänge mit der Anzahl A-Teile.
- ▶ Grenzwerte für die Kennzahlen: ab Gestaltungseffektivität < 60%, Zuführverhältnis < 2,5 oder Montageverhältnis < 2,5 ist die Konstruktion ungenügend.



Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Methode nach Bäßler

Ziel der Methode

- ▶ Optimierung der Produktgestalt im Hinblick auf eine automatisierte Montage

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur
- ▶ Montagereihenfolge

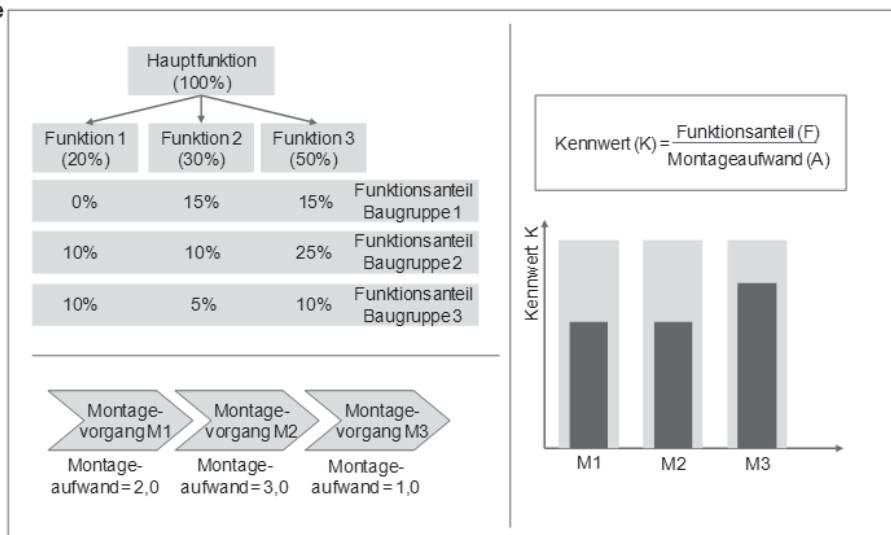
Vorgehen

- ▶ Strukturierung des Produktes in Haupt- und Unterfunktionen.
- ▶ Zuordnung der Funktionen und Funktionsanteile zu den Baugruppen.
- ▶ Bestimmung des Montageaufwandes mittels Punktetabelle.
- ▶ Bestimmung der Kennzahl.

Ergebnis

- ▶ Eine Kennzahl: Kennwert (K).
- ▶ Der Kennwert (K) vergleicht den Funktionsanteil mit dem Montageaufwand.
- ▶ Je größer die Kennzahl wird, um so besser ist die Konstruktion. Grenzwerte für die Kennzahl existieren nicht.

Funktionsskizze



Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Methode nach Gairola

Ziel der Methode

- ▶ Optimale Produktgestalt zur automatisierten Montage

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur
- ▶ Montagereihenfolge

Vorgehen

- ▶ Bewertung der Handhabungseignung mittels 18 vordefinierten Punktekriterien.
- ▶ Bewertung der Fügeigenschaften mittels 26 vordefinierten Punktekriterien.
- ▶ Bewertung der Montagegerechtheit mittels zehn Teilkennzahlen.

Ergebnis

- ▶ Drei Kennzahlen: Handhabungseignung (W_h), Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs (W_f) und Montagegerechtheit (GBG).
- ▶ Handhabungseignung (W_h) und Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs (W_f) vergleichen jeweils die erreichten Punkte mit den maximal möglichen Punkten.
- ▶ Montagegerechtheit (GBG) multipliziert die unterschiedlichen Einflussfaktoren der ganzen Baugruppe auf.
- ▶ Grenzwerte für die Kennzahlen: Handhabungseignung (W_h) und Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs (W_f) werden mittels einer dreistufigen Skala von "gut" bis "schlecht" interpretiert. Die Montagegerechtheit (GBG) hat einen Grenzwert von 0,5. Ist der erreichte Wert kleiner als 0,5 ist eine Überarbeitung sinnvoll.

Funktionsskizze

Handhabungseignung

$$W_h = \frac{\Sigma H}{\Sigma H_{max}}$$

Kompliziertheitsgrad des Fügevorgangs

$$W_f = \frac{\Sigma F_1 + \Sigma F_2 + \dots + \Sigma F_n}{\Sigma F_{1,max} + \Sigma F_{2,max} + \dots + \Sigma F_{n,max}}$$

Montagegerechtheit

- ▶ Kompliziertheitsgrad G_K
- ▶ Unabhängigkeitsgrad G_U
- ▶ Verfahrensfreundlichkeit G_V
- ▶ Fügefreundlichkeit G_F
- ▶ Fügegerichtungsgrad G_{FR}
- ▶ ...

$$G_{BG} = \prod_{i=1}^n G_i$$

Handhabungseigenschaften	Merkmal	Bewertung (1,4 Punkte)
	Hängefähigkeit	
	Erkennbarkeit	
	Greifbarkeit	

	SUMME	ΣH

Fügeverfahren und -funktion	Objekt / Funktion	Bewertung (1,4 Punkte)	Bauteil 1	Bewertung (1,4 Punkte)	Bauteil 2	Bewertung (1,4 Punkte)	Bauteil n
	Fügeverfahren						
	Fügekraft						
	Justieren						
	...						
	SUMME	ΣF_1		ΣF_2		ΣF_n	

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Methode nach Kettner

Ziel der Methode

- ▶ Optimale Produktgestalt zur automatisierten Montage

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Konstruktionszeichnungen

Vorgehen

- ▶ Bewertung der Bereitstellungseigenschaften mittels vordefinierter Punktekriterien.
- ▶ Bewertung der Zubringungseigenschaften mittels vordefinierter Punktekriterien.
- ▶ Bewertung der Fügeigenschaften mittels vordefinierter Punktekriterien.
- ▶ Berechnung der Kennzahlen.

Ergebnis

- ▶ Drei Kennzahlen: Vorgangskennzahl AV, Stationskennzahl AS, Produktkennzahl AP.
- ▶ Alle Kennzahlen kombinieren die bewerteten Eigenschaften zu einem Wert, allerdings auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus.
- ▶ Je kleiner die Kennzahlen werden, um so besser ist die Konstruktion. Grenzwerte für die Kennzahlen existieren nicht.

Funktionsskizze

Kennzahlen für die Beschreibung der Komplexität beim Fügen $F_V = F_i + F_j$

Kennzahl für die Beschreibung der Komplexität beim Zubringen $Z_V = Z_i + Z_j$

Kennzahl für die Beschreibung der Komplexität beim Bereitstellen B_j

Bauteileigenschaften				
▶ Abmessungen [mm]	<100 <500	beliebig		
▶ Gewicht [kg]	<0,25 <2,5	beliebig		
▶ Oberflächenqualität	gering mittel mittel			
▶ Stapelbarkeit	--- ja ---			
▶ Hängefähigkeit	--- ja ---			
▶ Gleitfähigkeit	--- ja ---			
▶ Rollfähigkeit	--- ja ---			
▶ Verhakensneigung	nein ja ja			
▶ Formstabilität	hoch mittel gering			
▶ Bruchempfindlichkeit	gering mittel hoch			

Vorgangskennzahl $A_V = B_j + Z_i + Z_j + F_i + F_j$

▶ Kennzahl B_j

	1	2	3
	ungeordnet	maga-	palet-
		ziniert	tiert

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Methode nach Spies

Ziel der Methode

- ▶ Produktmodularisierung

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur

Vorgehen

- ▶ Auszählen der Schnittstellen der Module.
- ▶ Bestimmung der theoretisch minimalen Anzahl von Schnittstellen.
- ▶ Bewertung des Aufwands zur Modularisierung mittels vordefinierten Punktekriterien.
- ▶ Berechnung der Kennzahlen.

Ergebnis

- ▶ Zwei Kennzahlen: Modulinterne Effizienz und Modulare Effizienz.
- ▶ Die Modulare Effizienz vergleicht die theoretisch minimale Anzahl Schnittstellen mit der tatsächlichen Anzahl an Schnittstellen.
- ▶ Die Modulinterne Effizienz vergleicht die erreichte Punktzahl mit der optimalen Punktzahl.
- ▶ Beide Kennzahlen werden in Prozent ausgedrückt.
Je größer der Prozentwert wird, um so besser ist die Konstruktion.
Grenzwerte für die Kennzahlen existieren nicht.

Funktionsskizze

1.	Arbeitsblatt Spies-Verfahren zur Modularisierung	Modul 1	Modul 2	Summe
2.	Anzahl Schnittstellen am Modul			
3.	+ davon besonders aufwendige			
4.	- davon sinnvoll integrierbar			
5.	$2 \cdot +3 -4 = S_{\text{Modul}}$			
6.	$\Sigma (S_{\text{Modul}})$			
7.	theoretisch minimale Schnittstellenzahl (S_{Min})			
8.	$\Sigma (S_{\text{Min}})$			
9.	Modulare Effizienz = 8. / 6.			
Modularisierungsaufwand				
10.	Modulentwicklung	2		
11.	Baureihe			
12.	Modulkomplexität			
13.	Modulgröße			
14.	Modulbeschaffenheit			
15.	Modulqualität			
16.	Modulmontage 1	2		
17.	Modulmontage 2	2,5		
18.	Modulinstandhaltung	1,5		
19.	Modulrecycling	1,5		
20.	Modulzahl ($m_{\text{Modul}} = \Sigma (10 \dots 19) \cdot \text{Wichtung}$)			
21.	$\Sigma (m_{\text{Modul}})$			
22.	Referenzwert = ($m_{\text{Opt}} \cdot \text{Anzahl Module}$), $m_{\text{Opt}} = 58,5$			
23.	Modulinterne Effizienz = 21. / 22.			

		Modul ist bündiggeschliff			
		ja	nein	teilweise	ja
separat vorzumontieren und zu transportieren?	ja	3	2,5	2	
	teilweise	2	1,5	1	
	nein	1	0,5	0	

		Zugänglichkeit (ohne Wenden)		
		gut	mittel	schlecht
Fügebewegung	gradlinig	3	2,5	2
	nicht gradlinig	2,5	2	1,5
	komplex	2	1,5	1

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Modular Function Deployment (MFD)

Ziel der Methode

- ▶ Produktmodularisierung

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur
- ▶ Montager Reihenfolge

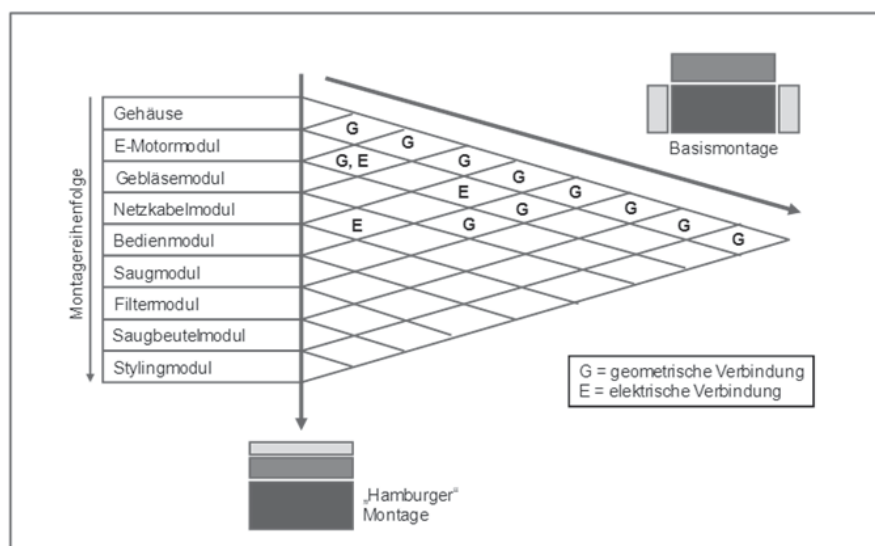
Vorgehen

- ▶ Zu montierende Bauteile werden in Montager Reihenfolge in Schnittstellenmatrix eingetragen.
- ▶ Paarweiser Vergleich: physische / elektrische Verbindung zwischen den Bauteilen?
- ▶ Auswahl eines der zwei möglichen Optima (Base Unit assembly vs. Hamburger assembly).

Ergebnis

- ▶ Grafisches Verfahren, keine Kennzahl.
- ▶ Rein grafische Darstellung innerhalb der Schnittstellenmatrix.
- ▶ Bauteile, deren Eintragungen grafisch weit vom gewählten Optimum entfernt sind, müssen verbessert werden.

Funktionskizze



Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ ProKon (Produktionsgerechte Konstruktion)

Ziel der Methode

- ▶ Optimierung der Produktgestalt zur Montage

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur
- ▶ Montagereihenfolge

Vorgehen

- ▶ Eintragen der Bauteile in Montagereihenfolge in das Analyseblatt.
- ▶ Bewertung der Montageerschwernisse mittels vordefinierten Punktekriterien.
- ▶ Berechnung der ProKon-Einheiten.

Ergebnis

- ▶ Eine Kennzahl in ProKon-Einheiten.
- ▶ Je weniger ProKon-Einheiten, um so besser ist die Konstruktion.
Ein Grenzwerte, ab dem die Konstruktion ungenügend ist, existiert nicht.

Funktionsskizze

Beschreibung	Basiswert		Montageerschwernis							
	Gewicht 1. Fügestelle		...	mit Fest- halten	Nach- richten beim Fügen	...	Prozess			Anzahl der verwendeten Werkzeuge
	< 8 daN	>8 daN					P1	P2	P3	
Dübel einsetzen	1		...	1		...				
						
						
Summe Häufigkeit:	1	0	...	1	0	...	0	0	0	0
Wert:	40	55	...	20	10	...	50	150	300	40
Wert Gesamt:	40	0	...	20	0	...	0	0	0	0
										60

Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)

Ziel der Methode

- ▶ Verringerung der technischen Varianten

Notwendige Eingangsinformationen

- ▶ Produktstruktur
- ▶ Montagereihenfolge

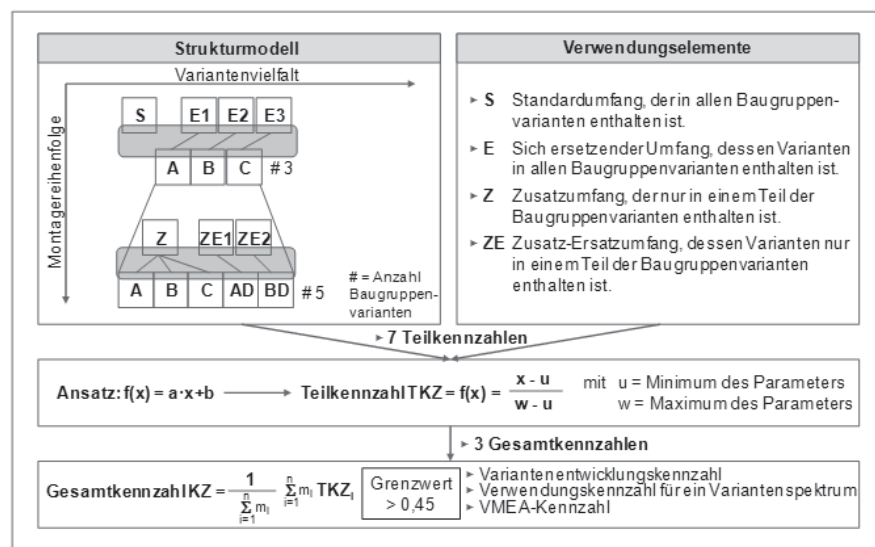
Vorgehen

- ▶ Beschreibung des Produktes mittels vordefinierter Elemente im Strukturmodell.
- ▶ Berechnung von sieben Teilkenzzahlen durch Einsetzen der Einflussgrößen in mathematische Gleichungen.
- ▶ Berechnung der drei Gesamtkenzzahlen.

Ergebnis

- ▶ Drei Kennzahlen: Variantenentwicklungszahl, Verwendungskennzahl für ein Variantenspektrum und VMEA-Kennzahl.
- ▶ Die Kennzahlen kombinieren die bewerteten Eigenschaften zu einem Wert, allerdings auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus.
- ▶ Alle Kennzahlen liegen zwischen "0" und "1".
- ▶ Bester Wert = "0", schlechtester Wert = "1".
- ▶ Für die VMEA-Kennzahl besteht ein Grenzwert von 0,45. Bei Werten > 0,45 sollte die Konstruktion verbessert werden.
- ▶ Für die anderen zwei Kennzahlen ist kein Grenzwert definiert.

Funktionsskizze



Anlage II: Übersicht über die quantitativen nicht-monetären Bewertungsverfahren zur montagegerechten Produktgestaltung

Name der Methode

- ▶ WZL-Produktstrukturierung

Ziel der Methode

- ▶ Produktmodularisierung

Notwendige Eingangsinformationen

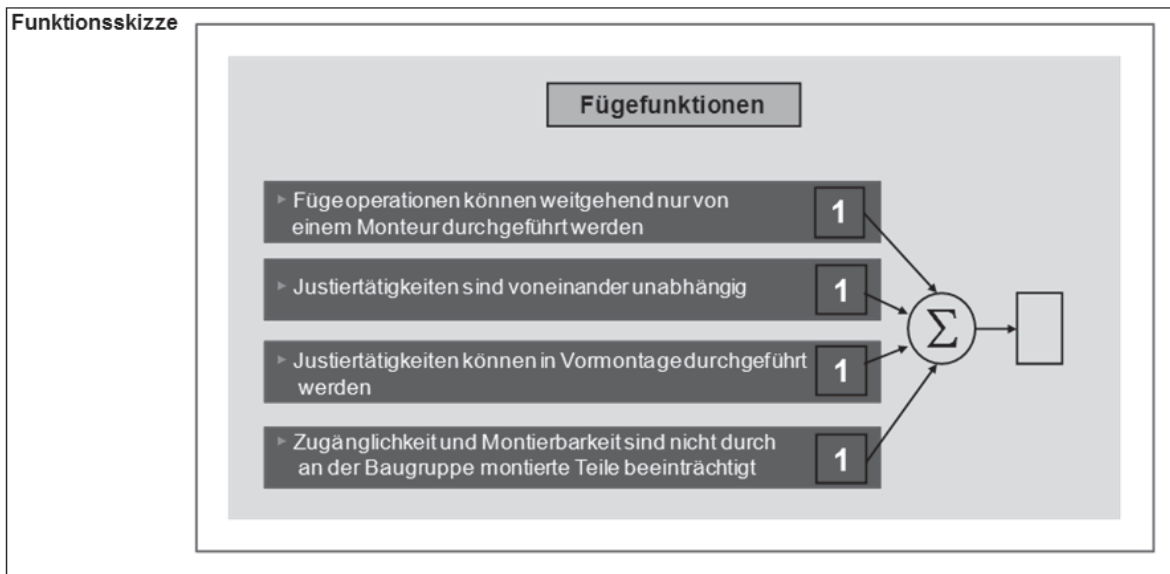
- ▶ Produktstruktur
- ▶ Produktspezifische Informationen aus Vertrieb und Finanz

Vorgehen

- ▶ Erstellung eines Sollprofils.
- ▶ Bewertung der 17 Einflusskriterien mittels vordefinierten Punktekriterien.
- ▶ Soll-Ist-Vergleich für jedes Kriterium.

Ergebnis

- ▶ 17 Kennzahlen (je eine Kennzahl pro Kriterium).
- ▶ Jede Kennzahl muss mit dem Erwartungshorizont (Sollprofil) verglichen werden.
- ▶ Grenzwerte sind nicht definiert. Die Güte ergibt sich durch den Soll-Ist-Vergleich.



Anlage III: Genauer untersuchte Baugruppen

Anzahl	Modell	Baugruppenbezeichnung	Anzahl Varianten
1	B8	Dachspoiler	4
2	A3	Klimabedienteil	3
3	A3	CW-Boden	3
4	B8	Vorbereitung Glanzpaket	4
5	B8	ADS-Lenkung	2
6	B8	Vorbereitung Schwarzpaket	3
7	A3	Antennenmodul	3
8	B8	F R A- Leitung	4
9	B8	Vordersitz	2
10	A3	Cockpitleitungssatz	2
11	B8	Heckklappenverkleidung	5
12	B8	Großdach	2
13	B8	Dämmung Radhaus	4
14	B8	Einfüllstutzen Wischwasser	2
15	B8	CW-Bodenverkleidung	3
16	B8	Anhängerkupplung	2
17	B8	Frontklappenauskleidung	2
18	A3	Sicherheitsgurt, hinten	2
19	B8	Wasserkastenabdeckung	2
20	B8	Schutzkappe Ölleitung	2
21	B8	Sicherheitsgurt, B-Pfosten	2

Anlage IV: Erstellung des Bewertungsbogens

	TMU	Punkte	Ganze Punkte	
Clipse	Ein vormontierter Clip	50	0,1563	16
	Ein Clip, von Hand, ohne Ausrichten	75	0,2344	23
	Ein Clip, von Hand, mit Ausrichten oder mit Werkzeug	95	0,2969	30
Fügestellen	Eine Fügestelle	20	0,0625	6
	Einsatz 2. Mann oder Handlingsgerät	180	0,5625	56
Klebprozesse	Ein Klebestreifen	125	0,3906	39
	Eine Kleberaube	618	1,9313	193
	Eine Bauteilreinigung	440	1,3750	138
	Eine Lehre	150	0,4688	47
	Eine Rolle	205	0,6406	64
Leitungen	Einen Wickelclip an einer Einzelleitung clippen	60	0,1875	19
	Einen Wickelclip am Kabelbaum clippen	85	0,2656	27
	Eine Leitung ≤ 30 cm verlegen	105	0,3281	33
Montageeinzelteil	Ein Montageeinzelteil	75	0,2344	23
	Ein Montageeinzelteil, Gewicht > 1 kg + sperrig ($>30 \times 30 / >80$ cm)	155	0,4844	48
Nieten	Einen Popniet, Automatikzuführung, Nietanlage	72	0,2250	23
	Einen Popniet, Einzelzuführung, Akkuzieher	133	0,4156	42
	Einen Gewindeniet	320	1,0000	100
Prozesszeit	Eine Prozesszeit ($\leq 0,1$ Min.)	165	0,5156	52
Schrauben	Eine Schraube, von Hand heften	90	0,2813	28
	Eine Maschinenschraube mit Akkuschauber	120	0,3750	38
	Eine Blechschraube mit Akkuschauber	130	0,4063	41
	Eine Maschinenschraube mit EC-Schrauber	180	0,5625	56
Stecker	Einen Stecker stecken	75	0,2344	23
Verbauorte	Ein anderer Verbauort	85	0,2656	27
Werkzeuge	Werkzeug aufnehmen und ablegen	40	0,1250	13
	Werkzeugeinsatz aufnehmen und ablegen	130	0,4063	41

Umrechnung Punkte in Min: Punkte*0,00192=Min.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Henning Patrick Jander
Geburtstag 30. Juni 1978
Geburtsort Freiburg im Breisgau

Schule

1985 – 1989 Grundschule Tostedt
1989 – 1991 Orientierungsstufe Tostedt
1991 – 1998 Gymnasium Tostedt

Universität

1999 – 2005 Studium des Maschinenbaus an der
Technischen Universität Braunschweig
2002 Auslandssemester an der
Universidad Politécnica de Valencia (Spanien)
2009 – 2012 Berufsbegleitende Promotion an der
Technischen Universität Chemnitz

Beruf

1998 – 1999 Grundwehrdienst
1999 – 2005 Studienbegleitende Praktika bei
verschiedenen Unternehmen
2003 – 2004 Werkstudent bei der
Robert Bosch Elektronik GmbH, Salzgitter
2005 – 2006 Internationales Traineeprogramm der AUDI AG
2006 – 2008 Produktionsingenieur bei der AUDI AG, Neckarsulm
2008 – 2012 Referent Industrial Engineering bei der
AUDI AG, Ingolstadt
seit 2012 Strategiereferent bei der AUDI AG, Ingolstadt





