

# **Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien**

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von  
Sebastian Schubert

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Feldhusen  
Prof. Dr.-Ing. K.-H. Grote

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 2013



Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik

Band 16

**Sebastian Schubert**

**Methodik zur Planung  
vielfaltsoptimierter Produktfamilien**

Shaker Verlag  
Aachen 2013

**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.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2013)

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2278-0

ISSN 1438-4930

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

*Die vorliegende Dissertationsschrift entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus an der RWTH Aachen (ikt).*

*Mein Dank gilt zuerst meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Feldhusen für die Möglichkeit am ikt promovieren zu können und die vielen intensiven Diskussionen, die diese Dissertation direkt und indirekt beeinflusst haben. Außerdem danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. K.-H. Grote für die Übernahme des Koreferats und Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Corves für die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.*

*Allen Mitarbeitern des ikt möchte ich für die schöne und konstruktive Arbeitsatmosphäre, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat, danken. Besonders bedanke ich mich bei Dr.-Ing. Arun Nagarajah für die schöne Zeit mit vielen wissenschaftlichen und auch privaten Gesprächen. Der Austausch hat mir geholfen, die Inhalte dieser Arbeit weiterzuentwickeln.*

*Außerdem möchte ich meinen Kollegen Judith Pollmanns, Thomas Hohnen und Malte Hinsch für den regelmäßigen Austausch bei der Erarbeitung und Erstellung der Dissertation danken. Jan Erik Heller und Benedikt Günther danke ich für die Beantwortung von vielen großen und kleinen Fragen.*

*Besonderer Dank gilt meiner gesamten Familie, die ein verlässlicher Rückhalt ist. Herzlich bedanke ich mich bei meinen Eltern Ute und Ernst-Wilhelm und meiner Schwester Lena, die mir immer das Selbstvertrauen und die Unterstützung gegeben haben, die Dinge zu schaffen, die ich mir vorgenommen habe.*

*Meiner Frau Carolin danke ich von ganzem Herzen für die Liebe und die unendliche Bereitschaft, mich zu unterstützen.*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Relevanz der Aufgabenstellung .....	3
1.2	Struktur dieser Arbeit .....	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
2.1	Unternehmenssituation und -herausforderungen .....	6
2.2	Eingrenzungen und Definitionen .....	7
2.2.1	Art der Kundeneinbindung.....	8
2.2.2	Einordnung in die Unternehmensprozesse .....	9
2.2.3	Definitionen zur Produktstrukturplanung .....	11
2.2.4	Darstellung und Verwendung der Produktstruktur bei variantenreichen Produkten.....	14
2.3	Auswirkungen der Variantenvielfalt .....	15
2.3.1	Interne Vielfalt .....	15
2.3.2	Externe Vielfalt .....	17
2.3.3	Kaufentscheidungsprozess .....	17
2.3.4	Wahrnehmung des Bedarfs.....	20
2.3.5	Informationssuche .....	22
2.3.6	Bewertung von Alternativen .....	26
2.3.7	Kaufentscheidung .....	28
2.4	Zusammenfassung.....	29
<b>3</b>	<b>Anforderungen an die Methodik</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Stand der Forschung und Technik</b> .....	<b>33</b>
4.1	Mass Customization.....	33
4.2	Baukästen und Modularisierung.....	34
4.3	Modular Function Deployment .....	35
4.4	Modellierung flexibler Produktstrukturen – MOFLEPS .....	36
4.5	Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt .....	38
4.6	Variant Mode and Effects Analysis.....	40
4.7	Design for Product Variety .....	42
4.8	Design for Mass Customization.....	44
4.9	Bewertung der Methodiken .....	47
<b>5</b>	<b>Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien</b> .....	<b>49</b>

5.1	Hypothese .....	49
5.2	Einordnung der Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien in den Produktinnovationsprozess .....	50
5.3	Struktur der entwickelten Methodik .....	51
<b>6</b>	<b>Anwendbare Methoden zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien.....</b>	<b>57</b>
6.1	Ermitteln der relevanten Produktmerkmale und -ausprägungen .....	58
6.2	Priorisieren und Auswählen der Produktmerkmale und -ausprägungen.....	61
6.3	Ermitteln der Teilnutzenwerte für die gewählten Produktmerkmals- ausprägungen .....	66
6.3.1	Methoden zu Messung der Präferenz .....	67
6.4	Ermitteln der Aufwandskennwerte für die Merkmalsausprägungen.....	74
6.4.1	Modell zur Abschätzung des Aufwandes.....	74
6.4.2	Kennzahlen zur Ermittlung der Aufwandskennwerte .....	76
6.4.3	Zusammenführung zu einem Aufwandskennwert .....	82
6.5	Durchführen der Clusteranalyse.....	85
6.5.1	Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes .....	86
6.5.2	Durchführen der Gruppenbildung.....	87
6.5.3	Nutzung der Selbstorganisierenden Merkmalskarten in diesem Anwendungsfall.....	88
6.5.4	Optimierte Anzahl von Clustern.....	89
6.6	Ableiten der Produktfamilien und der zu realisierenden Ausprägungen .....	91
6.7	Aufstellen der Referenzproduktstrukturen für die Produktfamilien.....	94
6.8	Kritische Bewertung der Referenzproduktstrukturen .....	95
6.9	Ergebnis der Methodik .....	97
<b>7</b>	<b>Validierung der Methodik am Beispiel einer Computermaus .....</b>	<b>99</b>
7.1	Ermitteln der relevanten Produktmerkmale und -ausprägungen .....	99
7.2	Priorisieren und Auswählen der Produktmerkmale und -ausprägungen.....	100
7.3	Ermitteln der Teilnutzenwerte für die gewählten Produktmerkmalsausprägungen ...	100
7.4	Ermitteln des Aufwandskennwertes für die Produktmerkmalsausprägungen.....	102
7.5	Durchführen der Clusteranalyse.....	105
7.6	Ableiten der Produktfamilien und der zu realisierenden Ausprägungen .....	106
7.7	Aufstellen der Referenzproduktstrukturen für die Produktfamilien.....	107
7.8	Kritische Bewertung der Referenzproduktstrukturen .....	109
7.9	Ergebnis der Methodik .....	111
<b>8</b>	<b>Kritische Betrachtung der Methodik.....</b>	<b>113</b>
8.1	Erfüllung der Anforderungen an die Methodik .....	113

---

8.2	Berücksichtigung des Merkmals <i>Preis</i> .....	115
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>117</b>
9.1	Zusammenfassung.....	117
9.2	Ausblick.....	119
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>121</b>
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>129</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Abbildung der Marktanforderungen durch Produktfamilien .....	2
Abbildung 2: Unterscheidung der Kundenintegration nach der Phase der Einbindung im Produktlebenszyklus (Baumberger 2007, Piller et al. 2003) .....	8
Abbildung 3: Fünfstufiger Stage-Gate-Prozess (Cooper 1990, Kleinschmidt et al. 1996) .....	10
Abbildung 4: Charakteristische Kurven der Kostenfestlegung und Kostenentstehung sowie der Einflussnahme auf die Kosten (Singh 1996, Ehrlenspiel et al. 2007) .....	11
Abbildung 5: Produktarchitektur mit Produktstruktur und Referenzausprägungsstruktur eines Produktes (in Anlehnung an Ulrich (1995) und Göpfert (1998)) .....	12
Abbildung 6: Ursachen für die interne Vielfalt (Franke 2002) .....	15
Abbildung 7: Kosten-, Zeit- und Qualitätsauswirkungen der Vielfalt (Franke 2002, Rathnow 1993) .....	16
Abbildung 8: Methoden zur Begrenzung der Vielfalt durch die Kombination von Objekten (Franke 2002) .....	16
Abbildung 9: Strategisches und operatives Variantenmanagement (Menge 2001) .....	17
Abbildung 10: Die Phasen der Kaufentscheidungsprozesse für Massenprodukte und kundenspezifische Produkte (Kotler 2007, Lindemann et al. 2006) .....	18
Abbildung 11: Motivationsprozess nach Schiffman/Kanuk (Schiffman et al. 1978) .....	21
Abbildung 12: Drei-Speicher-Modell (Bettman 1979) .....	23
Abbildung 13: Gegenüberstellung von High- und Low-Involvement-Käufen (Kuß et al. 2004) .....	25
Abbildung 14: Involvement in der Informationssuche und -verarbeitung (Trommsdorff 2009) .....	26
Abbildung 15: Nutzenarten nach Vershofen und Huber (Huber 2008, Vershofen 1959) .....	28
Abbildung 16: Methodik des Modular Function Deployments nach Erixon (Erixon 1998) .....	35
Abbildung 17: Aufwände und zugehörige Produkteigenschaften verschiedener Modulkonzepte (Ericsson et al. 1999) .....	36
Abbildung 18: Matrixdarstellung mit Kreisschluss und Hierarchie zwischen Komponenten (links) und Grafendarstellung (rechts) (Lindemann et al. 2006) .....	37
Abbildung 19: Phasenmodell der integrierten Variantenbewertung nach Heina (Heina 1999) .....	38
Abbildung 20: Kalkulationsschema zur Variantenkalkulation nach Heina (Heina 1999) .....	39

Abbildung 21: Verrechnungsprinzip für die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (Caesar 1991) .....	41
Abbildung 22: Detaillierung der Kostenschwerpunkte (Caesar 1991) .....	42
Abbildung 23: Produktstrukturgraf mit merkmalsbezogenen Kennzahlen (links) und Aufwand-Nutzen-Diagramm (rechts) (Ishii et al. 1995).....	43
Abbildung 24: Vorgehen beim Design for Mass Customization (Jiao 1998).....	45
Abbildung 25: Schema zur Darstellung der Bewertung.....	47
Abbildung 26: Bewertung der Methodiken.....	47
Abbildung 27: Veränderung der internen und externen Vielfalt bei Anwendung der <i>Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien</i> .....	50
Abbildung 28: Einordnung der Methodik MePoP in den Produktinnovationsprozess .....	50
Abbildung 29: Schritte und Arbeitsergebnisse der <i>Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien</i> .....	52
Abbildung 30: Eingangsdaten für die Clusteranalyse.....	53
Abbildung 31: Auswertung der Clusteranalyse.....	54
Abbildung 32: Optimierung der Produktfamilien durch Reduzierung der Merkmalsausprägungen.....	55
Abbildung 33: Anwendbare Methoden zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien .....	57
Abbildung 34: Beziehung zwischen dem Erfüllungsgrad der Kundenanforderung und der subjektiv empfundenen Kundenzufriedenheit gemäß dem Modell nach Kano (Kramer et al. 1997, Kano et al. 1984).....	62
Abbildung 35: Ausprägungsklassifizierung auf Basis des Modells nach Kano (Pohl 2008, Nagarajah 2013).....	63
Abbildung 36: Laddering: Beispiel anhand eines Mobiltelefons (Quinlan 2008).....	65
Abbildung 37: Bewertungskriterien nach Schmidt (Schmidt 1996).....	67
Abbildung 38: Methoden der multiattributiven Präferenzmessung (Sattler 2006).....	68
Abbildung 39: Vorgehen bei der Conjoint Analyse (Backhaus et al. 2003) .....	69
Abbildung 40: Profilmethode und Trade-Off-Methode.....	70
Abbildung 41: Flussdiagramm als Grundlage für eine Hierarchische Conjoint Analyse (Louviere et al. 1987) .....	71
Abbildung 42: Vergleich zweier Produktkonzepte bei der ACA .....	73

---

Abbildung 43: Zuordnung von unternehmensbereichbezogenen Aufwänden zu den Kennzahlen .....	75
Abbildung 44: Kennzahlen in Abhängigkeit der Prozessschritte .....	76
Abbildung 45: Darstellung der Referenzproduktarchitektur als Matrix.....	77
Abbildung 46: Beispielhafte Design Structure Matrix zur Ermittlung der Komponentenkonnektivität (in Anlehnung an Browning (2001)).....	78
Abbildung 47: Ermittlung der Kennzahl für den ausprägungsbezogenen Konstruktionsaufwand .....	79
Abbildung 48: Komponentenkostenkurvenverlauf für unterschiedliche Komponententypen (in Anlehnung an Dyckhoff 1994, Feldhusen et al. 2013c).....	80
Abbildung 49: Vorgehen zur Ermittlung des Kennwerts für den kundenbezogenen Entkopplungspunkt.....	81
Abbildung 50: Aufwandskennzahlen .....	83
Abbildung 51: Gesamtkosten nach Kostenstellen gemäß VDMA-Kennzahlen Kosten 2005 (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau 2008).....	84
Abbildung 52: Aufbau einer Selbstorganisierenden Merkmalskarte (Zell 1997).....	86
Abbildung 53: Darstellung des Clusterergebnisses .....	89
Abbildung 54: Fehlerquadratsumme über der Anzahl der Cluster aufgetragen (Backhaus et al. 2003) .....	90
Abbildung 55: Darstellung der Ergebnisse als Merkmalskarte .....	91
Abbildung 56: Portfolio-Darstellung zur Standardisierung von Merkmalen (vgl. Heina 1999) .....	92
Abbildung 57: Eliminierung weiterer Ausprägungen durch den Vergleich der RAS.....	93
Abbildung 58: Optimierung einer Produktfamilie durch Reduzierung der Merkmalsausprägungen.....	94
Abbildung 59: Optimierte Referenzproduktstruktur einer Produktfamilie .....	95
Abbildung 60: Anzahl von Varianten auf Komponenten-, Unterbaugruppen- und Produktebene zur Unterscheidung von erfolgreichen und weniger erfolgreichen Unternehmen (Kluge 1997).....	97
Abbildung 61: Zusammenfassende Darstellung der <i>Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien</i> .....	98
Abbildung 62: Produktmerkmale und zugehörige Ausprägungen einer Computermaus .....	99
Abbildung 63: Computermaus mit recherchierten Produktmerkmalen und ihren Ausprägungen .....	100

---

Abbildung 64: Ergebnisse der Adaptiven Conjoint Analyse.....	102
Abbildung 65: Produktarchitektur einer Computermaus .....	103
Abbildung 66: Montagereihenfolge Computermaus und Bewertung der Komponenten .....	104
Abbildung 67: Ausprägungsbezogene Aufwandskennwerte .....	105
Abbildung 68: Verteilung der Ausprägungshäufigkeiten für die drei Cluster.....	107
Abbildung 69: Optimierte Referenzproduktarchitektur des Clusters 3 .....	108
Abbildung 70: Optimierte Referenzproduktstruktur des Cluster 3.....	109
Abbildung 71: Bewertung der Konzepte zur Erstellung der Produktfamilien .....	111
Abbildung 72: Bewertung der Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien .....	114
Abbildung 73: Optimierung der internen Vielfalt durch Anwendung der <i>Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien</i> .....	118
Abbildung 74: Die Beurteilung der Methoden der Messung von Eigenschaftswichtigkeiten bezüglich der Kriterien der Konstruktvalidität (Schmidt 1996) .....	130
Abbildung 75: Detaillierung der Kostenschwerpunkte (Caesar 1991) .....	131
Abbildung 76: Ausprägung und Verfügbarkeit der Bewertungselemente (Caesar 1991) .....	132
Abbildung 77: Ermittlung des Konnektivitätswerts und des ausprägungsbezogenen Aufwandskennwerts für den Konstruktionsaufwand .....	133
Abbildung 78: Ermittlung der Komponententypen und des ausprägungsbezogenen Aufwandskennwerts für den Komponentenfertigungsaufwand .....	134
Abbildung 79: Ermittlung des kundenbezogenen Entkopplungspunkt und des zugehörigen ausprägungs-bezogenen Aufwandskennwerts .....	135
Abbildung 80: Ermittlung der Anzahl von Verknüpfungen und des ausprägungsbezogenen Aufwands-kennwerts für den Overhead .....	136
Abbildung 81: Selbstorganisierende Merkmalskarten der 19 Ausprägungen .....	137
Abbildung 82: Optimierte Referenzproduktarchitektur der Computermaus des Clusters 1 .....	138
Abbildung 83: Optimierte Referenzproduktarchitektur der Computermaus des Clusters 2 .....	139

---

## Abkürzungsverzeichnis

ACA	Adaptive Conjoint Analyse
AKW	Ausprägungsbezogenem Aufwandskennwert
DfMC	Design for Mass Customization
DfPV	Design for Product Variety
ERP	Enterprise-Resource-Planning
MePoP	Methodik zur Planung vielfaltsoptimierter Produktfamilien
MFD	Modular Function Deployment
PEP	Produktentstehungsprozess
PIP	Produktinnovationsprozess
PLZ	Produktlebenszyklus
RPA	Referenzproduktarchitektur
RAS	Referenzausprägungsstruktur
RPS	Referenzproduktstruktur
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis