

"Die moderne Welt, erkenntnistheoretisch, soziologisch und ökonomisch betrachtet, hört auf ein neues Stichwort. Es lautet Information. Informationen sind die neuen Steine der Weisen, mit denen auch die weniger Weisen zu bauen suchen, Informationstechnologien die neuen Zauberstäbe, die die Welt lesbar und verfügbar machen, ein modernes Abrakadabra, das die Welt auf Bildschirme zaubert und mehr Antworten bereitzuhalten scheint, als Fragen verfügbar sind."
J. Mittelstraß ([Mit92, S. 221])

Vorwort

Diese Arbeit entstand in den Jahren 2005 bis 2008 parallel zu meiner Tätigkeit als Wirtschaftsinformatiker bei der AUDI AG in Neckarsulm. Im Laufe dieser Zeit wurde ich immer wieder mit Herausforderungen konfrontiert, die allein kaum zu bewältigen waren. Nur in einem entsprechenden Umfeld war es mir möglich, die Motivation über den gesamten Zeitraum aufrecht zu erhalten und mich immer wieder mit den fachlichen Inhalten der Arbeit auseinanderzusetzen. Deshalb bin ich vielen Menschen zu Dank verpflichtet.

Herr Prof. Dr. T. Teich hat maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Arbeit überhaupt entstehen konnte. Er gab mir viele wichtige Informationen, ohne die ihre Realisierung nicht möglich gewesen wäre. Vor allem bei der Erstellung von Veröffentlichungen stand er mir immer hilfreich zur Seite. Den Herren Prof. Dr. J. Käschel und Prof. Dr. F.T. Piller danke ich für ihre Bereitschaft zur Übernahme der Gutachten.

Dank gilt auch meinem ehemaligen Koordinator Herrn Nico Siebeck. Durch die Übertragung eines umfangreichen Projekts brachte er mich mit der in dieser Arbeit behandelten Thematik in Berührung. Die durch ihn bei der Umsetzung gewährten Freiräume sowie die stets vorhandene Rückendeckung habe ich nie als selbstverständlich erachtet. Gleichzeitig waren diese Voraussetzungen ein wesentlicher Grundstein für den erfolgreichen Projektabschluss.

Für die stetige Diskussionsbereitschaft und die stets willkommene konstruktive Kritik möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Otmar Görlitz bedanken. Vor allem bei der Formalisierung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modelle war er für mich eine wertvolle Unterstützung.

Letztendlich und trotzdem an erster Stelle möchte ich mich aber bei meiner Ehefrau Jana Oestreich, bei meinen Eltern Gisela und Steffen Oestreich sowie bei meinen Schwiegereltern Marina und Dietmar Lein bedanken. Mit ihrer Geduld und ihrer moralischen Unterstützung gelang es ihnen immer wieder mich aufzumuntern und zu motivieren, diese Arbeit erfolgreich abzuschließen.

Ich widme diese Arbeit Jana.

Oedheim, im Mai 2009

Erik Oestreich

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	ix
Algorithmenverzeichnis	xvii
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	xix
1 Einführung und Motivation	1
1.1 Einführung	1
1.2 Untersuchungsmotivation	2
1.3 Untersuchungsobjekt und Untersuchungsgegenstand	4
1.3.1 Bedeutung der Automobilindustrie in Deutschland	5
1.3.2 Wettbewerbssituation	6
1.3.3 Individualisierung als Herausforderung	8
1.4 Verständnis und Untersuchungsziel	10
1.5 Gang der Untersuchung	12
2 Mass Customization als Strategie zur Produktindividualisierung und Komplexitätsbewältigung	17
2.1 Wettbewerbsstrategie der Mass Customization	17
2.1.1 Entwicklung der Strategie der Mass Customization	18
2.1.2 Begriff und Definition	20
2.1.3 Voraussetzungen und Prinzipien der MC	23
2.1.3.1 Modularisierung	24
2.1.3.2 Einschränkung der Auswahlmöglichkeiten	27
2.1.3.3 Kundenintegration und Kundeninteraktion	30

2.1.3.4	Informationsmanagement	32
2.1.3.5	Kundenindividuelle Vor- und Endfertigung	34
2.1.3.6	X-to-Order-Produktion und Inversion der Wertschöpfungskette	37
2.1.4	Wirtschaftliche Aspekte der Mass Customization	40
2.1.4.1	Ertragssteigerungspotenziale	40
2.1.4.2	Kosten der Realisierung der Ertragssteigerung	42
2.1.4.3	Kostensenkungspotenziale	44
2.1.4.4	Kosten der Realisierung der Kostensenkungspotenziale	48
2.1.4.5	Zusammenfassung	51
2.1.5	Konzeptionen der Mass Customization	51
2.1.5.1	Konzeptionen nach Lampel und Mintzberg	52
2.1.5.2	Konzeptionen nach Duray, Ward, Milligan und Berry	53
2.1.5.3	Konzeptionen nach Piller	55
2.1.5.4	Konzeptionen nach Alford, Sackett und Nelder	57
2.1.6	Kritikpunkte der Mass Customization	59
2.2	Mass Customization als eigenständiges Konzept der Leistungserstellung	62
2.2.1	Leistungserstellung im Spannungsfeld von Individualisierung und Standardisierung	62
2.2.2	Mass Customization als eigenständiger Fertigungstyp	64
2.2.2.1	Mass Customization und Einzelfertigung	64
2.2.2.2	Mass Customization und Variantenfertigung	66
2.2.2.3	Übergang von individueller Fertigung und Massenfertigung zur Mass Customization	67
2.2.3	Variantenfließfertigung als Organisationstyp der Fertigung einer kundenindividuellen Massenproduktion	69
2.3	Komplexität und Variantenvielfalt	71
2.3.1	Begriff und Definition	71
2.3.2	Treiber und Schichten der Komplexität	73
2.3.2.1	Komplexitätstreiber	73
2.3.2.2	Komplexitätsschichten	75
2.3.3	Variantenvielfalt als Komplexitätstreiber	77
2.3.3.1	Ursachen	78

2.3.3.2	Kostenwirkungen	80
2.3.3.3	Komplexitätsfalle	83
2.3.4	Varianten- und Komplexitätsmanagement	85
2.3.4.1	Komplexitätsmanagement nach Wildemann	85
2.3.4.2	Ordnungsrahmen des Komplexitätsmanagements nach Bliss	87
2.4	Mass Customization und Komplexität	89
2.4.1	Der Zusammenhang von Mass Customization und Komplexität	89
2.4.1.1	Überblick	90
2.4.1.2	Erhöhung der Komplexität	91
2.4.1.3	Senkung der Komplexität	93
2.4.2	Kennzahlensystem zur Bestimmung der Komplexität	95
2.4.2.1	Komplexitätsbeeinflussende Teilprozesse der Mass Cu- stomization	95
2.4.2.2	Standard-Kennzahlensystem	98
2.4.2.3	Erweitertes Kennzahlensystem	101
2.4.2.4	Anwendbarkeit	103
3	Produktkonfiguration und Produktkonfigurationssysteme	105
3.1	Konfiguration	106
3.2	Konfigurierbare Produkte - Prozess, Nutzen und Herausforderungen	110
3.2.1	Prozess	110
3.2.2	Nutzen	112
3.2.3	Herausforderung und der Bedarf an IT - Tools	114
3.3	Produktkonfiguratoren	116
3.3.1	Definition	117
3.3.2	Aufbau	119
3.3.3	Charakterisierung von Konfigurationssystemen	121
3.3.4	Aufgaben von Konfigurationssystemen	125
3.3.5	Nutzen und Herausforderungen	128
3.4	Formen der Wissensrepräsentation	130
3.4.1	Darstellungsbasierte Ansätze	131
3.4.1.1	Regelbasiertes Konfigurieren	131

3.4.1.2	Logikbasiertes Konfigurieren	133
3.4.1.3	Strukturbasiertes Konfigurieren	134
3.4.1.4	Ressourcenorientiertes Konfigurieren	135
3.4.1.5	Constraintbasiertes Konfigurieren	136
3.4.1.6	Objektbasiertes Konfigurieren	137
3.4.1.7	Entscheidungstabellenbasiertes Konfigurieren	139
3.4.2	Fallbasiertes Konfigurieren	140
3.5	Ausgewählte Ansätze der Produktkonfiguration	141
3.5.1	Beherrschung der Variantenvielfalt durch den Einsatz intelligenter Agenten	142
3.5.2	Erweiterter Konfigurationsprozess nach Scheer	144
3.5.3	CAWICOMS	146
3.5.4	Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix	149
4	Problemspezifikation und Lösungsansatz	153
4.1	Automobilindustrie und Mass Customization	153
4.1.1	Bewertung des State of the Art	154
4.1.2	Der Smart - Auf dem Weg zur kundenindividuellen Massenproduktion	157
4.1.3	Das Projekt CATER	159
4.2	Vorgehen zur Entwicklung eines Konfigurationssystems nach Hvam	161
4.3	Das Fahrzeug als Gegenstand der Produktindividualisierung	166
4.3.1	Grundlegende Erzeugnisstruktur	166
4.3.2	Abbildungsebenen der Erzeugnisstruktur	167
4.3.3	Bestellcodes als Grundlage der vertrieblichen Produktdefinition	169
4.3.4	Regeln als Instrument der Sicherstellung der Konsistenz	171
4.3.5	Variantenvielfalt als Resultat	173
4.3.6	Modularisierung in der Endmontage und in den Beschaffungsprozessen	175
4.4	Kundenzufriedenheit, Kundenbedürfnisse und Variantenvielfalt	177
4.4.1	Kano-Modell der Kundenzufriedenheit	178
4.4.2	Customers-Needs-Modell nach Blecker et al.	180
4.4.3	Bewertung der Auswirkungen der Variantenvielfalt nach Desmeules	183

4.5	Problemstellung und Lösungsansätze	186
4.5.1	Fallbeispiel Individualisierung	188
4.5.2	Lösungsansätze	190
4.5.2.1	Verwendung eindeutiger Teilenummern	190
4.5.2.2	Verwendung von Pseudoteilenummern	193
4.5.2.3	Verwendung von Pseudoteilenummern in Verbindung mit weiterführenden Beschreibungslogiken	194
4.5.3	Anforderungen an das Konfigurationssystem	196
5	Der Entwurf des Konfigurationsmodells	201
5.1	Bewertung und Abgrenzung bestehender Ansätze im Umfeld der Produkt- konfiguration	201
5.1.1	Bewertung der bisher betrachteten Ansätze der Produktkonfigu- ration	202
5.1.1.1	Bewertung des Ansatzes von Blecker et al.	202
5.1.1.2	Bewertung des erweiterten Konfigurator-konzepts von Scheer	203
5.1.1.3	Bewertung von CAWICOMS	204
5.1.1.4	Bewertung der Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix	206
5.1.2	Abgrenzung der Begriffe Konfigurations- und Produktmodell . . .	207
5.1.3	Grundlagen der Arbeit mit dem Konfigurations- und Produktmodell	209
5.2	Grafische Wissensabstraktion	211
5.2.1	Visuelle (Programmier-) Sprachen	211
5.2.2	Repräsentationstechniken der visuellen Programmierung	213
5.2.3	Marrakesch	215
5.2.4	Erstellung von Konfigurationsdialogen	218
5.3	Grundlegende Techniken zur Modellierung des Konfigurationswissens . .	220
5.3.1	Das Objektfindungsproblem	220
5.3.2	Modellierung durch Vererbung	222
5.3.3	Prototype-Ansatz	223
5.3.4	Feature-Modelle als Mittel zur Darstellung variantenreicher Pro- dukte	224
5.3.4.1	Grundlagen	224
5.3.4.2	Feature-Modellierung und Produktkonfiguration	226

5.4	Das Merkmalsmodell als Bindeglied	227
5.4.1	Bedeutung des Merkmalsmodells nach Bieniek	227
5.4.2	Entwurf des Eigenschafts- und Merkmalsmodells	229
5.4.2.1	Grundlagen	229
5.4.2.2	Aufbau der Baumstruktur	230
5.4.2.3	Definition von Sprachen	234
5.4.2.4	Eigenschaften	235
5.4.2.5	Auswahlkriterien	237
5.4.2.6	Erweiterte Auswahlkriterien	239
5.5	Entwurf des Konfigurationsmodells	240
5.5.1	Grundlagen	241
5.5.1.1	Idee des Konfigurationsmodells	241
5.5.1.2	Konfigurationsprozess	242
5.5.1.3	Positionierung des Konfigurationssystems in der Auftragsabwicklung	244
5.5.1.4	Struktur des Konfigurationsmodells	246
5.5.1.5	Aufbau des Struktureditors	249
5.5.2	Modellierung	252
5.5.2.1	Vorlagen	252
5.5.2.2	Aufträge und Pakete	258
5.5.2.3	Modellierung von Constraints	261
5.5.2.4	Definition von Auswahlrestriktionen	263
5.5.2.5	Unterstützung einer Mehrfachauswahl	267
5.5.3	Ausgewählte Algorithmen	269
5.5.3.1	Erzeugung einer Individualeinbautendokumentation	270
5.5.3.2	Validierung von Constraints	277
5.5.3.3	Wiederherstellung eines bestehenden Auftrags	281
5.5.3.4	Auswahl von Merkmalsausprägungen	289
5.6	Zusammenfassung	292

6	Integration des Konfigurations- und Produktmodells	295
6.1	Grundlagen des Produktmodells	296
6.1.1	Definition und Begriffe	296
6.1.2	Grundformen zur Darstellung einfacher Produktstrukturen	298
6.1.3	Grundformen zur Darstellung variantenreicher Produktstrukturen	300
6.1.4	Der Gozintograph	304
6.2	Handhabung komplexer Produktstrukturen	305
6.2.1	Schwachstellen modularer Variantenstücklisten	305
6.2.2	Generic Bills of Material	307
6.2.3	Bill of Materials and Operations	310
6.3	Modellierungsansätze zur Darstellung von Stücklisten	312
6.3.1	Ansatz nach Olsen, Sætre und Thorstenson	312
6.3.2	Ansatz nach van der Aalst	315
6.4	Entwurf des Produktmodells	316
6.4.1	Einführung und Abgrenzung	317
6.4.2	Modellierung auftragsneutraler Variantenstücklisten	318
6.4.2.1	Definition der Rahmenbedingungen	318
6.4.2.2	Abbildung der grundlegenden Struktur	319
6.4.2.3	Variantenbildende Eigenschaften des Produktmodells	322
6.4.2.4	Regeln und Constraints	324
6.4.2.5	Logische Knoten zur Optimierung der Struktur	325
6.4.3	Auftragsspezifische Stücklisten	331
6.4.4	Betrachtung des Datenmodells	333
6.5	Integration des Konfigurations- und Produktmodells	336
6.5.1	Erweiterung des Konfigurationsmodells	336
6.5.1.1	Ansatzpunkte	336
6.5.1.2	Modellanpassungen	339
6.5.2	Ausgewählte Algorithmen	341
6.5.2.1	Betrachtung des Gesamtprozesses zur Generierung der Auftragsstücklisten	341
6.5.2.2	Bestimmung der Variantenstücklisten	344
6.5.2.3	Bestimmung der Eigenschaftsausprägungen und Vali- dierung von Constraints	346
6.5.2.4	Auflösung der Variantenstückliste	348
6.6	Zusammenfassung	352

7	Anwendung des Konfigurationsmodells und Ansätze zur Variantensteuerung	355
7.1	Anwendung der Modelle	355
7.1.1	Schritt 1: Definition des Eigenschafts- und Merkmalsmodells . . .	356
7.1.2	Schritt 2: Aufbau einer geeigneten Vorlage	359
7.1.3	Schritt 3: Erstellung der auftragsneutralen Variantenstückliste . .	364
7.1.4	Schritt 4: Kopplung von Vorlage und auftragsneutraler Stückliste .	368
7.1.5	Schritt 5: Adaption der Vorlage	369
7.1.6	Schritt 6: Erzeugung der Auftragsstückliste	372
7.2	Variantensteuerung	374
7.2.1	Einführung	374
7.2.2	Problematik	375
7.2.3	Ansätze zur Variantensteuerung auf der Grundlage von Individual- einbautendokumentationen	377
7.2.3.1	Durchführung einer Analyse auf der Grundlage von aggregierten Informationen der Spezifikationselemente . .	377
7.2.3.2	Verwendung zusätzlicher Eigenschaften	379
8	Zusammenfassung	383
8.1	Rückblick	383
8.2	Weiterführende Forschungsarbeiten	389
	Literaturverzeichnis	391