





TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik  
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung  
für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen  
Leistungsanteilen**

**Markus Wiedemann**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Die Dissertation wurde am 16.12.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 24.05.2016 angenommen.



Markus Wiedemann

**Methodik zur auslastungsorientierten  
Angebotsterminierung für hochvariante  
Produkte mit kundenindividuellen  
Leistungsanteilen**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 324

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2016

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2016

ISBN 978-3-8316-4599-2

Printed in Germany  
Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.





## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München, möchte ich mich herzlich für die Übernahme des Korreferats und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen des Instituts recht herzlich für die stets angenehme Zusammenarbeit. Besonders hervorheben möchte ich die Herren Christoph Rimpau und Mathey Wiesbeck sowie meinen Bürokollegen Marc Lotz, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit mit Rat und Tat unterstützt haben. Bei den Studierenden, die meine Forschung in Form von Studienarbeiten begleitet haben, bedanke ich mich für deren Interesse und Engagement. Des Weiteren gilt mein Dank den Kollegen Jan-Fabian Meis und Michael Niehues, die das Manuskript kritisch begutachtet und viele wertvolle Anregungen gegeben haben. Darüber hinaus möchte ich mich auch herzlich bei Nina Rudolf für die grammatikalische Korrektur der Arbeit bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die immer an mich geglaubt und mich stets mit allen Kräften unterstützt haben. Vor allem aber möchte ich mich bei meiner Frau Karina bedanken. Sie hat in den vergangenen Jahren viel Geduld mit mir bewiesen und mir stets die erforderlichen Freiräume sowie auch den notwendigen Rückhalt gegeben. Nur dank ihrer Hilfe konnte ich diese Arbeit erfolgreich abschließen.

München, im Juni 2016

*Markus Wiedemann*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XV</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Problemstellung.....	4
1.3 Zielsetzung.....	8
1.4 Aufbau der Arbeit.....	9
<b>2 Grundlagen der Individualisierung.....</b>	<b>13</b>
2.1 Kapitelüberblick.....	13
2.2 Individualisierung aus Produktsicht.....	13
2.3 Individualisierung aus Prozesssicht.....	15
2.3.1 Gestaltung der Kundenintegration.....	15
2.3.2 Festlegung der Auftragsabwicklung.....	19
2.3.2.1 Begriffsdefinition.....	19
2.3.2.2 Prozessbeschreibung.....	21
2.4 Zwischenfazit.....	23
<b>3 Grundlagen der Angebotsbearbeitung.....</b>	<b>25</b>
3.1 Kapitelüberblick.....	25
3.2 Prozesse in der Angebotsbearbeitung.....	25
3.2.1 Begriffsdefinition und Prozessüberblick.....	25

3.2.2	Phase der Angebotsvorbereitung .....	27
3.2.3	Phase der Angebotserstellung .....	28
3.2.4	Phase der Angebotsnachbereitung .....	30
3.3	Ergebnisse aus der Angebotsbearbeitung .....	30
3.4	Software in der Angebotsbearbeitung .....	32
3.4.1	Systemüberblick .....	32
3.4.2	ERP-Systeme .....	34
3.4.3	CRM-Systeme .....	36
3.4.4	Konfigurationssysteme .....	38
3.5	Zwischenfazit .....	40
<b>4</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>41</b>
4.1	Kapitelüberblick .....	41
4.2	Verfahren zur Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit .....	41
4.2.1	Überblick der Verfahrensarten .....	41
4.2.2	Qualitative Verfahren .....	42
4.2.3	Quantitative Verfahren .....	44
4.2.4	Scoring-Modelle .....	46
4.2.5	Zusammenfassung .....	49
4.3	Verfahren zur Ableitung des Produktliefertermins .....	50
4.3.1	Betrachtungsgegenstand .....	50
4.3.2	Planungsgrößen .....	51
4.3.2.1	Berechnung der Arbeitsplatzdurchlaufzeit .....	51
4.3.2.2	Berechnung der Produktionskapazität .....	53

4.3.3	Planungsverfahren .....	55
4.3.3.1	Durchlauforientierte Verfahren .....	55
4.3.3.2	Kapazitätsorientierte Verfahren.....	60
4.3.4	Zusammenfassung.....	64
4.4	Bewertung und Handlungsbedarf.....	66
<b>5</b>	<b>Konzeption der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung .....</b>	<b>69</b>
5.1	Kapitelüberblick.....	69
5.2	Anforderungen an die Methodik .....	69
5.2.1	Kategorisierung der Anforderungen.....	69
5.2.2	Spezifische Anforderungen .....	70
5.2.3	Allgemeine Anforderungen.....	71
5.2.4	Zusammenfassung der Anforderungen .....	71
5.3	Entwurf der Methodik.....	72
5.3.1	Gesamtprozess – Prozessschaubild.....	72
5.3.2	Input aus der Produktionsplanung.....	74
5.3.3	Prozess der Angebotsbearbeitung .....	76
5.3.3.1	Angebotsvorbereitung .....	76
5.3.3.2	Angebotserstellung .....	76
5.3.3.3	Angebotsnachbereitung .....	84
5.3.4	Output an die Produktionsplanung.....	84
5.4	Zwischenfazit.....	86
<b>6</b>	<b>Detaillierung der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung .....</b>	<b>87</b>

6.1	Kapitelüberblick.....	87
6.2	Wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit.....	88
6.2.1	Herleitung der Auftragswahrscheinlichkeit .....	88
6.2.2	Kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit $AW_K$ .....	89
6.2.3	Produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit $AW_P$ .....	91
6.2.4	Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit .....	94
6.2.5	Aktualisierung der Auftragswahrscheinlichkeit .....	97
6.2.6	Zusammenfassung – Auftragswahrscheinlichkeit .....	98
6.3	Simulationsbasierte Bestimmung des Produktliefertermins.....	99
6.3.1	Planungsablauf – Struktur und Prozesselemente .....	99
6.3.2	Durchlaufterminierung – Prüfung des Wunschtermins .....	101
6.3.2.1	Vorbemerkung.....	101
6.3.2.2	Prozessbeschreibung .....	102
6.3.2.3	Ergebnisinterpretation .....	104
6.3.3	Kapazitätsterminierung – Einplanung der Anfrage .....	105
6.3.3.1	Vorbemerkung.....	105
6.3.3.2	Rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung .....	106
6.3.3.3	Vorwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung.....	109
6.3.3.4	Ergebnisinterpretation .....	110
6.3.4	Absicherung gegen Kapazitätsunterdeckung.....	111
6.3.4.1	Fokus der Analyse .....	111
6.3.4.2	Vorbereitung der Analyse .....	112
6.3.4.3	Durchführung der Analyse .....	116

6.3.4.4	Ergebnis der Analyse.....	119
6.3.5	Absicherung gegen Kapazitätsüberdeckung .....	122
6.3.5.1	Vorbemerkung zur Angebotsgültigkeit .....	122
6.3.5.2	Berechnung der Angebotsgültigkeit .....	123
6.3.6	Zusammenfassung – Produktliefertermin .....	126
6.4	Zwischenfazit .....	127
<b>7</b>	<b>Umsetzung der Methodik zur auslastungsorientierten</b>	
	<b>Angebotsterminierung .....</b>	<b>129</b>
7.1	Kapitelüberblick .....	129
7.2	Vorstellung des Praxisbeispiels .....	130
7.2.1	Beschreibung der Produkteigenschaften .....	130
7.2.2	Beschreibung des Produktionsprozesses .....	131
7.3	Anwendung der Methodik .....	133
7.3.1	Abstraktion der Methodik .....	133
7.3.2	Definition der Szenarien.....	134
7.3.3	Simulation der Szenarien .....	136
7.3.3.1	Ergänzung der Kundenanfragen .....	136
7.3.3.2	Einplanung der Kundenanfragen.....	137
7.3.3.3	Einplanung der Kundenrückmeldungen .....	140
7.3.4	Analyse der Szenarien.....	143
7.3.5	Zusammenfassung.....	145
7.4	Bewertung der Methodik .....	147
7.5	Zwischenfazit .....	153

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>155</b>
8.1 Zusammenfassung .....	155
8.2 Ausblick .....	157
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>159</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>175</b>
Softwareprodukte.....	175
Studienarbeiten .....	175



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wirtschaftswachstum in Europa in den Jahren 2005-2012 (in Anlehnung an STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION 2014) .....	1
Abbildung 2:	Produzierendes Gewerbe – Anteil an der Bruttowertschöpfung im Jahr 2012 (STATISTISCHES BUNDESAMT 2013) .....	2
Abbildung 3:	Wettbewerbsstrategie Mass Customization (vgl. GRÄBLER 2004) .....	3
Abbildung 4:	Lieferterminermittlung und Lieferterminerfüllung (in Anlehnung an WIENDAHL 2004) .....	6
Abbildung 5:	Zeitdifferenz zwischen Angebot und Auftrag – Praxisbeispiel aus dem industriellen Umfeld .....	7
Abbildung 6:	Aufbau der vorliegenden Arbeit .....	11
Abbildung 7:	Idealpunkt eines Produkts aus Kundensicht (Nr. 1 - 4) im Vergleich zu den realen Produkteigenschaften (vgl. PILLER 1998) .....	14
Abbildung 8:	Mass Customization und Kundenintegration (in Anlehnung an GAHR 2006, REINHART & SPATH 2009) .....	17
Abbildung 9:	Individualisierungsstrategien zur Herstellung kundenindividueller Produkte .....	19
Abbildung 10:	Phasen des Auftragsabwicklungsprozesses (vgl. EVERSHEIM 1996) .....	20
Abbildung 11:	Auftragsabwicklung bei variantenreicher Serienfertigung und kundenindividueller Produktion .....	22
Abbildung 12:	Kontext der Angebotsbearbeitung (vgl. MÖHRINGER 1998) .....	26
Abbildung 13:	Elemente der Angebotsbearbeitung (in Anlehnung an SUTTROP 1992, VDI-EKV 1999) .....	27

Abbildung 14: Bestandteile eines Angebots (vgl. EVERSHEIM 1996).....	31
Abbildung 15: Softwaresysteme zur Unterstützung der Angebotsbearbeitung (in Anlehnung an SCHMIDT 2008).....	32
Abbildung 16: Abgrenzung und Funktion von ERP, PPS, APS und MES (in Anlehnung an MARCINSKI 2008, TENTROP 2011).....	36
Abbildung 17: Checkliste zur Anfragebewertung (HENTSCHEL 2008).....	43
Abbildung 18: Profilvergleich – Mindestprofil (durchgezogene Linie) und Profils eines Projekts (gestrichelte Linie) in Anlehnung an BARRMEYER (1982).....	44
Abbildung 19: Anspruchsniveau eines Unternehmens zur Anfragebewertung (HEGER 1988).....	45
Abbildung 20: Beispiel eines dominierenden Bewertungskriteriums (in Anlehnung an KAMBARTEL 1973).....	47
Abbildung 21: Beispiel eines ergänzenden Bewertungskriteriums (in Anlehnung an KAMBARTEL 1973).....	48
Abbildung 22: Scoring-Modell zur Anfrageanalyse (HENTSCHEL 2008).....	49
Abbildung 23: Bestandteile der Durchlaufzeit (in Anlehnung an NYHUIS & WIENDAHL 2012).....	51
Abbildung 24: Übergangszeitenmatrix für verschiedene Maschinengruppen.....	52
Abbildung 25: Betriebsmittelhierarchie (in Anlehnung an KURBEL 2005).....	54
Abbildung 26: Belastungsdiagramm bzw. Kapazitätsgebirge einer Maschinengruppe.....	55
Abbildung 27: Beispielhafte Darstellung eines einfachen Balkenplans.....	56
Abbildung 28: Beispielhafte Darstellung eines vernetzten Balkenplans.....	57
Abbildung 29: Verfahren der Netzplantechnik (in Anlehnung an LANDAU & HELLWIG 2007).....	58
Abbildung 30: Beispiel für einen VKN-Netzplan (in Anlehnung an BURGHARDT 2013).....	59

Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Durchlaufkurve eines Produkts auf einer Kapazitätseinheit (in Anlehnung an ALMENRÄDER 1987) .....	61
Abbildung 32: Beispiel der Terminierung mit Durchlaufkurven (in Anlehnung an VDI-EKV 1999) .....	62
Abbildung 33: Rechteckapproximation (vgl. VDI-EKV 1999).....	63
Abbildung 34: Gegenüberstellung der Verfahren (in Anlehnung an GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977, EVERSHEIM 1998) .....	65
Abbildung 35: Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit (I / II).....	67
Abbildung 36: Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit (II / II) .....	68
Abbildung 37: Anforderungen an die Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung.....	72
Abbildung 38: Prozessschaubild der Methodik zur Terminbestimmung im Angebotsprozess .....	73
Abbildung 39: Unterteilung der Produktionsplanung in den operativen, den taktischen und den strategischen Zeitbereich.....	74
Abbildung 40: Taktischer Planungsbereich – Übertragung der Kapazitätsdaten aus der Produktionsplanung in die Angebotsbearbeitung .....	75
Abbildung 41: Terminbestimmung – Kernprozess der Methodik .....	77
Abbildung 42: Stufen der Auftragswahrscheinlichkeit auf der Loyalitätsleiter (in Anlehnung an KREUTZER 1990) .....	78
Abbildung 43: Produktspezifikation auf Basis von Merkmalen und deren jeweiligen Ausprägungen.....	80
Abbildung 44: Planungsschritte zur Umsetzung der Terminbestimmung .....	81
Abbildung 45: Kapazitätsauslastung ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Auftragswahrscheinlichkeit AW .....	82
Abbildung 46: Anwendung der rollierenden Planung für eine Produktionsressource (vgl. KIENER et al. 2009).....	85

Abbildung 47: Bestimmung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit .....	91
Abbildung 48: Bezugs Ebene zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit bei Standardprodukten (links) und individuellen Produkten (rechts) .....	92
Abbildung 49: Bestimmung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit .....	93
Abbildung 50: Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit für Bestandskunden (oben) und Neukunden (unten) .....	94
Abbildung 51: Wertepaare der Gewichtungsfaktoren $G_K$ und $G_P$ (Beispiel) ....	96
Abbildung 52: Berechnung der kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten .....	97
Abbildung 53: Wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit auf Basis der Anfragebewertung .....	98
Abbildung 54: Ablauflogik der Termin- und Kapazitätsplanung.....	100
Abbildung 55: Vorgangsliste als Grundlage zur Generierung des Netzplans .....	102
Abbildung 56: Vorgangsknoten-Netzplan – beispielhafte Darstellung.....	103
Abbildung 57: Überprüfung der Erfüllbarkeit des Wunschtermins mit Hilfe der Durchlaufterminierung (Gesamtprozess siehe Abbildung 54).....	104
Abbildung 58: Informationsquellen für die Kapazitätsterminierung.....	105
Abbildung 59: Vorgehen der rückwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung ..	107
Abbildung 60: Planung der parallelen Vorgangfolgen im Netzplan.....	108
Abbildung 61: Rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung ausgehend vom Kundenwuschtermin (Gesamtprozess siehe Abbildung 54).....	109

Abbildung 62: Vorgehen der vorwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung – Ausschnitt (weitere Prozessschritte entsprechen der rückwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung in Abbildung 59) .....	109
Abbildung 63: Vorwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung ausgehend vom Produktionsstarttermin (Gesamtprozess siehe Abbildung 54) .....	110
Abbildung 64: Kapazitätsterminierung – Wunschtermin oder Plantermin.....	110
Abbildung 65: Risikobetrachtung bei Einplanung eines zusätzlichen Angebots .....	112
Abbildung 66: Prinzip der Monte-Carlo-Simulation (vgl. SCHELLMANN 2012) .....	114
Abbildung 67: Basisinformationen für die Monte-Carlo-Simulation .....	115
Abbildung 68: Angebotsterminierung mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation .....	117
Abbildung 69: Wahrscheinlichkeitsfunktionen der einem Planungsbereich zugeordneten Arbeitsgänge .....	118
Abbildung 70: Basisinformationen für die Monte-Carlo-Simulation (Beispiel) .....	119
Abbildung 71: Simulationsergebnis bei unterschiedlichen Belastungssituationen .....	120
Abbildung 72: Risiko in Abhängigkeit der eingeplanten Angebote A001 bis A012.....	122
Abbildung 73: Ermittlung der spezifischen Angebotsgültigkeit.....	123
Abbildung 74: Ablauflogik zur Absicherung gegen eine Kapazitätsüberdeckung .....	124
Abbildung 75: Bestimmung der Angebotsgültigkeit bei $AG_{spez} < AG_{max}$ .....	124
Abbildung 76: Bestimmung der Angebotsgültigkeit bei $AG_{spez} > AG_{max}$ .....	125
Abbildung 77: Basiskomponenten eines Schaltschranks.....	130

Abbildung 78: Überblick zur Fertigung und Montage von Schaltschränken..	131
Abbildung 79: Prozessschritte des Produktionsprozesses zur Herstellung des Schaltschrankgehäuses .....	132
Abbildung 80: Ausprägungen der Merkmale „Geometrie“ und „Lackierung“ bei einem Standard- bzw. Individual- Schaltschrank .....	136
Abbildung 81: Haupt-Planungstabelle der Angebotsterminierung mit den planungsrelevanten Informationen je Kundenanfrage.....	137
Abbildung 82: Prozessablauf zur kapazitiven Einplanung der Kunden- anfragen unter Berücksichtigung des Grenzwerts zur Vermeidung einer Kapazitätsunterdeckung.....	138
Abbildung 83: Angebots-Planungstabelle mit den zur Durchführung der Monte-Carlo-Simulation erforderlichen Basisinformationen .....	139
Abbildung 84: Aufruf der Monte-Carlo-Simulation mit 10.000 Simulationsläufen zur Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Ergebnisgröße.....	139
Abbildung 85: Prozessablauf zur Generierung der auf Basis der Kundenrückmeldungen abgeleiteten Auftragsliste für die Produktion .....	140
Abbildung 86: Simulation der Kundenentscheidung anhand der Verknüpfung der Auftragswahrscheinlichkeit und einer Zufallszahl .....	141
Abbildung 87: Auftrags-Planungstabelle mit den je Periode abzuarbeitenden Aufträgen sowie der Darstellung des Belastungs- diagramms des betrachteten Planungsbereichs .....	142
Abbildung 88: Kapazitätsauslastung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten.....	143
Abbildung 89: Kapazitätsüberbuchung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten.....	144

Abbildung 90: Aufträge mit Terminüberschreitung in einer Planungsperiode mit Kapazitätsüberbuchung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten .....	145
Abbildung 91: Vergleich der resultierenden Werte der Kapazitätsauslastung, der Kapazitätsüberbuchung und der Terminüberschreitung für die betrachteten Szenarien A und B.....	146
Abbildung 92: Spezifische und allgemeine Anforderungen an die Methodik.	148
Abbildung 93: Erfüllungsgrade der gestellten Anforderungen der Methodik zur auslastungsorientierten Angebots-terminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen .....	152





## Abkürzungsverzeichnis

AOB	Anordnungsbeziehungen
APS	Advanced Planing and Scheduling
AtO	Assemble-to-Order
AV	Arbeitsvorbereitung
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
CAS	Computer Aided Selling
CRM	Customer Relationship Management
CtO	Configure-to-Order
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DtO	Develop-to-Order
EKN	Ereignisknoten-Netzplan
EKV	Arbeitskreis Entwicklung Konstruktion Vertrieb
ERP	Enterprise Resource Planning
EtO	Engineer-to-Order
ISI	Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
MES	Manufacturing Execution System
MtO	Make-to-Order
MtS	Make-to-Stock

MUSKIM	Methoden- und Systemunterstützung für die kundenintegrierte Montage (Projekt-Akronym des BMBF)
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
SOP	Start of Production
VBA	Visual Basic for Applications
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VKN	Vorgangsknoten-Netzplan
VPN	Vorgangspfeil-Netzplan
W.-keit	Wahrscheinlichkeit
z. B.	zum Beispiel

## Verzeichnis der Formelzeichen

AEK	Angebots-Erfolgs-Kennziffer
AG <sub>max</sub>	maximale Angebotsgültigkeit
AG <sub>spez</sub>	spezifische Angebotsgültigkeit
A <sub>i</sub>	Auftragsrate in der Periode i
AK	Angebotskosten
AW	Auftragswahrscheinlichkeit
AW <sub>K</sub>	kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
AW <sub>KBA</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit des Bestandskunden über alle Produktvarianten
AW <sub>KBV</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit des Bestandskunden einer spezifischen Produktvariante
AW <sub>KN</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit der Gruppe der Neukunden
AW <sub>P</sub>	produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
AW <sub>PI</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit der Produktvarianten mit gleichem individualisiertem Merkmal
AW <sub>PIG</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit aller Produktvarianten mit individualisierten Merkmalen
AW <sub>PS</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit einer Standard-Variante eines Produkts
AW <sub>PSG</sub>	Auftragswahrscheinlichkeit aller Standard-Varianten eines Produkts
G <sub>K</sub>	Gewichtungsfaktor für die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
G <sub>P</sub>	Gewichtungsfaktor für die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
K <sub>A</sub> Bedarf <sub>AG</sub>	Angebotskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs

$K_i$	Kapazitätsrate in der Periode $i$
$K_p \text{Bedarf}_{AG}$	Produktionskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs
$P$	Erlös
$w(AE)$	Wahrscheinlichkeit des Auftragseingangs

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Nach dem schwersten konjunkturellen Einbruch der Nachkriegszeit konnte sich die Bundesrepublik Deutschland für alle Experten überraschend schnell von der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise der Jahre 2008 bis 2010 rekonvaleszieren (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE 2011). Ein Vergleich der europäischen Volkswirtschaften bezüglich ihres jährlichen Wachstums zeigt, dass seit 2008 das Bruttoinlandsprodukt der Bundesrepublik Deutschland sogar überproportional stark gewachsen ist und sich die deutsche Wirtschaft zur treibenden Kraft in Europa entwickelt hat (Abbildung 1).

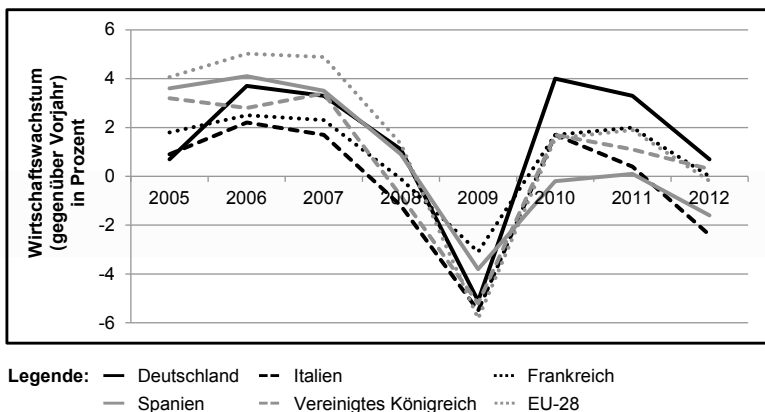


Abbildung 1: Wirtschaftswachstum in Europa in den Jahren 2005-2012 (in Anlehnung an STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION 2014)

Die Ursache für den schnellen Aufschwung sowie das kontinuierliche Wachstum resultieren laut SPATH (2013) aus der nach wie vor zentralen Stellung des produzierenden Gewerbes für die deutsche Wirtschaft. Dieser Sachverhalt spiegelt sich im Beitrag des produzierenden Gewerbes zum Bruttoinlandsprodukt wider. Im Gegensatz zu anderen europäischen Nationen, wie beispielsweise dem Vereinigten Königreich oder Frankreich mit einem Produktionsanteil von 14,5 % bzw. 12,5 %, weist die Bundesrepublik Deutschland aktuell mit 25,8 % einen deutlich höheren Grad der Industrialisierung auf (Abbildung 2).

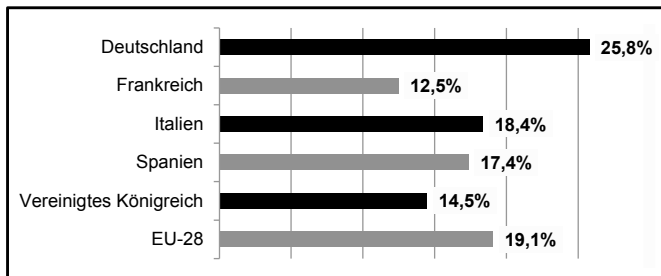


Abbildung 2: *Produzierendes Gewerbe – Anteil an der Bruttowertschöpfung im Jahr 2012 (STATISTISCHES BUNDESAMT 2013)*

Der große Beitrag des produzierenden Gewerbes zum Bruttoinlandsprodukt der deutschen Volkswirtschaft führte zwar zu Beginn der Krise zu einem schnellen und deutlichen Einbruch des Wirtschaftswachstums, ermöglichte aber im Gegenzug aufgrund des wachsenden Exportgeschäfts und der ansteigenden Binnen- nachfrage eine rasche und nachhaltige Erholung. Das produzierende Gewerbe ist folglich in der Bundesrepublik Deutschland weiterhin für die Sicherung des Wohlstands und für den Erhalt zukunftsfähiger Arbeitsplätze von zentraler Bedeutung (SPATH 2013).

Allerdings sind infolge der Globalisierung und des damit verbundenen Anstiegs des weltweiten Konkurrenzdrucks die produzierenden Unternehmen am Hoch- lohnstandort Deutschland bereits seit einigen Jahren gezwungen, ihre Wettbe- werbsfähigkeit kontinuierlich durch technologische und organisatorische Weiter- entwicklungen zu steigern (BULLINGER 2010). Darüber hinaus erfordert die in den entwickelten Wirtschaftsregionen vorhandene Sättigung der Märkte sowie die daraus resultierende Entwicklung von Anbietermärkten hin zu Käufermärkten von den Produktionsbetrieben eine hohe Wandlungsfähigkeit und eine zuneh- mende Kundenorientierung (LINDEMANN et al. 2006, ZÄH et al. 2006).

Den Schlüssel zum langfristigen Erfolg, mit dem Unternehmen auf das vorlie- gende Wettbewerbsumfeld reagieren können, sieht DÜLL (2009) in der Produkti- on kundenspezifischer, individualisierter Produkte. Eine von SCHIRRMEISTER et al. (2003) publizierte Studie des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und In- novationsforschung (ISI) bestätigt diese Annahme. So hängt demnach die Kon- kurrenzfähigkeit der deutschen Industrie entscheidend von der Fähigkeit ab, mit technologisch führenden Produkten sowie einer flexiblen und leistungsfähigen Produktion kundenspezifische Produkte höchster Qualität herstellen zu können.

Produzierende Betriebe benötigen in Zukunft für den langfristigen Erfolg auf den turbulenten Weltmärkten eine Unternehmensstrategie, die es ihnen ermöglicht, mit angepassten Prozessen der Auftragsabwicklung hocheffizient kundenspezifische individualisierte Produkte liefern zu können (SPATH et al. 2006).

Eine in zahlreichen wissenschaftlichen Beiträgen diskutierte Unternehmensstrategie, welche die Individualisierung von Produkten verfolgt, ist Mass Customization (PINE 1993, DURAY et al. 2000). Der Begriff wurde von DAVIS (1987) eingeführt und stellt ein Oxymoron dar, das die zwei in sich widersprüchlichen Optionen Mass Production und Customization in sich vereint (Abbildung 3).

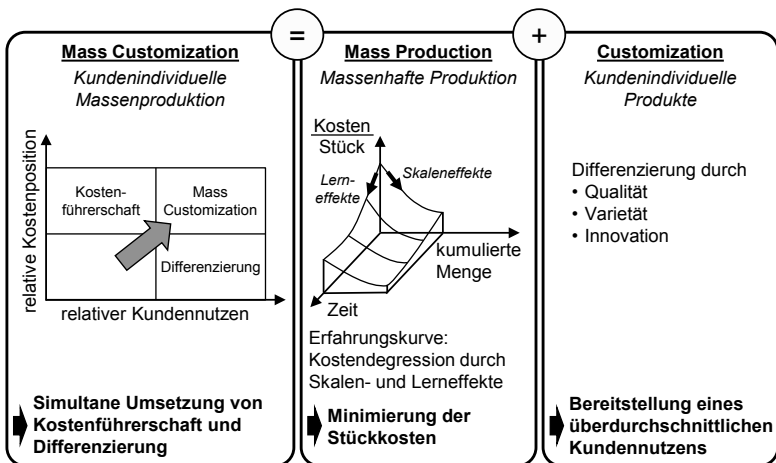


Abbildung 3: Wettbewerbsstrategie Mass Customization (vgl. GRÄBLER 2004)

Es handelt sich demnach um ein hybrides Konzept zur Marktbearbeitung, bei dem die von PORTER (1980) geprägten grundlegenden Unternehmensstrategien der Differenzierung und der Kostenführerschaft kombiniert und simultan verfolgt werden (PILLER 1998, GRÄBLER 2004):

- Die Strategie der Kostenführerschaft charakterisiert das Bestreben eines Unternehmens, die Planung, Herstellung und Vermarktung von vergleichbaren Produkten zu geringeren Kosten als die Konkurrenz durchzuführen. Die Unternehmen profitieren hierbei von Skalenvorteilen (Economies of Scale) und Bündelungseffekten (Economies of Scope) und können somit als Massenfertiger aufgrund der hohen Wirtschaftlichkeit Wettbewerbsvorteile gegenüber ihren Konkurrenten erlangen.

- Die Strategie der Differenzierung ermöglicht einem Unternehmen, Produkte oder Dienstleistungen hinsichtlich ihrer Qualität bzw. Funktionalitäten mit einem außergewöhnlich hohen Kundenwert zu behaften. Für einen Einzelfertiger bedeutet dies im Extremfall die exakte Erfüllung des Kundenwunsches. Die vorhandenen Alleinstellungsmerkmale generieren hierbei einen Wettbewerbsvorteil, wodurch auf dem Markt höhere Umsätze erzielt werden können.

Eine einheitliche Definition des Begriffs Mass Customization konnte sich bislang im deutschen Sprachraum nicht etablieren. Daher findet häufig die folgende Definition von PILLER (2006) Verwendung:

*„Mass Customization bezeichnet die Produktion von Gütern und Leistungen, welche die unterschiedlichen Bedürfnisse jedes einzelnen Nachfragers dieser Produkte treffen, mit der Effizienz einer vergleichbaren Massen- bzw. Serienproduktion [...]“* (PILLER 2006, S. 161).

Die industrielle Umsetzung der Strategie Mass Customization ist sowohl aufgrund aktueller Ansätze für die Produktentwicklung als auch existierender technischer Konzepte grundsätzlich gegeben (BAUMBERGER 2007). Allerdings stehen für die Prozesse der kundenindividuellen Auftragsabwicklung derzeit noch keine an die spezifischen Bedürfnisse der Produktion hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen angepassten Vorgehensweisen zur Verfügung (BULLINGER et al. 2009, SCHUH et al. 2010).

## 1.2 Problemstellung

Die Individualisierung von Produkten wird als eine der großen gesellschaftlichen Strömungen der heutigen Zeit angesehen (REINHART & ZÄH 2003). Im Rahmen der kundenindividuellen Produktion verlieren dabei die klassischen Wettbewerbsfaktoren Preis und Qualität als kaufentscheidende Kriterien an Bedeutung (WIENDAHL 2002). Zum einen stehen für die Kunden individueller Produkte die Kosten nicht mehr als zentrales Element im Fokus der Kaufentscheidung (REHKOPF 2006). Die Kunden sind sogar aufgrund der Berücksichtigung ihrer individuellen Anforderungen häufig dazu bereit, einen höheren Preis zu zahlen. Zum anderen betrachten die Kunden die Erfüllung der geforderten Produktqualität inzwischen als Selbstverständlichkeit (MILBERG 2000). Eine Differenzierung vom Wettbewerber anhand qualitativer Produkteigenschaften ist somit kaum



mehr möglich. Im Gegenzug haben sich kurze Lieferzeiten sowie eine hohe Liefertreue als Kriterien etabliert, die eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen einnehmen (SCHUH 2006).

Die Bedeutung der Liefertreue für den Unternehmenserfolg wird durch eine Untersuchung der Unternehmensberatung Deloitte & Touche bestätigt. In deren Studie äußerten sich 900 Führungskräfte aus 35 Ländern hinsichtlich der zukünftigen bestimmenden Wettbewerbsfaktoren. Die Auswertung ergab, dass die Studienteilnehmer der Liefertreue die höchste Bedeutung zusprachen, noch vor weiteren Faktoren wie der Produktqualität, der Technologie oder dem Preis. Darüber hinaus bescheinigten die Führungskräfte ihren Unternehmen ein besonders hohes Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Einhaltung der Liefertreue (DELOITTE & TOUCHE 1998). Die Gründe für die hohe Bedeutung der Liefertreue sowohl aus Kundensicht als auch aus Lieferantensicht erläutert LÖDDING (2008):

- Bei zugesagten, aber nicht eingehaltenen Lieferterminen treten Zweifel an der Zuverlässigkeit des Lieferanten auf, die das Vertrauensverhältnis zum Kunden nachhaltig belasten.
- Aufgrund der reduzierten Bestände innerhalb der Supply Chain können die verspäteten Lieferungen beim Kunden hohe Folgekosten durch Produktionsausfälle generieren.
- Bei einer geringen Liefertreue wird die Ware vom Kunden mit einem Zeitpuffer zum Bedarfstermin bestellt. Hieraus resultieren häufig Eilaufträge, die zu einer Erhöhung der Planungskomplexität beim Lieferanten führen.

In vielen Unternehmen wird bereits die Liefertreue als Kennzahl aufgenommen und ausgewertet (MELZER-RIDINGER 2007). Im Allgemeinen kann dabei unter der Liefertreue ein

*„[...] als Prozentzahl ausgedrücktes Maß für den Grad der Fähigkeit eines Unternehmens eine zu einem Termin zugesagte Lieferung zeit- und mengengerecht abzuwickeln [...]“* (JODLBAUER & GMAINER 2006, S. 45).

verstanden werden. Die Voraussetzungen für das Erreichen einer hohen Liefertreue bilden eine realistische Lieferterminermittlung sowie eine zuverlässige Lieferterminerfüllung (SCHUH & WESTKÄMPER 2006). Die Ermittlung des Liefertermins erfolgt hierbei in der Regel im Angebotsprozess durch den Vertrieb, der

nach Erhalt der Kundenanfrage auf Basis einer vorausschauenden Betrachtung eine Grobplanung durchführt. Hierbei gilt es, unter Berücksichtigung der Kundenwünsche eine zuverlässige Aussage hinsichtlich des möglichen Liefertermins zu treffen. Die Produktion startet im Anschluss an den Erhalt des Auftrags die eigentliche Leistungserstellung. Sie muss hierbei im Rahmen der Auftragserfüllung sicherstellen, dass mit den verfügbaren Ressourcen der an den Kunden kommunizierte Liefertermin eingehalten und somit erfüllt werden kann (Abbildung 4).

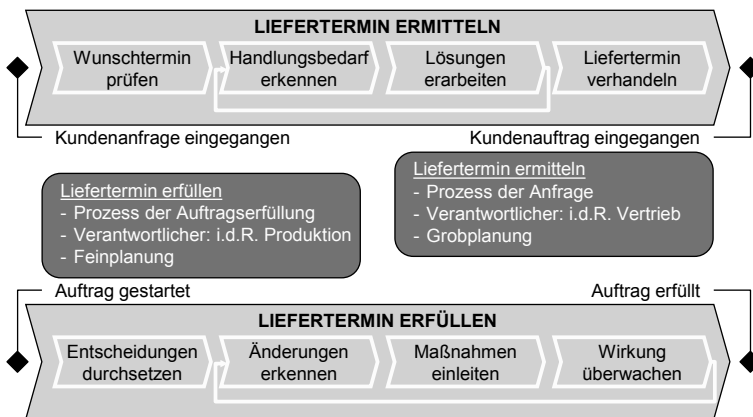


Abbildung 4: Lieferterminermittlung und Lieferterminerfüllung (in Anlehnung an WIENDAHL 2004)

Der Vertrieb berechnet und übermittelt somit bereits im Angebotsprozess den Liefertermin an den Kunden, an dem letztendlich die Produktion bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Termineinhaltung gemessen wird. Die Bestimmung von belastbaren Lieferterminen im Rahmen des Angebotsprozesses erfordert vorausschauende Informationen über die Material- und Kapazitätsverfügbarkeit. Hierbei muss neben den sich aus den Arbeitsplänen des konfigurierten Produktes abgeleiteten zukünftigen Kapazitätsbedarfen der Anfrage auch die bestehende Auslastung der Produktionsressourcen mit bereits eingeplanten Aufträgen und noch offenen Angeboten betrachtet werden (VDI 4504). Die kapazitive Einplanung der Angebote ohne Kundenrückmeldung stellt in diesem Fall eine komplexe Planungstätigkeit dar, da aufgrund der offenen Kaufentscheidung der Prozess der Kapazitätseinplanung mit einer hohen Ungewissheit bezüglich der tatsächlich erforderlichen Produktionskapazität behaftet ist. Insbesondere in der

Investitionsgüterindustrie, in der die Wahrscheinlichkeit des Auftragserhalts laut WIENDAHL (2014) zwischen 5 % und 20 % liegt und somit lediglich ein Bruchteil der abgegebenen Angebote zu einem erfolgreichen Abschluss des Angebotsprozesses führt, gilt es diese Unsicherheit im Zuge der Ermittlung aussagekräftiger Liefertermine zu beherrschen.

Neben dem grundsätzlichen Risiko bezüglich der Erfolgchancen der abgegebenen Angebote stellt die oftmals vorhandene zeitliche Differenz zwischen der Angebotsabgabe und dem Auftragseingang die Lieferterminermittlung vor weitere Herausforderungen (Abbildung 5).

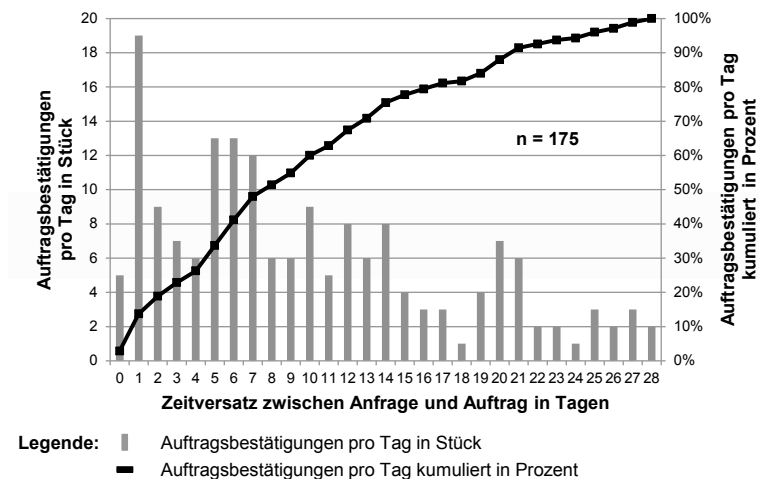


Abbildung 5: Zeitdifferenz zwischen Angebot und Auftrag – Praxisbeispiel aus dem industriellen Umfeld

Die beispielhafte Darstellung zeigt den bestehenden terminlichen Versatz zwischen den Zeitpunkten der Übermittlung des Angebots an den Kunden sowie der Rückmeldung an das Unternehmen in Form der Auftragsbestätigung am Beispiel eines Produzenten von Industriegütern<sup>1</sup>. Lediglich 14 % der Aufträge wurden innerhalb von 24 Stunden nach der Übergabe des Angebots erteilt. Nach einer Woche liegt zwar bei 48 % der bearbeiteten Anfragen die Auftragsbestätigung vor,

<sup>1</sup> Die bereits erläuterte geringe Umwandlungsrate zwischen 5 % und 20 % trifft auch im vorliegenden Beispiel zu. Für die Auswertung wurde allerdings die Teilmenge an Angeboten berücksichtigt, die letztendlich der Kunde als Auftrag bestätigte.

allerdings erstreckt sich das Zeitfenster, bis zu dem 100 % der Kundenrückmeldungen beim Unternehmen eingegangen sind, über einen Zeitraum von bis zu vier Wochen. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die Information bezüglich der endgültigen Annahme oder Ablehnung des Angebots durch den Kunden in vielen Fällen erst mit einem großen zeitlichen Versatz vorliegt. Die mit dem Angebot verbundenen Produktionskapazitäten stehen demzufolge für die terminliche Einplanung neuer Anfragen nicht zur Verfügung, was im Falle der Ablehnung zu einem unnötigen Blockieren der Ressourcen führt.

In der betrieblichen Praxis werden ungeachtet der erläuterten Problemstellungen die Liefertermine vom Vertrieb in der Regel auf Basis von Standardlieferzeiten und Erfahrungswerten geschätzt (VDI-EKV 1999). Oftmals werden somit in den Angeboten voraussichtliche Produktliefertermine an den Kunden kommuniziert, die bei Auftragseingang aufgrund der nicht haltbaren Terminzusagen in einer unüberschaubaren Anzahl an Eilaufträgen resultieren und somit erhebliche Turbulenzen in der Produktion verursachen (FÄRBER et al. 2002). Dieses Vorgehen hat speziell bei kundenindividuellen Produkten, die aufgrund der spezifischen Leistungsanteile einer breiten Streuung der Fertigungs- und Montagezeiten unterliegen, erhebliche Auswirkungen auf die Liefertreue.

### 1.3 Zielsetzung

Die Liefertreue wird als eine der entscheidenden Kenngrößen für den Unternehmenserfolg angesehen. Die realistische Lieferterminermittlung im Angebotsprozess stellt hierbei eine notwendige Voraussetzung für die Termintreue gegenüber dem Kunden dar (WIENDAHL 2004). Die Umsetzung eines Vertriebsprozesses, der es bereits im Angebotsprozess ermöglicht, Liefer- und Terminzusagen unter Berücksichtigung des aktuellen und geplanten Produktionsprogramms zu treffen, führt somit gerade vor dem Hintergrund des steigenden Anteils kundenindividueller Produkte zu einer Reduktion der Komplexität in der Produktion sowie aufgrund der verbesserten Liefertreue zu einer deutlichen Erhöhung der Kundenzufriedenheit (ABELE & REINHART 2011).

Ausgehend von den in der Beschreibung der Problemstellung geschilderten Handlungsbedarfen ist die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, eine Methode zu entwickeln, die eine schnelle und zuverlässige Ermittlung von Lieferterminen im Angebotsprozess unter Berücksichtigung der vorhandenen Unsicherheiten bei

einer kundenindividuellen Produktion ermöglicht. Folgende Teilaspekte sind hierbei detailliert auszuarbeiten:

- Entwicklung von Vorgehensweisen, die eine Bestimmung der auftrags-spezifischen Umwandlungsrate bzw. Auftragswahrscheinlichkeit anhand der verfügbaren Kunden- und Produktinformationen gestatten.
- Entwicklung von Berechnungsverfahren, die eine Prognose der zum Zeitpunkt der Einplanung der Anfrage voraussichtlich vorliegenden Kapazitätssituation erlauben.

Für die entwickelte Methode ist der Nachweis der Praxistauglichkeit durch die Implementierung in einem Geschäftsprozess, der die Angebotsterminierung für variantenreiche Serienprodukte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen ermöglicht, zu führen.

## **1.4 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich inklusive der Einleitung und der Zusammenfassung in acht Kapitel. In den vorangegangenen Abschnitten von Kapitel 1 wurden bereits auf Basis einer Erläuterung der vorliegenden Ausgangssituation, der bestehende Handlungsbedarf sowie die resultierende Zielsetzung aufgezeigt.

Hierauf aufbauend wird in den nachfolgenden Kapiteln das grundlegende Verständnis für die beiden zentralen Themenkomplexe der Arbeit vermittelt. Hierzu wird zunächst in Kapitel 2 der Begriff der Individualisierung auf Grundlage einer produkt- bzw. prozessbezogenen Betrachtung diskutiert. Anschließend erfolgt in Kapitel 3 eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesse der Angebotsbearbeitung, von der Anfrageerfassung bis hin zur Auswertung der Kundenrückmeldung bezüglich der Annahme oder der Ablehnung des Angebots.

Der in Kapitel 4 betrachtete Stand der Technik bezieht sich auf sowohl in der industriellen Praxis als auch im wissenschaftlichen Umfeld genutzte Konzepte der Anfragebewertung sowie der Grobterminierung. Die Vorstellung der vorhandenen Methoden wird durch eine Bewertung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Unterstützung der auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvarianante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen sowie durch die Ableitung des Handlungsbedarfs abgeschlossen.

Die konzeptionelle Gestaltung der Methodik bildet den Kern von Kapitel 5. Im Rahmen der Ausführungen werden dabei die grundlegenden an die Methodik gestellten Anforderungen diskutiert sowie der prinzipielle Ablauf des Gesamtprozesses zur Bestimmung des Produktliefertermins schematisch skizziert. Die beiden zentralen Elemente der erläuterten Planungslogik stehen im Fokus von Kapitel 6. Zum einen wird hierbei die wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von kunden- und produktspezifischen Einflussgrößen eingehend erläutert. Zum anderen wird das Vorgehen zur Durchführung der simulationsbasierten Bestimmung des Produktliefertermins auf Basis einer durchlauf- und kapazitätsorientierten Betrachtung unter Berücksichtigung der berechneten Auftragswahrscheinlichkeit ausführlich beschrieben.

In Kapitel 7 wird die Umsetzung der Methodik anhand eines ausgewählten Beispiels aus dem industriellen Umfeld beschrieben. Hierbei wird der gesamte Prozess von der Herleitung der Auftragswahrscheinlichkeit bis hin zur Ausführung der Terminierung durchlaufen. Mit Hilfe eines Simulationsmodells erfolgt anschließend die Validierung der entwickelten Methodik. Die Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der definierten Anforderungen sowie eine für die Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in die betriebliche Praxis erforderliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung runden das Kapitel ab.

Das abschließende Kapitel 8 beinhaltet eine Zusammenfassung der Ergebnisse, auf deren Grundlage nachhaltige Impulse für zukünftige Forschungsaktivitäten vorgestellt werden. Einen detaillierten Überblick über den Aufbau der vorliegenden Arbeit vermittelt die nachfolgende Abbildung 6.

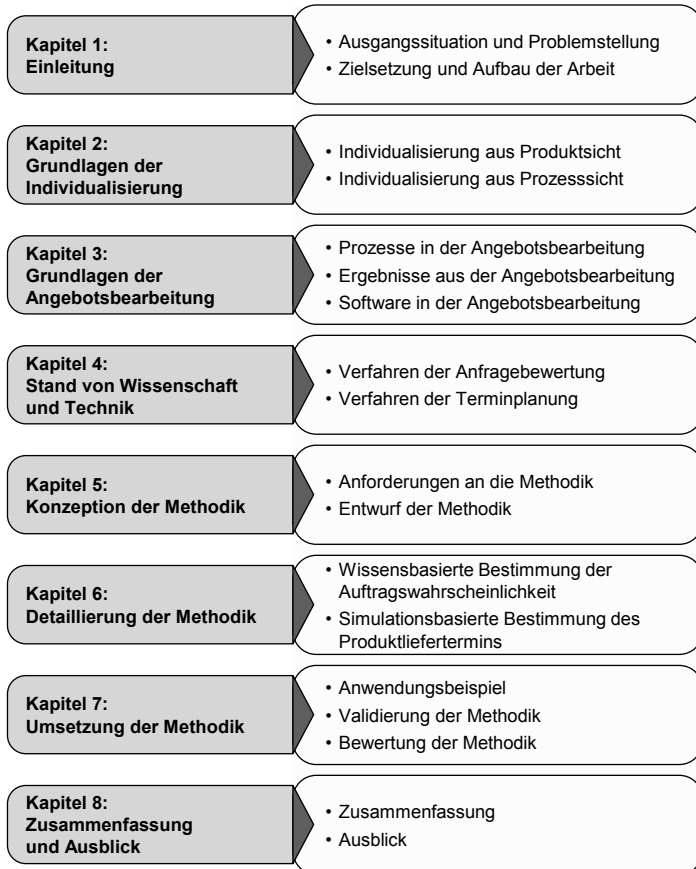


Abbildung 6: Aufbau der vorliegenden Arbeit





## 2 Grundlagen der Individualisierung

### 2.1 Kapitelüberblick

Die vorliegende Arbeit stellt eine Methodik zur Bestimmung von belastbaren, d. h. verlässlichen und haltbaren, Lieferterminen im Angebotsprozess individualisierter Produkte vor. Zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses werden in Kapitel 2 einige grundsätzliche Aspekte der Individualisierung sowie die aus der Verfolgung dieser Strategie resultierenden Einflüsse auf die Prozesse der Auftragsabwicklung vertiefend betrachtet. In Abschnitt 2.2 erfolgen zunächst die Definition des Begriffs der Individualisierung und die Erörterung von dessen Verwendung im industriellen Kontext. Die Beschreibung der vorhandenen Dimensionen der Produktindividualisierung bildet anschließend die Überleitung zum nachfolgenden Abschnitt 2.3. Dieser beleuchtet das bereits in Kapitel 1 vorgestellte Konzept des *Mass Customization* aus einer prozesstechnischen Sicht. Die Basis hierzu bildet die Beschreibung der verschiedenen Ausprägungsformen dieser Produktionsstrategie in Abhängigkeit der involvierten Unternehmensbereiche. Aufgrund der Eingrenzung des Betrachtungsraums auf die kundenindividuelle Produktion ergeben sich spezifische Anforderungen bezüglich der Tätigkeiten in der Auftragsabwicklung. Diese werden anhand eines Vergleichs mit den Prozessabläufen in der variantenreichen Serienproduktion ausgearbeitet. Abschließend erfolgt in Abschnitt 2.4 die Zusammenfassung der betrachteten Grundlagen der Individualisierung.

### 2.2 Individualisierung aus Produktsicht

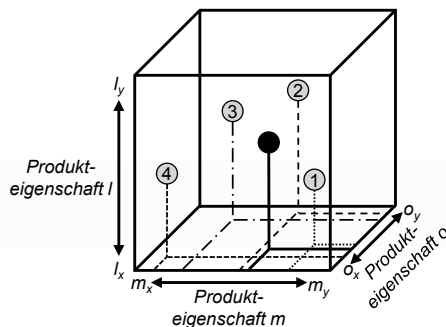
Der Begriff *Individualisierung* stammt ursprünglich aus der Soziologie und bezeichnet allgemein den Prozess des Übergangs eines Individuums von einer Fremd- zur Selbstbestimmung (JUNGE 2002). Im ökonomischen Umfeld der Investitions- und Konsumgüterindustrie wird hingegen unter Individualisierung eine strategische Vorgehensweise verstanden, bei der die Ausrichtung der angebotenen Produkte auf die individuellen Wünsche der potentiellen Kunden im Fokus steht (GAHR 2006). Die Produktindividualisierung ist folglich definiert als

„[...] eine Form der Leistungserstellung [...], die darauf abzielt, die Eigenschaften der angebotenen Produkte und Leistungen auf die Präferenzstruktur jedes einzelnen Abnehmers auszurichten, um so einen Differenzierungsvorteil gegenüber der Konkurrenz zu erlangen“ (REICHWALD & PILLER 2006, S. 195).

Hinsichtlich der möglichen Dimensionen der Produktindividualisierung können drei grundlegende übergeordnete Gestaltungsbereiche unterschieden werden (REICHWALD & PILLER 2006):

- **Geometrie:** Anpassung des Produkts hinsichtlich spezifischer Maß- bzw. Formanforderungen des Kunden
- **Funktionalität:** Anpassung der Eigenschaften des Produkts im Hinblick auf einen bestimmten Verwendungszweck
- **Wahrnehmung / Design:** Anpassung des Produkts hinsichtlich ästhetischer Gesichtspunkte an die Wünsche des Kunden

Hierbei gilt es zu beachten, dass nicht das Produkt als Ganzes, sondern die Kombination der einzelnen Produkteigenschaften sowie deren spezifische Ausprägungen für den Kunden von kaufentscheidender Bedeutung sind. PILLER (1998) erläutert die Bedeutung der als Präferenzstruktur bezeichneten Kombination der aus Kundensicht idealen Leistungseigenschaften des Produkts anhand des Idealpunkt-Modells (Abbildung 7).



- Legende:** ● Kombination der realen Produkteigenschaften  
○ Kombination der geforderten Eigenschaftsausprägungen  
 $n_x, n_y$  Ausprägungen der Produkteigenschaften

Abbildung 7: Idealpunkt eines Produkts aus Kundensicht (Nr. 1 - 4) im Vergleich zu den realen Produkteigenschaften (vgl. PILLER 1998)

Jeder Käufer hat genaue Vorstellungen über die von ihm geforderten Produkteigenschaften sowie deren spezifische Ausprägungen. Diese kundenspezifischen Anforderungen kennzeichnen das für ihn optimale Produkt und können als Idealpunkt in dem Idealpunkt-Modell zusammengefasst abgebildet werden. Anhand der Abweichung zwischen den realen Produkteigenschaften und der Charakteristika des eigentlichen Wunschprodukts lässt sich anschließend eine Aussage über die Kaufpräferenz des Kunden treffen. Je geringer die Distanz zwischen den beiden Punkten ausfällt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Kunde für das angebotene Produkt entscheiden wird (PILLER 1998).

Durch die Schaffung von Gestaltungsfreiräumen bei der Produktdefinition können die individuellen Anforderungen der Kunden bezüglich der Ausgestaltung der Produkteigenschaften und deren Ausprägungen im Vertriebsprozess berücksichtigt werden. In der praktischen Anwendung kann das anbietende Unternehmen beispielsweise als Individualisierungsoption die Anpassbarkeit der geometrischen Maße des Produktes für den kundenspezifischen Anwendungsfall realisieren. Hierdurch wird die Attraktivität der angebotenen Leistung für den Kaufinteressenten gesteigert und es können Wettbewerbsvorteile gegenüber konkurrierenden Unternehmen gewonnen werden, die lediglich einen geringen Grad an Individualisierung in ihrem Portfolio umgesetzt haben (DÖRFLINGER & MARXT 2001).

## **2.3 Individualisierung aus Prozesssicht**

### **2.3.1 Gestaltung der Kundenintegration**

Mit Mass Customization wird eine Wettbewerbsstrategie verfolgt, die dem Kunden die Anpassung des Produktes an seine individuellen Wünsche innerhalb der im letzten Abschnitt genannten Dimensionen ermöglicht. In der Literatur werden verschiedene Konzepte diskutiert, die sich hinsichtlich des Individualisierungszeitpunkts bzw. -umfangs anhand des sogenannten Kundenentkopplungspunkts voneinander abgrenzen lassen. Der im englischen auch als Order Penetration Point bezeichnete Punkt im Prozess der Leistungserstellung legt hierbei die Wertschöpfungsstufe fest, ab der das anonym geplante Produkt in ein individuelles und somit einem spezifischen Kunden verbindlich zugeordnetes Produkt übergeht (GAUSMANN 2008). In Abhängigkeit des so festgelegten Individualisierungszeitpunkts werden dem Kunden verschiedene Individualisierungsumfänge

zugestanden, die sich mittels unterschiedlichen Geschäftsstrategien beschreiben lassen (GAHR 2006). Diese Ausprägungsformen von Mass Customization können in Anlehnung an COATES (1995) den beiden übergeordneten Begriffen Soft bzw. Hard Customization zugeordnet werden.

Unter Soft Customization wird eine offene Individualisierung verstanden, die außerhalb des Unternehmens und folglich nach Abschluss des eigentlichen Produktionsprozesses stattfindet. Die vom Unternehmen vorgedachten und integrierten Möglichkeiten der Individualisierung des Produktes erlauben hierbei dem Kunden lediglich eine Anpassung des Artikels im Versand / Handel. Es erfolgt daher von Kundenseite kein Eingriff in den Produktionsprozess, d. h. der Individualisierungswunsch des Kunden hat keine Auswirkung auf die Abläufe im Unternehmen. Mit dieser als *Make-to-Stock* (MtS) bezeichneten Ausprägungsform der Individualisierung werden in der Regel standardisierte Produkte mit einer geringen Variantenzahl in einer hohen Stückzahl auf Lager gefertigt (GAHR 2006). Demgegenüber erfolgt bei Hard Customization, also der geschlossenen Individualisierung, ein unmittelbarer Eingriff des Kunden in die Wertschöpfungsprozesse im Unternehmen. Je nach Zeitpunkt der Integration des Kunden ergeben sich dabei die nachfolgend aufgeführten Ausprägungen der Individualisierung (ALICKE 2003, BONGULIELMI 2003, GAHR 2006):

- **Assemble-to-Order (AtO):** Bei AtO handelt es sich um eine Strategie, die eine Individualisierung variantenreicher Produkte im Rahmen der auftragsbezogenen Montage verfolgt. Unabhängig vom spezifischen Kundenauftrag werden auftragsneutrale Komponenten auf Lager vorgefertigt, die nachfolgend auf Basis standardisierter Baugruppen für den individuellen Kundenauftrag zu einem kundenspezifischen Produkt montiert werden.
- **Make-to-Order (MtO):** Bei MtO wird nicht nur die Montage, sondern auch die vorgelagerte Fertigung von dem individuellen Kundenwunsch direkt beeinflusst. Alle Bauteile und Baugruppen des Endproduktes sowie deren Produktionsabläufe sind aufgrund der eingeschränkten Individualisierungsoptionen bekannt, müssen jedoch über mehrere Prozessstufen hinweg für den spezifischen Kundenauftrag erstellt werden.
- **Configure-to-Order (CtO):** Bei CtO bedingt die sich aus der Individualisierung ergebende Varianz der Produkte die Notwendigkeit, alternative Fertigungs- und Montageunterlagen vorzuhalten. Die Erstellung dieser Dokumente im Rahmen der Produktentwicklung ist aufgrund der Varian-

tenvielfalt nicht rentabel und erfordert die Einbindung der Arbeitsvorbereitung in den kundenindividuellen Wertschöpfungsprozess.

- **Engineer-to-Order (EtO):** Bei EtO sind eingeschränkte Änderungen an der Produktstruktur durch den Kunden zulässig. Da dementsprechend einzelne Bauteile oder das Zusammenspiel von Baugruppen und Komponenten modifiziert oder in gewissem Umfang neu konstruiert werden müssen, ist die Konstruktion in den Individualisierungsprozess des Produktes mit eingebunden.
- **Develop-to-Order (DtO):** Bei DtO werden die individuellen Bedürfnisse des Kunden bereits im Rahmen der Produktentwicklung berücksichtigt. Der Kunde hat hierbei die Möglichkeit, ein völlig neues individuelles Produkt entsprechend seinen Wünschen zu definieren. Diese Form der Produktindividualisierung erfordert oftmals die vollständige Neugestaltung der Produktionsprozesse im Unternehmen.

Die innerhalb der geschlossenen Individualisierung einzuordnenden Ausprägungen des Mass Customization weisen aufgrund des zunehmenden Grads der Kundenintegration in den Wertschöpfungsprozess im Vergleich zu dem Konzept der offenen Individualisierung eine höhere Komplexität auf, bieten aber auch umfassendere Möglichkeiten zur Differenzierung (PILLER & STOTKO 2003). Eine zusammenfassende Darstellung der unterschiedlichen Ausprägungsformen ist in Abbildung 8 skizziert.

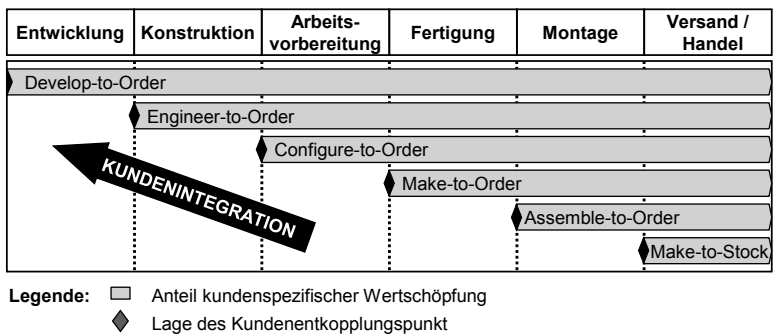


Abbildung 8: Mass Customization und Kundenintegration (in Anlehnung an GAHR 2006, REINHART & SPATH 2009)

Laut einer Studie von SPATH (2008) verfolgen die produzierenden Unternehmen in Deutschland in der Regel parallel mehrere der vorgestellten Gestaltungsformen der Individualisierung. Hierbei ist ein deutlicher Trend zu den Strategien *Configure-to-Order*, *Engineer-to-Order* und *Develop-to-Order* festzustellen. Als Gründe für diese Entwicklung sind sowohl die Zunahme der Individualisierungswünsche der Kunden als auch wirtschaftliche Interessen der Unternehmen, wie beispielsweise die Reduktion der Anzahl an gelagerten Endprodukten, zu nennen.

In der vorliegenden Arbeit wird für die weiteren Ausführungen der Betrachtungsraum auf eine Teilmenge der möglichen Ausprägungsformen von Mass Customization eingegrenzt. Diese Einschränkung ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass die im vorangegangenen Kapitel geschilderte Problemstellung hinsichtlich der zuverlässigen Ermittlung von Lieferterminen im Angebotsprozess bei verschiedenen Gestaltungsformen von Mass Customization nicht gegeben ist. Im Einzelnen gilt:

- **Make-to-Stock, Assemble-to-Order, Make-to-Order:** Die im Rahmen dieser Strategien gefertigten und oftmals auch als variantenreiche Serienprodukte bezeichneten Güter werden wegen des im Leistungserstellungsprozess sehr spät angesiedelten Kundenentkopplungspunkts auf Basis von Prognosen mittels vorhandener und ausdetaillierter Arbeitspläne produziert. Durch das weitestgehend vorab definierte Produktionsprogramm ist eine zuverlässige Lieferterminbestimmung und somit die Erreichung einer hohen Liefertreue aus Vertriebsicht grundsätzlich gegeben.
- **Develop-to-Order:** Hierbei handelt es sich um komplexe Produkte, die außerhalb der standardisierten Auftragsabwicklung in Form eines Projekteschäfts realisiert werden. Angesichts der Integration des Kunden in den Entwicklungsprozess des Produktes erfolgt hierbei eine detaillierte Lieferterminbestimmung üblicherweise erst nach Auftragsingang.

Kundenindividuelle Produkte entsprechend dem Verständnis der vorliegenden Arbeit sind demnach Produkte, die gemäß den beiden Strategien *Configure-to-Order* oder *Engineer-to-Order* hergestellt werden (Abbildung 9).

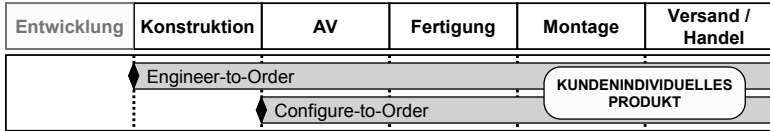


Abbildung 9: Individualisierungsstrategien zur Herstellung kundenindividueller Produkte

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird in diesem Zusammenhang auch von hochvarianten Produkten mit kundenindividuellen Leistungsanteilen gesprochen. Sie basieren bezüglich der zugrundeliegenden Produktdefinition zwar grundsätzlich auf variantenreichen Serienprodukten, besitzen aber wegen der Einbeziehung der Arbeitsvorbereitung bzw. der Konstruktion in den Individualisierungsprozess eine in ausgewählten Bereichen offene Produktstruktur mit variablen Gestaltungsmerkmalen (REINHART et al. 2009). Der Lösungsraum umfasst hierbei alle Produktspezifikationen, die ein Unternehmen auf Basis stabiler Produkt- und Prozessarchitekturen sowie daran angepasster Fertigungstechnologien und Fertigungsprozesse auf dem Markt anbieten kann. Der Kunde kann somit nicht nur aus den vom Unternehmen im Rahmen der Produktentwicklung generierten Varianten auswählen, sondern er kann darüber hinausgehend das gewünschte Produkt an seine individuellen spezifischen Anforderungen anpassen (REICHWALD & PILLER 2006).

## 2.3.2 Festlegung der Auftragsabwicklung

### 2.3.2.1 Begriffsdefinition

Laut WILDEMANN (1999) gehört die Auftragsabwicklung neben dem Produktentstehungsprozess zu den zentralen Geschäftsprozessen innerhalb eines Unternehmens. Hinsichtlich der Definition der Inhalte und Umfänge der Auftragsabwicklung ist in der wissenschaftlichen Literatur allerdings kein einheitliches Verständnis hierzu vorhanden. So beschränkt sich beispielsweise nach Definition des VDI-EKV (1991) die Auftragsabwicklung lediglich auf die Aktivitäten zwischen dem Vertragsabschluss mit dem Kunden und der Übergabe der produzierten Ware an den Kunden. WILDEMANN (1987) hingegen fasst den Begriff der Auftragsabwicklung weiter und definiert diesen für den Bereich der industriellen Produktion wie folgt:

„Innerhalb der industriellen Produktion gilt die Auftragsabwicklung als zentraler Aufgabenbereich zur Erfüllung der Leistungsverpflichtung. Sie ist das Bindeglied zwischen den externen Informationen und deren interner Umsetzung, indem sie die vom Markt induzierten Anfragen und Aufträge in konkrete innerbetriebliche Vorgaben und Handlungsweisen umwandelt. Folglich berührt die Auftragsabwicklung nahezu sämtliche Unternehmensbereiche, die entweder mit der direkten Leistungserstellung befasst sind oder für die, als angrenzende administrative Bereiche, entsprechende Daten und Kontrollinformationen bereitzustellen sind.“ (WILDEMANN 1987, S. 7)

Somit umfasst die Auftragsabwicklung sämtliche kaufmännisch-administrativen und technisch-operativen Aktivitäten entlang der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette (GIZANIS 2005), die

„[...] zur Erledigung einer Anfrage sowie zur Erledigung eines sich unter Umständen ergebenden Auftrages notwendig sind“ (BÄR 1977, S. 14).

In der betrieblichen Praxis wird häufig zwischen der kaufmännischen und der technischen Auftragsabwicklung unterschieden. Die Aufgaben der kaufmännischen Auftragsabwicklung umfassen die Kalkulation, den Einkauf sowie die Finanzbuchhaltung. Der technischen Auftragsabwicklung hingegen werden die Unternehmensbereiche Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Beschaffung, Fertigung und Montage zugeordnet (BIENIEK 2001). Aufgrund der zunehmenden Prozess- und Kundenorientierung werden darüber hinaus laut WIENKER (1994) der Vertrieb sowie der Versand ebenfalls der technischen Auftragsabwicklung zugeordnet. Diese Unterscheidung ist im Kontext der betrachteten Zielsetzung der Arbeit von untergeordneter Bedeutung und wird daher an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Stattdessen wird für die weiteren Ausführungen die von EVERSHEIM (1996) vorgestellte Einordnung der Arbeitsumfänge in die übergeordneten Phasen der Angebotsbearbeitung und der Auftragsbearbeitung verwendet (Abbildung 10).

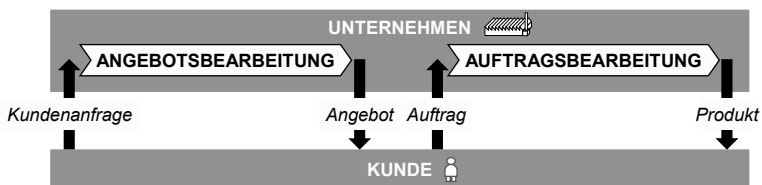


Abbildung 10: Phasen des Auftragsabwicklungsprozesses (vgl. EVERSHEIM 1996)



Den Ausgangspunkt des Auftragsabwicklungsprozesses bildet im Allgemeinen die Anfrage des Kunden bezüglich eines von ihm gewünschten Produkts. Diese stellt die Eingangsinformation für den Teilprozess der Angebotsbearbeitung dar, der in Kapitel 3 ausführlich behandelt wird. Das Ergebnis der in diesem Schritt durchzuführenden Arbeiten ist das an den Kunden zu übermittelnde Angebot. Auf die Angebotsbearbeitung folgt im Fall einer Auftragserteilung des Kunden und der Auftragsannahme durch das Unternehmen die Auftragsbearbeitung. Hier findet die eigentliche Leistungserstellung statt, d. h. die Produktion des Produkts (HEIOB 1982). Aufgrund des Fokus der vorliegenden Arbeit wird dieser Teilprozess der Auftragsabwicklung nicht weiter im Detail betrachtet. Nach Fertigstellung des Produkts erfolgt abschließend dessen Übergabe und Übereignung an den Kunden.

### 2.3.2.2 Prozessbeschreibung

Bei der Produktion kundenindividueller Produkte ist es aufgrund der verfolgten Wettbewerbsstrategien *Configure-to-Order* bzw. *Engineer-to-Order* erforderlich, verschiedene Aktivitäten des vorgelagerten Produktentstehungsprozesses in den nachgelagerten Auftragsabwicklungsprozess zu übernehmen (SPATH et al. 2006). Diese charakteristische Eigenschaft der kundenindividuellen Auftragsabwicklung wird in den nachfolgenden Ausführungen anhand eines Vergleichs mit dem etablierten Auftragsabwicklungsprozess der variantenreichen Serienproduktion näher erläutert.

Der Auftragsabwicklungsprozess in der variantenreichen Serienproduktion ist hinsichtlich seiner Arbeitsumfänge durch die Kombination vorhandener Unterlagen (PAHL et al. 2007) gekennzeichnet. Dieser Sachverhalt beruht darauf, dass die in der Auftragsabwicklung benötigten Dokumente, wie beispielsweise die Arbeitspläne oder die Stücklisten, bereits vollständig im Rahmen des vorgelagerten Produktentstehungsprozesses ausgearbeitet wurden. Hierbei erfolgte in der Produktplanung auf Basis von Umfragen und Studien die Festlegung der grundsätzlichen Produktstruktur (EVERSHEIM & SCHUH 1999). Im Anschluss daran grenzte die Produktentwicklung die Varianz auf ein definiertes Variantenspektrum ein. In der Konstruktion wurden daraufhin die erforderlichen Zeichnungen erstellt. Abschließend mussten in der Arbeitsplanung die Beschreibung des Produktionsprozesses generiert sowie die Kalkulation der Herstellkosten durchgeführt werden. Die Arbeitsumfänge der Konstruktion und der Arbeitsvorbereitung wurden somit bereits in der Phase der Produktentstehung abgeschlossen. Dem

entsprechend ist aufgrund der vollständigen Produktspezifikation lediglich der Vertrieb in den Auftragsabwicklungsprozess mit eingebunden (Abbildung 11).

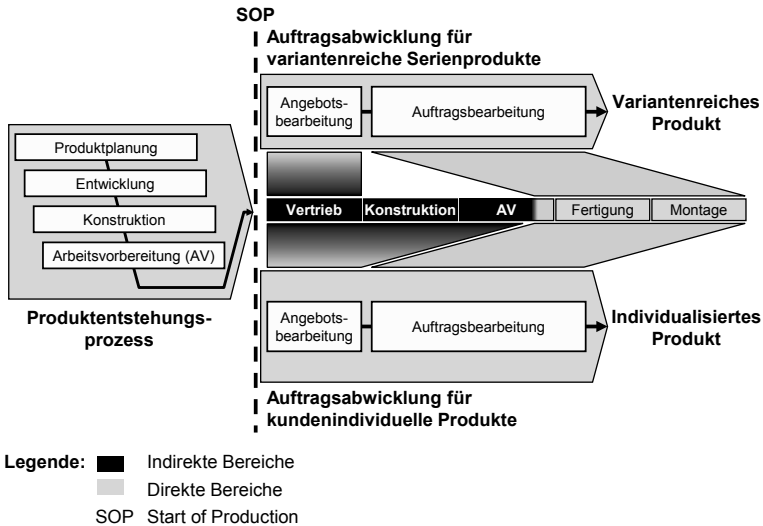


Abbildung 11: Auftragsabwicklung bei variantenreicher Serienfertigung und kundenindividueller Produktion

Die Rahmenbedingungen der kundenindividuellen Produktion erfordern hingegen die direkte Integration von gestalterischen Tätigkeiten in den Auftragsabwicklungsprozess. Das kundenindividuelle Produkt basiert zwar grundsätzlich auf einem variantenreichen Serienprodukt, allerdings ist, wie bereits erläutert, seine Produktstruktur in geschlossene und offene Bereiche unterteilt (EVERSHEIM & SCHUH 2003). Die geschlossenen Bereiche werden im Rahmen des Produktentstehungsprozesses entsprechend dem Vorgehen bei den variantenreichen Serienprodukten definiert. Die offenen Bereiche hingegen umfassen Gestaltungsfreiräume, deren Ausprägungen erst durch den konkreten Kundenwunsch im Rahmen der Auftragsabwicklung festgelegt werden (ZÄH & WIEDEMANN 2011). Demzufolge können einzelne Teilprozesse aus dem ursprünglich vorgelagerten Produktentstehungsprozess erst bei Eingang der spezifischen individuellen Kundenanfrage in der Auftragsabwicklung durchgeführt werden. In der Literatur wird hierbei häufig von einer Integration des Kunden in den Leistungserstellungsprozess gesprochen (EVERSHEIM 2002). An jedem einzelnen Auftrag sind

somit in Abhängigkeit des Individualisierungsgrads neben dem Vertrieb die Konstruktion bzw. die Arbeitsvorbereitung mit beteiligt.

## 2.4 Zwischenfazit

Der Trend zur Individualisierung stellt die Unternehmen vor große Herausforderungen und erfordert eine Anpassung des Auftragsabwicklungsprozesses. Eine Lösung hierfür bietet die Anwendung des Konzepts des Mass Customization. Es handelt sich dabei um eine Produktionsstrategie, die es den Industriebetrieben aufgrund der Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse innerhalb des Leistungserstellungsprozesses ermöglicht, auf die sich ändernden Anforderungen des Markts schnell reagieren zu können. Da in der Literatur unter dem Begriff Mass Customization eine Vielzahl an unterschiedlichen Ausprägungsformen des Konzepts zusammengefasst sind, ist eine Eingrenzung des Betrachtungsraums erforderlich. Diese wurde im Rahmen der Arbeit durch die Fokussierung auf die Produktion kundenindividueller Produkte nach den beiden Strategien *Configure-to-Order* und *Engineer-to-Order* getroffen.

Die Verfolgung dieser Strategien stellt spezifische Anforderungen an den Auftragsabwicklungsprozess. Anhand des Vergleichs mit den Tätigkeiten der Auftragsabwicklung bei der variantenreichen Serienproduktion konnten diese im Rahmen der Untersuchungen detailliert herausgearbeitet werden. Hierbei ist, aufgrund der Einflussnahme des Kunden auf ausgewählte Bereiche der Produktdefinition, insbesondere der Teilprozess der Angebotsbearbeitung um zusätzliche Leistungsumfänge zu ergänzen. In Abhängigkeit der vom Kunden gewählten Individualisierungsoptionen ist es somit gegebenenfalls erforderlich, neben dem Vertrieb auch die Konstruktion sowie die Arbeitsvorbereitung in die Angebotserstellung mit zu integrieren.

Die erläuterten Prozessanpassungen wirken sich unmittelbar auf die in der Angebotsbearbeitung angesiedelte Bestimmung des Liefertermins des vom Kunden gewünschten Produkts aus. Zur Schaffung eines vertiefenden Verständnisses der erforderlichen Abläufe erscheint somit eine weiterführende Betrachtung der Angebotsbearbeitung als Teilprozess der Auftragsabwicklung unerlässlich. Dieser widmet sich das nachfolgende Kapitel 3.



## **3 Grundlagen der Angebotsbearbeitung**

### **3.1 Kapitelüberblick**

Der dem Vertrieb zugeordnete Geschäftsprozess der Angebotsbearbeitung ist für die Bestimmung des an den Kunden kommunizierten Liefertermins verantwortlich. Als wesentlicher Bestandteil der betrieblichen Auftragsabwicklung wurde der Begriff bereits im vorangegangenen Kapitel eingeführt. Aufgrund der thematischen Ausrichtung der vorliegenden Arbeit erfolgt in Kapitel 3 eine vertiefende Betrachtung der Angebotsbearbeitung. Hierbei gilt es zu beachten, dass die spezifische Ausgestaltung stark vom Unternehmen und dessen gewählter Individualisierungsstrategie abhängig ist. Demzufolge erhebt die im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellte Beschreibung der Angebotsbearbeitung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der nachfolgende Abschnitt 3.2 vermittelt neben einer weiterführenden Begriffsdefinition eine detaillierte Beschreibung der Prozessabläufe zur Durchführung der Angebotsbearbeitung. Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte bilden dabei die Eingangsinformationen für die an den Kunden zu übermittelnden Angebotsunterlagen. Dem entsprechend erfolgen in Abschnitt 3.3 eine zusammenfassende Betrachtung der im Angebot enthaltenen Informationen sowie die Vorstellung der in der betrieblichen Praxis verwendeten Angebotsformen. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3.4 ein Überblick über prozessunterstützende Softwaresysteme in der Angebotsbearbeitung gegeben. Hierbei fokussieren sich die Ausführungen auf die für die vorliegende Arbeit wesentlichen Bereiche der Produktionsplanung und -steuerung, des Kundenbeziehungsmanagements sowie der Produktkonfiguration. Den Abschluss der grundlegenden Ausführungen zur Angebotsbearbeitung bildet Abschnitt 3.5 mit einer zusammenfassenden Betrachtung.

### **3.2 Prozesse in der Angebotsbearbeitung**

#### **3.2.1 Begriffsdefinition und Prozessüberblick**

Die Angebotsbearbeitung ist für die präzise Erfassung des Kundenbedarfs und die Entwicklung einer vom Unternehmen realisierbaren Problemlösung verantwortlich. Diese ist anschließend in Form eines Angebots zu dokumentieren und

an den Kunden zu übergeben. Entsprechend dem aufgezeigten Handlungsfeld wird unter der Angebotsbearbeitung ein Prozess verstanden,

„[...] der bei vorliegender Anfrage eines potentiellen Kunden zur Erstellung eines vollständigen, individuellen Angebots innerhalb eines Unternehmens oder einer Anbieterkoalition führt.“ (VDI-EKV 1999, S. 5).

Die schnelle und vollständige Erstellung der Angebotsunterlagen bedingt die hohe Verfügbarkeit von produkt- und prozessspezifischen Informationen unterschiedlichster Art. So sind beispielsweise zur inhaltlichen Gestaltung des Angebots bei Bedarf die Entwicklung und die Konstruktion mit einzubeziehen oder es ist aufgrund der gewünschten Produkteigenschaften erforderlich, Auskünfte aus dem externen Beschaffungsmarkt im Angebotsprozess zu berücksichtigen. Um die Befriedigung dieser Informationsbedarfe zu gewährleisten, muss dementsprechend die Angebotsbearbeitung intensive Austauschbeziehungen zu zahlreichen Informationsquellen aus dem direkten Unternehmens- und Marktumfeld unterhalten (Abbildung 12).

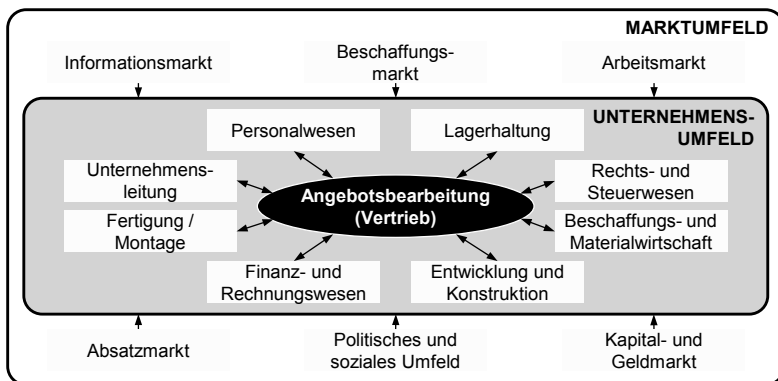


Abbildung 12: Kontext der Angebotsbearbeitung (vgl. MÖHRINGER 1998)

Die vorgestellten Beispiele verdeutlichen die zentrale Stellung des Geschäftsprozesses der Angebotsbearbeitung. Hierbei gilt es, die zur Erstellung der Angebotsunterlagen erforderlichen Informationsflüsse optimal zu gestalten und somit die Kosten der Angebotsbearbeitung zu minimieren, um das primäre Ziel einer effizienten und erfolgreichen Bearbeitung der aufgenommenen Kundenanfragen realisieren zu können (KOCH 1995).

Die Umsetzung der Anfrage eines potentiellen Kunden in ein Angebot innerhalb des vertrieblichen Angebotsprozesses erfordert die Durchführung verschiedener bereichsübergreifender Tätigkeiten, die den drei Hauptphasen der Angebotsbearbeitung – Angebotsvorbereitung, Angebotserstellung sowie Angebotsnachbereitung – zugeordnet werden können (Abbildung 13).

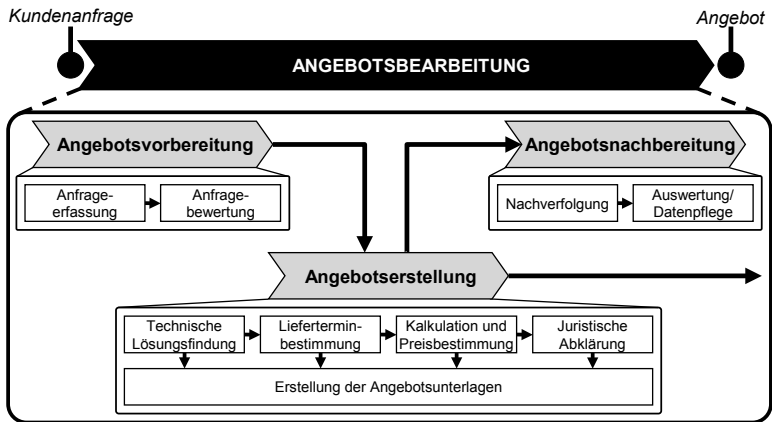


Abbildung 13: Elemente der Angebotsbearbeitung (in Anlehnung an SUTROP 1992, VDI-EKV 1999)

### 3.2.2 Phase der Angebotsvorbereitung

Die Angebotsvorbereitung stellt die erste Phase der Angebotsbearbeitung dar und umfasst die Tätigkeiten zur Erfassung der vom Kunden gewünschten Produktspezifikation sowie deren Bewertung hinsichtlich der wirtschaftlichen Realisierbarkeit mit den im Unternehmen vorhandenen Kompetenzen. Sie setzt sich demzufolge aus den beiden Teilprozessen der Anfrageerfassung und der Anfragebewertung zusammen.

Der Prozess der Anfrageerfassung hat die Aufgabe, sowohl die gestellten Anforderungen des potenziellen Kunden an die Produkteigenschaften als auch darüber hinausgehende Informationen wie beispielsweise den gewünschten Liefertermin zu dokumentieren. Zur eindeutigen Zuordnung der Anfrage sowie zur Identifikation des Anfragenden werden des Weiteren die jeweiligen kundenbezogenen Daten aufgenommen (KÖRSMEIER 1996).

Im Anschluss erfolgt mit der Anfragebewertung die detaillierte Untersuchung, ob auf die gestellte Anfrage von Seiten des Unternehmens mit einem entsprechenden Angebot reagiert werden soll. Liegt nach der durchgeführten Angebotsbewertung ein negatives Ergebnis vor, wird unmittelbar eine Absage an den Interessenten geschickt. Ist die Bewertung hingegen positiv verlaufen und hat sich das angefragte Unternehmen dazu entschieden, ein Angebot zu formulieren, wird die nachfolgende Angebotserstellung veranlasst.

### 3.2.3 Phase der Angebotserstellung

Die zweite Phase der Angebotsbearbeitung wird als Angebotserstellung bezeichnet. Das Aufgabengebiet umfasst dabei sämtliche Tätigkeiten von der Initiierung der technischen Lösungsfindung über die Ermittlung des Liefertermins, die finanzielle Kalkulation und Preisbestimmung sowie die juristische Abklärung bis hin zur finalen Erstellung der an den Kunden zu übermittelnden gesammelten Angebotsdokumentation.

Die technische Lösungsfindung, als erster Teilprozess der Angebotserstellung, nimmt laut HEIOB (1982) eine zentrale Position innerhalb der Angebotsbearbeitung ein, da ihre Ergebnisse sowohl die Grundlage für die nachfolgende Terminbestimmung als auch für die Kalkulation darstellen. Die Umsetzung der kundenindividuellen Anfrage in eine technische Lösung wird hierbei von der Konstruktion in Abstimmung mit der Arbeitsvorbereitung durchgeführt. Aufgrund des definierten Lösungsraums der Produktstruktur handelt es sich um eine Änderungskonstruktion, die basierend auf einem im vorgelagerten Produktentstehungsprozess definierten variantenreichen Serienprodukt erfolgt. Die Ausgestaltung der kundenindividuellen Leistungsanteile hat hierbei Auswirkungen auf den geplanten Bedarf an Produktionsressourcen und erfordert dementsprechend die Einbindung der Arbeitsvorbereitung. Die sich aus der kundenindividuellen Angebotseinplanung ergebenden Prozesszeiten führen wiederum zu jeweils spezifischen Herstellungskosten. Somit kann nur durch die Integration der Arbeitsvorbereitung die Erarbeitung einer optimalen technischen und wirtschaftlichen Lösung gewährleistet werden (REINHART & SPATH 2009). Aus Kostengründen sollten hierbei die Ergebnisse der technischen Lösungsfindung, wie z. B. Zeichnungen oder Stücklisten, lediglich so detailliert ausgearbeitet werden, wie für die nachfolgenden Teilprozesse sowie zur Erstellung der Angebotsunterlagen benötigt (GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977).



Nach Abschluss der technischen Problemlösung ist die Lieferterminbestimmung durchzuführen. Diese Aufgabe besteht darin, auf Basis des Kapazitätsbedarfs der erarbeiteten technischen Lösung sowie des zur Verfügung stehenden Kapazitätsangebots, eine Abschätzung hinsichtlich des möglichen Liefertermins zu treffen. Dabei gilt es sowohl die Wünsche des Kunden zu berücksichtigen als auch sicherzustellen, dass im Falle der Auftragserteilung der Termin mit den verfügbaren Kapazitäten eingehalten werden kann (ALMENRÄDER 1987). Hierbei muss neben den aus den Arbeitsplänen des konfigurierten Produktes abgeleiteten zukünftigen Kapazitätsbedarfen der Anfrage auch die bestehende Auslastung der Produktionsressourcen mit bereits eingeplanten Aufträgen und noch offenen Angeboten betrachtet werden (VDI 4504). Die Lieferterminplanung wird dabei durch die niedrige Auftragswahrscheinlichkeit, d. h. die geringen Umwandlungsraten von Angeboten in Aufträgen, sowie die zeitliche Differenz zwischen Angebotsabgabe und Auftragserteilung erschwert (VDI-EKV 1999).

Das grundlegende Ziel der nachfolgenden Angebotskalkulation besteht in der Ermittlung des Preises für die angebotene Leistung. Das Vorgehen zur Kalkulation des Angebotspreises setzt sich dabei aus drei Teilprozessen zusammen. In der Kostenermittlung / Kalkulation werden in einer vorausschauenden Rechnung die Selbstkosten bestimmt. Diese werden in der anschließenden Preisfindung unter Berücksichtigung der langfristigen Kostendeckungs- und Gewinnabsichten in einem internen Angebotspreis verrechnet. Abschließend wird unter Berücksichtigung unternehmensexterner Faktoren, wie beispielsweise der Wettbewerbssituation oder Markterschließung, dieser Preis angepasst (VDI-EKV 1983). In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der veranschlagte Preis nicht nur unmittelbare Auswirkungen auf die Kaufentscheidung des Kunden besitzt, sondern darüber hinaus auch entscheidend den wirtschaftlichen Erfolg des gesamten Unternehmens beeinflusst. Dem entsprechend kann zwar ein zu hoch kalkulierter Preis zu einem Auftragsverlust an die Konkurrenz führen, allerdings besteht bei einem zu niedrig angesetzten Preis die Gefahr, dass die Herstellkosten nicht gedeckt werden bzw. kein Gewinn erwirtschaftet wird (FELLER 1992). Eine ausführliche Diskussion der Vorgehensweise zur Angebotskalkulation bei kundenindividueller Produktion ist in der Arbeit von RIMPAU (2011) zu finden.

Die anschließende juristische Abklärung umfasst die Festlegung der Bedingungen für die Gewährleistung und Lieferung sowie bei größeren Auftragswerten eventuell zusätzliche Finanzierungsangebote (GRABOWSKI 1972). Da die Vertragskonditionen stets ähnlich bleiben, wird häufig im Angebot auf die Allgemeinen Geschäftsbedingungen sowie auf internationale Handelsbestimmungen

verwiesen. Mit der Erstellung der Angebotsunterlagen erfolgt die Dokumentation der in den vorangegangenen Teilprozessen erarbeiteten Ergebnisse. Die Informationen umfassen hierbei sowohl die technischen Beschreibungen des Produkts und die Angebotszeichnungen (SUTTROP 1992) als auch den Preis sowie Liefer- und Zahlungsbedingungen. Nach einer Überprüfung des Angebots hinsichtlich seiner äußeren Form sowie des Inhalts wird es an den Interessenten ausgehändigt. Mit der Übergabe der Unterlagen ist die Phase der Angebotserstellung abgeschlossen.

### 3.2.4 Phase der Angebotsnachbereitung

Die Angebotsnachbereitung stellt die letzte Phase der Angebotsbearbeitung dar. Durch eine zielgerichtete Nachverfolgung können Rückfragen vom potentiellen Kunden zum Angebotsinhalt schneller geklärt werden und es können neue Wünsche aufgenommen sowie Änderungen gegebenenfalls eingearbeitet werden. Darüber hinaus ermöglicht der Kontakt zum Interessenten, Informationen über den aktuellen Bearbeitungsstand des Angebots zu gewinnen (WESTEKEMPER 2002). Die Kundenbeziehung muss hierbei mindestens so lange aufrechterhalten werden, bis eine Zu- oder Absage eingeht. Im Idealfall werden die gewonnenen Informationen im Rahmen der Auswertung und Datenpflege analysiert, um Stärken und Schwächen des eigenen Unternehmens zu erkennen und die Angebotserstellung zu optimieren (EVERSHEIM 1996).

## 3.3 Ergebnisse aus der Angebotsbearbeitung

Die in den Teilschritten der Angebotsbearbeitung generierten Ergebnisse werden in Form eines Angebots an den potentiellen Kunden übermittelt. Unter einem Angebot versteht KRATZ (1975) eine

*„verbindliche, bis zu einem bestimmten Zeitpunkt gültige Erklärung der anbietenden Unternehmung über Leistungsumfang und Absatzkonditionen, bei deren Bestätigung der Anbieter bereit ist, einen konkreten Auftrag zu übernehmen.“* (KRATZ 1975, S. 64).

Der inhaltliche Schwerpunkt des Angebots liegt dabei auf der mittels Produktbeschreibungen und Zeichnungen dokumentierten technischen Lösung für die individuelle Anfrage des Kunden. Darüber hinaus enthält das Angebot die Informationen zum Produktpreis, den möglichen Liefertermin sowie weiterführende An-

gaben zu Gewährleistung und Garantie (HEIOB 1982). Eine übersichtliche Zusammenstellung der Inhalte eines Angebots veranschaulicht Abbildung 14.

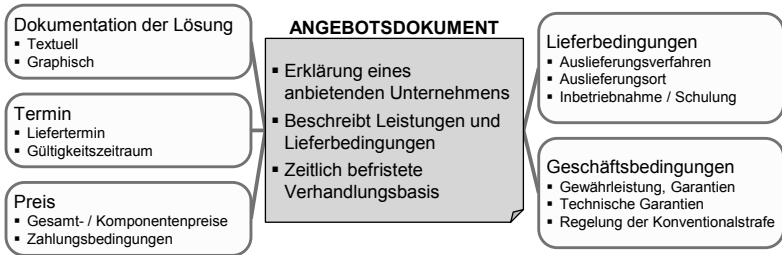


Abbildung 14: Bestandteile eines Angebots (vgl. EVERSHEIM 1996)

Im Allgemeinen werden in der Literatur drei grundsätzliche Angebotsformen unterschieden, die sich bezüglich der Darstellungstiefe und des Detaillierungsgrads der technischen Lösungsbeschreibung sowie durch ihre Genauigkeiten hinsichtlich des Angebotspreises und des Liefertermins voneinander unterscheiden lassen (GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977, EVERSHEIM et al. 1982):

- **Kontaktangebot:** Der Informationsgehalt des Kontaktangebots ist begrenzt. Üblicherweise werden standardisierte Produktbeschreibungen in Form von Prospekten an den Kunden verschickt. Die enthaltenen Preisinformationen sowie die Angaben zum Liefertermin basieren auf den Erfahrungswerten ähnlicher Produkte oder Referenzlieferungen. Das Kontaktangebot wird vorwiegend verwendet, um neue Kunden zu akquirieren.
- **Richtangebot:** Das Richtangebot beinhaltet eine an den jeweiligen Bedarfsfall der Anfrage angepasste Beschreibung der technischen Lösung in Kurzform. Darüber hinaus werden ein überschlägiger Pauschalpreis sowie unverbindliche Informationen zu einem möglichen Liefertermin an den Kunden übermittelt. Das Richtangebot dient häufig als Grundlage für die spätere Erstellung eines Festangebots.
- **Festangebot:** Das Festangebot ist präzise für die spezifische kundenindividuelle Problemstellung formuliert. Die technische Lösung wird ausführlich beschrieben und der veranschlagte Produktpreis sowie der errechnete Liefertermin werden verbindlich festgeschrieben. Alle kaufmännischen und vertraglichen Einzelheiten sind somit detailliert geklärt.

Diese drei Angebotsformen finden in der industriellen Praxis durchweg Verwendung. Allerdings erfolgt auch bei der Abgabe eines Kontakt- oder Richtangebots die Beauftragung eines Unternehmens in der Regel erst auf Basis eines nachfolgenden Festangebots. Dementsprechend hat diese Angebotsform an der Gesamtzahl der abgegebenen Offerten einen Anteil von ca. 95 % (VDI-EKV 1983). In den weiteren Ausführungen wird daher unter dem Begriff *Angebot* immer ein Festangebot verstanden.

## 3.4 Software in der Angebotsbearbeitung

### 3.4.1 Systemüberblick

Der Einsatz von Software zur Unterstützung der Angebotsbearbeitung bildete den Untersuchungsgegenstand einer VDI-Studie zum Angebotsmanagement von SCHMIDT (2008). Im Rahmen der Datenerhebung sollten die Teilnehmer hierbei sowohl Fragen bezüglich der grundsätzlichen Verwendung von Softwarelösungen in der Angebotsbearbeitung beantworten als auch gezielt Auskünfte zum Einsatz von Anwendungssystemen, wie beispielsweise ERP-Systemen (Enterprise Resource Planning) oder CRM-Systemen (Customer Relationship Management), im Angebotsprozess erteilen. Das Ergebnis der Umfrage ist in der nachfolgenden Abbildung 15 zusammengefasst.

Softwaresysteme in der Angebotsbearbeitung	Verbreitungsgrad in der Industrie
Textverarbeitungsprogramme	74 %
Tabellenkalkulationsprogramme	66 %
ERP-Systeme	38 %
CRM-Systeme	31 %
Produktkonfiguratoren	26 %
Projektmanagement-Systeme	24 %
Dokumenten-Management-Systeme	16 %
Workflow-Management-Systeme	8 %

*Abbildung 15: Softwaresysteme zur Unterstützung der Angebotsbearbeitung (in Anlehnung an SCHMIDT 2008)*

Bei den Systemen mit dem höchsten Verbreitungsgrad innerhalb der Angebotsbearbeitung handelt es sich um Programme zur Textverarbeitung (74 %) und Tabellenkalkulation (66 %). Dieser Sachverhalt lässt sich darauf zurückführen, dass in der betrieblichen Praxis die Softwareunterstützung im Angebotsprozess zu einem großen Teil auf die Erstellung von Angebotsunterlagen oder die Kalkulation und Preisbestimmung begrenzt ist. Darüber hinaus steht die genannte Bürosoftware in der Regel bereits im Unternehmen zur Verfügung und kann somit ohne zusätzliche Aufwände genutzt werden. Der Einsatz von ERP-Systemen im Rahmen der Angebotsbearbeitung wird von 38 % der befragten Personen angegeben. Aufgrund der in den Systemen enthaltenen Grunddaten über das Produkt sowie den Produktionsprozess können sie zur Preis- und Terminbestimmung herangezogen werden. Häufig ist bereits ein CRM-System oder ein Produktkonfigurator als Funktionsbaustein in das ERP-System integriert. Das Management der Kundenbeziehungen ist bei 31 % der Studienteilnehmer mittels eines CRM-Systems umgesetzt. Je nach Funktionsumfang des implementierten Softwarepakets kann dabei ein Leistungsspektrum von der alleinigen Verwaltung der Kundendaten bis hin zur Erstellung, Übermittlung und Nachverfolgung der Angebote abgedeckt werden. Der Einsatz von Produktkonfiguratoren wird von 26 % der Teilnehmer bestätigt. Die Kernaufgabe des Konfigurationssystems liegt hierbei in der Erfassung der Kundenanfrage und der Gewinnung einer aus technischer Sicht gültigen Beschreibung der gewünschten Produktvariante. In Abhängigkeit des gewählten Individualisierungsgrads kann darüber hinaus eine Unterstützung bei der technischen Lösungsfindung sowie die Preiskalkulation erfolgen. Als weitere Softwarelösungen, die im Angebotsprozess verwendet werden, sind Projektmanagement-Systeme (24 %) und Dokumenten-Management-Systeme (16 %) sowie Workflow-Management-Systeme (8 %), die eine Zusammenarbeit über Abteilungsgrenzen hinweg unterstützten, zu nennen (VDI 4504, SCHMIDT 2008).

Neben der klassischen Bürosoftware wie Microsoft Excel handelt es sich somit bei den meistverwendeten Systemen im Angebotsprozess um ERP-Systeme, CRM-Systeme und Produktkonfiguratoren. Im Hinblick auf ihre Bedeutung im Angebotsprozess sowie die Zielsetzung der Arbeit, die Entwicklung einer Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für kundenindividuelle Produkte, werden in den nachfolgenden Abschnitten die grundlegenden Konzepte sowie die funktionalen Eigenschaften dieser Softwaresysteme erläutert.

### 3.4.2 ERP-Systeme

Als ein ERP-System wird eine komplexe Unternehmenssoftware bezeichnet, die eine bereichsübergreifende Unterstützung der betrieblichen Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht. Durch den Einsatz eines ERP-Systems ist es demzufolge möglich, die Geschäftsprozesse eines Unternehmens durch die Integration verschiedener Funktionen, Aufgaben und Daten in einer Softwarelösung zentral zu verwalten (GRONAU 2010). Laut einer Definition von GAUSEMEIER (2009) dienen somit ERP-Systeme

*„zur effektiven Planung und Steuerung aller Ressourcen, die zur Beschaffung, Herstellung zum Vertrieb und zur Abwicklung von Kundenaufträgen in einem Unternehmen nötig sind.“* (GAUSEMEIER 2009, S. 397).

Aufgrund der Vielzahl an unterstützenden Prozessen ist die Beschreibung des Funktionsumfangs eines ERP-Systems lediglich auf einer abstrahierten Ebene möglich<sup>2</sup>. Hierzu wird die von HESSELER (2007) vorgestellte Unterteilung in die vier klassischen Anwendungsfelder einer ERP-Lösung herangezogen:

- **Finanzwesen:** Rechnungswesen, Finanzbuchhaltung, Controlling, ...
- **Logistik:** Materialwirtschaft, Lagerverwaltung, Vertrieb, ...
- **Produktion:** Produktionsplanung und -steuerung, ...
- **Personalwesen:** Lohn- und Gehaltsabrechnung, ...

Im Umfeld der betrieblichen Informations- und Kommunikationssysteme zur Planung und Steuerung der Produktion sind sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch der industriellen Praxis die Aufgabenbereiche der verschiedenen unterstützenden Softwaresysteme oftmals nicht klar voneinander abgegrenzt (SCHÖNSLEBEN 2011). Zum besseren Verständnis der Funktionsumfänge eines ERP-Systems hinsichtlich der Unterstützung des Produktionsmanagements werden in den folgenden Ausführungen die unter den Begrifflichkeiten ERP, PPS (Produktionsplanung und -steuerung), APS (Advanced Planning and Scheduling)

---

<sup>2</sup> Weiterführende Informationen bezüglich der Anwendungsfelder und der Funktionsumfänge von ERP-Systemen sind beispielsweise bei HACKSTEIN (1989), SCHUH (2006) oder LÖDDING (2008) zu finden.

und MES (Manufacturing Execution System) bekannten Softwarelösungen in Bezug auf ihren zeitlichen Planungshorizont voneinander abgegrenzt<sup>3</sup>.

Während bei ERP- bzw. PPS-Systemen der Planungshorizont für die Grobplanung der Produktion einen längerfristigen Charakter von mehreren Wochen, Monaten oder sogar Jahren besitzt, bieten APS-Systeme die Möglichkeit einer Feinplanung mit einem Betrachtungshorizont von wenigen Tagen (MARCINSKI 2008). Die APS-Systeme stellen im Allgemeinen eine Ergänzung der bestehenden ERP- / PPS-Systeme dar, indem sie die unternehmensübergreifende Planung und Terminierung entlang der gesamten Logistikkette unterstützen. Ihre Fähigkeit zur schnellen Durchführung komplexer produktionstechnischer Planungstätigkeiten ist dabei auf die Anwendung von heuristischen Optimierungsverfahren sowie den Einsatz von inkrementellen Planungsansätzen zurückzuführen (HAGEMEISTER 2007). Einen noch kurzfristigeren Planungshorizont, der beispielsweise zur reaktiven Steuerung bei Störungen oder Stillständen im Produktionsablauf erforderlich ist, besitzen MES-Systeme. Durch die Koppelung mit Systemen der Produktionsebene stehen jederzeit aktuelle Informationen über die Zustände der Prozesse zur Verfügung. Treten Planungsabweichungen auf, kann das MES-System in Echtzeit auf das eingetretene Ereignis reagieren (KLETTI 2006). Darüber hinaus dient das MES-System als Informationsdrehscheibe für die übergeordneten APS- bzw. ERP- / PPS-Systeme und stellt somit das Bindeglied zwischen der Unternehmensleitebene und der Produktionsebene dar (VDI 5600).

Die zeitlichen Zusammenhänge zwischen den vorgestellten ERP-, PPS-, APS- und MES-Systemen sowie ausgewählten Funktionen ihrer jeweils zugehörigen Planungsebene sind in der nachfolgenden Abbildung 16 nochmals im Überblick dargestellt.

---

<sup>3</sup> Detaillierte Informationen bezüglich der genannten Softwaresysteme sind in der entsprechenden Fachliteratur zu finden. Beispielhaft sollen an dieser Stelle die Werke von KLETTI (2006) sowie STADTLER & KILGER (2010) für die Themen MES- bzw. APS-Systeme genannt werden.

IT-SYSTEM	ZEITBEZUG	PLANUNGSEBENE UND FUNKTION
ERP	<p>Monate / Jahre</p>	<p>Absatz- und Programmplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vorschau</li> <li>▪ Gruppierung</li> <li>▪ Langfristige Entscheidungsunterstützung</li> </ul>
PPS	<p>Wochen / Monate</p>	<p>Produktionsplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geplante Endtermine pro Auftrag</li> <li>▪ Materialbedarfe</li> <li>▪ Produkt- und Maschinenzuordnung</li> </ul>
APS	<p>Tage</p>	<p>Feinplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zuordnung von Material</li> <li>▪ Detaillierte Reihenfolgeplanung</li> <li>▪ Regelbasierte Optimierung</li> </ul>
MES	<p>Minuten / Stunden</p>	<p>Werkstattsteuerung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kurzfristige Planänderungen</li> <li>▪ Änderungen von Zuordnung und Reihenfolge</li> </ul>

Legende: Planungshorizont

Abbildung 16: Abgrenzung und Funktion von ERP, PPS, APS und MES (in Anlehnung an MARCINSKI 2008, TENTROP 2011)

Aufgrund der Fokussierung dieser Arbeit auf die Lieferterminbestimmung im Rahmen des vorgelagerten Angebotsprozesses liegen APS- bzw. MES-Systeme, die zur Unterstützung der Feinplanung einen sehr hohen Detaillierungsgrad der erforderlichen Eingangsdaten benötigen, außerhalb des Betrachtungsraums.

### 3.4.3 CRM-Systeme

Das Customer Relationship Management (CRM) bzw. das Management von Kundenbeziehungen kann als eine Strategie angesehen werden, die konsequent die Ausrichtung des Unternehmens auf den Kunden und seine Bedürfnisse verfolgt. Sie umfasst entsprechend einer Definition von HIPPNER et al. (2011)

*„den Aufbau und die Festigung langfristig profitabler Kundenbeziehungen durch abgestimmte und kundenindividuelle Marketing-, Sales- und Servicekonzepte mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien.“* (HIPPNER et al. 2011, S. 18).

Zur Umsetzung dieser Strategie werden von einer Vielzahl von Herstellern entsprechende CRM-Systeme auf dem Markt angeboten, die laut SCHULZE (2002) eine Weiterentwicklung der CAS-Systeme (Computer Aided Selling) darstellen. Im Gegensatz zu diesen Softwareprogrammen, die lediglich auf den reinen Ver-



kaufsprozess beim Kunden ausgerichtet sind und somit einen vertriebsbezogenen Charakter besitzen, bieten CRM-Systeme eine weiter gefasste Unterstützung der Marketing-, Verkaufs- und Serviceprozesse.

Aufgrund des sehr weit gefassten Aufgabengebiets der CRM-Systeme gibt es große Unterschiede hinsichtlich der implementierten Funktionalitäten. Allerdings können unabhängig von der spezifischen Ausprägung der Softwarelösung vier Hauptzielrichtungen, die mit dem Einsatz dieser Systeme verfolgt werden, identifiziert werden (HELMKE 2008):

- Erstellung innovativer Leistungsangebote für den Kunden
- Optimierung der Geschäftsprozesse im Kundenmanagement
- Verbesserung der Analyse der Kundendaten
- Unterstützung neuer Marketing- / Vertriebsinstrumente

Je nach gewählter Zielrichtung gilt es geeignete Bausteine aus dem zur Verfügung stehenden CRM-System zu implementieren. Hierbei können zwei übergeordnete Gruppen von CRM-Systemen unterschieden werden (Amberg & Schumacher 2002):

- Die erste Gruppe umfasst die selektiven Lösungen, die hinsichtlich ihrer Funktionalität auf einen ausgewählten Aufgabenbereich, wie z. B. CAS, fokussiert sind. Zur Verfolgung einer der genannten vier Hauptzielrichtungen ist es erforderlich, mehrere selektive Systeme zu einer ganzheitlichen Lösung zusammenzufassen. Bei der Auswahl der einzelnen Softwarelösungen ist insbesondere auf die Verfügbarkeit entsprechender Kommunikationsschnittstellen zu achten.
- Die zweite Gruppe beinhaltet die integrativen CRM-Systeme. Sie vereinen unterschiedliche Funktionalitäten in einem Softwareprogramm und bieten somit eine durchgängige Unterstützung des Kundenbeziehungsmanagements. Die Schnittstellenproblematik spielt in diesem Fall eine untergeordnete Rolle, allerdings steht aufgrund des integrativen Ansatzes oftmals eine große Anzahl an Funktionalitäten zur Verfügung, deren Anpassung an die spezifischen Unternehmensbedürfnisse mit einem hohen Aufwand verbunden ist.

Beide vorgestellten Lösungsansätze finden in der betrieblichen Praxis ihre Anwendung. Die jeweilige Auswahl ist dabei von den spezifischen Anforderungen

und Rahmenbedingungen des Unternehmens abhängig. Eine allgemeingültige Empfehlung bezüglich der Wahl des zu verfolgenden Ansatzes lässt sich dem entsprechend laut HIPPNER et al. (2011) nicht abgeben.

### 3.4.4 Konfigurationssysteme

Die als Produktkonfiguratoren bzw. als Konfigurationssysteme bezeichnete Gruppe von Softwarelösungen bildet innerhalb der betrieblichen IT-Landschaft das Bindeglied zwischen den im Vertriebsprozess eingesetzten CRM-Systemen sowie den für den Leistungserstellungsprozess verantwortlichen ERP-Systemen (HÜLLENKREMER 2002). Sie stellen laut BECKER (2010) eine Schlüsseltechnologie zur Realisierung der kundenindividuellen Produktion dar. FELDMANN et al. (2004) definieren Konfigurationssysteme in ihren Ausführungen als

*„softwaretechnische Hilfsmittel zur individuellen Zusammenstellung eines Produktes bzw. eines Auftrages nach den Anforderungen des Kunden.“* (FELDMANN et al. 2004, S. 159).

Als die Basisfunktionalität des Konfigurators ist die Unterstützung des Kunden bei der Generierung einer gültigen Produktkonfiguration durch Kombination definierter Produkteigenschaften und Parameterwerte anzusehen (SCHEER 2006). Im Rahmen des Konfigurationsprozesses kann der Kunde durch die individuelle Selektion der Produktkomponenten sowie durch die Parametrisierung der Produkteigenschaften die von ihm geforderte Produktvariante aus dem zur Verfügung gestellten Lösungsraum auswählen. Anhand der Unterstützungsleistung durch den Konfigurator soll es hierbei ermöglicht werden, aus der Vielzahl von Kombinations- und Variationsmöglichkeiten genau die passende, auf die spezifischen Wünsche des Kunden ausgerichtete Lösung zu finden (REICHWALD & PILLER 2006).

Über die erläuterte Basisfunktionalität hinaus werden in der Literatur häufig folgende Anforderungen an die von einem Konfigurationssystem zur Verfügung gestellten Funktionalitäten genannt (WÜPPING 1999):

- **Vollständige Informationsbereitstellung:** Erfassung aller Informationen zur Erstellung eines Angebots mittels benutzergeführter Dialoge
- **Plausibilitätsprüfung:** Überprüfung der Produktkonfiguration auf ihre technische Machbarkeit

- **Informationssystem:** Bereitstellung von Produktinformationen, wie z. B. Datenblätter, für den Kunden oder Vertriebsmitarbeiter
- **Systemintegration:** Verfügbarkeit von Schnittstellen zu ERP- oder CAD-Systemen (Computer Aided Design) zur Übergabe der Auftragsdaten

Die technische Umsetzung eines Produktkonfigurators kann mittels regelbasierter, entscheidungstabellenbasierter oder wissensbasierter Systeme erfolgen (GRÄBLER 2004). Der Konfigurationsprozess innerhalb eines regelbasierten Systems wird über geführte Benutzerdialoge gesteuert. Ausgehend von den bereits vom Nutzer getroffenen Entscheidungen werden hierbei die nachfolgenden zur Verfügung stehenden Auswahlmöglichkeiten anhand vordefinierter Regeln sukzessive eingeschränkt (SCHUH 2005). Im Gegensatz dazu erfordern tabellenbasierte Konfigurationssysteme vom Anwender eine gewisse Entscheidungskompetenz hinsichtlich des Grads der Bedürfniserfüllung der vom System vorgeschlagenen Alternativen, da basierend auf den Anforderungen des Kunden vom System verschiedene Auswahlmöglichkeiten einer Komponente vorgeschlagen werden. Die Grundlage dieser Art von Konfigurationssystemen bilden verknüpfte Tabellen, welche die Produktabhängigkeiten abbilden (PILLER 2006). Die beiden genannten Techniken finden in der Regel bei einfachen Konfigurationsaufgaben Anwendung, da die Handhabung der Entscheidungstabellen sowie die dauerhafte Aufrechterhaltung eines gültigen Regelwerks und des Beziehungswissens als sehr schwer angesehen wird (WÜPPING 1999). Wissensbasierte Systeme bzw. Expertensysteme hingegen zeichnen sich durch die getrennte Abbildung des für die Umsetzung der Konfigurationsaufgabe erforderlichen Wissens in der Wissensbasis von der im Steuersystem hinterlegten allgemeinen Problemlösungsstrategie aus. Sie eignen sich aufgrund der einfachen Pflege des hinterlegten Wissens sowie der Vielzahl möglicher anwendbarer Problemlösungstechniken explizit für die Konfiguration komplexer Produkte (ARLT et al. 2001).

In der betrieblichen Praxis werden laut WÜPPING (1999) oftmals Mischformen der genannten systemtechnischen Ausprägungsformen verwendet. Eine aktuelle Übersicht der derzeit am Markt erhältlicher Produktkonfiguratoren ist bei BRINKOP (2014) zu finden.

### **3.5 Zwischenfazit**

Eine zentrale Rolle innerhalb der Auftragsabwicklung für kundenindividuelle Produkte wird von dem im Vertrieb angesiedelten Prozess der Angebotsbearbeitung eingenommen. Die Zusammenfassung der in den Teilprozessen der Angebotsbearbeitung erarbeiteten Daten zur technischen Lösung, der Preis- und Termininformation sowie der Liefer- und Geschäftsbedingungen stellt das Angebot dar. Es wird nach Abschluss dieses vertrieblichen Geschäftsprozesses an den Kunden übermittelt.

Der Einsatz von Softwaresystemen im Angebotsprozess kann dazu beitragen, das übergeordnete Ziel einer effizienten und erfolgreichen Bearbeitung der eingehenden Kundenanfragen zu realisieren. Hierbei stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Softwaresysteme zur Auswahl, deren Funktionalitäten von der Unterstützung einzelner Aufgaben der Angebotsbearbeitung bis hin zur vollständigen Abdeckung des gesamten Prozesses reichen. Anhand der Ergebnisse einer VDI-Studie wurde aufgezeigt, dass neben standardisierter Bürosoftware im Wesentlichen drei Arten von Softwarelösungen – ERP-, CRM- und Konfigurationssysteme – die betriebliche Angebotsbearbeitung unterstützen. Eine Verbesserung der Integration der genannten Systeme kann hierbei dazu beitragen, die Durchgängigkeit der Prozesse und Informationsflüsse zu optimieren und somit den aus der softwaretechnischen Unterstützung im Angebotsprozess generierbaren Nutzen zu verdeutlichen.

## **4 Stand von Wissenschaft und Technik**

### **4.1 Kapitelüberblick**

Im Vorfeld der Entwicklung einer Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen gilt es, den aktuellen Stand der Technik in den beiden zentralen Themenbereichen der Arbeit, der Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit sowie der Ermittlung des Produktliefertermins, im Detail zu analysieren. In Abschnitt 4.2 werden demzufolge zunächst ausgewählte Techniken zur Umsetzung einer Bewertung der an das Unternehmen vom Kunden herangetragenen Anfragen vorgestellt. Die Struktur des Abschnitts orientiert sich dabei an der in der wissenschaftlichen Literatur genutzten Unterteilung in qualitative bzw. quantitative Verfahren sowie in Scoring-Modelle. Anschließend erfolgt in Abschnitt 4.3 die Diskussion verschiedener Konzepte zur Unterstützung der Ermittlung eines belastbaren und an den Kunden kommunizierbaren Liefertermins. Bei den vorgestellten Verfahren handelt es sich aufgrund der betrachteten frühen Phase des Auftragsabwicklungsprozesses um Methoden zur Grobterminierung, die in der industriellen Praxis sowohl in der Angebotsbearbeitung als auch in der Auftragsbearbeitung zu finden sind. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse findet in Abschnitt 4.4 eine zusammenfassende Bewertung der vorgestellten Ansätze hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf den im Rahmen der Arbeit betrachteten Anwendungsfall der kundenindividuellen Produktion statt. Die Herleitung des identifizierten Handlungsbedarfs sowie die Formulierung der hieraus abgeleiteten Forschungsfragen bilden den Abschluss der Ausführungen in Kapitel 4.

### **4.2 Verfahren zur Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit**

#### **4.2.1 Überblick der Verfahrensarten**

Bei der Bestimmung der Auftrags- bzw. Kaufwahrscheinlichkeit handelt es sich um einen Vorgang, der in der Regel im Rahmen einer ganzheitlichen Bewertung der Kundenanfrage abläuft. Die Anfragebewertung beinhaltet somit neben der Überprüfung der technischen Durchführbarkeit sowie der wirtschaftlichen Profitabilität auch die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit, dass die vom Kunden ge-

stellte Anfrage mit einem Kundenauftrag bestätigt wird. Die Konzepte der Anfragebewertung können hierbei drei voneinander klar abgrenzbaren Gruppen zugeordnet werden. Hierbei handelt es sich um qualitative und quantitative Verfahren sowie um Scoring-Modelle (ALBERS & KRAFFT 2000, KUHLMANN 2001, BACKHAUS & VOETH 2011, HOFBAUER & HELLWIG 2012):

- **Qualitative Verfahren:** Die qualitativen Verfahren umfassen Konzepte, die mit Checklisten oder Profilvergleichen arbeiten. Die Checklisten werden hierbei häufig, wie beispielsweise bei HENTSCHEL (2008), in Kombination mit weiteren Verfahren eingesetzt. Der Profilvergleich kann als Erweiterung der Anwendung von Checklisten verstanden werden. Ein Beispiel für die Anwendung eines Profilvergleichs stellt das Konzept von BARRMEYER (1982) dar.
- **Quantitative Verfahren:** Bei den quantitativen Verfahren erfolgt die Anfragebewertung anhand der mathematischen Berechnung einer metrischen Beurteilungsgröße. Somit ist eine objektive und vergleichende Bewertung verschiedener Anfragen möglich. Die Modelle von HEGER (1988) sowie BACKHAUS (1980) können dieser Verfahrensgruppe zugeordnet werden.
- **Scoring-Modelle:** Bei den Scoring-Modellen, wie z. B. von KAMBARTEL (1973) oder HENTSCHEL (2008) entwickelt, erfolgt die Bildung eines Gesamtpunktwerts der einzelnen Bewertungskriterien einer Anfrage anhand definierter Aggregationsregeln. Da die Berechnung anhand quantitativer Daten, die basierend auf einem qualitativen Skalenniveau gewonnen werden, beruht, nehmen diese Verfahren eine Mittelstellung zwischen den beiden erstgenannten Gruppen ein.

### 4.2.2 Qualitative Verfahren

#### Verfahren nach Hentschel (Stufe I)

HENTSCHEL (2008) stellt ein kombiniertes zweistufiges Verfahren der Anfragebewertung vor, das eine Klassifizierung der Kundenanfragen ermöglicht und auf Basis der ermittelten Auftragswahrscheinlichkeiten bei der Wahl der geeigneten Angebotsstrategie unterstützt. In der ersten Stufe erfolgt die Bewertung der Anfragen anhand einer im Vorfeld definierten Checkliste (Abbildung 17). Diese enthält verschiedene allgemeine Fragestellungen bezüglich der mit einem eventuellen Auftragerhalt verbundenen Risiken für das Unternehmen. Sollte auch nur eine der vorgestellten Fragen negativ beantwortet werden, ist laut

HENTSCHEL (2008) die Angebotsbearbeitung nicht weiter zu verfolgen und eine sofortige Absage der Anfrage an den Kunden zu übermitteln.

Checkliste zur Anfragebewertung		Ja	Nein
1.	Ist der zu beliefernde Kunde in der Lage, seinen finanziellen Verpflichtungen nachzukommen?		
2.	Reicht das Firmen-Know-how aus bzw. ist es fristgerecht zu beschaffen, um den Auftrag zu bearbeiten?		
3.	Sind die entstehenden technischen Risiken für das Unternehmen vertretbar?		
4.	Sind die entstehenden finanziellen Risiken für das Unternehmen vertretbar?		
...	...		

Abbildung 17: Checkliste zur Anfragebewertung (HENTSCHEL 2008)

In der nachgelagerten zweiten Stufe erfolgt die Bewertung der verbliebenen Anfragen mit Hilfe eines Scoring-Modells. Das vorgeschlagene Vorgehen wird aufgrund der thematischen Zugehörigkeit in Abschnitt 4.2.4 erläutert.

### **Verfahren nach Barrmeyer**

Das von BARRMEYER (1982) entwickelte Verfahren zur Anfragebewertung umfasst sowohl die Anwendung von qualitativen Checklisten als auch die Verwendung eines Profilvergleichs. Mit Hilfe der Checklisten erfolgt eine Vorselektion der vorliegenden Projekte. Nicht durchführbare bzw. mit einem zu hohen Risiko behaftete Vorhaben werden dabei bereits frühzeitig aussortiert. Nur wenn alle Fragen der Checkliste positiv beantwortet werden konnten, erfolgt die detaillierte Analyse der Ausschreibung durch Anwendung des Profilvergleichs. Hierbei wird das zu betrachtende Projekt anhand definierter Kriterien hinsichtlich des Grads der Erfüllungen eines vom Unternehmen vorgegebenen Mindestniveaus überprüft.

Die anzuwendenden Kriterien unterteilt BARRMEYER (1982) in zwei übergeordnete Kategorien. Die erste Gruppe umfasst sogenannte Vorbehaltskriterien. Sie stellen Nebenbedingungen dar, die durch das Erreichen eines Schwellenwerts erfüllt sein müssen. Eine Übererfüllung des geforderten Mindestniveaus bleibt hierbei für die Entscheidungsfindung unberücksichtigt. Im Gegensatz dazu spielt bei der zweiten Gruppe, den sogenannten Erfolgsfaktoren, der Grad der erreichten Ausprägung des Kriteriums aufgrund der Forderung nach einer Gewinnmaximierung eine entscheidende Rolle bei der Bewertung.

In Abbildung 18 ist beispielhaft die Bewertung eines Projekts mit dem von BARRMEYER (1982) vorgestellten Profilvergleich veranschaulicht. Die Unterteilung der einzelnen Kriterien erfolgt hierbei in fünf Kategorien. Je besser das jeweilige Kriterium erfüllt ist, desto höher ist der zu vergebende Punktwert. Die Angebotserstellung resultiert, wenn nach Abschluss der Bewertung das Projekt in jedem Punkt besser oder gleich dem vorgegebenen Mindestprofil ist.

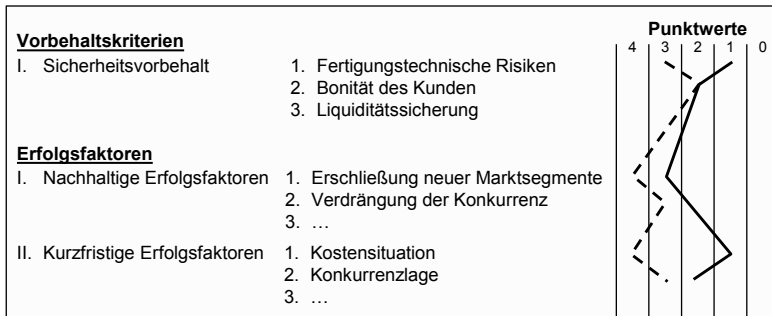


Abbildung 18: Profilvergleich – Mindestprofil (durchgezogene Linie) und Profils eines Projekts (gestrichelte Linie) in Anlehnung an BARRMEYER (1982)

### 4.2.3 Quantitative Verfahren

#### Verfahren nach Heger

Die Anwendung eines quantitativen Verfahrens zur Anfragebewertung wird von HEGER (1988) vorgeschlagen. Er unterscheidet in seiner Betrachtung zwischen einer vorgelagerten Überprüfung der Anfrage hinsichtlich strategischer Aspekte sowie einer nachfolgenden Bewertung bezüglich der Erfüllung der operativen Unternehmensziele.

In der ersten Stufe der Anfragebewertung werden die strategischen Dimensionen der Anfrage im Hinblick auf das Geschäftsfeldportfolio des Unternehmens überprüft. Mit Hilfe definierter Fragen, die in Form einer Checkliste abgearbeitet werden müssen, soll sichergestellt werden, dass die zu bewertende Anfrage konform zu den strategischen Unternehmenszielen ist. Werden eine oder mehrere der gestellten Fragen negativ beantwortet, ist gegebenenfalls eine Erweiterung des strategischen Geschäftsfelds in Erwägung zu ziehen. Sollte dies nicht gewünscht bzw. erforderlich sein, so wird die Anfragebearbeitung abgebrochen. Sind hinge-



gen alle Fragen positiv beantwortet worden, kann mit der zweiten Stufe, der Überprüfung hinsichtlich der operativen Unternehmensziele, fortgefahren werden. HEGER (1988) führt in diesem Zusammenhang den Begriff des Anspruchsniveaus ein. Hierbei handelt es sich um ein definiertes Maß, dem eine Anfrage im Hinblick auf die Auftragswahrscheinlichkeit sowie den Deckungsbeitrag bei gegebenen Angebotskosten gerecht werden muss. Die nachfolgende Abbildung 19 stellt beispielhaft das formulierte Anspruchsniveau sowie die Positionierung der bei dem Unternehmen eingegangenen Anfragen  $A_1$  bis  $A_4$  dar. Die Anfragen  $A_2$ ,  $A_3$  und  $A_4$  entsprechen bezüglich der Auftragswahrscheinlichkeit und dem geforderten Deckungsbeitrag nicht dem vom Unternehmen definierten Anspruchsniveau. Lediglich die Anfrage  $A_1$  befindet sich innerhalb des gekennzeichneten Bereichs und wird somit weiter verfolgt.

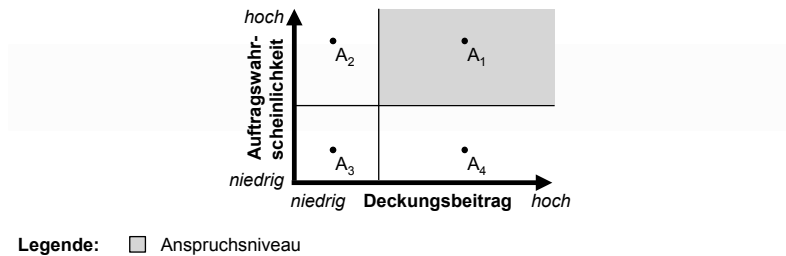


Abbildung 19: Anspruchsniveau eines Unternehmens zur Anfragebewertung (HEGER 1988)

### Verfahren nach Backhaus

Das für die Anwendung im industriellen Anlagengeschäft von BACKHAUS (1980) entwickelte Anfragebewertungsmodell stellt ebenfalls ein quantitatives Verfahren dar. Die Bewertung der Anfrage erfolgt hierbei über die Berechnung der Angebotskosten-Erfolgs-Kennziffer (AEK), die sich aus dem Quotienten der Wahrscheinlichkeit des Auftragseingangs, multipliziert mit dem erzielbaren Erlös bezogen auf die geschätzten Angebotskosten ergibt:

$$AEK = \frac{\text{Erfolgswahrscheinlichkeit für Auftragseingang} \cdot \text{Preis}}{\text{Geschätzte Angebotskosten}} \quad (1)$$

Die Prognose der Angebotskosten erfolgt auf Basis von bereits in der Angebotsphase bestimmbar Parametern wie beispielsweise dem Angebotswert oder dem Anteil individuell zu erstellender Dokumentationen. Durch die Anwendung einer multiplen Regressionsanalyse lässt sich der Einfluss dieser Größen auf die Ange-

botskostenfunktion beschreiben (BACKHAUS 1980). Im Gegensatz hierzu kann der zu veranschlagende Preis auf einfache Art und Weise aus dem geschätzten Auftragswert abgeleitet werden. Bei der Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeit für den Auftragseingang ist es zwingend erforderlich, mögliche Risiken des Angebotsprozesses mit zu berücksichtigen. Diese unterteilt BACKHAUS (1980) in die drei Formen der Ungewissheit, für die jeweils verschiedene Indikatoren definiert sind, anhand derer die Wahrscheinlichkeit ( $w$ ) des Eintretens der Unsicherheit abgeschätzt werden kann:

- **w(AE):** Die Ungewissheit über den Auftragseingang kennzeichnet Risiken hinsichtlich der Vergabe des Auftrags an einen Konkurrenten.
- **w(L):** Die Ungewissheit bezüglich der Leistungserstellung kennzeichnet Risiken hinsichtlich der Fähigkeit des Anbieters, die geforderte Leistung zu erbringen.
- **w(ZE):** Die Ungewissheit über den Zahlungseingang kennzeichnet Risiken, die hinsichtlich der Gegenleistung des Kunden für die erbrachte Leistung bestehen.

Zur Bestimmung der weiteren Vorgehensweise im Angebotsprozess, d. h. Angebotserstellung oder Abbruch der Angebotsbearbeitung, wird ausgehend von der Ungewissheit über den Auftragseingang nacheinander für jede der drei genannten Risikoarten die Angebotskosten-Erfolgs-Kennziffer (AEK) ermittelt. Nach jeder Berechnung wird überprüft, ob das Ergebnis einen vorab von einem Entscheidungsträger definierten Schwellwert unter- bzw. überschreitet. Im Falle eines Unterschreitens des Grenzwerts wird die Angebotsbearbeitung sofort abgebrochen. Im Falle eines Überschreitens ist mit der Überprüfung der Ungewissheiten fortzufahren, bis alle drei Wahrscheinlichkeiten berechnet sind und ein abschließendes Ergebnis vorliegt.

### 4.2.4 Scoring-Modelle

#### Verfahren nach Kambartel

Bei dem von KAMBARTEL (1973) entwickelten Wertziffernverfahren handelt es sich um ein auf einem Scoring-Modell basierendes Punktbewertungsverfahren. Nach Abschluss der Bewertung liegt die Gesamtwertziffer  $W_Z$  vor, die über definierte Wertebereiche eine Aussage hinsichtlich der Auftragswahrscheinlichkeit und somit der zu wählenden Angebotsform ermöglicht.

Auf Basis empirischer Analysen konnte KAMBARTEL (1973) verschiedene Bewertungskriterien identifizieren, die laut seinen Erkenntnissen für die Beurteilung der an ein Unternehmen herangetragenen Anfragen von Bedeutung sind. Diese Kriterien sind jeweils in einer Bewertungsskala über sechs verbal beschriebene Stufen von „sehr gut“ bis „kein Angebot“ untergliedert. Für jedes Kriterium wird die sogenannte Einzelwertziffer ( $W_{Ki}$ ) aus der Multiplikation des stufenspezifischen Erfüllungsgrads ( $e_i$ ) mit dem vom jeweiligen Kriterium sowie der erforderlichen Bewertungsstufe abhängigen individuellen Gewichtungsfaktor ( $g_i$ ) ermittelt. Des Weiteren unterteilt KAMBARTEL (1973) die identifizierten Bewertungskriterien in die übergeordneten Kategorien der dominierenden und ergänzenden Kriterien. Anhand der dominierenden Kriterien kann im Zuge der Bewertung aufgrund der stärkeren Gewichtung bereits eine erste Einordnung der Anfrage hinsichtlich der zu wählenden Angebotsform abgeleitet werden. Die weitere Bewertung durch die ergänzenden Bewertungskriterien ermöglicht aufgrund des geringeren Gewichtungsfaktors lediglich eine Bestätigung oder eine abwertende Beeinflussung des durch die dominierenden Bewertungskriterien ermittelten Ergebnisses. Die nachfolgenden Abbildungen 20 und 21 zeigen beispielhaft einen Ausschnitt des von KAMBARTEL (1973) entwickelten Bewertungsschemas.

		Bewertung					
Kriterium		sehr gut	gut	durchschnittlich	schlecht	sehr schlecht	kein Angebot
Dominierende Kriterien	<b>Zuverlässigkeit des Kunden (<math>W_{K_i}</math>)</b>  <i>auftragsbezogen (a)</i>	Auftragsrate des Kunden liegt über mittlerer Auftragsrate des Unternehmens  Kunde und Unternehmen stehen in langjährigen erfolgreichen Geschäftsbeziehungen	Auftragsrate des Kunden liegt über mittlerer Auftragsrate des Unternehmens  Weitere Geschäftsabschlüsse sind wahrscheinlich	Auftragsrate des Kunden entspricht mittlerer Auftragsrate des Unternehmens  Aussage nicht möglich (Erstanfrager; neuer Kunde)	Auftragserteilung kaum zu erwarten (Daueranfrager)	Auftragserteilung nicht zu erwarten (Konkurrenz-anfrager)	
	<i>projektbezogen (b)</i>	Folgeanfrage aus früherem Auftrag	Folgeauftrag zu erwarten	Folgeauftrag nicht abschätzbar	Folgeauftrag kaum zu erwarten	Folgeauftrag nicht zu erwarten	
	$W_{K_i} = (a+b)/4$	a) 30    b) 10	a) 21    b) 7	a) 18    b) 6	a) 12    b) 4	a) 6    b) 2	a) -    b) -
...		...	...	...	...	...	...

Abbildung 20: Beispiel eines dominierenden Bewertungskriteriums (in Anlehnung an KAMBARTEL 1973)

Ergänzende Kriterien	Kriterium	Bewertung					Wertziffern
		sehr gut	gut	durchschnittlich	schlecht	sehr schlecht	
	Technologisches Risiko ( $W_{K4}$ )	nicht vorhanden		auf Grund bisheriger Erfahrungen nicht zu erwarten	begrenzt auf untergeordnete Leistungs- und Funktionswerte	besteht für wesentliche Leistungs- und Funktionswerte bzw. nicht abschätzbar	
	$W_{K4}$	1	-	0,9	0,5	0,01	-
	...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 21: Beispiel eines ergänzenden Bewertungskriteriums (in Anlehnung an KAMBARTEL 1973)

Sind für alle Bewertungskriterien die Einzelwertziffern  $W_{K_i}$  bestimmt, kann die Berechnung der Gesamtwertziffer  $W_Z$  erfolgen. Hierbei wird für die dominierenden und ergänzenden Kriterien jeweils eine Gruppenwertziffer ( $W_{Z1}$ ,  $W_{Z2}$ ) durch Bildung des geometrischen Mittelwerts berechnet. Aus der Multiplikation der beiden Gruppenwertziffern ergibt sich anschließend die Gesamtwertziffer  $W_Z$ .

**Verfahren nach Hentschel (Stufe II)**

In der zweiten Stufe des von HENTSCHEL (2008) entwickelten Verfahrens erfolgt die Bewertung der verbliebenen Anfragen mit Hilfe eines Scoring-Modells. Die hierfür erforderlichen Bewertungskriterien, Gewichtungsfaktoren sowie Punktzuordnungen müssen unter Berücksichtigung der spezifischen Geschäftssituation durch das jeweilige Unternehmen eigenständig definiert werden. HENTSCHEL (2008) weist darauf hin, dass in Abhängigkeit davon, ob es sich um einen Bestands- oder Neukunden handelt, unterschiedliche Informationsarten in die Bewertung einfließen. Bei Bestandskunden können dementsprechend vorhandene Vergangenheitswerte zur Beurteilung herangezogen werden. Bei Neukunden ist hingegen die Anfrageanalyse nur anhand externer Informationen durchführbar und somit durch die Erfahrungswerte und subjektiven Einschätzungen der Vertriebsmitarbeiter gekennzeichnet.

In den weiteren Ausführungen stellt HENTSCHEL (2008) beispielhaft ein Scoring-Modell für einen Bestandskunden vor. Aus der Multiplikation von Gewichtungsfaktor und Punktbewertung ergeben sich die Gewichtungswerte der einzelnen Merkmale. Diese werden zusammenfassend für die weitere Betrachtung zu einem Gesamtpunktwert addiert (Abbildung 22).

Bewertungskriterium	Gewichtungs- faktor	Punktbewertung						Gewichtungs- wert
		5	4	3	2	1	0	
1. ABC-Analyse nach Umsatz	0,050		X					0,200
2. ABC-Analyse nach Deckungsbeitrag	0,150			X				0,450
3. ...	...							...
<b>Σ der Gewichtungsfaktoren</b>	<b>1,000</b>							<b>3,080</b>

Abbildung 22: Scoring-Modell zur Anfrageanalyse (HENTSCHEL 2008)

Basierend auf dem ermittelten Gesamtpunktwert kann abschließend die Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage mit der nachfolgend dargestellten Formel berechnet werden (HENTSCHEL 2008):

$$\text{Auftragswahrscheinlichkeit} = \frac{\text{Gesamtpunktwert} \cdot 100\%}{\text{Maximalpunktwert}} \quad (2)$$

#### 4.2.5 Zusammenfassung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde eine Auswahl der in der Literatur unter dem Begriff der Anfragebewertung aufgeführten Verfahren vorgestellt. Die Motivation liegt hierbei, aufgrund der im Maschinenbau im Allgemeinen geringen Umwandlungsraten von Anfragen in Aufträge, bei allen Verfahren in der Reduktion der mit der Erstellung von Angeboten verbundenen Kosten. Dementsprechend ist festzustellen, dass die betrachteten Konzepte in der Regel die Bewertung mit der Zielsetzung einer Selektion der an das Unternehmen herangetragenen Anfragen verfolgen und somit eine Entscheidungsunterstützung bezüglich der Erstellung eines Angebots oder der Beendigung der Angebotsaktivitäten bieten. Die hierfür herangezogenen Bewertungskriterien sind bei allen Verfahren in der Regel in Abhängigkeit des Unternehmens und seiner Marktsituation spezifisch festzulegen.

Die Verfahren auf Basis von Checklisten, wie die erläuterte erste Stufe in dem von HENTSCHEL (2008) entwickelten Konzept, dienen als Sammlung aller zu betrachtenden Kriterien und ermöglichen somit einen schnellen Überblick hinsichtlich der Charakteristik der vorliegenden Anfrage. Durch Profilvergleiche wie in der von BARRMEYER (1982) definierten Methode kann darüber hinaus in Bezug auf ein vorab definiertes Referenzprofil die Attraktivität einer Anfrage mittels einer grafischen Visualisierung der positiven und negativen Ausprägungen

gen dargestellt werden. Die Ansätze von HEGER (1988) und BACKHAUS (1980) ermöglichen aufgrund der verfolgten quantitativen Bewertung eine Aussage bezüglich des weiteren Umgangs mit der übermittelten Anfrage. Dabei erfolgt bei HEGER (1988) die Anfrageselektion durch die Positionierung der Anfrage in Bezug auf das Anspruchsniveau des Unternehmens unter Berücksichtigung strategischer Aspekte, wohingegen BACKHAUS (1980) schwerpunktmäßig die von ihm als Ungewissheiten bezeichneten Risiken der Angebotsbearbeitung betrachtet. Die Scoring-Modelle von KAMBARTEL (1973) und HENTSCHEL (2008) erfordern die Festlegung von Erfüllungsgraden und Gewichtungsfaktoren sowie die Identifikation geeigneter Bewertungskriterien. Auf Grundlage dieser Informationen bestimmen KAMBARTEL (1973) und HENTSCHEL (2008) die Wahrscheinlichkeit einer Auftragserteilung.

### 4.3 Verfahren zur Ableitung des Produktliefertermins

#### 4.3.1 Betrachtungsgegenstand

Laut EVERSHEIM (1998) ist die Terminplanung als ein essentieller Bestandteil des Angebotsprozesses anzusehen. Die als Verfahren der Grobplanung oder der Grobterminplanung bezeichneten Konzepte finden sowohl in der Angebotsbearbeitung als auch der Auftragsbearbeitung ihre Anwendung. Sie unterstützen bei der Planung realistischer Start- bzw. Fertigstellungstermine sowie gegebenenfalls bei der Planung einer gleichmäßigen Kapazitätsauslastung der Produktionsressourcen. Die zugrunde liegenden Planungsdaten basieren hierbei in der Regel auf aggregierten Informationen der betrachteten zeitlichen und kapazitiven Größen, wobei der zu wählende Detaillierungsgrad, z. B. die Planung auf Ebene von Maschinengruppen, abhängig von den im Unternehmen vorliegenden Rahmenbedingungen ist (KIENER et al. 2009).

In der Literatur werden zahlreiche Methoden zur Terminplanung im Angebotsprozess erläutert. Diese lassen sich grundsätzlich in zwei übergeordnete Verfahrensgruppen einteilen (ALMENRÄDER 1987, WESTEKEMPER 2002):

- **Durchlauforientierte Verfahren:** z. B. Balkenplantechnik, Transplantentechnik, Netzplantechnik
- **Kapazitätsorientierte Verfahren:** z. B. Engpassterminierung, Durchlaufkurven, Rechteckapproximation, Auftragszahl

Bei den durchlauforientierten Verfahren erfolgt die Einplanung der Anfrage ausschließlich auf Basis fertigungsbedingter Abhängigkeiten sowie der ermittelten Arbeitsvorgangfolgen. Die bestehende Auslastung der benötigten Kapazitäten durch bereits vorhandene Aufträge sowie konkurrierende Angebote werden hierbei vernachlässigt (ALMENRÄDER 1987). Im Gegensatz hierzu berücksichtigen die kapazitätsorientierten Verfahren im Rahmen der Einplanung sowohl den voraussichtlichen Ressourcenbedarf der Anfrage als auch, unter Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitätsgrenzen, die zur Verfügung stehenden freien Kapazitäten (VDI-EKV 1999).

Für die nachfolgend diskutierten Methoden der Terminplanung sind in der wissenschaftlichen Literatur sowie der industriellen Praxis verschiedene Ausprägungen und Darstellungsformen zu finden. Zur Klärung des grundsätzlichen Prinzips werden daher lediglich die jeweiligen Grundkonzepte vorgestellt.

### 4.3.2 Planungsgrößen

#### 4.3.2.1 Berechnung der Arbeitsplatzdurchlaufzeit

Die Durchlaufzeit eines Arbeitsvorgangs (AVG) setzt sich aus der Durchführungszeit, oftmals auch als Maschinenbelegungszeit bezeichnet, sowie der Übergangszeit zusammen. Diese können wiederum in verschiedene Teilelemente untergliedert werden (Abbildung 23).

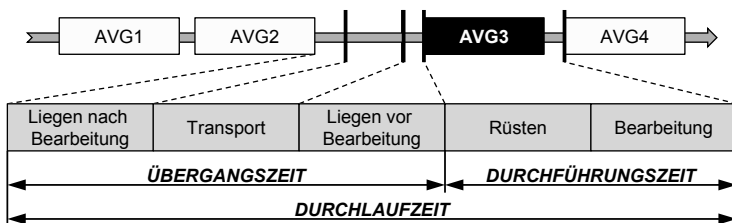


Abbildung 23: Bestandteile der Durchlaufzeit (in Anlehnung an NYHUIS & WIENDAHL 2012)

Die Durchführungszeit beschreibt den Zeitbedarf, der zur Vorbereitung und Durchführung des Arbeitsvorgangs auf einer Produktionsressource erforderlich ist. Sie setzt sich aus den beiden Teilelementen Rüstzeit und Bearbeitungszeit zusammen (SCHIEMENZ & SCHÖNERT 2005):

- **Rüstzeit:** Zeitanteil zur Vorbereitung der Ressource zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, z. B. Einrichten der Maschine, Werkzeugwechsel
- **Bearbeitungszeit:** Zeitanteil zur Durchführung des eigentlichen Bearbeitungsschrittes, z. B. Bohren, Stanzen

Die Übergangszeit kann direkt einem Arbeitsvorgang auf einer Produktionsressource zugeordnet werden. Sie umfasst die auf Basis von Erfahrungswissen gewonnenen Zeiten für den ablaufbedingten Transport des Werkstücks zwischen den Arbeitsstationen oder die Lagerung des Erzeugnisses (SCHIEMENZ & SCHÖNERT 2005):

- **Transportzeit:** Zeitanteil zur Weiterleitung des Werkstücks bzw. Auftrags zur nächsten Bearbeitungsstation
- **Liegezeit:** Zeitanteil für das Warten auf eine freie Arbeitsstation (Vorliegezeit) bzw. für das Warten auf den Abtransport (Nachliegezeit)

Laut WESTKÄMPER (2006) ist die Übergangszeit nicht unmittelbar von einem Fertigungsauftrag oder der Losgröße abhängig und kann somit als konstante Größe angesehen werden. Dementsprechend lässt sie sich anhand einer Übergangszeit- bzw. Übergangszeitenmatrix abbilden, die Angaben zu den durchschnittlichen Transport- und Liegezeiten bei Übergabe des Auftrags an eine andere Maschinengruppe enthält (SCHUH 2006). Sämtliche mögliche Übergangszeiten von jedem beliebigen Arbeitsplatz zu jedem anderen beliebigen Arbeitsplatz sind somit entsprechend dem in Abbildung 24 gezeigten Beispiel darstellbar.

nach von	$W_{11}$	$W_{12}$	$W_{13}$	$W_{21}$	...
$W_{11}$	-	20	7	26	...
$W_{12}$	15	-	8	22	...
$W_{13}$	10	11	-	19	...
$W_{21}$	18	30	23	-	...
...	...	...	...	...	-

Übergangszeit in Minuten

**Legende:**  $W_{xy}$  Maschinengruppe

Abbildung 24: Übergangszeitenmatrix für verschiedene Maschinengruppen



Zusammenfassend ergibt sich die allgemeine Formel zur Berechnung der Durchlaufzeit eines Auftrags an einer Produktionsressource in Abhängigkeit der Losgröße wie folgt (ZÄPFEL 2001):

$$\text{Durchlaufzeit} = \text{Bearbeitungszeit} + \text{Rüstzeit} + \text{Übergangszeit} \quad (3)$$

$$\text{Bearbeitungszeit} = \text{Menge} \cdot \text{Stückzahl} \quad (4)$$

### 4.3.2.2 Berechnung der Produktionskapazität

Der Herstellprozess von individuellen Produkten erfolgt aufgrund der kundenspezifischen Produktausprägungen und der damit verbundenen geringen Auftragsstückzahlen oftmals in Form einer Einzel- und Kleinserienfertigung. Die in der industriellen Praxis bevorzugte Organisationsform des Produktionsbereichs wird hierbei als Werkstattfertigung bezeichnet (KIENER et al. 2009). Das charakteristische Kennzeichen dieses Fertigungskonzepts ist die örtliche Zusammenfassung aller Maschinen, die gleiche Verrichtungen ausüben, in sogenannten Werkstätten. Trotz der durchaus vorhandenen Nachteile, wie beispielsweise höhere Durchlaufzeiten der Aufträge durch die Produktion oder längere Transportwege, ermöglicht dieses technologieorientierte Fertigungsprinzip aufgrund seiner Flexibilität und der daraus resultierenden schnellen Anpassbarkeit an veränderte Nachfrage- und Beschäftigungsschwankungen die wirtschaftliche Fertigung kundenindividueller Produkte (WANNENWETSCH 2007).

Wie bereits erläutert, handelt es sich bei der im Rahmen der Arbeit vorgestellten Methodik zur Lieferterminbestimmung um ein Verfahren der Grobplanung. Laut KURBEL (2005) ist es in diesem Fall zulässig, die Kapazitätsplanung nicht auf Ebene der einzelnen Produktionsressourcen durchzuführen, sondern auf die Auslastungsdaten übergeordneter Organisationseinheiten zurückzugreifen. Diese sogenannten Maschinengruppen fassen dabei gleichartige Betriebsmittel oder Arbeitsplätze zusammen und bilden somit die vorherrschende Kapazitätssituation gebündelt ab. Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Hierarchieebenen der Betriebsmittelstruktur innerhalb eines Unternehmens ist in der nachfolgenden Abbildung 25 nochmals verdeutlicht. Sie zeigt, ausgehend von der Werksebene bis hin zu der Ebene der einzelnen Maschinen, eine dreistufige Betriebsmittelhierarchie, wie sie in einem Industriebetrieb mit Werkstattfertigung häufig anzutreffen ist (KURBEL 2005).

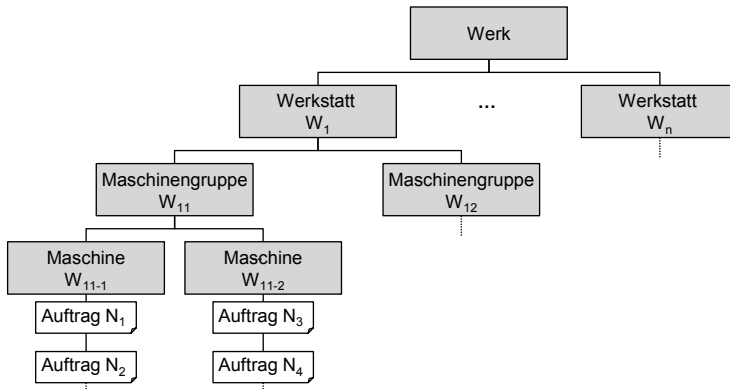
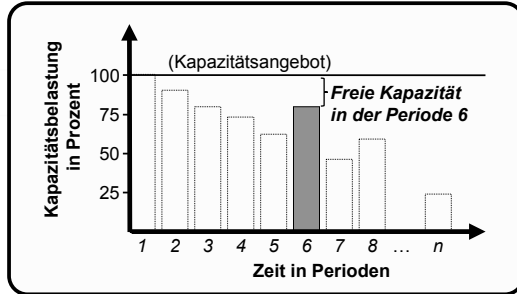


Abbildung 25: Betriebsmittelhierarchie (in Anlehnung an KURBEL 2005)

Die Bestimmung der Kapazitätsauslastung der Maschinengruppe ergibt sich aus der Summe der Kapazitätsbedarfe der bereits den Ressourcen zugeordneten und verbindlich eingeplanten Produktionsaufträge. Diese sind im Vorfeld auf Basis der im auftragspezifischen Arbeitsplan enthaltenen Daten über die Rüst- und Bearbeitungszeiten der einzelnen Arbeitsgänge je Arbeitsstation sowie der Informationen zum gewünschten Liefertermin im Rahmen der Termin- und Kapazitätsplanung zu berechnen und zeitlich zu fixieren<sup>4</sup>.

Zur Visualisierung der Auslastungssituation der einzelnen Maschinengruppen wird ein Belastungsdiagramm bzw. Kapazitätsgebirge genutzt (Abbildung 26). Dieses kann, falls sich im Unternehmen ein ERP-System zur Unterstützung der Planungsaktivitäten im Einsatz befindet, auf Basis der im Softwaresystem vorhandenen Informationen direkt abgeleitet werden. Auf der X-Achse des Koordinatensystems sind die einzelnen Zeitperioden fortschreitend nacheinander aufgetragen. Die Y-Achse bildet den voraussichtlichen Kapazitätsbedarf in Bezug auf die maximal verfügbare Kapazität der Maschinengruppe ab (HOITSCH 1993).

<sup>4</sup> Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt aufgrund der Fokussierung auf die Entwicklung einer Methodik zur Angebotsterminierung keine detaillierte Betrachtung der Aktivitäten der Kapazitätsplanung. Die bestehende Kapazitätsauslastung dient lediglich als Eingangsgröße für die nachfolgenden Planungsschritte. Weiterführende Information zu dieser Thematik sind u. a. bei KURBEL (2005) zu finden.



**Legende:** ■ Kapazitätsbedarf der zur Periode 6 eingeplanten Aufträge

Abbildung 26: Belastungsdiagramm bzw. Kapazitätsgebirge einer Maschinengruppe

Die Säulen des Belastungsdiagramms der betrachteten Maschinengruppe repräsentieren dem entsprechend den Kapazitätsbedarf aller Aufträge, die jeweils in einem spezifischen Zeitabschnitt eingeplant sind. Die je Planungsperiode noch verfügbare freie Kapazität der Betriebsmittel ergibt als Differenzwert zwischen der maximal möglichen Kapazität sowie dem berechneten vorhandenen Ressourcenbedarf der eingelasteten Produktionsaufträge.

### 4.3.3 Planungsverfahren

#### 4.3.3.1 Durchlauforientierte Verfahren

##### Balkenplantechnik

Das Vorgehen zur Erstellung eines einfachen Balkenplans oder Balkendiagramms basiert auf der Gantt-Technik. Folglich wird in diesem Zusammenhang in der Literatur häufig auch von einem Gantt-Diagramm oder einem Gantt-Chart gesprochen (STEINBUCH 1977). Als Eingangsgrößen der Terminplanung dienen hierbei die vorhandenen Arbeitspläne sowie die Mengendaten aus den erstellten Stücklisten der betrachteten Produkte. Anhand dieser Informationen können die zur Ausführung der einzelnen Aktivitäten benötigten Vorgabezeiten ermittelt und gegebenenfalls zur Erstellung des Balkenplans aggregiert werden.

Die Vorgänge zur Erstellung eines Angebots bzw. Abwicklung eines Auftrags werden anschließend unter Berücksichtigung von arbeitsablauf- und strukturbedingten Abhängigkeiten in ein Koordinatensystem eingezeichnet. Die Abszisse

stellt hierbei eine Zeitachse dar, über der die einzelnen Tätigkeiten grafisch visualisiert als Balken aufgetragen werden. Auf der Ordinate sind die verschiedenen Kapazitätseinheiten wie beispielsweise Abteilungen oder Maschinen dargestellt. Die Anordnung der als Balken repräsentierten Vorgänge im Koordinatensystem entspricht dabei der ermittelten logischen Reihenfolge der Abläufe. Über ihre Lage werden hierbei sowohl die Zuordnung zu einer Kapazitätseinheit als auch die zeitlichen Informationen zum Start sowie zum Ende des Prozesses vermittelt. Sind alle Vorgänge eingetragen, kann die Gesamtdauer der möglichen Auftragsbearbeitung inklusive der durchzuführenden Tätigkeiten aus dem Balkenplan entnommen werden (Abbildung 27).

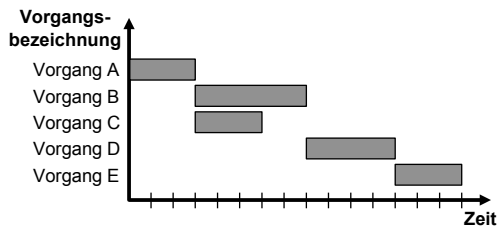


Abbildung 27: Beispielhafte Darstellung eines einfachen Balkenplans

Bei einem Balkenplan handelt es sich um eine leicht verständliche und schnell zu erstellende Übersicht über die erforderlichen Arbeitsumfänge eines Auftrags. Allerdings können aus der grafischen Darstellungsform keine eindeutigen Informationen hinsichtlich der terminlichen Abhängigkeiten der unterschiedlichen Vorgänge entnommen werden (CORSTEN et al. 2008). Im dargestellten Beispiel kann dementsprechend anhand des Balkenplans nicht geklärt werden, ob Vorgang D von Vorgang B bzw. Vorgang C oder sogar von beiden Vorgängen abhängig ist.

### Transplantechnik

Im vernetzten Balkenplan wird der erläuterte Nachteil des einfachen Balkenplans durch die Anwendung der Transplantechnik kompensiert (VDI-EKV 1999). Hierzu werden die Abhängigkeitsbedingungen zwischen den als Linien bzw. Balken eingezeichneten Vorgängen über senkrechte Verbindungen, die sogenannten Ereignislinien, dargestellt. Hierdurch ist die Reihenfolge der Tätigkeiten erkennbar und die terminlichen Abhängigkeiten werden sichtbar. Aufgrund der Vernetzung der Vorgänge können darüber hinaus Pufferzeiten offengelegt werden, die das Verschieben eines Vorgangs ohne die Beeinflussung der Gesamt-

dauer des Auftrags ermöglichen. Sie sind als gestrichelte Linie eingezeichnet und ergeben sich aus der Lücke zwischen dem Ende eines Vorgangs sowie der nächstfolgenden senkrechten Ereignislinie (KOMPENHANS 1977).

Die Visualisierung des bereits im vorangegangenen Abschnitt verwendeten Beispiels in Form eines Transplans ist in der nachfolgenden Abbildung 28 skizziert. Im Gegensatz zum einfachen Balkenplan ist aufgrund der Darstellung der Abhängigkeitsbeziehungen die für den Vorgang C vorhandene Pufferzeit klar erkennbar.

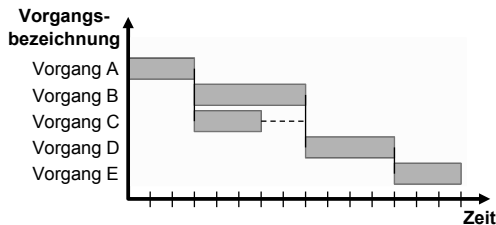


Abbildung 28: Beispielhafte Darstellung eines vernetzten Balkenplans

### Netzplantechnik

Der Begriff Netzplantechnik beschreibt verschiedene Methoden zur Visualisierung von Abläufen und deren Abhängigkeiten auf Basis der Graphentheorie (ZÄPFEL 2001). Laut DIN 69900 umfasst die Netzplantechnik

*„auf Ablaufstrukturen basierende Verfahren zur Analyse, Beschreibung, Planung, Steuerung, Überwachung von Abläufen, wobei Zeit, Kosten, Ressourcen und weitere Größen berücksichtigt werden“ (DIN 69900, S. 10).*

Die Gemeinsamkeit der jeweiligen Konzepte liegt in der Zerlegung des betrachteten Gesamtprojekts in mehrere Teilaufgaben unter Berücksichtigung ihrer zeitlichen und strukturellen Abhängigkeiten. Die erforderliche funktionale Beschreibung des Projektablaufs erfolgt bei Nutzung der Netzplantechnik mittels verschiedener Ablaufelemente, die als Vorgänge, Anordnungsbeziehungen sowie Ereignisse bezeichnet werden. Darüber hinaus existieren formale Darstellungselemente, anhand derer die grafische Abbildung des Prozessablaufs in Form eines Netzplans umgesetzt wird. Hierbei handelt es sich um durch Rechtecke oder Kreise repräsentierte Knoten sowie gerichtete Kanten, die durch Pfeile symbolisiert werden. Einen Überblick über die im Kontext der Netzplantechnik genutz-

ten Ablauf- und Darstellungselemente vermittelt die nachfolgende Aufstellung (DIN 69900, BURGHARDT 2013):

- **Vorgang:** Ablaufelement mit einem definierten Anfang und Ende zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens
- **Ereignis:** Ablaufelement ohne zeitliche Dauer zur Beschreibung des Eintretens eines bestimmten Zustands
- **Anordnungsbeziehung (AOB):** Ablaufelement zur Beschreibung der inhaltlichen Zusammenhänge zwischen Ereignissen oder Vorgängen
- **Knoten:** Darstellungselement zur Beschreibung eines Verknüpfungspunktes, welches je nach Netzplanverfahren einen Vorgang oder ein Ereignis repräsentiert
- **Pfeil:** Darstellungselement zur Beschreibung des Sachverhalts zwischen zwei Knoten, welches je nach Netzplanverfahren einen Vorgang oder eine Anordnungsbeziehung repräsentiert

Die verschiedenen Methoden der Netzplantechnik unterscheiden sich hinsichtlich der Zuordnung der funktionalen Ablaufelemente zu den formalen Darstellungselementen. Dementsprechend ergeben sich aus der Kombination der Komponenten beider Kategorien als übergeordnete Netzplanverfahren der Vorgangspfeil-Netzplan, der Vorgangsknoten-Netzplan und der Ereignisknoten-Netzplan (Abbildung 29).

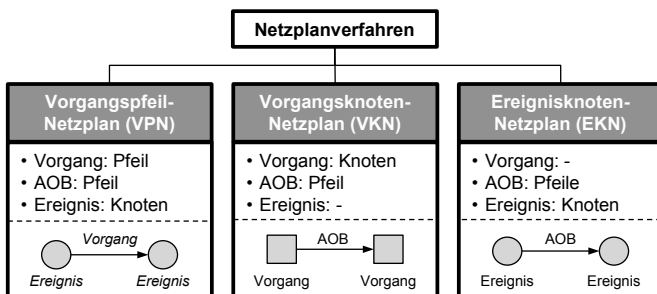


Abbildung 29: Verfahren der Netzplantechnik (in Anlehnung an LANDAU & HELLWIG 2007)

Im Vorgangspfeil-Netzplan (VPN) repräsentieren die Pfeile sowohl die unterschiedlichen Vorgänge als auch die Anordnungsbeziehung der als Knoten darge-

stellten Ereignisse. Somit werden über die Knoten jeweils das Ende des vorangegangenen Vorgangs sowie der Beginn des nachfolgenden Vorgangs miteinander verknüpft. Der Vorgangsknoten-Netzplan (VKN) hingegen erlaubt aufgrund der hinterlegten Systematik die unmittelbare Abbildung der Vorgänge als Knoten. Die Ereignisse sind hierbei explizit einem Vorgang zugeordnet und werden deshalb in der grafischen Darstellung nicht mehr berücksichtigt. Sowohl die zeitliche als auch die logische Struktur der Knoten ist wiederum über die als Verbindungselemente genutzten Pfeile abgebildet. Die Ereignisknoten-Netzpläne (EKN) vermitteln eine ereignisorientierte Sicht auf den Prozessablauf. Die Ereignisse werden hierbei als Knoten und die Anordnungsbeziehungen als Pfeile visualisiert. Aufgrund der fehlenden Informationen zu den durchzuführenden Vorgängen wird diese Art von Netzplan in der Regel lediglich als Übersichtplan verwendet (LANDAU & HELLWIG 2007, CORSTEN et al. 2008).

Laut DIN 69900 werden von den vorgestellten Verfahren der Netzplantechnik derzeit fast ausschließlich VKN-Netzpläne zur Planung von Prozessabläufen genutzt. Da VPN- sowie EKN-Netzpläne somit lediglich einen historischen Charakter besitzen, wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Betrachtung dieser Verfahrensarten verzichtet und beispielhaft ein VKN-Netzplan skizziert (Abbildung 30).

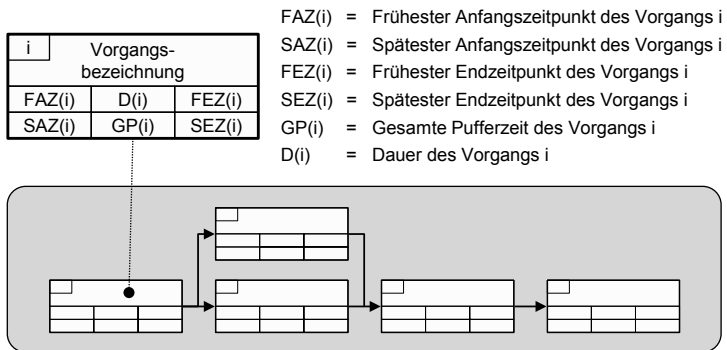


Abbildung 30: Beispiel für einen VKN-Netzplan (in Anlehnung an BURGHARDT 2013)

Die durchlauforientierte Terminplanung mittels eines VKN-Netzplans basiert hierbei auf der Durchführung einer kombinierten Vorwärts- und Rückwärtsterminierung über die Gesamtheit der abgebildeten Vorgänge. Hieraus kann für je-

des Element sowohl der früheste als auch der späteste Start- / Endtermin berechnet werden. Die zeitliche Differenz zwischen dem frühesten und spätesten Starttermin bzw. dem frühesten und spätesten Endtermin ergibt den zeitlichen Gesamtpuffer des Vorgangs. Die Prozesskette, bei der dieser Wert über alle Vorgänge hinweg gleich Null ist, wird in der Literatur als kritischer Pfad bezeichnet. Dies liegt darin begründet, dass sich ungeplante zeitliche Verzögerungen auf diesem Pfad unmittelbar auf das ursprünglich geplante Ende des Gesamtprojekts auswirken (KOMPENHANS 1977).

### **4.3.3.2 Kapazitätsorientierte Verfahren**

#### **Planung mit Hilfe der Engpassterminierung**

Im Rahmen der Engpassterminierung werden bei der kapazitiven Einplanung der verschiedenen Kundenanfragen lediglich diejenigen Produktionsressourcen betrachtet, die aufgrund von vergangenheitsbezogenen Erfahrungswerten einen möglichen Kapazitätsengpass darstellen. Es werden also ausschließlich Produktionsbereiche in den Planungsprozess mit einbezogen, bei denen die Gefahr einer Kapazitätsunterdeckung, d. h. der erforderliche Kapazitätsbedarf ist größer als der verfügbare Kapazitätsbestand, auftreten kann (REFA 1991). Für diese wird überprüft, ob für die Durchführung der erforderlichen Tätigkeiten auf den betrachteten Betriebsmitteln noch ausreichend Kapazität zum gewünschten Zeitpunkt zur Verfügung steht. Sollte dies nicht der Fall sein, ist eine Verschiebung der überprüften Arbeitsgänge in das nächste zeitlich nachgelagerte freie Zeitfenster erforderlich (EVERSHEIM 1998).

Die Bestimmung des voraussichtlichen Liefertermins der Kundenanfrage ist allerdings aufgrund der fokussierten Betrachtung der Engpassbereiche durch die alleinige Anwendung dieses Verfahrens nicht möglich. Zur Klärung dieser Fragestellung ist die Kombination mit anderen Planungsansätzen, wie beispielsweise der Netzplantechnik, erforderlich (VDI-EKV 1999).

#### **Planung mit Hilfe der Durchlaufkurve**

Mit Hilfe einer Durchlaufkurve wird der Kapazitätsbedarf eines Erzeugnisses auf einer spezifischen Produktionsressource bei der kürzestmöglichen Auftragszeit dargestellt. Für jede von einem Produkt benötigte Kapazitätseinheit ist hierbei grundsätzlich eine eigene Durchlaufkurve zu erstellen (GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977). Die Ermittlung des Verlaufs kann dabei sowohl auf Basis von Netzplänen als auch Erfahrungswerten erfolgen, wobei die Verwendung von



Erfahrungswerten nur bei ähnlichen Auslastungssituationen eine Gültigkeit besitzt (ALMENRÄDER 1987). Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt beispielhaft die grafische Visualisierung einer Durchlaufkurve in Form von Säulen des erforderlichen Kapazitätsbedarfs über der Zeitachse.

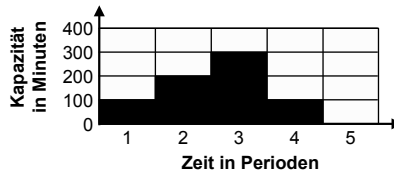


Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Durchlaufkurve eines Produkts auf einer Kapazitätseinheit (in Anlehnung an ALMENRÄDER 1987)

Die Terminbestimmung erfolgt bei diesem Verfahren durch Einlastung der errechneten Durchlaufkurven der verschiedenen Erzeugnisse in die Belastungsdiagramme der jeweiligen Kapazitätseinheiten. Hierbei berücksichtigt das von BRANKAMP (1973) entwickelte Verfahren den Sachverhalt, dass in der betrieblichen Praxis lediglich ein bestimmter Prozentsatz der Angebote in tatsächliche Bestellungen bzw. Aufträge umgewandelt wird. Demzufolge muss die kapazitive Einplanung der Angebote mit einer angepassten Kapazitätsgrenze, die alternativ basierend auf einer Auftragsrate oder Kapazitätsrate ermittelt werden kann, durchgeführt werden. Beide genannten Größen berechnen sich jeweils auf der Grundlage von Vergangenheitswerten aus dem Verhältnis der Anzahlen bzw. der Kapazitätsbedarfe der eingegangenen Aufträge und der übermittelten Angebote:

$$A_i = \frac{\text{Zahl der Bestellungen}}{\text{Zahl der Angebote}} \cdot 100\% \quad (5)$$

$$K_i = \frac{\text{Kapazitätsbedarf der Bestellungen}}{\text{Kapazitätsbedarf der Angebote}} \cdot 100\% \quad (6)$$

$A_i$  Auftragsrate in der Periode  $i$

$K_i$  Kapazitätsrate in der Periode  $i$

Laut BRANKAMP (1973) besteht allerdings bei schwankenden Kapazitätsbedarfen der verschiedenen auf einer Ressource produzierten Produktvarianten keine Korrelation zwischen den Werten der Auftragsrate und der Kapazitätsrate. Zur Vermeidung von Genauigkeitsverlusten bei der Terminbestimmung mit Hilfe der Durchlaufkurven ist deshalb die Kapazitätsrate zur Berechnung der maximalen Angebotskapazität heranzuziehen. Die Herleitung dieses Grenzwerts erfolgt, in-

dem die für die Aufträge bestehende Kapazitätsgrenze bei der Einplanung der Angebote um den Faktor der Kapazitätsrate erhöht wird. Das Planungsvorgehen wird anhand des in Abbildung 32 dargestellten Beispiels nochmals verdeutlicht.

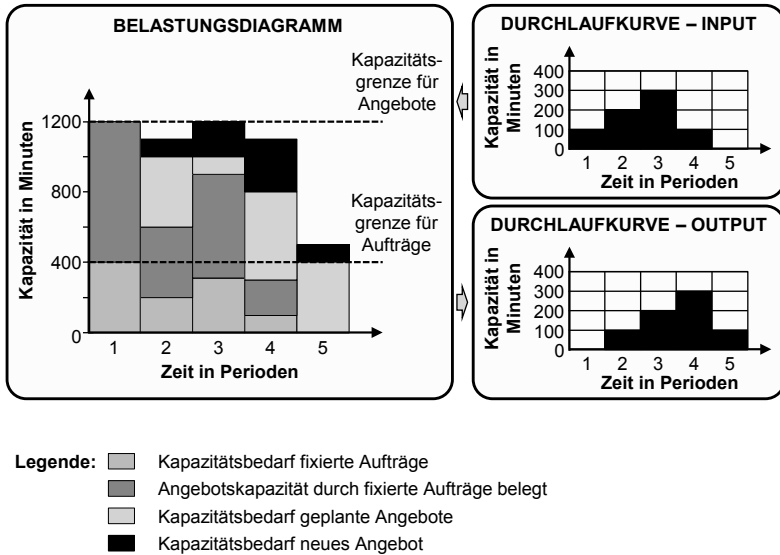


Abbildung 32: Beispiel der Terminierung mit Durchlaufkurven (in Anlehnung an VDI-EKV 1999)

Die dargestellte „Durchlaufkurve - Input“ stellt hierbei den Kapazitätsbedarf des einzuplanenden Angebots auf der betrachteten Produktionsressource dar. Für diese liegt das visualisierte Belastungsdiagramm mit den bereits eingeplanten Aufträgen und Angeboten sowie der ermittelten Angebotskapazitätsrate von 1.200 h vor. Die Analyse der im Belastungsdiagramm abgebildeten Kapazitätssituation zeigt, dass die Einplanung des Kapazitätsbedarfs des Angebots aufgrund der in der ersten Planungsperiode bereits vollständig ausgeschöpften Produktionskapazität erst in der zweiten Periode erfolgen kann. Hierdurch ist eine Verschiebung der „Durchlaufkurve - Output“ um eine Periode nach rechts erforderlich, die bei der nachfolgenden Einlastung der Anfrage in den anderen Kapazitätsbereichen mit berücksichtigt werden muss. Ist die Einplanung entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise über alle Bereiche erfolgt, ergibt sich der Liefertermin für das Produkt.

### **Planung mit Hilfe der Rechteckapproximation**

Das Verfahren der Rechteckapproximation ermöglicht eine vereinfachte Anwendung der Durchlaufkurven im Rahmen der Angebotsterminplanung. Hierbei liegt die Annahme zu Grunde, dass die Form der Durchlaufkurven ab einer großen Anzahl einzuplanender Aufträge bzw. Angebote mit der gleichen Durchlaufzeit und dem gleichen Endtermin vernachlässigt werden kann (KAMBARTEL 1973). Für die Planung der erforderlichen Kapazitätsbedarfe ist somit lediglich die von der Durchlaufkurve umschlossene Fläche zu betrachten. Diese als konstanter Wert über der Durchlaufzeit angesetzte Kapazitätsbelastung wird durch ein flächengleiches Rechteck mit einer spezifischen Länge und Höhe angenähert (ALMENRÄDER 1987). Die Länge entspricht der Gesamtdurchlaufzeit des Auftrags in der Produktionseinheit und die Höhe bildet die durchschnittliche Kapazitätsbelastung über diesem Zeitraum ab (Abbildung 33).

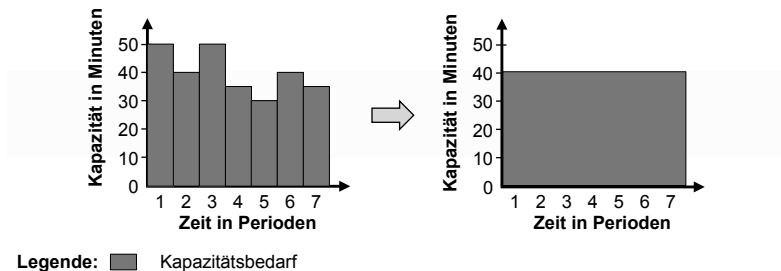


Abbildung 33: Rechteckapproximation (vgl. VDI-EKV 1999)

Das weitere Vorgehen der Einplanung der Rechteck-Durchlaufkurven in das Belastungsdiagramm der betrachteten Produktionsressource erfolgt analog zu dem bereits beschriebenen Verfahren der Planung mit Hilfe der Durchlaufkurve.

### **Planung mit Hilfe der Auftragszahl**


Die Planung auf Basis der Auftragszahl stellt eine weitere Vereinfachung bezüglich der Nutzung von Durchlaufkurven zur Durchführung der Terminbestimmung dar. Laut WEINBERG (1954) kann durch die Anwendung dieser Methode gegenüber der Rechteckapproximation nochmals eine Aufwandsreduktion von ungefähr einem Drittel erzielt werden. Allerdings ergibt sich aufgrund des hohen Abstraktionsgrads eine deutliche Abnahme der resultierenden Planungsgenauigkeit.

Der Planungsansatz beruht hierbei auf der These, dass bei einer sehr großen Anzahl gleichzeitig zu betrachtender Aufträge und Angebote nicht nur die Form der Durchlaufkurve, sondern auch die von ihr umschlossene Fläche als unbedeutend erachtet werden kann. Zur Bestimmung der Kapazitätsbedarfe ist es demzufolge ausreichend, die mittleren Belastungswerte der verschiedenen Produktionsressourcen über alle Planungsperioden hinweg zu berechnen. Die Höhe der Gesamtauslastung der betrachteten Kapazitätseinheit wird anschließend anhand der Multiplikation der mittleren Belastung mit der Gesamtzahl der zu berücksichtigenden Aufträge bzw. Angebote ermittelt (EVERSHEIM 1998). Die weiteren Schritte zur Durchführung der Terminbestimmung entsprechen wiederum dem Vorgehen zur Planung mit Hilfe der Durchlaufkurve.

### 4.3.4 Zusammenfassung

Die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten durchlauf- bzw. kapazitätsorientierten Verfahren dienen als unterstützende Planungshilfsmittel bei der Bestimmung belastbarer Auftragsfertigstellungstermine im Rahmen der Angebotsbearbeitung. Das Spektrum der verfügbaren Planungsverfahren reicht hierbei von leicht anzuwendenden Konzepten, die eine vereinfachte Betrachtung der Terminplanung unterstützen, bis hin zu präzisen Methoden, die sowohl die Auslastung und die Kapazitätsgrenzen der Produktionsressourcen als auch die gegenseitige Beeinflussung der bereits auf den Betriebsmitteln eingeplanten Angebote und Aufträge im Rahmen der Angebotsterminierung berücksichtigen. Die Entscheidung für das zur Angebotsterminierung zu nutzende Verfahren erfordert somit letztendlich eine Kosten-Nutzen-Betrachtung in Bezug auf die notwendigen Aufwendungen sowie die gestellten Anforderungen im Hinblick auf die Belastbarkeit der Ergebnisse und ist im vorliegenden Anwendungsfall individuell zu treffen.

In Abbildung 34 sind die im vorherigen Abschnitt erläuterten Verfahren nochmals anhand ausgewählter Eigenschaften einander gegenübergestellt. Eine zusammenfassende Betrachtung der Bewertung erfolgt im Nachgang zu der Grafik.



	Balkenplan / Transplan	Netzplan- technik	Engpass- terminierung	Durchlauf- kurven	Rechteck- approximation	Auftragszahl
Benötigte Kapazität	●	●	●	●	●	●
Vorhandene Kapazität	○	○	●	●	●	●
Vorgangsdauer	●	●	●	●	●	●
Ablaufbedingte Abhängigkeiten	○	●	○	◐	◐	○
Strukturbedingte Abhängigkeiten	○	●	○	◐	◐	○

Abbildung 34: Gegenüberstellung der Verfahren (in Anlehnung an GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977, EVERSHEIM 1998)

Die durchlauforientierten Planungsverfahren in Form der Balkenplan-, Transplan- und Netzplantechnik sind dadurch gekennzeichnet, dass die Berücksichtigung der vorhandenen Produktionskapazität eine untergeordnete Rolle spielt und somit der zeitliche Ablauf der einzelnen Prozessschritte bei der Planung des Liefertermins im Vordergrund steht. Im Gegensatz zu der Methode der Netzplantechnik erlauben sowohl die Balkenplantechnik also auch die Transplantechnik aufgrund der grafischen Darstellungsform lediglich eine unzureichende Visualisierung der arbeitsablauf- und strukturbedingten Interdependenzen der eingeplanten Elemente. Eine nachträgliche Rekonstruktion der Zusammenhänge zwischen den Vorgängen der verschiedenen Angebote und Aufträge auf Basis des skizzierten Balken- oder Transplans ist dementsprechend kaum möglich.

Die kapazitätsorientierten Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass bei der Terminplanung neben dem Kapazitätsbedarf der Anfrage auch die vorhandene bzw. verfügbare Kapazität der Produktionsmittel berücksichtigt wird. Die Engpassterminierung stellt hierbei laut NIETSCH (1996) ein vereinfachtes Planungsverfahren dar, da der Betrachtungsraum lokal auf die im Vorfeld als kapazitive Engpässe identifizierten Ressourcen begrenzt wird. Diese hat jedoch zur Folge, dass zur Umsetzung einer ganzheitlichen Planung, bei der die arbeitsablauf- und strukturbedingten Abhängigkeiten des betrachteten Produkts über den gesamten Produktionsprozess analysiert und dargestellt werden sollen, die Kombination mit einem weiteren Planungskonzept erforderlich ist. Bei der Planung mit Hilfe der Durchlaufkurve werden diese Abhängigkeiten prinzipiell mit abgebildet, allerdings ergeben sich laut KAMBARTEL (1973) im Falle einer abschnittswisen Einlastung der Durchlaufkurve auf den Produktionsressourcen spezifische Ein-

schränkungen bei der Berücksichtigung der ablauf- und strukturbedingten Abhängigkeiten. Diese Schwierigkeiten treten bei den beiden als Vereinfachung der Planung mit Durchlaufkurven entwickelten Verfahren der Rechteckapproximation und der Auftragszahl verstärkt auf. Infolge der jeweils getroffenen Annahmen zur erleichterten Bestimmung der Kapazitätsbedarfe gehen die Informationen über die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten bei beiden Konzepten im Verlauf der Planungsprozesse sukzessive verloren.

### **4.4 Bewertung und Handlungsbedarf**

Die in der vorliegenden Arbeit verfolgte Zielsetzung liegt in der Bereitstellung eines methodischen Vorgehens zur Unterstützung der Terminplanung im Angebotsprozess hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen. In den vorangegangenen Abschnitten wurde der Stand der Technik der Angebotsbearbeitung in den beiden Teilprozessen der Anfragebewertung und der Termin- bzw. Lieferterminplanung hinsichtlich der Frage analysiert, inwieweit die bestehenden Konzepte die Angebotsterminierung kundenindividueller Produkte bereits derzeit unterstützen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse gilt es nun, die identifizierten Handlungsbedarfe aufzuzeigen und diese als zentrale Forschungsfragen der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit zu formulieren.

Die vorgestellten Verfahren der Anfragebewertung unterstützen grundsätzlich die Bildung von Kenngrößen zur Bestimmung der Kaufwahrscheinlichkeit. Allerdings dient die berechnete Wahrscheinlichkeit des Auftragerhalts hierbei in der Regel ausschließlich als Entscheidungsgröße bei der Anfrageselektion oder als Hilfsmittel bei der Wahl der zu nutzenden Angebotsform. Eine weitergehende Verwendung der berechneten Kenngrößen im Rahmen der nachfolgenden Prozesse der Angebotsbearbeitung wird in der vorliegenden Literatur nicht diskutiert. Insbesondere vor dem Hintergrund der individuellen Produktion mit kleinen Stückzahlen und stark schwankenden Kapazitätsbedarfen gilt es, die Auftragswahrscheinlichkeit im Rahmen einer vollständig in die Prozesse der Angebotsbearbeitung integrierten Anfragebewertung möglichst exakt auf Basis der verfügbaren Informationen zu prognostizieren, da eine Fehleinschätzung weitreichende Konsequenzen für die im Rahmen der Bestimmung des Liefertermins erforderliche Belegungsplanung der Produktionskapazitäten nach sich zieht.

Der inhaltliche Fokus der verschiedenen Methoden liegt entsprechend der überprüften Literatur auf einer Bewertung der mit der Anfrage verbunden technischen

und wirtschaftlichen Risiken. Hierfür werden neben den kundenbezogenen Informationen weitere Faktoren, wie beispielsweise markt- bzw. produktbezogene Parameter, bei der Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit herangezogen. Allerdings fließen im Hinblick auf vergangenheitsbezogene Daten in der Regel lediglich kundenrelevante Informationen in die Betrachtung mit ein. Es erfolgt somit keine Analyse der Zusammenhänge zwischen der vom Kunden gewählten Produktvariante und der Auftragswahrscheinlichkeit. Durch eine strukturierte Betrachtung des zulässigen Produktspektrums und die Bildung von Produktgruppen könnten allerdings durchaus Rückschlüsse auf die Kaufwahrscheinlichkeit der Produkte gezogen werden, die eine qualifiziertere Aussage hinsichtlich der zu prognostizierenden Kundenentscheidung ermöglichen. Denkbar wäre hierbei die Bildung von Produktkategorien auf Basis gemeinsamer Merkmale in Anlehnung an die von HENTSCHEL (2008) vorgestellte Unterteilung des Kundenspektrums in Bestands- und Neukunden.

Die Umsetzung einer ganzheitlichen Bewertung der Anfrage erfordert es somit, neben den kundenbezogenen Informationen, auch die vorhandenen produktbezogenen Informationen verstärkt als zusätzliche Datenquelle bei der Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit mit zu berücksichtigen. Hierdurch können weitere die Wahrscheinlichkeit des Auftragerhalts beeinflussende Parameter wie beispielsweise saisonale Effekte in die Analyse mit einfließen. Anhand der erläuterten Anforderung ergibt sich die erste für die vorliegende Arbeit relevante Forschungsfrage wie in Abbildung 35 dargestellt.

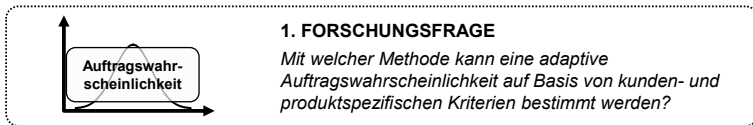


Abbildung 35: Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit (I / II)

Auf Basis der Analyse der vorgestellten Methoden zur Durchführung bzw. Unterstützung der Terminplanung im Angebotsprozess ergibt sich für den Bereich der kundenindividuellen Produktion folgende Ausgangslage:

- Die alleinige Nutzung eines durchlauforientierten Verfahrens zur Terminbestimmung ist nicht umsetzbar, da diese Art der Betrachtung nur zulässig ist, wenn keine Kapazitätsengpässe zu erwarten sind. Laut NIETSCHE (1996) ist diese Voraussetzung bei einer kundenindividuellen Produktion in der Regel nicht gegeben.

- Die alleinige Nutzung eines rein kapazitätsorientierten Verfahrens zur Terminbestimmung ist aufgrund der Einschränkungen hinsichtlich der Berücksichtigung der arbeitsablauf- und strukturbedingten Abhängigkeiten nicht realisierbar bzw. nicht sinnvoll.

Die Synthese zwischen den beiden Konzepten der Terminplanung bildet ein kombiniertes Verfahren mit zwei aufeinander folgenden Planungsstufen. Der erste Planungsschritt ist dabei durch die Anwendung eines durchlauforientierten Ansatzes zur Abbildung der arbeitsablauf- und strukturbedingten Interdependenzen sowie die Identifikation der zeitlichen Restriktionen gekennzeichnet. Ergänzend hierzu wird in der nachfolgenden zweiten Planungsstufe mit Hilfe einer kapazitätsorientierten Technik der bestehende Entwurf der Terminplanung unter Berücksichtigung vorhandener ressourcenbedingter Einschränkungen angepasst.

Den vorliegenden wissenschaftlichen Publikationen ist zu entnehmen, dass sich die Kombination aus der Netzplantechnik und dem Verfahren der Durchlaufkurve als zielführendes Konzept etabliert hat. Die grundsätzliche Idee dieses Ansatzes wird daher auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit verfolgt. Das Vorgehen ist für die Terminplanung bei der kundenindividuellen Produktion allerdings dahingehend zu modifizieren, dass der statisch festgelegte Wert der Auftragswahrscheinlichkeit sowie die sich hieraus ergebende starre Grenze für die zur Verfügung stehende Angebotskapazität aufgrund der hohen Variantenvielfalt flexibel zu gestalten sind. Dies führt letztendlich zu einer besseren Planbarkeit der Produktion, wodurch auch die Qualität der Bestimmung des Produktliefertermins im Angebotsprozess positiv beeinflusst wird. Somit ergibt sich die zweite Forschungsfrage wie in Abbildung 36 veranschaulicht.

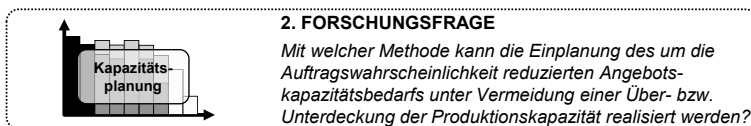


Abbildung 36: Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit (II / II)

Auf Basis der im Stand von Wissenschaft und Technik gewonnen Erkenntnisse kann im nachfolgenden Kapitel 5 das Konzept der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen ausgearbeitet werden.



## **5 Konzeption der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung**

### **5.1 Kapitelüberblick**

Basierend auf dem in Kapitel 4 vorgestellten Stand der Technik sowie dem daraus abgeleiteten Handlungsbedarf wird im Rahmen dieses Kapitels das Konzept zur Gestaltung der Methodik zur Berechnung von belastbaren Lieferterminen im Angebotsprozess einer kundenindividuellen Produktion vorgestellt. Im Zuge der Konzeptgestaltung gilt es, zunächst die grundsätzlich von der Methodik zu erfüllenden Anforderungen zu klären. Diese sind im nachfolgenden Abschnitt 5.2 formuliert. Daran anschließend erfolgt in Abschnitt 5.3 die Beschreibung des Konzepts eines an die Bedürfnisse der kundenindividuellen Produktion angepassten Gesamtprozesses der Angebotsbearbeitung. Dieser bildet den strukturellen Rahmen für den Kern der vorliegenden Arbeit, die Methodik zur Lieferterminbestimmung im Angebotsprozess hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen. Die Ausführungen zu Kapitel 5 werden durch ein Zwischenfazit in Abschnitt 5.4 abgerundet.

### **5.2 Anforderungen an die Methodik**

#### **5.2.1 Kategorisierung der Anforderungen**

Die Methodik zur Berechnung von belastbaren Lieferterminen im Angebotsprozess einer kundenindividuellen Produktion muss zahlreichen Anforderungen genügen. Diese umfassen dabei sowohl spezifische, den thematischen Kontext der Methodik betreffende Erwartungen, als auch weiter gefasste, allgemeingültige Forderungen bezüglich der Ausgestaltung der Methode. In den nachfolgenden Ausführungen werden die Ansprüche beider Gruppen im Detail erläutert. Ausgehend von der Vorstellung der spezifischen Anforderungen erfolgt anschließend vor dem Hintergrund einer wissenschaftlichen Sichtweise sowie der praxisorientierten Anwendung des Konzepts eine Ausweitung des Betrachtungsfokus auf die allgemeinen Anforderungen an die Methodik.

### 5.2.2 Spezifische Anforderungen

Die spezifischen Anforderungen stehen in unmittelbarem Bezug zu den aus der übergeordneten Zielsetzung abgeleiteten und in Kapitel 4 vorgestellten zentralen Fragestellungen der Arbeit hinsichtlich der Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage sowie der Realisierung der Kapazitätsplanung zur Durchführung der Lieferterminbestimmung. Auf Basis einer weiterführenden Analyse und Detaillierung ergeben sich hieraus folgende spezifische Anforderungen:

- **Leistungsfähigkeit der Datenerfassung:** Die Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit erfordert es, die über den Kunden und das Produkt vorliegenden Informationen systematisch in einem angemessenen Detaillierungsgrad zu erfassen. Da es sich hierbei um die Eingangsinformationen für die Methodik handelt, stellt der strukturierte Aufbau der Datenbasis die unmittelbare Voraussetzung für deren erfolgreiche Anwendung dar.
- **Anpassungsfähigkeit der Kapazitätsgrenzen:** Die maximale Kapazitätsauslastung der Produktionsressourcen ist in Abhängigkeit der bereits eingelasteten Aufträge sowie der Zusammensetzung der eingeplanten Angebote adaptiv anpassbar zu gestalten. Die Methodik muss hierbei einen Lösungsalgorithmus zur Verfügung stellen, der die Gefahr einer Über- bzw. Unterdeckung der Kapazitäten durch das in der Summe geplante Auftragsvolumen für die nachgelagerte Produktion minimiert.
- **Echtzeitfähigkeit der Terminbestimmung:** Der Kunde fordert innerhalb kurzer Zeit eine zuverlässige Aussage hinsichtlich des Liefertermins des von ihm gewünschten Produkts. Im Falle einer Online-Konfiguration ist die Information sogar unmittelbar zur Verfügung zu stellen. Dementsprechend muss die Methodik zur Bestimmung des Liefertermins im Idealfall ohne zeitliche Verzögerung des Angebotsprozesses anwendbar sein.
- **Systemfähigkeit der Implementierung:** Die softwaretechnische Umsetzung der Methodik ist als Teil eines modularen Systems auf bereits im Unternehmen bestehenden Softwareplattformen zu realisieren. Darüber hinaus gilt es, durch eine vollständige Integration des Verfahrens in die bereits bestehenden Geschäftsprozesse einen durchgängigen Daten- und Informationsfluss sicherzustellen.

### 5.2.3 Allgemeine Anforderungen

Unter dem Begriff der allgemeinen Anforderungen sind sowohl die Forderungen, die aus wissenschaftlicher Sicht an eine Methodik gestellt werden, als auch die Bedürfnisse, die aus der praktischen Anwendung der Methodik resultieren, zusammengefasst (LUX 2001, SUDHOFF 2007, GIEHLER 2010):

- **Transparenz:** Die Wirkbeziehungen der verschiedenen Berechnungsschritte und Einflussgrößen zur Bestimmung des Liefertermins müssen für den Anwender der Methodik verständlich und nachvollziehbar dokumentiert sein. Durch diese Schaffung von Transparenz wird das Vertrauen in die Ergebnisqualität des Ansatzes signifikant gesteigert.
- **Wirtschaftlichkeit:** Die Forderung nach Wirtschaftlichkeit steht meist in Konkurrenz zu weiteren Zielgrößen wie beispielsweise dem Bedürfnis nach einer hohen Ergebnisqualität. Demzufolge ist darauf zu achten, dass sowohl der initiale Aufwand zur Einführung der Methodik als auch die kontinuierlichen Kosten zur Unterstützung der dauerhaften Anwendung der Methodik mit dem verbundenen Nutzen für das Unternehmen in einem angemessenen und im Idealfall ausgeglichenen Verhältnis stehen.
- **Praxistauglichkeit:** Die Praxistauglichkeit der Methodik ist gekennzeichnet durch die verständliche Bedienbarkeit sowie die einfache Umsetzbarkeit im industriellen Umfeld. Die Schaffung von Akzeptanz für das Verfahren setzt hierbei dessen breite Nutzung voraus. Hierfür ist es erforderlich, die Struktur der aufeinanderfolgenden Berechnungsschritte für den Anwender klar ersichtlich und nachvollziehbar abzubilden.
- **Skalierbarkeit:** Die Gestaltung des Angebotsprozesses ist in großem Maße von der vom Unternehmen gewählten Wettbewerbsstrategie abhängig. Dementsprechend unterliegt die Qualität der zur Durchführung der Methodik verfügbaren Informationen einer sehr breiten Streuung. Die erfolgreiche Anwendung setzt somit voraus, dass die Methodik bezüglich der erforderlichen Eingangsdaten skalierbar ausgelegt ist.

### 5.2.4 Zusammenfassung der Anforderungen

Einen Überblick hinsichtlich der vorgestellten Anforderungen an eine Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen vermittelt die Abbildung 37.

Spezifische Anforderungen	Allgemeine Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit der Datenerfassung</li> <li>• Anpassungsfähigkeit der Kapazitätsgrenzen</li> <li>• Echtzeitfähigkeit der Terminbestimmung</li> <li>• Systemfähigkeit der Implementierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparenz</li> <li>• Wirtschaftlichkeit</li> <li>• Praxistauglichkeit</li> <li>• Skalierbarkeit</li> </ul>

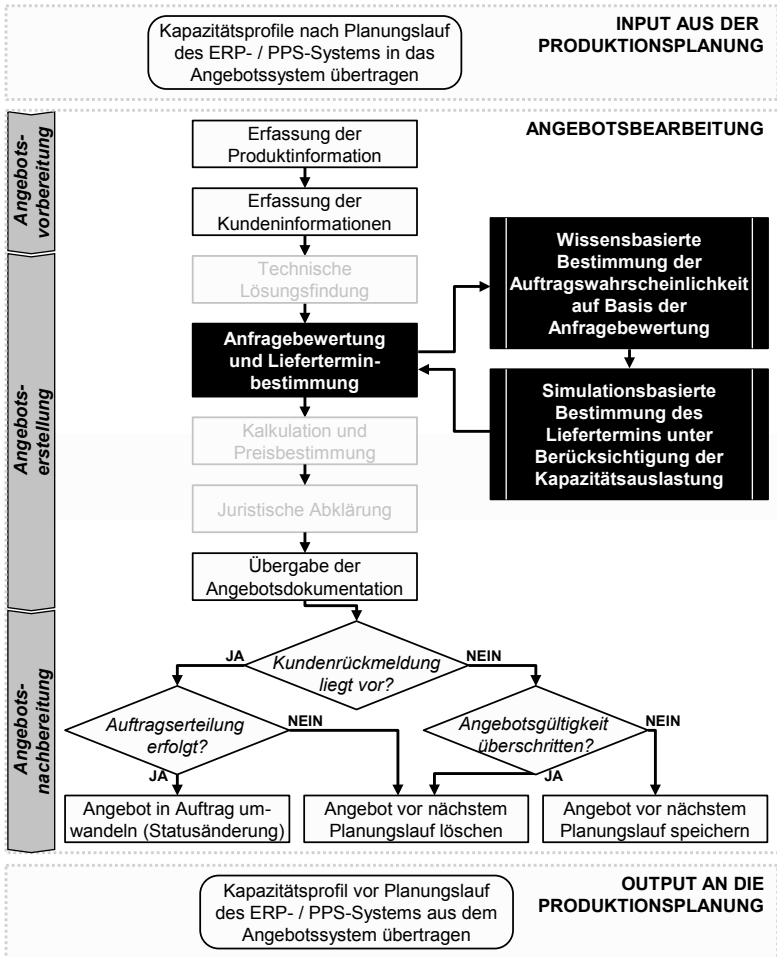
Abbildung 37: Anforderungen an die Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung

## 5.3 Entwurf der Methodik

### 5.3.1 Gesamtprozess – Prozessschaubild

Die übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht in der Leistung eines Beitrags zur Erhöhung der Termintreue eines produzierenden Unternehmens im Hinblick auf den an den Kunden im schriftlichen Angebot kommunizierten Lieferzeitpunkt. Grundsätzlich sind für dessen Einhaltung innerhalb eines Betriebs sowohl die operativen Prozesse in der Produktion als auch die vorgelagerten Tätigkeiten im Vertrieb gemeinschaftlich verantwortlich. Allerdings kann der Produktionsbereich die an ihn gestellten zeitlichen Anforderungen hinsichtlich der Fertigstellung des Produkts nur erfüllen, wenn der im Verlauf der Angebotsbearbeitung berechnete Liefertermin auf Basis einer realistischen Abschätzung der zukünftigen Auftragsituation ermittelt wird.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit gilt es somit eine Methodik zu entwickeln, die den Vertrieb befähigt, belastbare Aussagen hinsichtlich des möglichen Produktliefertermins zu generieren und an den Kunden zu übermitteln. Aufgrund der Informationsbedarfe bezüglich der bereits vorhandenen Auslastung der Produktionskapazitäten ist es zur Vermeidung inkonsistenter Datenbestände des Weiteren unerlässlich, die Kommunikationsschnittstelle zwischen der Produktionsplanung und der Angebotsbearbeitung zu definieren. Das Zusammenwirken der beiden Bereiche ist ausgehend von der Bereitstellung der Kapazitätsdaten aus der Produktionsplanung, über die Angebotsbearbeitung, bis hin zur Rückführung der neu geplanten Kapazitätsbedarfe an die Produktionsplanung in Abbildung 38 schematisch dargestellt.



**Legende:** ■ Prozesse liegen im Hauptfokus der Arbeit  
 □ Prozesse werden in der Arbeit nicht betrachtet

Abbildung 38: Prozessschaubild der Methodik zur Terminbestimmung im Angebotsprozess

### 5.3.2 Input aus der Produktionsplanung

Für die Berechnung aussagekräftiger Produktliefertermine ist es erforderlich sowohl die Auftragswahrscheinlichkeit der Kundenanfrage als auch die zeitliche Verfügbarkeit der Produktionsressourcen als Einflussgrößen zu berücksichtigen. Infolgedessen sind die im Vertrieb bereits verfügbaren Kunden- und Produktdaten durch zusätzliche Informationen aus der Produktionsplanung bezüglich der kapazitiven Auslastung der Kapazitäten zu ergänzen.

Aufgrund der komplexen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den zur Herstellung eines Produkts erforderlichen Prozess- und Ressourceninformationen wird im Rahmen der Terminermittlung lediglich ein ausgewählter Teilbereich der vorliegenden Daten an die im Vertrieb ansässige Angebotsbearbeitung transferiert. In den weiteren Ausführungen wird dieser Zeitabschnitt als taktischer Planungsbereich bezeichnet. Der diesem Bereich zeitlich vorgelagerte Abschnitt wird als operativer Planungsbereich bezeichnet und kennzeichnet die Zeitspanne vom Produktionsstart bis zu dem Zeitpunkt, ab dem vertriebsseitig keine Änderungen am bestehenden Produktionsprogramm mehr durchgeführt werden können. Der dem taktischen Planungsbereich nachgelagerte Abschnitt wird als strategischer Planungsbereich bezeichnet und umfasst eine beliebige Zeitspanne in der Zukunft (Abbildung 39).

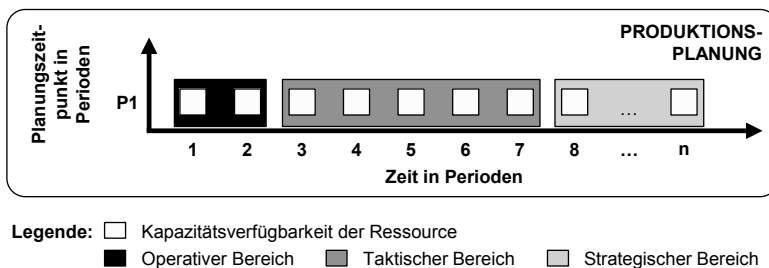


Abbildung 39: Unterteilung der Produktionsplanung in den operativen, den taktischen und den strategischen Zeitebereich

Die Einschränkung des Betrachtungszeitraums auf den taktischen Planungsbereich ist im vorliegenden Anwendungsfall zulässig, da zum einen der operative Planungsbereich aufgrund seiner Nähe zum potenziellen Produktionsstarttermin ausschließlich durch die in der Produktionsplanung angesiedelte Feinplanung bzw. -steuerung beeinflusst wird und zum anderen für den strategischen Pla-

nungsbereich in Folge des langfristigen Planungshorizonts mit dem zeitlichen voranschreiten der Betrachtung von einer abnehmenden Auslastung der Produktionsressourcen auszugehen ist. Die Festlegung des taktischen Planungsbereichs bzw. -zeitraums ist in Abhängigkeit des Produktspektrums und des Bestellverhaltens der Kunden sowie der mittleren Durchlaufzeit der Aufträge unternehmensspezifisch vorzunehmen. Darüber hinaus gilt es, diesen in Abhängigkeit des bereits geplanten Kapazitätsbedarfs dynamisch anpassbar zu definieren. Er ist stets so zu wählen, dass sich die bereits vorhandene Auslastung der Produktionskapazitäten in dem nicht mehr berücksichtigten strategischen Planungsbereich unterhalb eines zu definierenden Maximalniveaus bewegt. Somit kann sichergestellt werden, dass die Bestätigung von Wunschterminen, die außerhalb des im Detail betrachteten taktischen Planungszeitraums liegen, ohne Überprüfung der Kapazitätssituation vom Vertrieb durchgeführt werden kann.

Die im taktischen Planungszeitraum vorliegenden Informationen zur Kapazitätssituation stellen wesentliche Eingangsinformationen für die nachgelagerte Terminierung dar. Sie sind dementsprechend nach einem erfolgreich durchgeführten Planungslauf der Produktionsplanung zu einem definierten Planungszeitpunkt an die Angebotsbearbeitung zu übertragen (Abbildung 40).

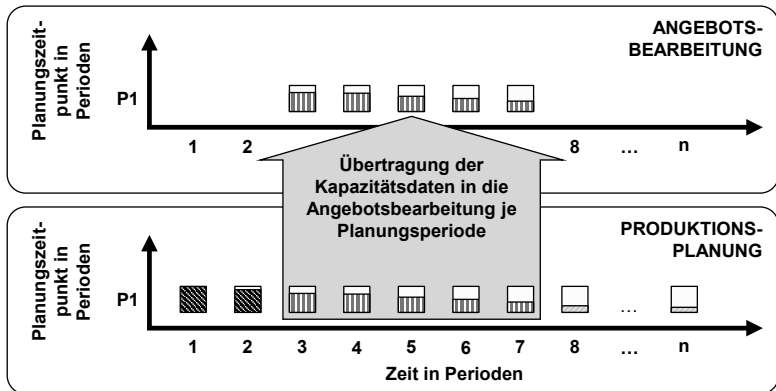


Abbildung 40: Taktischer Planungsbereich – Übertragung der Kapazitätsdaten aus der Produktionsplanung in die Angebotsbearbeitung

In der Angebotsbearbeitung erfolgen auf Basis dieser Informationen die Einplanung der mit Auftragswahrscheinlichkeiten versehenen Kundenanfragen sowie die Bestimmung der Liefertermine. Um Inkonsistenzen der Datenstände zu verhindern, kann ein erneuter Planungslauf der Kapazitätsberechnung erst durchgeführt werden, wenn die in der Angebotsbearbeitung aktualisierten Informationen an die Produktionsplanung zurückgespielt worden sind.

### **5.3.3 Prozess der Angebotsbearbeitung**

#### **5.3.3.1 Angebotsvorbereitung**

Der Kunde tritt zu Beginn des Angebotsprozesses an den Leistungserbringer mit der individuellen Vorstellung seines spezifischen Wunschprodukts heran. Die von ihm gestellten Anforderungen werden im Rahmen des Konfigurationsprozesses aufgenommen und in einer intern nutzbaren Beschreibung in Form von Produkteigenschaften und deren Ausprägungen dokumentiert<sup>5</sup>. Um zu gewährleisten, dass nach dem Durchlaufen des Konfigurationsprozesses ausschließlich vom Unternehmen produzierbare Produktvariationen vorliegen, muss der Kunde hierbei durch einen Vertriebsmitarbeiter oder ein Konfigurationssystem unterstützt werden. Darüber hinaus erfolgt im Rahmen der Angebotsvorbereitung die Abfrage bezüglich des vom Kunden gewünschten Liefertermins. Dieser wird bei den nachfolgenden Prozessschritten sowohl als Eingangsgröße der Terminierung als auch als Entscheidungsgröße genutzt, die beispielsweise in Abhängigkeit der Erreichung des gewünschten Termins eine Rabattierung des Angebotspreises zur Folge hat.

#### **5.3.3.2 Angebotserstellung**

Nach Abschluss der Anfrageerfassung liegt eine personengebundene Kundenanfrage mit Wunschtermin vor. Die Aufgabe der Angebotserstellung besteht nun darin, die an den Kunden zu übermittelnden Angebotsunterlagen zu generieren und zusammenzustellen. Diese umfassen neben der technischen Beschreibung

---

<sup>5</sup> Kann die vom Kunden gewünschte Produktkonfiguration nicht über den vordefinierten Konfigurationsprozess abgebildet werden, liegt eine spezifische Einzelanfrage vor. Diese ist im Rahmen des Projektgeschäfts zu bearbeiten. In Bezug auf den in Kapitel 2 definierten Fokus der Arbeit wird diese Problemstellung nicht weiter betrachtet.



des Produkts sowie den Informationen zum Liefertermin und dem Produktpreis auch die Vertragskonditionen.

Aufgrund der Fokussierung der vorliegenden Arbeit auf die Prozesse zur Berechnung eines aus Unternehmenssicht realistischen und belastbaren Liefertermins werden allerdings die technische Lösungsfindung, die Kalkulation und die Preisbestimmung sowie die juristische Abklärung in den weiteren Ausführungen nicht näher betrachtet. Das zentrale Element der im Rahmen der Arbeit entwickelten und in den weiteren Ausführungen zur Angebotserstellung diskutierten Methodik bildet dementsprechend das Vorgehen zur Berechnung des Produktliefertermins. Dieses kann in zwei aufeinander aufbauende Prozesselemente unterteilt werden (Abbildung 41).

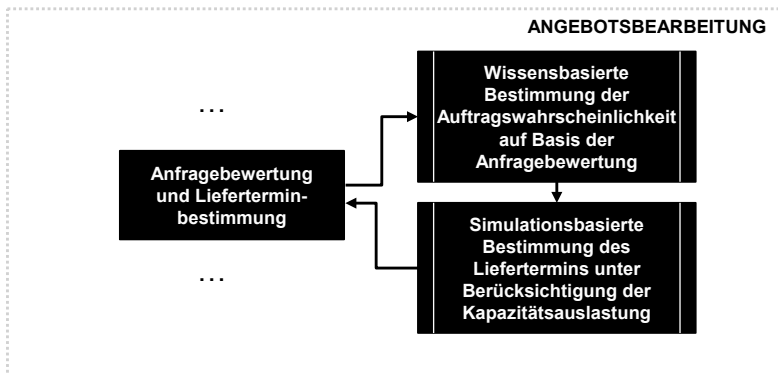


Abbildung 41: Terminbestimmung – Kernprozess der Methodik

### **Prozess der Anfragebewertung**

Den ersten Teilprozess stellt die wissensbasierte Anfragebewertung und Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit dar. Der Wert der Auftragswahrscheinlichkeit der vom Kunden gestellten Anfrage wird hierbei als kombinierte Größe auf Basis einer kundenspezifischen sowie einer produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit ermittelt. Die Herleitung beider Auftragswahrscheinlichkeiten ist in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

Die Grundlage zur Berechnung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit bildet die Unterteilung des Kundenspektrums in verschiedene mit jeweils einer spezifischen Auftragswahrscheinlichkeit behaftete Kundengruppen. Als Ordnungsrahmen bietet sich das von KREUTZER (1990) vorgestellte Konzept der

Loyalitätsleiter an. Es handelt sich dabei um ein Verfahren zur Kundenbewertung, das die Klassifizierung der Interessenten bzw. der Kunden hinsichtlich ihrer Beziehung zum Unternehmen unterstützt. Ausgehend von der ermittelten Loyalität werden hierbei die Kunden auf den verschiedenen Stufen der Leiter eingruppiert. In Abhängigkeit der Loyalität kann anschließend laut LINK (1993) auf die Auftragswahrscheinlichkeit geschlossen werden. Diese steigt mit zunehmender Loyalität des Kunden von der niedrigsten bis zur höchsten Sprosse an.

Da davon auszugehen ist, dass die Abgrenzung der Kundengruppen häufig aufgrund unternehmensspezifischer Erfahrungswerte erfolgt, findet im Rahmen der Arbeit unabhängig von der Anzahl oder der Häufigkeit der durchgeführten Bestellungen eine vereinfachte Eingruppierung der Kunden in die beiden Klassen *Bestandskunde* und *Neukunde* statt (Abbildung 42).

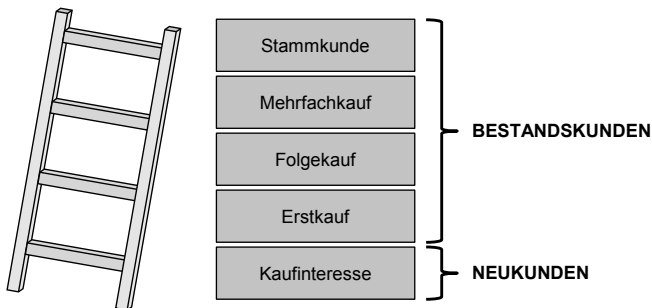


Abbildung 42: Stufen der Auftragswahrscheinlichkeit auf der Loyalitätsleiter (in Anlehnung an KREUTZER 1990)

Der Gruppe der Bestandskunden werden alle Personen oder Organisationseinheiten zugeordnet, die datentechnisch erfasst sind und somit bereits in der Vergangenheit ein Angebot vom Unternehmen erhalten haben. Der Klasse der Neukunden hingegen werden alle Personen oder Organisationseinheiten zugeordnet, zu denen keine Daten vorhanden sind. Von dieser Gruppe wurden demzufolge in der Vergangenheit noch keine Angebote vom Unternehmen angefordert. Zur Bearbeitung einer konkreten Angebotsanfrage sind vorab vom Kunden die erforderlichen Identifikationsdaten anzugeben.

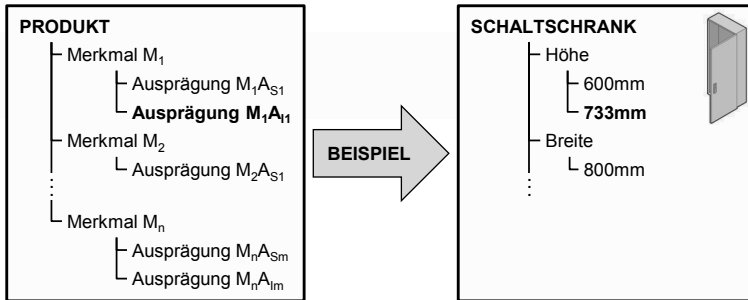
Um den potentiellen Käufer einer der beiden genannten Klassen zuweisen zu können, muss er sich demzufolge vor der Übermittlung des Angebots gegenüber dem leistungsbringenden Unternehmen identifizieren. Ist der Kunde als Be-

standskunde identifizierbar, kann auf Basis von im Vertrieb hinterlegten Informationen die Kundenauftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KB}$  ermittelt werden. Handelt es sich hingegen um einen Neukunden, ist ein berechneter Erfahrungswert der Auftragswahrscheinlichkeit für die Gruppe  $AW_{KN}$  anzusetzen.

Im Gegensatz zur kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_K$  wird die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_P$  für einzelne Produkt-cluster berechnet. Zur Herleitung von  $AW_P$  wird hierbei auf das zur Durchführung der Produktkonfiguration genutzte hierarchische Strukturmodell zurückgegriffen. Dieses beschreibt das Produkt in Form von Merkmalen und Ausprägungen, aus deren Kombination sich die verschiedenen Varianten ergeben. Die Merkmale entsprechen dabei den übergeordneten Produkteigenschaften. Sie definieren die grundlegenden Strukturobjekte und repräsentieren die Konfigurationsparameter des Produkts. Die Ausprägungen hingegen spezifizieren die vom Kunden getroffene Auswahl und stellen die konkreten Werte des jeweiligen Merkmals dar. Im Umfeld der kundenindividuellen Produktkonfiguration gilt es zwei grundsätzliche Klassen von Merkmalen zu unterscheiden:

- **Merkmal ohne Individualisierungsoption:** Der Kunde kann lediglich zwischen den vom Unternehmen vordefinierten und unveränderlichen Ausprägungen des Merkmals wählen.
- **Merkmal mit Individualisierungsoption:** Der Kunde hat die Möglichkeit, die vorgegebenen Ausprägungen des Merkmals innerhalb eines Lösungsraums mit definierten Grenzen zu modifizieren.

In der nachfolgenden Abbildung 43 ist das erläuterte hierarchische Strukturmodell des Produkts schematisch dargestellt. Ausgehend von dem übergeordneten Knotenpunkt erfolgt die Beschreibung des Produkts anhand der untergeordneten Merkmale  $M_n$  sowie deren Ausprägungen  $M_nA_{Sm}$  bzw.  $M_nA_{Im}$ . Das theoretische Konzept ist zusätzlich am Beispiel eines Schaltschranks nochmals verdeutlicht.



**Legende:**  $M_n$  Produktmerkmal  
 $M_nA_{sm}$  Produktmerkmal mit standardisierter Ausprägung  
 $M_nA_{im}$  Produktmerkmal mit individueller Ausprägung

Abbildung 43: Produktspezifikation auf Basis von Merkmalen und deren jeweiligen Ausprägungen

Der Umfang eines Produktclusters, d. h. die Anzahl an unterschiedlichen Produktvarianten, die zur Berechnung der spezifischen Auftragswahrscheinlichkeit zu einer Gruppe zusammengefasst werden, hängt dabei von der Qualität der im Unternehmen zur Verfügung stehenden Wissensbasis ab. Stehen die Daten in einem ausreichenden Umfang zur Verfügung, kann der zur Berechnung von  $AW_P$  gewählte Detaillierungsgrad der Cluster von einer einfachen Unterscheidung in Standardprodukte und individualisierte Produkte, bis hin zu einer Unterteilung nach verschiedenen Produktmerkmalen und deren möglichen Ausprägungen variieren.

Zur Sicherstellung der Aktualität der als Berechnungsgrundlage der Terminbestimmung dienenden Daten müssen die jeweils hinterlegten Werte der Auftragswahrscheinlichkeiten kontinuierlich anhand der Ergebnisse der Analyse der Angebotsverfolgung durch einen selbststeuernden Prozess aktualisiert werden. Eine weiterführende detaillierte Betrachtung der Herleitung der formalen Berechnungsvorschriften der verschiedenen Auftragswahrscheinlichkeiten  $AW_K$  und  $AW_P$  erfolgt in Kapitel 6.

**Prozess der Terminbestimmung**

Der zweite Teilprozess umfasst die simulationsbasierte Berechnung der Kapazitätsauslastung unter Berücksichtigung der Angebotssituation sowie die Ableitung der zu wählenden Gültigkeitsdauer des Angebots. Die im Rahmen der Arbeit angewandte Vorgehensweise orientiert sich dabei grundsätzlich an dem in der Lite-

ratur diskutierten und in Kapitel 4 vorgestellten klassischen Konzept der kombinierten Termin- und Kapazitätsplanung. Entsprechend der hierbei verfolgten Unterteilung in zwei übergeordnete Planungsschritte wird in der vorliegenden Arbeit die Kombination aus einer vorgelagerten Durchlaufterminierung sowie einer nachgelagerten mehrstufigen Kapazitätsterminierung verfolgt (Abbildung 44).

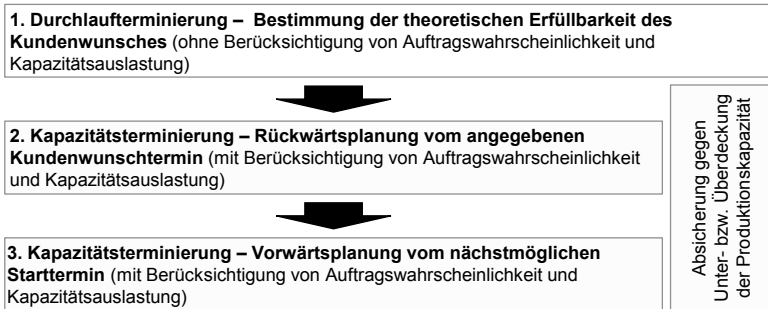


Abbildung 44: Planungsschritte zur Umsetzung der Terminbestimmung

Im ersten Planungsschritt werden die Angebotskapazitätsbedarfe ohne Berücksichtigung von Auftragswahrscheinlichkeit und Kapazitätsauslastung betrachtet. Beide genannten Größen können aufgrund der verfolgten Zielsetzung, die in der Überprüfung der theoretischen Erfüllbarkeit des Kundenwunschtermins liegt, in diesem Teilprozess vernachlässigt werden. Es wird somit ausschließlich eine Durchlaufterminierung durchgeführt, die unter Beachtung der technologisch bedingten Arbeitsabläufe sowie der berechneten Durchlaufzeiten die Anfangs- und Endtermine der zur Auftragsdurchführung erforderlichen Arbeitsvorgänge bestimmt. Im zweiten und dritten Planungsschritt wird eine rückwärts- bzw. vorwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung angestoßen. Die Planungsgrundlage bilden dabei die um die Auftragswahrscheinlichkeit reduzierten Kapazitätsbedarfe des Angebots. Diese berechnen sich anhand der Multiplikation der je Anfrage ermittelten Auftragswahrscheinlichkeit mit dem im Arbeitsplan des Produkts hinterlegten Kapazitätsbedarf des jeweiligen Arbeitsschritts auf dem erforderlichen Produktionsmittel.

Die Beachtung der Auftragswahrscheinlichkeit bei der Kapazitätsterminierung der Anfrage trägt dazu bei, die Unsicherheiten bezüglich der Auftragsvergabe durch den Kunden im Rahmen des Angebotsprozesses besser abbilden zu können. Hieraus ergeben sich sowohl für den vorgelagerten Angebotsprozess als auch die nachgelagerte Produktion verschiedene Vorteile. Zum einen wird in

Abhängigkeit der Auftragswahrscheinlichkeit und somit der Abschätzung des Kaufverhaltens des Kunden nur ein Bruchteil der benötigten Produktionskapazität für die Anfrage reserviert. Das Auftreten eines Blockierens von Ressourcen durch Anfragen mit einer geringen Wahrscheinlichkeit wird somit aufgrund des stark reduzierten Kapazitätsbedarfs erheblich reduziert. Zum anderen ermöglicht die Berücksichtigung der Auftragswahrscheinlichkeit eine Reduktion der geplanten Gesamtdurchlaufzeit des Auftrags durch die Produktion, da durch die bessere Ausnutzung der vorhandenen freien Restkapazitäten innerhalb einer Planungsperiode die Angebote verstärkt frühzeitiger eingeplant werden können (Abbildung 45).

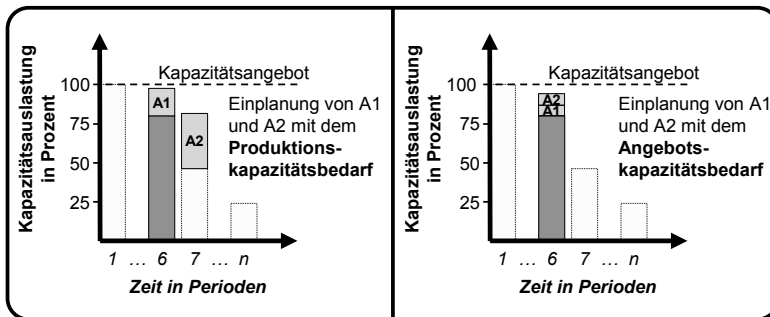


Abbildung 45: Kapazitätsauslastung ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Auftragswahrscheinlichkeit AW

Wie in der Darstellung ersichtlich, ist die Kapazität der Maschinengruppe durch Einplanung des Produktionskapazitätsbedarfs der Anfrage A1 fast vollständig ausgeschöpft. Die Einlastung einer weiteren Anfrage ist somit bei Anwendung der klassischen Kapazitätsplanung ohne Berücksichtigung der Auftragswahrscheinlichkeit nicht möglich. Dementsprechend wird die Anfrage A2 in der nachfolgenden Periode  $t_7$  eingeplant. Wird die Auftragswahrscheinlichkeit jedoch mit berücksichtigt, d. h. wird mit dem reduzierten Angebotskapazitätsbedarf gerechnet, kann die Anfrage A2 ebenfalls auf der Maschinengruppe in der gleichen Periode eingeplant werden.

Allerdings resultiert aus der Einplanung der mit der Auftragswahrscheinlichkeit reduzierten Kapazitätsbedarfe in der Regel eine Überbuchung der betrachteten Produktionsressource über die vorgegebene Belastungsgrenze von 100 %. Um das hiermit verbundene Risiko einer späteren möglichen Kapazitätsunterdeckung, d. h. der erforderliche Kapazitätsbedarf zur Durchführung der eingeplan-

ten Aufträge ist höher als die tatsächlich zur Verfügung stehende Produktionskapazität, möglichst gering zu halten, ist eine geeignete Strategie zur Absicherung bei der Einplanung der Bedarfe der Anfragen zu definieren. Darüber hinaus gilt es, das Risiko einer Kapazitätsüberdeckung, d. h. der erforderliche Kapazitätsbedarf ist geringer als die zur Verfügung stehende Produktionskapazität, mittels einer angepassten Planungsstrategie zur Vermeidung einer geringen Auslastung der Produktionsressourcen zu reduzieren.

Im Anschluss an die erfolgreiche Bestimmung des Liefertermins wird die Gültigkeitsdauer des Angebots festgelegt. Hierbei handelt es sich um den Zeitabschnitt, während dessen der Kunde die geforderte Leistung zu den im Angebot definierten Konditionen vom anbietenden Unternehmen einfordern kann. Bezüglich der Ausgestaltung dieses Zeitraums existiert keine verbindliche rechtliche Grundlage. Laut § 148 des Bürgerlichen Gesetzbuchs (BGB) besitzt der Ersteller eines Angebots sogar die Möglichkeit, die Frist, innerhalb derer die Annahme des Angebots erfolgen muss, selbstständig festzulegen:

*„Hat der Antragende für die Annahme des Antrags eine Frist bestimmt, so kann die Annahme nur innerhalb der Frist erfolgen.“* (BGB 2013, S. 29)

Im vorliegenden Fall der Angebotserstellung für kundenindividuelle Produkte ist die Länge des Zeitraums der Angebotsgültigkeit variabel zu gestalten. Sie ist in Abhängigkeit des Zeitpunkts der Angebotserstellung, des geplanten Produktionsstarts des potenziellen Auftrags, der Länge des für die Angebotsplanung gesperrten Zeitraums der operativen Produktionsplanung sowie der Größe eines unter Umständen vorzuhaltenden Planungspuffers für kurzfristig auftretende Eilaufträge zu wählen.

Es gilt allerdings zu beachten, dass in jedem Fall eine Grenze für die maximale Länge des Zeitraums der Angebotsgültigkeit zu definieren ist. Diese dient zum einen als Absicherung gegenüber finanziellen Risiken, die beispielsweise aus Währungskursschwankungen oder Rohstoffpreisänderungen sowie dem Auslaufen von Tarifverträgen resultieren. Zum anderen reduziert sich durch die Festlegung einer Gültigkeitsdauer die Gefahr, nicht benötigte Produktionskapazitäten aufgrund der ausstehenden Rückmeldung des Kunden über die Annahme oder Ablehnung des Angebots langfristig für die Kapazitätsbedarfe weiterer Anfragen zu blockieren. Ist die Gültigkeitsdauer im Angebot hinterlegt, können bei der Überschreitung der Rückmeldefrist die Ressourcen unmittelbar freigegeben werden

und stehen somit bereits frühzeitig als planbare Kapazitäten für die Angebotsbearbeitung zur Verfügung.

Eine vertiefende Diskussion der skizzierten Planungsschritte zur simulationsbasierten Berechnung der Kapazitätsauslastung findet sich in Kapitel 6 der vorliegenden Arbeit.

### **5.3.3.3 Angebotsnachbereitung**

Geht beim Unternehmen vor Ablauf der Angebotsfrist eine Rückmeldung vom Kunden ein, wird bei einer positiven Reaktion die Überführung der Anfrage in einen Auftrag veranlasst. Der Status der belegten Kapazitätsbedarfe wird dementsprechend von einem Angebot auf einen Auftrag abgeändert und die bisher hinterlegten reduzierten Angebotskapazitätsbedarfe werden durch die realen Kapazitätsbedarfe des nun verbindlich vorliegenden Auftrags ersetzt. Im Falle der Ablehnung werden die geblockten Kapazitäten wieder freigegeben und stehen für eine erneute Einplanung zur Verfügung. Läuft die Angebotsfrist ohne eine Rückmeldung vom Kunden ab, so wird das Vorgehen entsprechend einer Ablehnung angewandt.

Sowohl im Falle eines positiven als auch eines negativen Verlaufs des Angebotsprozesses werden die Informationen über das Kundenverhalten sowie über die angefragte Produktvariante innerhalb der Angebotsnachbereitung aufgenommen und zur Aktualisierung der zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit herangezogenen Wissensbasis genutzt.

### **5.3.4 Output an die Produktionsplanung**

Die in der Angebotsbearbeitung hinsichtlich der eingeplanten Anfragen aktualisierten Kapazitätsbedarfsinformationen sind vor dem Übergang zur nächsten Planungsperiode vom Vertrieb in die Produktionsplanung zurückzuführen. Im Vorfeld ist es dabei zwingend notwendig, die Kapazitätsbedarfsdaten der Anfragen eindeutig zu markieren und somit eine klare Trennung gegenüber den Ressourcenbedarfen der bereits fest fixierten Aufträge herzustellen. Hierdurch können im Falle einer Ablehnung des Angebots die dazugehörigen reservierten Kapazitätsbedarfe unmittelbar wieder freigegeben werden. Sind die Daten aus dem Vertrieb an die Produktionsplanung übertragen, erfolgt dort deren Konsolidierung in einer gemeinsamen Datenbasis. Dies bedeutet, dass die vertrieblischen Planungsdaten sowie eventuelle Änderungen der Kapazitätsbedarfe, die sich bei



der Abarbeitung der vergangenen Planungsperiode im operativen Produktionsprozess ergeben haben, im Rahmen einer Neuberechnung des Produktionsprogramms zusammengeführt werden. Im Anschluss an die erfolgreiche Integration wird der Planungshorizont des taktischen Planungsbereichs in der Produktionsplanung um eine Periode weiter in die Zukunft geschoben. Die sich innerhalb des sich ergebenden neuen Planungszeitraums befindlichen Kapazitätsbedarfe werden wiederum an die Angebotsbearbeitung zur Einplanung der in der aktuellen Periode eingehenden Kundenanfragen übergeben.

Der gesamte Planungsprozess wird in Anlehnung an KIENER et al. (2009) periodisch rollierend durchlaufen, d. h. die zu einem vorangegangenen Zeitpunkt getätigte kapazitive Einplanung wird auf Basis eines definierten Zeitintervalls in regelmäßigen Abständen aktualisiert bzw. überarbeitet. Das grundlegende Konzept ist in Abbildung 46 skizziert und wird im Nachgang zur Grafik erläutert.

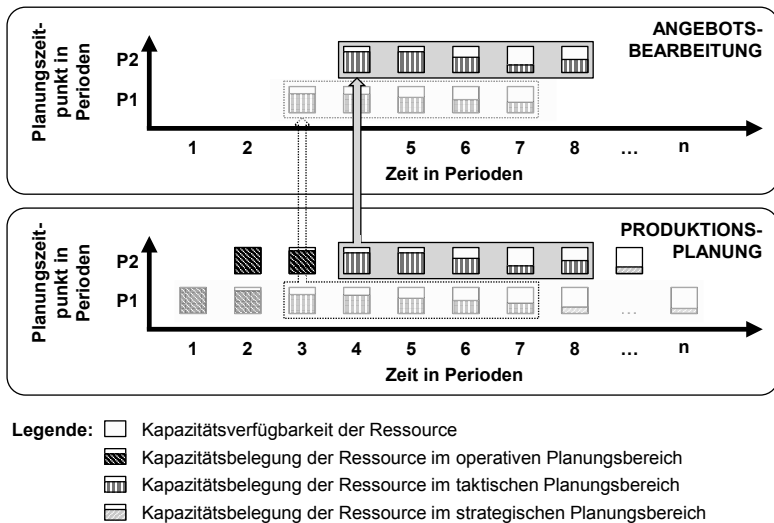


Abbildung 46: Anwendung der rollierenden Planung für eine Produktionsressource (vgl. KIENER et al. 2009)

Zum Planungszeitpunkt P1 umfasst der taktische Planungsbereich die Zeitspanne von Periode 3 bis Periode 7. Das für diesen Zeitraum erstellte Produktionsprogramm wird an die Angebotsbearbeitung zur Einplanung neuer Anfragen übergeben. Vor dem Übergang zum Planungszeitpunkt P2, d. h. beispielsweise bei

einer täglich rollierenden Planung dem Wechsel zum nächsten Arbeitstag, wird der modifizierte Kapazitätsbedarf aus der Angebotsbearbeitung an die Produktionsplanung zurückgespielt. In der Produktionsplanung erfolgt anschließend die Konsolidierung der vorliegenden Kapazitätsinformationen aus der Angebotsbearbeitung sowie der Produktion. Dieser Schritt ist vor allem aufgrund eventueller Störungen im Produktionsbereich, die unter Umständen zu für die Produktionsplanung zu berücksichtigenden Verschiebungen der Aufträge führen, zwingend erforderlich. Im Anschluss an die Berechnung des konsolidierten Produktionsprogramms wird der Planungshorizont um eine Teilperiode in die Zukunft verschoben. Ausgehend von dem angepassten Planungszeitpunkt P2 sowie dem veränderten taktischen Planungszeitraum von Periode 4 bis Periode 8 beginnt der Planungszyklus von neuem.

### **5.4 Zwischenfazit**

In den vorangegangenen Abschnitten wurde der konzeptionelle Entwurf des Gesamtprozesses eines an die Bedürfnisse der kundenindividuellen Produktion angepassten Angebotsprozesses vorgestellt. Das besondere Augenmerk lag hierbei auf der Klärung der Zusammenarbeit zwischen den beiden Bereichen Produktionsplanung und Vertrieb.

Hierbei gibt es hinsichtlich des Austauschs der Kapazitätsdaten zwischen beiden Unternehmensbereichen verschiedene Abhängigkeiten zu beachten. Von entscheidender Bedeutung für die konsistente Datenhaltung ist in diesem Zusammenhang die Sicherstellung der koordinierten Übergabe der Daten aus der Produktionsplanung nach der durchgeführten Planung des Produktionsprogramms an die Angebotsbearbeitung sowie die Rückführung der Informationen über die Kapazitätsbedarfe aus dem Vertriebsprozess an die Produktionsplanung vor dem erneuten Ausführen der Berechnung der ressourcenbezogenen Kapazitätsplanung.

Der vorgestellte Gesamtprozess bildet den organisatorischen Rahmen, innerhalb dessen der Kern der vorliegenden Arbeit, die Terminbestimmung im Angebotsprozess, eingebettet ist. Die vertiefende Betrachtung dieses zentralen Elements ist Gegenstand von Kapitel 6.

## **6 Detaillierung der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung**

### **6.1 Kapitelüberblick**

Auf Basis des bereits vorgestellten konzeptionellen Gesamtprozesses der Terminplanung in der Angebotsbearbeitung erfolgt im Rahmen dieses Kapitels eine detaillierte Betrachtung der beiden zentralen Elemente der entwickelten Methodik. Hierbei handelt es sich zum einen um die wissensbasierte Anfragebewertung und Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit und zum anderen um die simulationsbasierte Berechnung der Kapazitätsauslastung unter Berücksichtigung der Angebotssituation.

Die Methode zur wissensbasierten Anfragebewertung und Ableitung der Auftragswahrscheinlichkeit steht im Fokus von Abschnitt 6.2. Zunächst wird die allgemeine Herleitung der Formel zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit einer Anfrage erläutert. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Kundengruppe sowie der geforderten Produktkonfiguration gilt es hierbei, verschiedene Ausprägungsformen der Grundformel zu unterscheiden. Diese werden im weiteren Verlauf der Ausführungen detailliert erläutert. Die Beschreibung des Vorgehens zur Sicherstellung der Aktualität der Daten- bzw. Wissensbasis, in der die für die Berechnung der Wahrscheinlichkeitswerte zugrundeliegenden Informationen abgelegt sind, schließt Abschnitt 6.2 ab.

Die Methode zur simulationsbasierten Berechnung der Kapazitätsauslastung unter Berücksichtigung der Angebotssituation wird in Abschnitt 6.3 diskutiert. Den Ausgangspunkt der Betrachtung bildet die Erläuterung der Vorgehensweisen zur Durchführung der Termin- und Kapazitätsplanung unter Einbeziehung der berechneten Auftragswahrscheinlichkeit. Um die Gefahr einer Kapazitätsunterdeckung zu reduzieren, ist bei der Einplanung der Kundenanfragen in die Kapazitätsprofile der Produktionsressourcen die Unsicherheit bezüglich der Annahme oder Ablehnung des Angebots durch den Kunden mit zu berücksichtigen. Das entwickelte ganzheitliche Konzept zur Beherrschung dieses Risikos stellt ein zentrales Element der vorliegenden Arbeit dar und wird anschließend erläutert. Darüber hinaus wird das Vorgehen zur Vermeidung einer Kapazitätsüberdeckung auf Basis einer adaptiv anpassbaren Angebotsgültigkeit diskutiert. Den Abschluss der Ausführungen bildet eine Zusammenfassung in Abschnitt 6.4.

## 6.2 Wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit

### 6.2.1 Herleitung der Auftragswahrscheinlichkeit

Die Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit  $AW$  für eine vom Kunden gestellte Anfrage ist, wie bereits in Kapitel 5 erläutert, grundsätzlich abhängig von der sich aus der Klassifikation des Kunden ergebenden kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_K$  sowie von der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_P$  der von ihm gewählten Produktvariante. Es gilt nun, die beiden spezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten miteinander zu kombinieren, um eine ganzheitliche Aussage bezüglich der für die Anfrage zu berechnenden Auftragswahrscheinlichkeit zu erhalten.

Je nach gewählter Kundengruppe bzw. der Art der Produktvariante kann dabei die Stärke des Einflusses der kunden- oder der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten auf das Gesamtergebnis variieren. Dieser Sachverhalt ist durch die Einführung von fallspezifisch zu bestimmenden Gewichtungsfaktoren  $G$  entsprechend zu berücksichtigen. Somit ergibt sich die allgemeingültige Berechnungsvorschrift zur Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit unter Zuhilfenahme der Gewichtungsfaktoren  $G_K$  für die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit und  $G_P$  für die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit wie folgt:

$$AW = G_K \cdot AW_K + G_P \cdot AW_P \quad (7)$$

$AW$	Auftragswahrscheinlichkeit einer Kundenanfrage
$AW_K$	kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
$AW_P$	produktvariantenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
$G_K$	Gewichtungsfaktor für die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit
$G_P$	Gewichtungsfaktor für die variantenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit

Grundsätzlich ist der für die Gewichtungsfaktoren  $G_K$  und  $G_P$  gültige Wertebereich folgendermaßen definiert:

$$0 \leq G_K, G_P \leq 1 \quad (8)$$

Da die Auftragswahrscheinlichkeit allerdings maximal einen Wert von 100 % annehmen kann, stehen die beiden Gewichtungsfaktoren in dem nachfolgend dargestellten Abhängigkeitsverhältnis:

$$G_P = 1 - G_K \quad (9)$$

Bei den genannten spezifischen Wahrscheinlichkeiten handelt es sich um zwei übergeordnete Kenngrößen, die jeweils unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorliegenden vergangenheitsbezogenen Datenbasis für den einzelnen Kunden bzw. das einzelne Produkt weiter abgestuft werden können.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit erfolgt für die Gruppe der potenziellen Kunden ausschließlich eine Unterscheidung in Bestandskunde und Neukunde. Für die zu betrachtenden Produkte werden zusätzlich jeweils die Werte der spezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten für die Varianten mit standardisierten Ausprägungen und die Varianten mit individuellen Ausprägungen berechnet. Die Berücksichtigung weiterer das Kaufverhalten zum Zeitpunkt der Anfragestellung beeinflussender Parameter, wie beispielsweise saisonale Einflüsse oder der Produktlebenszyklus, ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit, da mittels der nachfolgenden Ausführung lediglich das grundsätzliche Vorgehen zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit aufgezeigt werden soll. Aufgrund der modularen Struktur der vorgestellten Berechnungsvorschrift können die auf Basis einer umfangreichen Analyse des zugrundeliegenden Datenbestands identifizierten zusätzlichen Einflussgrößen bei Bedarf jederzeit durch eine Detaillierung der spezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten der Methodik hinzugefügt werden.

### 6.2.2 Kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit $AW_K$

Die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_K$  ermöglicht es, auf Grundlage der zum Zeitpunkt des Eingangs der Anfrage über den Kunden verfügbaren Informationen eine Abschätzung bezüglich seines zukünftigen Kaufverhaltens zu tätigen. Da in Abhängigkeit der Kundenklasse aufgrund der zur Verfügung stehenden Informationen jeweils unterschiedliche Parameter bei der Ermittlung der  $AW_K$  einfließen, ist eine differenzierte Betrachtung erforderlich. Die Ausgangsbasis der nachfolgend vorgestellten Analyse bildet dementsprechend die bereits erläuterte Unterteilung des Kundenspektrums in Bestands- und Neukunden.

Bei der Klasse der Bestandskunden ist es zur Berechnung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_K$  erforderlich, zwei Fälle zu unterscheiden. Im ersten Fall hat der Bestandskunde bereits in der Vergangenheit für das von ihm gegenwärtig konfigurierte Produkt ein Angebot eingefordert. Es stehen demzufolge detaillierte Informationen zu seinem bisherigen Kaufverhalten bezüglich des aktuell spezifizierten Produkts zur Verfügung. Auf Basis dieser Informationen ist es möglich, die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KBV}$  wie folgt zu ermitteln:

$$AW_{KBV} = \frac{\sum \text{Aufträge des Kunden zu der spez.Variante}}{\sum \text{Anfragen des Kunden zu der spez.Variante}} \quad (10)$$

Im zweiten zu betrachtenden Fall hat der Bestandskunde eine Produktvariante konfiguriert, zu der von ihm in der Vergangenheit weder ein Angebot angefordert noch ein Auftrag erteilt wurde. Somit stehen hinsichtlich der von ihm getätigten Auswahl keine vergangenheitsbezogenen Informationen in der Datenbasis zur Verfügung. Um das spezifische Verhalten des Kunden dennoch berücksichtigen zu können, ist der Betrachtungsfokus auf alle von ihm bislang angefragten bzw. beauftragten Produkte zu erweitern. Bei der Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KBA}$  wird dementsprechend das bisherige Kaufverhalten des Kunden über das gesamte Produktspektrum hinweg mit einbezogen. Auf Basis dieser Annahme ergibt sich die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KBA}$  gemäß der Formel:

$$AW_{KBA} = \frac{\sum \text{Aufträge des Kunden über alle Produkte}}{\sum \text{Anfragen des Kunden über alle Produkte}} \quad (11)$$

Bei der Gruppe der Neukunden kann aufgrund der fehlenden vergangenheitsbezogenen Informationen nicht auf kundenspezifische Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Es ist daher lediglich eine Abschätzung des Kaufverhaltens anhand der Betrachtung des Anfrage- und Bestellverhaltens der gesamten Gruppe an Neukunden möglich. Die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KN}$  wird somit anhand folgender Formel bestimmt:

$$AW_{KN} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Neukunden über alle Produkte}}{\sum \text{Anfragen aller Neukunden über alle Produkte}} \quad (12)$$

Ein zusammenfassender Überblick der erläuterten Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten  $AW_{KBV}$ ,  $AW_{KBA}$  und  $AW_{KN}$  ist in der nachfolgenden Abbildung 47 dargestellt.

$AW_K$	BESCHREIBUNG	BERECHNUNG
$AW_{KB}$	Bestandskunde stellt Anfrage zu einer Produktvariante, die schon einmal von ihm konfiguriert wurde	$AW_{KBV} = \frac{\sum \text{Aufträge des Kunden zu der spez. Variante}}{\sum \text{Anfragen des Kunden zu der spez. Variante}}$
	Bestandskunde stellt Anfrage zu einer Produktvariante, die noch nie von ihm konfiguriert wurde	$AW_{KBA} = \frac{\sum \text{Aufträge des Kunden über alle Produkte}}{\sum \text{Anfragen des Kunden über alle Produkte}}$
$AW_{KN}$	Neukunde stellt Anfrage zu einer Produktvariante	$AW_{KN} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Neukunden über alle Produkte}}{\sum \text{Anfragen aller Neukunden über alle Produkte}}$

Abbildung 47: Bestimmung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit

### 6.2.3 Produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit $AW_p$

Die Berechnung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_p$  erfolgt auf Basis der vom Kunden konfigurierten Produktvariante, die sich aus der Kombination der verschiedenen Merkmale sowie der jeweils gewählten Ausprägungen ergibt. Es gilt hierbei zu unterscheiden, ob es sich bei der spezifizierten Variante um eine vom Unternehmen vordefinierte Standardvariante handelt oder ob sich der Kunde ein individuelles Produkt aus dem erweiterten Lösungsraum zusammengestellt hat. Entsprechend der gewählten Vorgehensweise sowie dem daraus resultierenden Ergebnis sind für die Ermittlung der  $AW_p$  unterschiedliche Berechnungsvorschriften heranzuziehen.

Entspricht das vom Kunden konfigurierte Produkt einer Standardvariante, kann aufgrund der begrenzten Anzahl an Parameterkombinationen die Unterscheidung der Produktvarianten auf der Ebene der möglichen Ausprägungen der Merkmale erfolgen. Hierdurch ist eine differenzierte Betrachtung für jede vom Unternehmen vorgegebene Kombination der Produktmerkmale und deren Ausprägungen durchführbar. Wurde die vom Kunden gewählte Variante bereits in der Vergangenheit von einer oder mehreren Personen angefragt, so ergibt sich die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PS}$  wie folgt:

$$AW_{PS} = \frac{\sum \text{Aufträge der spezifischen Standardvariante des Produkts}}{\sum \text{Anfragen der spezifischen Standardvariante des Produkts}} \quad (13)$$

Sollte es sich bei der vom Kunden gewählten Konfiguration um ein Produkt handeln, zu dem keine Erfahrungswerte vorliegen, d. h. diese Variante wurde bisher noch nie definiert, wird bei Standardprodukten auf die globale produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PSG}$  aller bisher angefragten Ausführungen zurückgegriffen. Die Berechnungsvorschrift für diesen Fall lautet:

$$AW_{PSG} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Standardvarianten des Produkts}}{\sum \text{Anfragen aller Standardvarianten des Produkts}} \quad (14)$$

Die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit auf der Ebene der Ausprägungen kann bei Vorliegen einer Produktvariante mit individualisierbaren Merkmalen nicht genutzt werden. Dies liegt darin begründet, dass infolge des erweiterten Lösungsraums in der Regel lediglich eine geringe Anzahl der konfigurierten individuellen Produktvarianten die gleiche Spezifikation aufweisen. Aufgrund der fehlenden Vergleichswerte wäre es somit bei der Berechnung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PI}$  in vielen Fällen erforderlich, auf die wesentlich unschärfere globale Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PIG}$ , die wiederum alle individuellen Produktvarianten umfasst, zurückzugreifen. Um dies zu vermeiden, wird bei einem kundenindividuellen Produkt im Gegensatz zu dem erläuterten Vorgehen bei einer Standardvariante die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit nicht für jede einzelne Produktvariante ermittelt, sondern es werden auf der Ebene der Merkmale jeweils Produktgruppen mit gleichem individualisiertem Merkmal bzw. gleichen individualisierten Merkmalen gebildet. Es erfolgt somit eine Verschiebung der Betrachtung von der Ebene der Produktausprägungen auf die Ebene der Produktmerkmale (Abbildung 48).

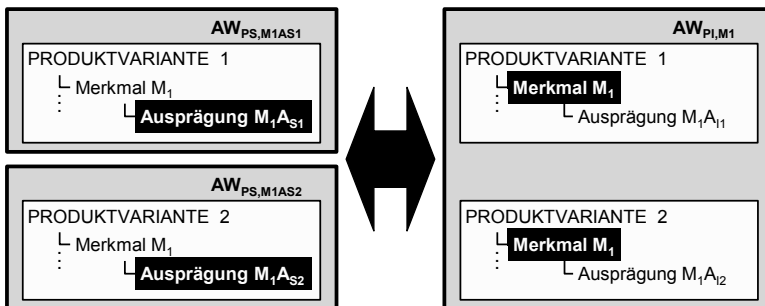


Abbildung 48: Bezugsebene zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit bei Standardprodukten (links) und individuellen Produkten (rechts)



Die zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeiten zu verwendenden Formeln entsprechen von ihrem grundsätzlichen Aufbau her den bereits im Rahmen der Vorstellung der Auftragswahrscheinlichkeiten  $AW_{PS}$  und  $AW_{PSG}$  erläuterten Schemata. Hierbei basiert die Berechnung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PI}$  auf der fokussierten Betrachtung der Gruppe von Varianten mit den gleichen individualisierten Merkmalen, wohingegen die globale produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PIG}$  alle Varianten mit individualisierten Merkmalen in die Betrachtung mit einbezieht. Die beiden Rechenverfahren ergeben sich dementsprechend zu:

$$AW_{PI} = \frac{\sum \text{Aufträge der Produktvarianten mit gleichem indiv. Merkmal}}{\sum \text{Anfragen der Produktvarianten mit gleichem indiv. Merkmal}} \quad (15)$$

$$AW_{PIG} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Produktvarianten mit individualisierten Merkmalen}}{\sum \text{Anfragen aller Produktvarianten mit individualisierten Merkmalen}} \quad (16)$$

Eine zusammenfassende Darstellung der vorgestellten Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit ist in der nachfolgenden Abbildung 49 zu finden.

$AW_p$	BESCHREIBUNG	BERECHNUNG
$AW_{PS}$	Konfiguration einer vordefinierten Produktvariante, die bereits von Kunden angefragt wurde (Betrachtungsebene: Ausprägungen)	$AW_{PS} = \frac{\sum \text{Aufträge der spez. Standardvariante des Produkts}}{\sum \text{Anfragen der spez. Standardvariante des Produkts}}$
	Konfiguration einer vordefinierten Produktvariante, die bisher von niemandem angefragt wurde (Betrachtungsebene: Ausprägungen)	$AW_{PSG} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Standardvarianten des Produkts}}{\sum \text{Anfragen aller Standardvarianten des Produkts}}$
$AW_{PI}$	Konfiguration einer individualisierten Variante, die bereits von Kunden angefragt wurde (Betrachtungsebene: Merkmale)	$AW_{PI} = \frac{\sum \text{Aufträge der Produktvarianten mit gleichem indiv. Merkmal}}{\sum \text{Anfragen der Produktvarianten mit gleichem indiv. Merkmal}}$
	Konfiguration einer individualisierten Variante, die bisher von niemandem angefragt wurde (Betrachtungsebene: Merkmale)	$AW_{PIG} = \frac{\sum \text{Aufträge aller Produktvarianten mit individualisierten Merkmalen}}{\sum \text{Anfragen aller Produktvarianten mit individualisierten Merkmalen}}$

Abbildung 49: Bestimmung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit

### 6.2.4 Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit

Aus der Kombination der Formeln für die Ermittlung der kunden- und produkt-spezifischen Wahrscheinlichkeiten ergeben sich zur Herleitung der Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage zehn zu unterscheidende Berechnungsvorschriften. In Abbildung 50 ist der stufenweise Prozess zur Auswahl des für den vorliegenden Anwendungsfall gültigen mathematischen Ausdrucks in Form eines Entscheidungsbaums zusammenfassend dargestellt.

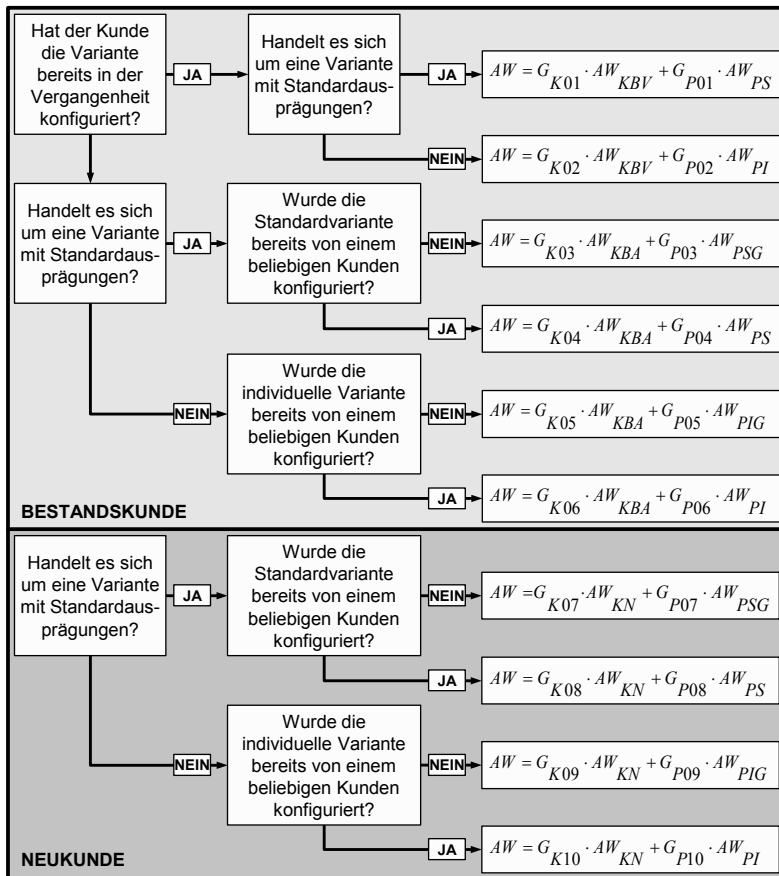


Abbildung 50: Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit für Bestandskunden (oben) und Neukunden (unten)

In Abbildung 50 sind neben den fallgebundenen Berechnungsvorschriften zur Herleitung der Auftragswahrscheinlichkeit auch die dazugehörigen Gewichtungsfaktoren  $G_K$  und  $G_P$  aufgeführt. Entsprechend der Höhe der für  $G_{K01}$  bis  $G_{K10}$  bzw.  $G_{P01}$  bis  $G_{P10}$  gewählten Parameter variiert die Stärke des Einflusses der jeweiligen kunden- oder produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit auf das Gesamtergebnis<sup>6</sup>. Die Gewichtungsfaktoren sind dementsprechend als ein Maß für das Vertrauen in die ermittelten Werte der spezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten anzusehen. Im Hinblick auf ihre Festlegung gilt es, für jede der aufgeführten Formeln in Abhängigkeit der vorliegenden Kunden- und Produktklasse die Abschätzung zu treffen, welcher der beiden Auftragswahrscheinlichkeiten anhand der verfügbaren Informationen sowie der zugrundeliegenden Berechnungsvorschriften eine höhere Aussagekraft zugestanden wird. Neben der Qualität der im Unternehmen vorhandenen kunden- und produktspezifischen Daten fließen hierbei weitere Überlegungen bei der Festlegung der Gewichtungsfaktoren mit ein. Diese allgemeingültigen Annahmen werden in den nachfolgenden Ausführungen beispielhaft für die den Wertebereich aufspannenden Gewichtungsfaktoren  $G_{K01}$  und  $G_{P01}$  bzw.  $G_{K10}$  sowie  $G_{K10}$  aufgezeigt:

- Die erste Berechnungsvorschrift ist zu verwenden, wenn ein Bestandskunde für eine Standardvariante, die bereits zu einem vorherigen Zeitpunkt schon einmal von ihm angefragt wurde, erneut ein Angebot vom Unternehmen anfordert. Die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit ist in diesem Fall mit  $AW_{KBV}$  zu bestimmen. Die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit ist, da eine Standardvariante spezifiziert wurde, über  $AW_{PS}$  zu berechnen. Auf Basis der vorliegenden Informationen kann bezüglich der Gewichtungsfaktoren  $G_{K01}$  und  $G_{P01}$  die Annahme getroffen werden, dass die Aussagekraft der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KBV}$  aufgrund der Herleitung aus den Stammdaten des Kunden qualitativ höherwertiger einzustufen ist, als die über alle Verkäufe der Standardvariante ermittelte produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{PS}$ . Demensprechend ist für  $G_{K01}$  ein deutlich höherer Wert zuzuweisen als für  $G_{P01}$ . Die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit besitzt folglich den größeren Einfluss auf die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit  $AW$  der Anfrage.

---

<sup>6</sup> Wie bereits erläutert, ist der zulässige Wertebereich der Gewichtungsfaktoren mit  $0 \leq G_K, G_P \leq 1$  definiert. Aufgrund des Maximalwerts der Auftragswahrscheinlichkeit von 100% gilt es darüber hinaus, bei den produktspezifischen Gewichtungsfaktoren das Abhängigkeitsverhältnis  $G_P = 1 - G_K$  zu beachten.

- Die zehnte Berechnungsvorschrift ist zu verwenden, wenn ein Neukunde für ein individuell konfiguriertes Produkt ein Angebot anfordert, das bereits zu einem früheren Zeitpunkt schon einmal von jemand anderem spezifiziert wurde. Die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit für die Gruppe der Neukunden ergibt sich anhand der Formel mit  $AW_{KN}$ . Zu dem angefragten individuellen Produkt liegen bereits vergangenheitsbezogene Erfahrungswerte vor. Somit ist die produktspezifische Wahrscheinlichkeit  $AW_{PI}$  für die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit zu benutzen. Da in diesem Fall die  $AW_{PI}$  der Produktvariante aufgrund der Herleitung aus den Stammdaten qualitativ höherwertiger einzustufen ist als die über alle Käufer ermittelte Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_{KN}$ , ist dem Gewichtungsfaktor  $G_{P10}$  ein höherer Wert zuzuweisen als dem Gewichtungsfaktor  $G_{K10}$ . Die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit besitzt folglich den größeren Einfluss auf die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit  $AW$  der Anfrage.

Anhand der Betrachtung der beiden Grenzwerte kann davon ausgegangen werden, dass im Allgemeinen die Aussagekraft der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit von  $G_{K01}$  bis  $G_{K10}$  abnimmt, während die produktspezifische Auftragswahrscheinlichkeit von  $G_{P01}$  bis  $G_{P10}$  an Bedeutung gewinnt. Zur Veranschaulichung des erläuterten Sachverhalts sind in Abbildung 51 beispielhaft auf Basis der Annahme eines linearen Verlaufs der Werte der Gewichtungsfaktoren deren mögliche Ausprägungen dargestellt. Ausgehend von der Festlegung der Gewichtungsfaktoren  $G_{K01}$  (0,95) und  $G_{P01}$  (0,05) sowie  $G_{K10}$  (0,05) und  $G_{P10}$  (0,95) ergeben sich die weiteren Werte wie in der Tabelle aufgezeigt.

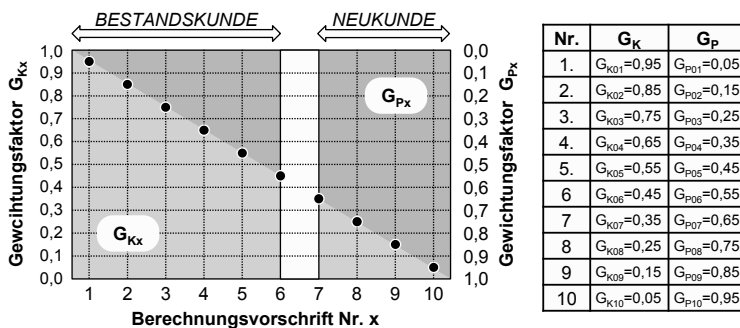


Abbildung 51: Wertepaare der Gewichtungsfaktoren  $G_K$  und  $G_P$  (Beispiel)

Da die konkreten Ausprägungen der Gewichtungsfaktoren sehr stark von der Qualität der im Unternehmen vorhandenen Daten abhängen, ist vor der Anwendung der vorgeschlagenen Methodik in der Regel eine detaillierte Analyse der im Unternehmen vorliegenden kunden- und produktbezogenen Wissensbasen erforderlich. Es kann somit im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine allgemeingültige Empfehlung bezüglich der konkreten Ausprägungen der Gewichtungsfaktoren gegeben werden.

### 6.2.5 Aktualisierung der Auftragswahrscheinlichkeit

Die Werte der kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten stehen im Falle einer softwaretechnischen Unterstützung des Angebotsprozesses in einer Daten- bzw. Wissensbasis zur Verfügung oder können auf diese Weise verfügbar gemacht werden. Um Änderungen bezüglich des Kaufverhaltens der Kunden im Rahmen des Angebotsprozesses berücksichtigen zu können, ist es erforderlich, die zur Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage herangezogenen Werte der kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten über die Zeit kontinuierlich zu aktualisieren. Hierzu muss, wie in Abbildung 52 schematisch dargestellt, ein selbststeuernder Regelkreis im Angebotsprozess implementiert werden.

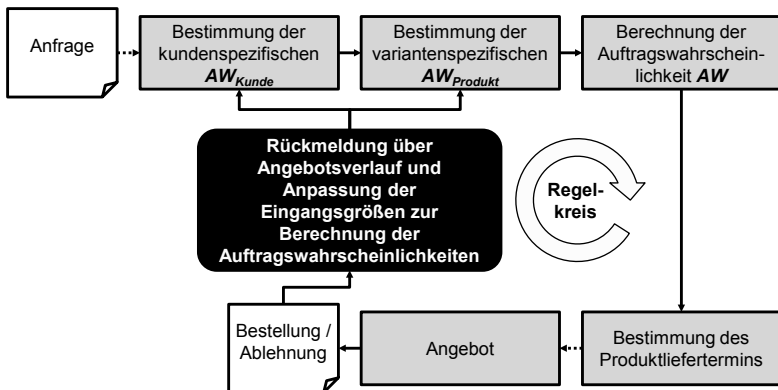


Abbildung 52: Berechnung der kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten

Im Rahmen der Angebotsnachbereitung ist hierbei für jedes Angebot die Information über die Annahme bzw. Ablehnung zu erfassen und bezüglich ihrer Aus-

wirkung auf die berechneten kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeiten zu überprüfen. Die von der Kundenentscheidung betroffenen identifizierten Einzelwerte sind umgehend neu zu berechnen und der Daten- bzw. Wissensbasis zur Verfügung zu stellen. Hierdurch ist sichergestellt, dass bei Eintreffen einer neuen Kundenanfrage die Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit stets auf Basis eines aktuellen Datenbestands durchgeführt wird. Der durch die Umsetzung des Konzepts implementierte Regelkreis kann dabei aufgrund der Aktualität der Datenbasis einen entscheidenden Beitrag zur Erhöhung der Planungsgenauigkeit über den gesamten Angebotsprozess hinweg leisten.

### 6.2.6 Zusammenfassung – Auftragswahrscheinlichkeit

Die aus der vom Kunden gestellten Anfrage resultierende Auftragswahrscheinlichkeit wird von dem Status des Kunden sowie der von ihm gewählten Produktkonfiguration beeinflusst. Die wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit erfordert demzufolge als Eingangsinformationen sowohl die Verfügbarkeit von detaillierten Informationen über den potenziellen Käufer als auch die vollständige Erfassung der Merkmale und Ausprägungen des vom Kunden geforderten Produkts. Einen zusammenfassenden Überblick über das Vorgehen zur wissensbasierten Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit auf Basis der Anfragebewertung vermittelt die nachfolgende Abbildung 53.



Abbildung 53: Wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit auf Basis der Anfragebewertung

Die Berechnung der kundenspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_K$  basiert dabei auf der Unterteilung des Kundenspektrums in die beiden Gruppen der Bestandskunden und der Neukunden. In Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu einer der beiden Teilmengen kann auf Grundlage von vergangenheitsbezogenen Daten die Erhebung von  $AW_K$  vollzogen werden. Die Ermittlung der produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit  $AW_P$  erfolgt für das vom Kunden konfigurierte Produkt. Hierbei gilt es in Abhängigkeit davon, ob es sich um eine standardisierte oder eine individuelle Variante handelt, wiederum verschiedene Berechnungsvorschriften zu unterscheiden.

Zur Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit  $AW$  der Kundenanfrage werden die beiden Größen  $AW_K$  und  $AW_P$  über die Gewichtungsfaktoren  $G_K$  und  $G_P$  miteinander verrechnet. Somit steht abschließend die Auftragswahrscheinlichkeit als Eingangsgröße für die im nachfolgenden Abschnitt betrachtete simulationsbasierte Bestimmung der Kapazitätsauslastung zur Verfügung.

### **6.3 Simulationsbasierte Bestimmung des Produktliefertermins**

#### **6.3.1 Planungsablauf – Struktur und Prozesselemente**

Die Überprüfung der Realisierbarkeit des vom Kunden genannten Wunschliefertermins sowie die gegebenenfalls notwendige Bestimmung eines unter Berücksichtigung vorhandener unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen haltbaren und vom Wunschtermin abweichenden Liefertermins erfordert die zeitliche und kapazitive Einplanung der Kundenanfrage in das bereits bestehende Produktionsprogramm. Auf Basis der Analysen in Kapitel 4 hat sich hierfür eine kombinierte Vorgehensweise, bestehend aus einer Durchlauf- sowie einer Kapazitätsterminierung, als geeignete Lösungsstrategie erwiesen (Abbildung 54).

Für die Kapazitätsterminierung gilt hierbei die Annahme, dass die zur Verfügung stehende Produktionskapazität limitiert ist und somit die Kapazitätsabstimmung ausschließlich über einen Kapazitätsabgleich, d. h. die für eine Periode einzuplanenden Arbeitsvorgänge werden bei einer zu geringen verfügbaren Ressourcenkapazität in eine andere Periode verschoben, umgesetzt werden kann. Die Kapazitätsanpassung durch Überstunden oder die Fremdvergabe von Arbeiten finden dem entsprechend in der vorliegenden Arbeit keine Berücksichtigung.

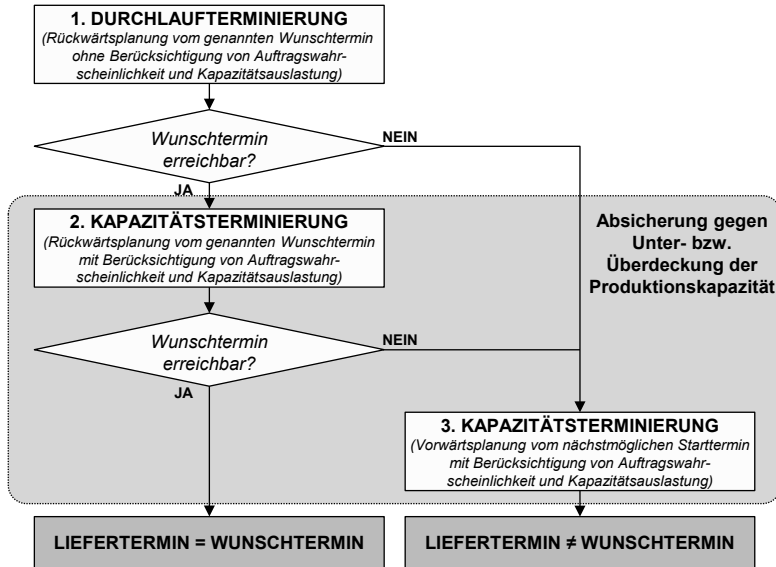


Abbildung 54: Ablauflogik der Termin- und Kapazitätsplanung

Der erste Planungsschritt umfasst eine Durchlaufterminierung, die ohne Berücksichtigung von Auftragswahrscheinlichkeit und Kapazitätsauslastung in Form einer Rückwärtsterminierung ausgehend vom Wunschliefertermin des Kunden durchzuführen ist. Liegt der sich ergebende Starttermin innerhalb des festgelegten Planungszeitraums, ist der Kundenwunschtermin theoretisch erfüllbar und die Terminbestimmung kann mit dem zweiten Planungsschritt fortgeführt werden. Ist hingegen die Einhaltung des Wunschtermins nicht möglich, d. h. liegt der sich ergebende erforderliche Produktionsstarttermin zeitlich vor dem betrachteten Planungszeitraum, kann das Unternehmen die gestellte Anforderung aufgrund der vorhandenen produktionstechnischen Restriktionen nicht erfüllen. Somit ist bereits aufgrund der theoretischen Einplanung ohne Berücksichtigung von Auftragswahrscheinlichkeit und Kapazitätsauslastung die Einhaltung des Kundenwunschtermins nicht realisierbar. In diesem Fall ist der Prozess der Termin- und Kapazitätsplanung mit dem dritten Planungsschritt fortzuführen.

Bei den beiden Planungsschritten 2 und 3 handelt es sich jeweils um eine Kapazitätssterminierung, die unter Berücksichtigung von Auftragswahrscheinlichkeit und Kapazitätsauslastung durchgeführt wird. Der zweite Planungsschritt beschreibt dabei eine vom Kundenwunschtermin ausgehende rückwärts gerichtete Kapazi-



tätsterminierung. Liegt der berechnete Produktionsstart innerhalb des betrachteten Planungszeitraums, kann der Wunschtermin des Kunden als Liefertermin direkt bestätigt werden. Falls der sich aus der Kapazitätsterminierung ergebende Starttermin vor diesem Zeitraum liegt, ist die Ausführung des dritten Planungsschritts erforderlich. Der dritte Planungsschritt stellt eine vorwärts gerichtete Kapazitätsterminierung ausgehend vom nächstmöglichen Starttermin dar. Nach der Ausführung dieses Prozesses steht der an den Kunden kommunizierbare Liefertermin fest.

Eine detaillierte Betrachtung der Prozessschritte ist Gegenstand der Abschnitte 6.3.2 und 6.3.3. Sowohl die Strategie zum Schutz vor einer Kapazitätsunterdeckung als auch das Vorgehen zur Reduktion der Gefahr einer Kapazitätsüberdeckung sind hierbei impliziter Bestandteil der Prozesse der Kapazitätsterminierung. Aufgrund ihrer zentralen Bedeutung im Rahmen des Terminierungsprozesses werden die jeweils zugrundeliegenden Methoden in den nachfolgenden Ausführungen in zwei eigenständigen Punkten diskutiert (Abschnitte 6.3.4 und 6.3.5).

### **6.3.2 Durchlaufterminierung – Prüfung des Wunschtermins**

#### **6.3.2.1 Vorbemerkung**

Die Überprüfung der theoretischen Erfüllbarkeit des Kundenwunsches stellt einen der eigentlichen Berechnung des Liefertermins vorgelagerten unabhängigen Prozess dar. Sie ist jedoch zwingend erforderlich, um den vom Kunden geäußerten Wunschtermin unter Berücksichtigung der im Unternehmen vorhandenen Produktionsumgebung auf seine prinzipielle Erfüllbarkeit hin zu überprüfen. Das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Vorgehen zur Umsetzung der Durchlaufterminierung basiert dabei auf dem bereits in Kapitel 4 vorgestellten Konzept der Netzplantechnik. Da allerdings nicht die Ermittlung der Pufferzeit, sondern die alleinige Überprüfung der theoretischen Erfüllbarkeit des Kundenwunschtermins im Fokus der Untersuchung steht, ist die innerhalb der Durchlaufterminierung häufig verwendete zweifache Terminierung, d. h. die Kombination von Vorwärts- und Rückwärtsterminierung, von untergeordneter Bedeutung. Somit umfasst die vorgeschlagene Methodik lediglich eine Rückwärtsterminierung ausgehend vom Kundenwunschtermin. Entsprechend dem Verbreitungsgrad der unterschiedlichen Methoden in der industriellen Praxis wird ein Vorgangsknoten-Netzplan (VKN) zur Visualisierung des Prozessablaufs verwendet.

Zur Durchführung der Durchlaufterminierung sowie der anschließenden Terminüberprüfung werden im Wesentlichen die nachfolgend aufgeführten Eingangsgrößen benötigt:

- Arbeitsplan mit Informationen zur zeitlichen Dauer sowie der Abhängigkeitsbeziehungen der verschiedenen Arbeitsvorgänge
- Übergangszeitenmatrix mit Informationen zum Zeitbedarf für den ablaufbedingten Wechsel der Bearbeitungsstation
- Betriebskalender mit Informationen zu den kalendarischen Arbeitstagen und den geplanten Arbeitsschichten

### 6.3.2.2 Prozessbeschreibung

Die Erstellung des Netzplans für das vom potenziellen Kunden konfigurierte Produkt erfordert sowohl die Kenntnisse hinsichtlich der Durchlaufzeit der einzelnen Arbeitsvorgänge als auch die Informationen bezüglich deren logischer Abfolge. Die Berechnung der Durchlaufzeiten wird hierzu entsprechend dem in Kapitel 4 erläuterten allgemeingültigen Vorgehen auf Basis der im Arbeitsplan und in der Übergangszeitenmatrix enthaltenen Zeitangaben durchgeführt. Die Abfolge der Arbeitsvorgänge kann ebenfalls aus dem Arbeitsplan abgeleitet werden. Liegen beide Informationsquellen vor, sind die Vorrangbeziehungen sowie die Durchlaufzeit in einer tabellarischen Vorgangsliste je Arbeitsvorgang zu hinterlegen. Eine mögliche beispielhafte Darstellung der Vorgangsliste zeigt die Abbildung 55.

Nr.	Prozessbeschreibung	Vorgänger	Nachfolger	Dauer
01	Sägen auf 200 mm	START	2,3	15
...	...	...	...	...
08	Oberfläche polieren	2,7	ENDE	90

Abbildung 55: Vorgangsliste als Grundlage zur Generierung des Netzplans

Auf Basis der Vorgangsliste wird der Netzplan abgeleitet. Die verschiedenen Arbeitsgänge werden dabei als Kästchen grafisch visualisiert. Diese als Knoten bezeichneten Elemente beinhalten die Vorgangsnummer sowie die Vorgangsdauer. Die Verbindungspfeile zwischen den Knoten stellen hierbei die produktionstechnischen und zeitlichen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den einzelnen Teilschritten der Bearbeitung dar. Sie werden in der Graphentheorie als Kanten

bezeichnet. Der sich auf Grundlage der in Abbildung 55 skizzierten Vorgangsliste ergebende Netzplan ist in Abbildung 56 dargestellt.

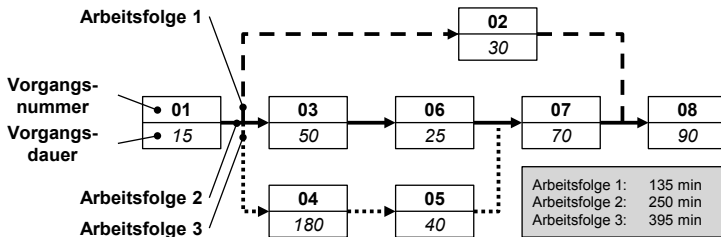


Abbildung 56: Vorgangsknoten-Netzplan – beispielhafte Darstellung

Anhand des ausgearbeiteten Netzplans wird die theoretische Durchlaufzeit der Anfrage bzw. des potenziellen Auftrags bestimmt. Der erforderliche Zeitbedarf ergibt sich dabei im einfachsten Fall aus der Summe der Vorgangsdauern der aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte. Diese Berechnungsvorschrift gilt allerdings nur, wenn eine reine lineare Abfolge der durchzuführenden Arbeitsschritte vorliegt. Treten parallel ausführbare Vorgänge auf, wie im vorliegenden Fall in Abbildung 56 dargestellt, muss für die Bestimmung der Durchlaufzeit die Vorgangskette mit dem größten Zeitbedarf ermittelt werden. Aufgrund der Vernachlässigung eventuell vorhandener kapazitiver Restriktionen repräsentiert diese Vorgangsfolge den für die Produktion der Anfrage erforderlichen Zeitbedarf. Im aufgezeigten Beispiel handelt es sich dabei um die Arbeitsfolge 3.

Die zur Realisierung der Anfrage ermittelte Durchlaufzeit beschreibt jedoch lediglich den theoretischen Zeitbedarf für die Produktion des Auftrags ohne Berücksichtigung der zeitlichen Restriktionen, die aus dem Betriebskalender oder der Schichtplanung resultierten. Um eine Aussage zur Erfüllbarkeit des Kundenwunsches zu erhalten, ist demzufolge ein weiterer Planungsschritt erforderlich. Auf Basis der Verknüpfung der theoretischen Durchlaufzeit mit den im Betriebskalender enthaltenen Angaben zu den Arbeitstagen sowie der Schichtplanung erfolgt, ausgehend vom Kundenwuschtermin, eine Aufspaltung des berechneten Zeitbedarfs auf die kalendarisch zur Verfügung stehenden Zeitfenster. Erst im Anschluss an diesen Prozess liegt die Information vor, ob der vom potenziellen Käufer angegebene Wunschliefertermin theoretisch erreichbar ist.

### 6.3.2.3 Ergebnisinterpretation

Die nachfolgende Abbildung 57 zeigt schematisch die beiden möglichen Ergebnisse der Durchlaufterminierung (Fall A, Fall B). Die Erläuterung der Fallunterscheidung sowie eine Diskussion der resultierenden Konsequenzen für den Angebotsprozess sind im Nachgang zur Grafik zu finden.

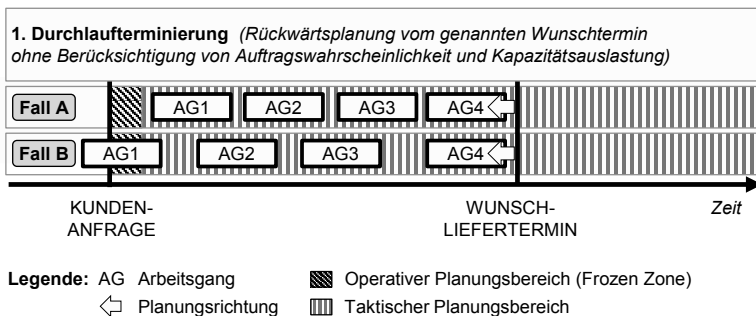


Abbildung 57: Überprüfung der Erfüllbarkeit des Wunschtermins mit Hilfe der Durchlaufterminierung (Gesamtprozess siehe Abbildung 54)

Im Fall A liegt nach der Durchführung der vom kommunizierten Wunschtermin ausgehenden rückwärts gerichteten Terminierung das Ergebnis vor, dass der berechnete Produktionsstarttermin im durch die Angebotsplanung beeinflussbaren taktischen Planungsbereich liegt. Dementsprechend ist aus der Sicht der Durchlaufterminierung der vom Kunden gewünschte Zieltermin erreichbar. Dieser Sachverhalt ist bei der anschließenden Kapazitätsterminierung zu berücksichtigen. Sollte diese abschließend zu dem Ergebnis führen, dass die Erreichbarkeit des vom Kunden vorgegebenen Wunschtermins nicht möglich sein wird, ist die in der Verantwortung des Unternehmens liegende Terminüberschreitung gegenüber dem Kunden durch entsprechende Kompensationsmaßnahmen, wie beispielsweise einen Preisnachlass im Angebot, zum Ausdruck zu bringen.

Im Fall B ist im Gegensatz zum bereits diskutierten Fall A die Erfüllbarkeit des Kundenwunschtermins bereits aufgrund der Ergebnisse der Durchlaufterminierung nicht gegeben, d. h. der berechnete erforderliche Starttermin liegt im operativen Planungsbereich oder sogar zeitlich vor dem Termin, an dem die Kundenanfrage gestellt wurde. Das Unternehmen kann dementsprechend die Anforderungen mit den vorhandenen Produktionsressourcen in keinem Fall erfüllen. Die sich im Rahmen der nachfolgenden Kapazitätsterminierung zwangsweise erge-

bende zeitliche Diskrepanz zwischen dem Kundenwunschtermin und dem realisierbaren Liefertermin liegt somit in der a priori unrealistischen Anforderung des Kunden begründet und hat dementsprechend keine Auswirkungen auf das zu übermittelnde Angebot.

### 6.3.3 Kapazitätsterminierung – Einplanung der Anfrage

#### 6.3.3.1 Vorbemerkung

Die Kapazitätsterminierung stellt einen komplexen Prozess dar, der als Eingangsinformation die in den vorangegangenen Abschnitten hergeleiteten Teilergebnisse erfordert. Diese gilt es nun bei der Durchführung der einzelnen Planungsschritte der Kapazitätsterminierung sukzessive miteinander zu verknüpfen. Einen zusammenfassenden Überblick der verschiedenen Informationsquellen der Kapazitätsterminierung vermittelt die nachfolgende Abbildung 58.

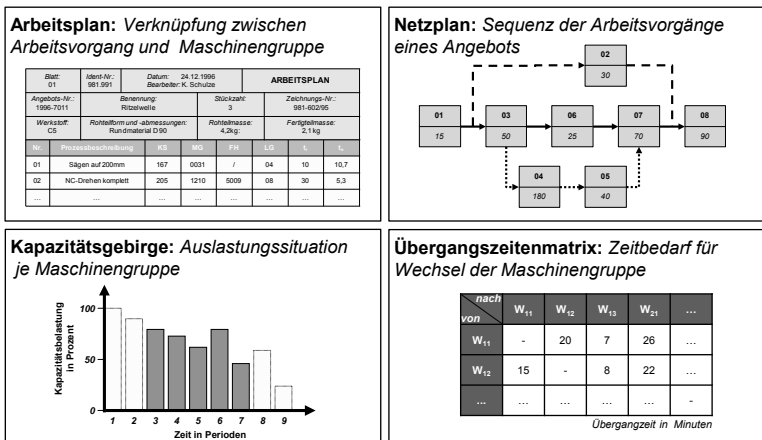


Abbildung 58: Informationsquellen für die Kapazitätsterminierung

Neben den bereits vorliegenden Daten erfordert die Kapazitätsterminierung als weitere Eingangsgröße die Angabe des je Arbeitsvorgang zu berücksichtigenden Produktionskapazitätsbedarfs. Dieser wird zwar im Arbeitsplan explizit aufgeführt, er kann aber aufgrund der bereits in Kapitel 5 erläuterten Notwendigkeit, die Auftragswahrscheinlichkeit bei der Terminplanung mit zu berücksichtigen, nicht direkt herangezogen werden. Den bisherigen Ausführungen folgend ist

dementsprechend für die kapazitive Terminierung der Angebotskapazitätsbedarf, der sich aus der Multiplikation des Produktionskapazitätsbedarfs mit der ermittelten Auftragswahrscheinlichkeit ergibt, zu nutzen:

$$K_A \text{Bedarf}_{AG} = AW \cdot K_P \text{Bedarf}_{AG} \quad (17)$$

*AW* Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage  
*K<sub>A</sub>Bedarf<sub>AG</sub>* Angebotskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs  
*K<sub>P</sub>Bedarf<sub>AG</sub>* Produktionskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs

Der Angebotskapazitätsbedarf  $K_A \text{Bedarf}_{AG}$  bildet hierbei sowohl bei der rückwärtsgerichteten als auch bei der vorwärtsgerichteten Kapazitätsplanung die Berechnungsgrundlage zur Bestimmung des Produktliefertermins. Das grundsätzliche Vorgehen zur Umsetzung der Rückwärtsplanung sowie der gegebenenfalls erforderlichen Vorwärtsplanung wird in den nachfolgenden Ausführungen nochmals im Detail vorgestellt.

### 6.3.3.2 Rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung

Den Startpunkt der rückwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung (Abbildung 59) bildet die Identifikation des letzten zeitlich ungeplanten Arbeitsvorgangs. Sollte der Planungszyklus zum ersten Mal durchlaufen werden, handelt es sich hierbei um die den Fertigungs- bzw. Montageprozess abschließende Tätigkeit. Diese kann anhand der im Netzplan abgebildeten zeitlichen Abfolge der einzelnen Arbeitsvorgänge identifiziert werden. Anhand der Angaben aus dem Arbeitsplan sowie der Kenntnis hinsichtlich der Auftragswahrscheinlichkeit ist die Berechnung des Angebotskapazitätsbedarfs des Arbeitsgangs anzustoßen. Anschließend gilt es, die Zuordnung des ausgewählten Bearbeitungsschritts zu der erforderlichen Produktionsressource herzustellen. Die entsprechende Information zum Planungsbereich bzw. zur Maschinengruppe kann hierfür ebenfalls aus dem vorliegenden Arbeitsplan entnommen werden. Sollte aufgrund des durchzuführenden Prozessschritts ein Wechsel des Planungsbereichs notwendig sein, so wird anhand der Übergangszeitenmatrix die erforderliche Transport- und Liegezeit bestimmt. Die hierbei ermittelte Zeitspanne ist bei der Einplanung des betrachteten Arbeitsgangs zu berücksichtigen, da sie den mindestens einzuhaltenden zeitlichen Versatz zum vorgelagerten Arbeitsgang repräsentiert. Auf Basis des Belastungsdiagramms der betreffenden Maschinengruppe kann daraufhin die Einplanung des Arbeitsvorgangs durchgeführt werden. Es gilt dabei den zur Produktion des vom Kunden gewünschten Produkts erforderlichen Bearbeitungsschritt

in die noch freie Restkapazität des Planungsbereichs unter Beachtung der Methode zur Absicherung gegen eine Kapazitätsunterdeckung einzulasten.

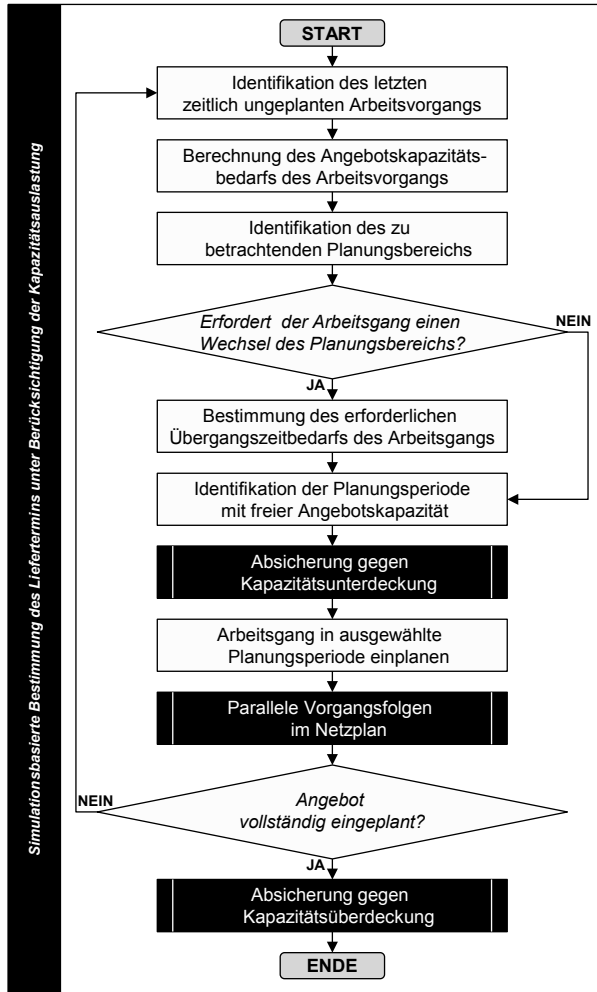


Abbildung 59: Vorgehen der rückwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung

Im Anschluss an die kapazitive Einplanung des Arbeitsvorgangs muss überprüft werden, ob sich unmittelbar vor diesem eine Verzweigung und somit der Beginn einer parallelen Vorgangsfolge befindet. Ist dies der Fall, gilt es zu klären, in-

wieweit der Pfad bzw. die parallelen Pfade bereits eingeplant wurden. Sollten ungeplante Verzweigungen vorhanden sein, ist die Einplanung vom letzten Arbeitsgang der Verzweigung über alle auf dem Ast befindlichen Arbeitsschritte durchzuführen. Dieses Vorgehen ist für alle parallelen Pfade zu wiederholen. Anschließend kann die rückwärts gerichtete Kapazitätsterminierung auf der Kette der Einzelvorgänge, die in Summe die längste Gesamtbearbeitungsdauer aufweist, bis zur nächsten Verzweigung durchgeführt werden. Unter Berücksichtigung dieser Planungsprämisse ist das erläuterte Vorgehen zu wiederholen, bis alle im Netzplan abgebildeten Arbeitsvorgänge mit ihrem jeweiligen Angebotskapazitätsbedarf auf den verschiedenen Ressourcen zeitlich aufeinanderfolgend eingeplant sind. Der grundsätzliche Ablauf ist in Abbildung 60 nochmals zusammenfassend dargestellt.

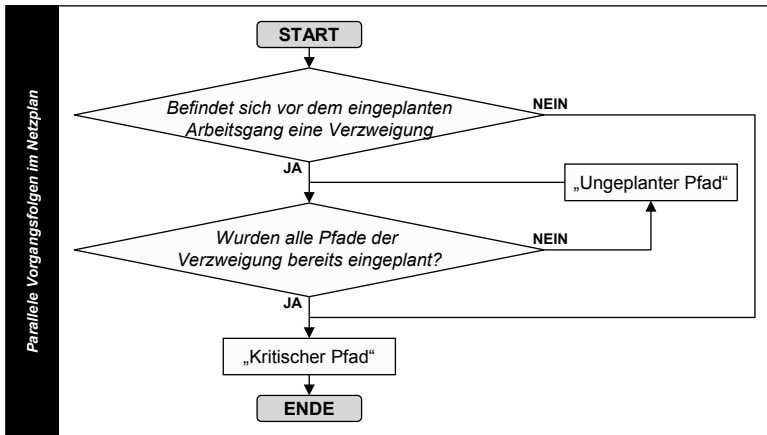


Abbildung 60: Planung der parallelen Vorgangfolgen im Netzplan

Ist die Kundenanfrage vollständig eingeplant, ergibt sich auf Basis der zum Zeitpunkt der Einplanung vorliegenden Kapazitätssituation der frühestmögliche Produktionsstarttermin. Liegt dieser innerhalb des taktischen Planungszeitraums, kann der Kundenwunschtermin direkt als Liefertermin bestätigt werden (Fall C). Sollte der berechnete Produktionsstarttermin allerdings zeitlich vor dem durch die Angebotsplanung beeinflussbaren taktischen Planungsbereich liegen (Fall D), ist zur Bestimmung des Liefertermins die Durchführung einer vorwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung erforderlich (Abbildung 61).



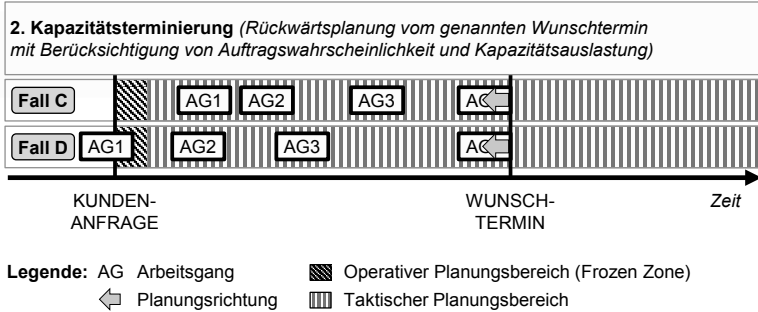


Abbildung 61: Rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung ausgehend vom Kundenwunschtermin (Gesamtprozess siehe Abbildung 54)

### 6.3.3.3 Vorwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung

Die vorwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung ist sowohl im Anschluss an die Durchlaufterminierung als auch an die rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung durchzuführen, wenn die Einhaltung des Kundenwunschtermins auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse nicht möglich ist (Fall B, Fall D).

Es gilt hierbei, ausgehend von dem von Seiten des Unternehmens frühestmöglichen Produktionsstarttermin, einen unter den gegebenen Rahmenbedingungen belastbaren Planliefertermin zu bestimmen. Das Vorgehen orientiert sich hierbei an dem bereits vorgestellten Konzept der Rückwärtsplanung vom angegebenen Kundenwunschliefertermin. Lediglich die zu verfolgende Planungsrichtung ändert sich von einer rückwärtsgerichteten auf eine vorwärtsgerichtete Betrachtung (Abbildung 62).

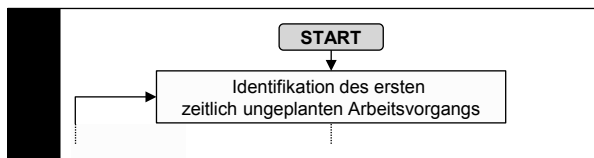


Abbildung 62: Vorgehen der vorwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung – Ausschnitt (weitere Prozessschritte entsprechen der rückwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung in Abbildung 59)



Die rückwärtsgerichtete Kapazitätsterminierung liefert die Aussage hinsichtlich der Umsetzbarkeit des Wunschtermins. Ist dieser unter Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen realisierbar, sind die den jeweils erforderlichen Ressourcen zugeordneten Kapazitätsbedarfe des betrachteten Angebots verbindlich einzuplanen und der Wunschliefertermin gegenüber dem Kunden zu bestätigen. Ist allerdings der Kundenwunschtermin aufgrund der bestehenden zeitlichen und kapazitiven Restriktionen nicht haltbar, muss mittels der nachgelagerten vorwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung ein abweichender Plantermin für die Lieferung bestimmt werden. Aufgrund der Annahme, dass die Einhaltung des Wunschtermins einen entscheidenden Beitrag zur Auftragserteilung leistet, ist dem Kunden im Falle einer Nichteinhaltung des von ihm kommunizierten Wunschliefertermins unter Umständen ein alternativer Kaufanreiz zu gewähren. Hierbei kann es sich beispielsweise um finanzielle Vergünstigungen oder zusätzliche produktbegleitende Serviceleistungen handeln. Dieser Fall tritt allerdings nur ein, wenn die Überschreitung des Wunschtermins aus der Kapazitätssituation resultiert und somit von Seiten des Unternehmens zu verantworten ist.

Die Kapazitätsterminierung kann dementsprechend sowohl mit dem Ergebnis der Bestätigung des vom Kunden übermittelten Wunschliefertermins als auch der begründeten Ablehnung des Terminvorschlags und der Generierung eines alternativen Planliefertermins abgeschlossen werden.

### **6.3.4 Absicherung gegen Kapazitätsunterdeckung**

#### **6.3.4.1 Fokus der Analyse**

Die kapazitive Einplanung der um die Auftragswahrscheinlichkeit reduzierten Ressourcenbedarfe in den betrachteten Planungsbereich erfolgt bis zur theoretischen Auslastungsgrenze von 100 %. Hierdurch findet eine Überbuchung statt, da die real erforderlichen Kapazitäten der betrachteten Anfragen um ein Vielfaches höher sind als die veranschlagten Planungswerte. Um die hiermit verbundene Gefahr einer auftretenden Kapazitätsunterdeckung, d. h. der notwendige Kapazitätsbedarf zur Bearbeitung der eingeplanten Aufträge ist größer als die in Realität zur Verfügung stehende Produktionskapazität, möglichst gering zu halten, ist eine geeignete Strategie für die Planung der Kapazitätsbedarfe der Anfragen zu definieren. Es gilt hierbei die Fragestellung zu klären, ob die theoretisch noch verfügbare freie Kapazität der ausgewählten Planungsperiode zur Einpla-

nung eines Arbeitsgangs des Angebots genutzt werden kann oder ob auf einen alternativen Zeitbereich auszuweichen ist (Abbildung 65).

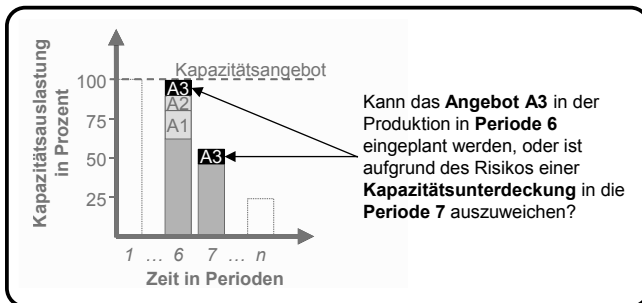


Abbildung 65: Risikobetrachtung bei Einplanung eines zusätzlichen Angebots

Es ist somit vor der Einplanung einer Anfrage, unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Kapazitätsbelegung der Ressource, die Abschätzung zu treffen, mit welcher Wahrscheinlichkeit aufgrund der Annahme oder der Ablehnung des Angebots durch den Kunden in der nachfolgenden Produktionsphase eine Kapazitätsunterdeckung auftritt. Überschreitet diese Wahrscheinlichkeit einen vom Unternehmen zu definierenden Grenzwert, ist das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung zu hoch und die Einplanung kann trotz vorhandener freier Kapazität nicht in der betreffenden Periode durchgeführt werden. In Abhängigkeit davon, ob es sich um eine vorwärtsgerichtete oder um eine rückwärtsgerichtete Planung handelt, ist dementsprechend auf die nächstmögliche Planungsperiode mit ausreichend freien Kapazitäten auszuweichen. Die Wahrscheinlichkeit der Überlastung der Ressourcen wird für diesen Bereich anschließend erneut überprüft. Das erläuterte Vorgehen ist für alle zur Produktion des geforderten Produkts notwendigen Teilprozesse entsprechend anzuwenden.

### 6.3.4.2 Vorbereitung der Analyse

#### Erläuterungen zur Simulation

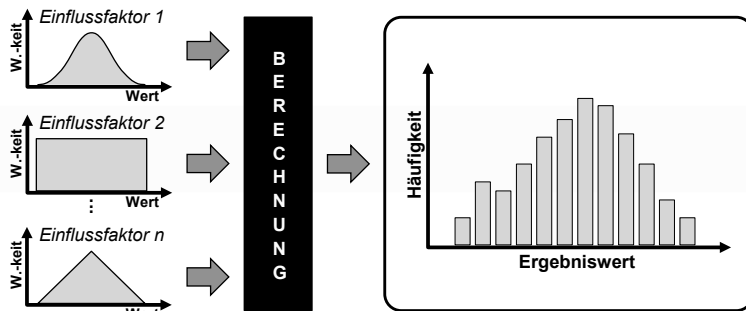
Die Umsetzung des beschriebenen Konzepts zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit der Kapazitätsunterdeckung bei der Einplanung einer Kundenanfrage kann mittels einer Monte-Carlo-Simulation erfolgen. Hierbei handelt es sich um eine Simulationsmethode zur Analyse und Quantifizierung des Verhal-

tens stochastischer Systeme auf der Basis von Stichprobenexperimenten mit künstlich generierten Zufallszahlen (DOMSCHKE & DREXL 2007).

Die mathematische Grundlage des Verfahrens bildet das Gesetz der großen Zahlen. Es besagt, dass die relative Häufigkeit eines Zufallsergebnisses sich im Allgemeinen der Wahrscheinlichkeit dieses Zufallsergebnisses annähert, wenn das zugrundeliegende Experiment unter den gleichen Voraussetzungen oft genug wiederholt durchgeführt wird (COTTIN & DÖHLER 2009). Die praktische Anwendung dieser Gesetzmäßigkeit im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation erfolgt durch die Generierung alternativer Zukunftsszenarien, die sich aus der Kombination der zu betrachtenden Einflussgrößen ergeben.

Der zulässige Wertebereich der verschiedenen Parameter ist hierbei jeweils anhand der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion spezifiziert. Sie bilden die Information ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit die verschiedenen Ausprägungen der Einflussparameter im zulässigen Wertebereich der betrachteten Größe eintreten. Zur Durchführung eines Simulationslaufs wird für jeden Einflussparameter ein zufälliger Wert der jeweiligen Dichtefunktion vom System ermittelt. Die anschließende Ableitung der gesuchten Ergebnisgröße erfolgt durch die Kombination der verschiedenen Einflussgrößen auf Basis der im Rechenmodell hinterlegten Berechnungsvorschrift.

Aufgrund der zufällig gezogenen Ausgangswerte sowie der wiederholten Durchführung der Simulation ergibt sich für die Zielgröße eine relative Häufigkeitsverteilung (STELAND 2010). Diese kann laut KREBS (2012) als Histogramm visualisiert werden, welches sich bei einer unendlich großen Anzahl an Ziehungen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung annähert. Das grundlegende Prinzip der Monte-Carlo-Simulation ist in Abbildung 66 nochmals schematisch skizziert.



**Legende:** W.-keit Wahrscheinlichkeit

Abbildung 66: Prinzip der Monte-Carlo-Simulation (vgl. SCHELLMANN 2012)

Als Hilfsmittel zur Umsetzung der Monte-Carlo-Simulation wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit die tabellenbasierte Softwarelösung Crystal Ball der Oracle Corporation genutzt. Diese stellt verschiedene Optimierungs- und Berechnungsfunktionen zur Verfügung, mittels derer die zukünftige Auslastung der Ressourcen auf Basis des geplanten Produktionsprogramms simuliert werden kann.

### Erläuterungen zur Datenbasis

Zur Gewinnung der für die Monte-Carlo-Simulation erforderlichen Daten kann auf die in den vorangegangenen Planungsschritten generierten Unterlagen zurückgegriffen werden. Bei den benötigten Informationen handelt es sich um die Angaben bezüglich der Zusammensetzung des geplanten Produktionsprogramms sowie des hieraus resultierenden Kapazitätsbedarfs. Aufgrund der Anwendung der als Erweiterung von Microsoft Excel konzipierten Software Crystal Ball ist es allerdings erforderlich, die gesammelten Informationen je Planungsbereich und Planungsperiode in tabellarischer Form aufzubereiten. Im Tabellenkopf sind dabei die Angaben zum zu analysierenden Planungsbereich, zur Planungsperiode sowie zu der verfügbaren Angebotskapazität aufgeführt. Der Tabelleninhalt umfasst die im Verlauf der Angebotsbearbeitung auf Basis der eingegangenen Kundenanfragen ermittelten Detailinformationen der Arbeitsvorgänge. In Abbildung 67 ist der grundsätzliche Aufbau der Tabelle beispielhaft dargestellt.

PLANUNGSBEREICH:		M4711				
PLANUNGSPERIODE:		1				
ANGEBOTSKAPAZITÄT [min]:		240				
A	B	C	D	E	F	G
A-Nr.	AW	AG-Nr.	$K_P\text{Bedarf}_{AG}$ [min]	$K_A\text{Bedarf}_{AG}$ [min]	$K_A\text{Bedarf}$ [min]	Restkapazität [min]
A001	0,10	A001AG010	30	3,00	3,00	237,00
...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 67: Basisinformationen für die Monte-Carlo-Simulation

Die als Bezugsgröße dienende Angabe der für die Angebotsplanung grundsätzlich verfügbaren Produktionskapazität ist in der Planungstabelle exemplarisch mit 240 min angegeben. Sie berechnet sich aus der Differenz zwischen dem Kapazitätsbedarf der bereits fest verbuchten Arbeitsgänge der Aufträge sowie der theoretisch vorhandenen Gesamtkapazität der zu einem Planungsbereich zusammengefassten Produktionsressourcen. Da sich die verfügbare Angebotskapazität in Abhängigkeit der Kundenrückmeldungen in Bezug auf die Annahme oder die Ablehnung der noch offenen Angebote über die Zeit verändert, ist ihr Wert jeweils vor der Einplanung eines neuen Arbeitsgangs zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren.

Die Zeilen der Planungstabelle repräsentieren die dem Planungs- bzw. Kapazitätsbereich zugeordneten Arbeitsvorgänge der bereits eingeplanten noch offenen Angebote. Zur Erläuterung des grundsätzlichen Vorgehens ist für die nachfolgenden Ausführungen die Annahme getroffen, dass je Angebot maximal nur ein Arbeitsgang in dem zu betrachtenden Kapazitätsbereich eingeplant wird. Somit entspricht im Kontext der vorliegenden Arbeit die kapazitive Einplanung eines Arbeitsvorgangs der Einplanung eines Angebots in einen Planungsbereich. Die Zusammensetzung der aufgelisteten Arbeitsgänge ist dabei bei Eingang einer Rückmeldung vom Kunden kontinuierlich auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen, d. h. mit dem bestätigten bzw. abgelehnten Angebot verbundene Arbeitsgänge sind aus der Planungstabelle zu entfernen.

Die Spalten der Planungstabelle bilden hingegen die zur Durchführung der Berechnung erforderlichen Detailinformationen der betrachteten Arbeitsvorgänge ab. Der hierbei von den Spalten A bis G aufgespannte Werteraum umfasst je Arbeitsgang folgende Daten:

- **Spalte A (A-Nr.):** Angebotsnummer zur Kennzeichnung des Angebots über den Auftragsabwicklungsprozess hinweg
- **Spalte B (AW):** Auftragswahrscheinlichkeit bzw. Umwandlungsrate des Angebots auf Basis von kunden- und produktspezifischen Kenngrößen
- **Spalte C (AG-Nr.):** Arbeitsgangnummer zur Kennzeichnung der Arbeitsgänge eines Angebots über den Auftragsabwicklungsprozess hinweg
- **Spalte D ( $K_P\text{Bedarf}_{AG}$ ):** Produktionskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs entsprechend den Angaben im Arbeitsplan
- **Spalte E ( $K_A\text{Bedarf}_{AG}$ ):** Angebotskapazitätsbedarf des Arbeitsgangs als Produkt aus AW (Spalte B) und  $K_P\text{Bedarf}_{AG}$  (Spalte D)
- **Spalte F ( $K_A\text{Bedarf}$ ):** Gesamt-Angebotskapazitätsbedarf als Summe der eingeplanten Angebotskapazitätsbedarfe der Arbeitsgänge der Angebote ohne bestätigte Rückmeldung von Seiten der Kunden
- **Spalte G (Restkapazität):** Angebots-Restkapazität als Differenz zwischen der für die Planung verfügbaren Angebotskapazität sowie dem bereits eingeplanten Gesamt-Angebotskapazitätsbedarf

### 6.3.4.3 Durchführung der Analyse

Das Vorgehen zur Vermeidung einer Kapazitätsunterdeckung gliedert sich im Wesentlichen in drei Teilbereiche. Zunächst sind die erforderlichen Eingangsinformationen sowie die zugrundeliegenden Berechnungsvorschriften zu definieren. Daraufhin kann die Monte-Carlo-Simulation zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der prognostizierten Kapazitätsauslastung angestoßen werden. Abschließend gilt es, die Risikobewertung auf Basis der vorliegenden Häufigkeitsverteilung durchzuführen. Der zu durchlaufende Gesamtprozess ist in Abbildung 68 veranschaulicht und wird nachfolgend detailliert erläutert.



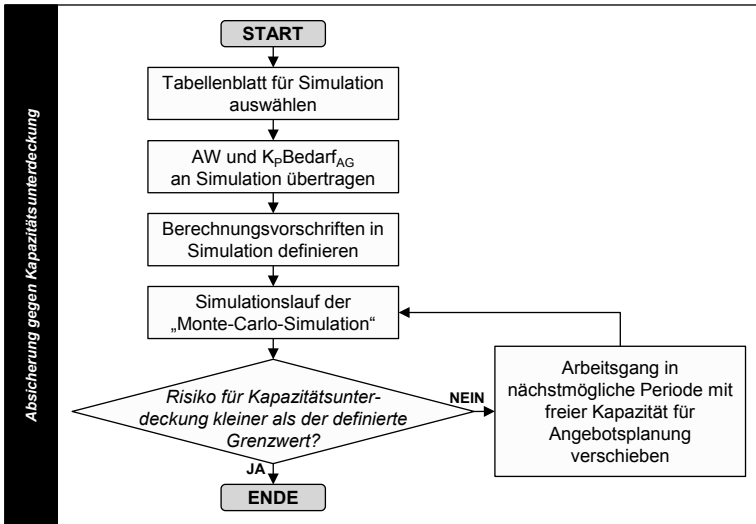


Abbildung 68: Angebotsterminierung mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation

Als Eingangsinformationen aus der Kapazitätsterminierung liegen sowohl der zu betrachtende Arbeitsgang und dessen zugeordneter Planungsbereich als auch die unter Berücksichtigung der Abfolge der Bearbeitungsschritte nächstmögliche Planungsperiode mit einer für die Angebotsplanung verfügbaren Restkapazität vor. Anhand dieser Daten wird das als Ausgangsbasis der Monte-Carlo-Simulation erforderliche Tabellenblatt mit den Angaben zur Zusammensetzung der bereits geplanten Auslastung des Kapazitätsbereichs ausgewählt. Anschließend sind die Werte der für die zu betrachtenden Arbeitsvorgänge ermittelten Auftragswahrscheinlichkeiten sowie der jeweilige Produktionskapazitätsbedarf  $K_p\text{Bedarf}_{AG}$  an das Simulationssystem zu übergeben.

Da als Reaktion des Kunden auf das Angebot unter den im Rahmen der Arbeit gültigen Randbedingungen lediglich eine Annahme oder eine Ablehnung erfolgen kann, handelt es sich bei den zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen um Ja / Nein- bzw. Bernoulli-Verteilungen. Entsprechend der mathematischen Definition der Verteilungsfunktion wird für jeden dem Produktionsbereich zugeordneten Arbeitsgang die Erfolgswahrscheinlichkeit  $p$  für den Fall der Annahme sowie die Ausfallwahrscheinlichkeit  $q$  für den Fall der Ablehnung im Simulationssystem hinterlegt. Die Erfolgswahrscheinlichkeit  $p$  des betrachteten Arbeitsgangs entspricht der Auftragswahrscheinlichkeit der übergeordneten

Kundenanfrage. Anhand der übermittelten Kennwerte kann die Ergebnisgröße der Monte-Carlo-Simulation berechnet werden (Abbildung 69). Im vorliegenden Anwendungsfall handelt es sich um den Gesamt-Angebotskapazitätsbedarf  $K_A$  Bedarf, welcher sich aus der Summe der einzelnen prognostizierten Kapazitätsbedarfe  $K_A$  Bedarf<sub>AG</sub> der eingeplanten Arbeitsgänge ergibt. Auf Basis der Verteilungsfunktion dieser Kenngröße kann nach Abschluss der Monte-Carlo-Simulation die Entscheidung bezüglich der zeitlichen Einplanung des Arbeitsgangs getroffen werden.

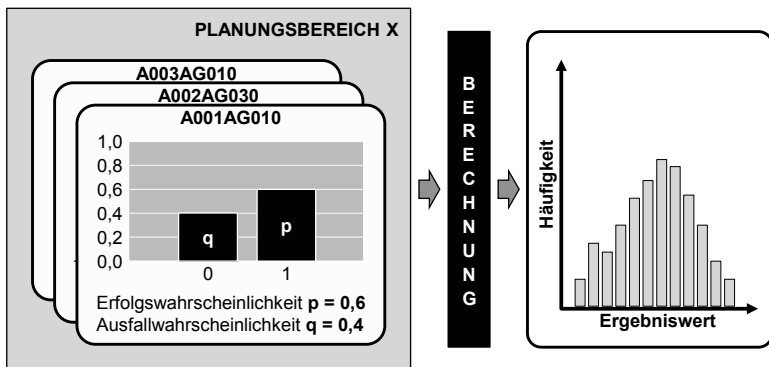


Abbildung 69: Wahrscheinlichkeitsfunktionen der einem Planungsbereich zugeordneten Arbeitsgänge

Sind die erforderlichen Größen an die Monte-Carlo-Simulation übergeben und ist die Berechnungsvorschrift definiert, kann die Analyse gestartet werden. Hierbei ist eine festgelegte Anzahl an Simulationsläufen<sup>7</sup> durchzuführen, wobei je Iteration zufallsbasiert je Arbeitsgang entweder die Erfolgswahrscheinlichkeit oder die Ausfallwahrscheinlichkeit zur Multiplikation mit dem Produktionskapazitätsbedarf ausgewählt und verrechnet wird. Da somit die Zusammensetzung des zur Herleitung des Gesamt-Angebotskapazitätsbedarfs herangezogenen Angebotsvolumens variiert, liegt nach Abschluss der Simulation das Ergebnis in Form einer als Histogramm visualisierten Wahrscheinlichkeitsverteilung der prognostizierten Kapazitätsauslastung vor. Auf Grundlage dieser Verteilung kann anschließend abgeleitet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit das für die Ressource geplan-

<sup>7</sup> Im Hinblick auf die Zahl alternativ zu bildender Szenarien ist ein Kompromiss zwischen der geforderten Ergebnisqualität sowie der Dauer der Berechnung zu suchen. In der Literatur ist als Maßgabe für die Anzahl an Ziehungen eine Größenordnung von 10.000 bis 100.000 zu finden (RIMPAU 2011).

te Produktionsprogramm in der vorliegenden Zusammenstellung zu einer Kapazitätsunterdeckung führt. Unterschreitet hierbei das berechnete Risiko einen vorgegebenen Grenzwert, der mit einem Wertebereich von 0 % bis 100 % als Maß für die Risikobereitschaft des Unternehmens in Bezug auf die Kapazitätsplanung gesehen werden kann, so ist der Arbeitsgang wie vorgesehen in den Produktionsbereich einzuplanen. Wird allerdings der Grenzwert aufgrund des neu hinzugefügten Arbeitsgangs überschritten, so ist eine zeitliche Verschiebung des betrachteten Prozessschritts in eine andere Planungsperiode notwendig. Für diesen Zeitabschnitt sind wiederum eine Monte-Carlo-Simulation sowie die nachgelagerte Grenzwertbetrachtung durchzuführen. Das erläuterte Vorgehen wird so lange wiederholt, bis der Arbeitsvorgang in einer Planungsperiode des Planungsreichs eingeplant werden konnte.

#### 6.3.4.4 Ergebnis der Analyse

Um das Potenzial der Monte-Carlo-Simulation innerhalb der Angebotsterminierung zu verdeutlichen, werden das klassische Vorgehen sowie das simulative Verfahren einander gegenübergestellt. Die vergleichende Betrachtung bezieht sich hierbei auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Kapazitätsunterdeckung bei Umsetzung des in Abhängigkeit des gewählten Verfahrens geplanten Produktionsprogramms. Die Grundlage der Untersuchung bildet die in Abbildung 70 dargestellte beispielhaft mit Daten angereicherte Planungstabelle.

PLANUNGSBEREICH:		M4711				
PLANUNGSPERIODE:		1				
ANGEBOTSKAPAZITÄT [min]:		240				
A	B	C	D	E	F	G
A-Nr.	AW	AG-Nr.	$K_p\text{Bedarf}_{AG}$ [min]	$K_A\text{Bedarf}_{AG}$ [min]	$K_A\text{Bedarf}$ [min]	Restkapazität [min]
A001	0,10	A001AG010	30	3,00	3,00	237,00
...	...	...	...	...	...	...
A009	0,35	A009AG020	46	16,1	175,97	64,03
A010	0,66	A010AG050	36	23,76	199,73	40,27
A011	0,78	A011AG030	23	17,94	217,67	22,33
A012	0,55	A012AG080	37	20,35	238,02	1,98
A013	0,24	A013AG065	43	10,32	248,34	-8,34

Abbildung 70: Basisinformationen für die Monte-Carlo-Simulation (Beispiel)

Beim klassischen Vorgehen ohne Nutzung der Monte-Carlo-Simulation erfolgt die Überprüfung, ob ein Arbeitsvorgang in einer bestimmten Planungsperiode noch berücksichtigt werden kann oder nicht, in der Regel lediglich anhand einer Betrachtung der vorhandenen Restkapazität (Spalte G). Steht diese in ausreichendem Umfang zur Verfügung und ergibt sich nach Einplanung des neu hinzuzufügenden Arbeitsgangs kein negativer Wert für diese Größe, kann die aktuell betrachtete Tätigkeit unmittelbar eingelastet werden. Bei Anwendung dieser Planungsprämisse sowie unter Beachtung der gegebenen Rahmenbedingungen ist dementsprechend im vorliegenden Beispiel die Einplanung bis einschließlich der Angebots-Nr. A012 realisierbar.

Die Monte-Carlo-Simulation hingegen umfasst eine detaillierte Untersuchung der für einen Planungsbereich eingeplanten Angebotskapazitätsbedarfe. Hierbei werden im Gegensatz zum Vorgehen bei der klassischen Planung die Abhängigkeiten zwischen den zu analysierenden Arbeitsvorgängen bei der Überprüfung der Kapazitätsverfügbarkeit mit berücksichtigt. Aufgrund der zufällig gezogenen Ausgangswerte sowie der wiederholten Durchführung der Simulationsläufe ergibt sich dabei, wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erläutert, für den Gesamt-Angebotskapazitätsbedarf eine als Histogramm visualisierte Häufigkeitsverteilung. Diese repräsentiert die voraussichtliche Kapazitätsbelastung des betrachteten Planungsbereichs und ermöglicht eine Aussage hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, inwieweit mit der geplanten Zusammenstellung der Arbeitsvorgänge ein definierter Grenzwert für das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung unter- bzw. überschritten wird. In Abhängigkeit dieses Grenzwerts, der im vorliegenden Beispiel mit 20 % vorgegeben ist, kann somit auf Basis der aus der Monte-Carlo-Simulation resultierenden Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Einplanung des betrachteten Prozessschritts entschieden werden (Abbildung 71).

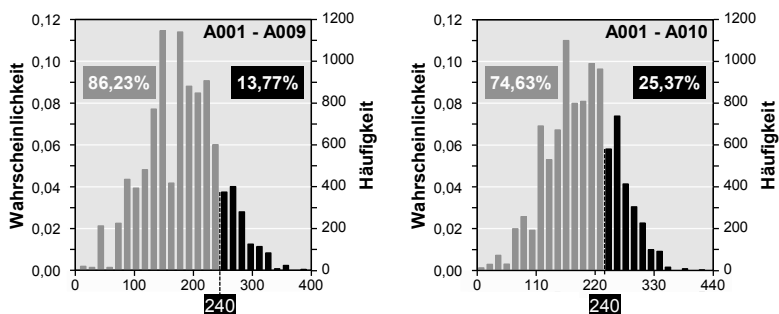


Abbildung 71: Simulationsergebnis bei unterschiedlichen Belastungssituationen

Im linken Teil der Grafik ist das aus einer Monte-Carlo-Simulation resultierende Histogramm der kapazitiven Einplanung der Angebote A001-A009 dargestellt. Auf Basis der vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung ergibt sich das Risiko für das Auftreten einer Kapazitätsunterdeckung mit 13,77 %. Im rechten Teil der Grafik ist das Histogramm einer Monte-Carlo-Simulation abgebildet, bei der zusätzlich das Angebot A010 in die Berechnung mit aufgenommen wurde. In Anbetracht des veränderten Kapazitätsbedarfs hat sich gegenüber der vorangegangenen Simulation das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung auf einen Wert von 25,37 % erhöht. Als Folge der Überschreitung des exemplarisch vorgegebenen Grenzwerts von 20 % ist aufgrund des erhöhten Risikos einer Kapazitätsunterdeckung von einer Einplanung des Angebots A010 trotz der vorhandenen freien Restkapazität abzusehen. Entsprechend dem Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation wird somit bereits nach der Einlastung von Angebot A009 die Einplanung in der betrachteten Planungsperiode abgebrochen.

Der Vergleich der Verfahren zeigt, dass bei Verwendung der klassischen Kapazitätsterminierung in der betrachteten Planungsperiode deutlich mehr Arbeitsvorgänge eingeplant werden als bei der Nutzung der Monte-Carlo-Simulation. Hierdurch ergibt sich zunächst eine höhere Auslastung der Produktionsressourcen. Da allerdings bei diesem Verfahren die Kapazitätsbedarfe bei der Berechnung des Gesamt-Angebotskapazitätsbedarfs lediglich als statische Werte eingehen, werden Abhängigkeitsbeziehungen, die aus der Kombination der verschiedenen Auftragswahrscheinlichkeiten resultieren, nicht berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit des Risikos einer Kapazitätsunterdeckung kann dementsprechend nicht ermittelt werden, wodurch das Ergebnis der Kapazitätsterminierung mit einer hohen Unsicherheit bezüglich des tatsächlich erforderlichen Ressourcenbedarfs der nachgelagerten Produktion behaftet ist.

Der erläuterte Sachverhalt wird anhand der Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer Kapazitätsunterdeckung bis einschließlich des Angebots A012 unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation deutlich. Zur Durchführung der Untersuchung wird hierbei sukzessive in aufeinanderfolgenden Schritten der eingeplante Angebotskapazitätsbedarf ausgehend vom Angebot A000 bis hin zum Angebot A012 erhöht. Das Risiko entwickelt sich hierbei wie in Abbildung 72 dargestellt und liegt unter Berücksichtigung der Kapazitätsbedarfe inklusive der Arbeitsumfänge des Angebots A012 bei einem hohen Wert von 47,88 %.

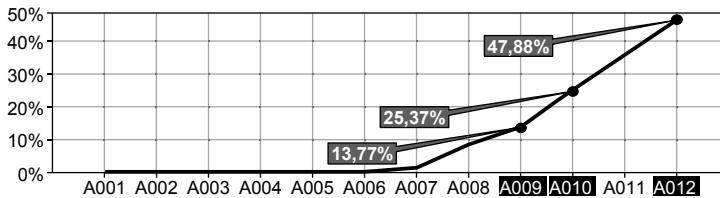


Abbildung 72: Risiko in Abhängigkeit der eingeplanten Angebote A001 bis A012

Durch die Verbindung von Monte-Carlo-Simulation und Kapazitätsplanung im Rahmen der Angebotsbearbeitung ist es aufgrund der Berücksichtigung des Risikos einer Kapazitätsunterdeckung möglich, bereits bei der Einplanung der Angebotskapazitätsbedarfe die Zielsetzung einer gleichmäßigen Auslastung der Produktionsressourcen zu verfolgen. Hierdurch kann ein wesentlicher Beitrag zur Vermeidung von Störungen und somit zur Absicherung der nachgelagerten Fertigungs- und Montagetätigkeiten geleistet werden.

### 6.3.5 Absicherung gegen Kapazitätsüberdeckung

#### 6.3.5.1 Vorbemerkung zur Angebotsgültigkeit

Das übergeordnete Ziel der Kapazitätsterminierung besteht in der Festlegung eines Produktionsprogramms, das eine geringe Durchlaufzeit der Aufträge bei einer gleichzeitig hohen Auslastung der Produktionskapazitäten erlaubt. Diese Anforderung gilt es bereits im Verlauf der Angebotsbearbeitung zu beachten und durch die Bereitstellung geeigneter Hilfsmittel zur Umsetzung einer Absicherung gegen eine Kapazitätsüberdeckung, d. h. der erforderliche Kapazitätsbedarf ist geringer als die zur Verfügung stehende Produktionskapazität, zu unterstützen.

Im Kontext der Angebotsterminierung wird hierzu für jede Kundenanfrage die Zeitspanne zwischen der Übergabe des Angebots an den Kunden sowie dem geplanten Produktionsstart unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden terminlichen Rahmenbedingungen bestimmt. Die maximale Ausprägung der hieraus resultierenden Angebotsgültigkeit wird aufgrund der Forderung nach einer geringen Kapazitätsüberdeckung durch einen vorgegebenen Grenzwert oder ein definiertes Datum limitiert. Aufgrund der restriktiven Festlegung dieser maximalen Angebotsgültigkeit kann der Anteil der durch die Kapazitätsbedarfe der Angebote gebundenen Produktionsressourcen reduziert werden.

### 6.3.5.2 Berechnung der Angebotsgültigkeit

In einem ersten Schritt ist die voraussichtliche Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Anfrageerfassung sowie dem Zeitpunkt des theoretischen Produktionsstarts zu berechnen. Diese wird in einem zweiten Schritt um den Zeitanteil der operativen Produktionsplanung sowie den Zeitbedarf eines zusätzlichen Planungspuffers, den es in Abhängigkeit des Produktspektrums sowie des Bestellverhaltens der Kunden zu definieren gilt, reduziert (Abbildung 73).

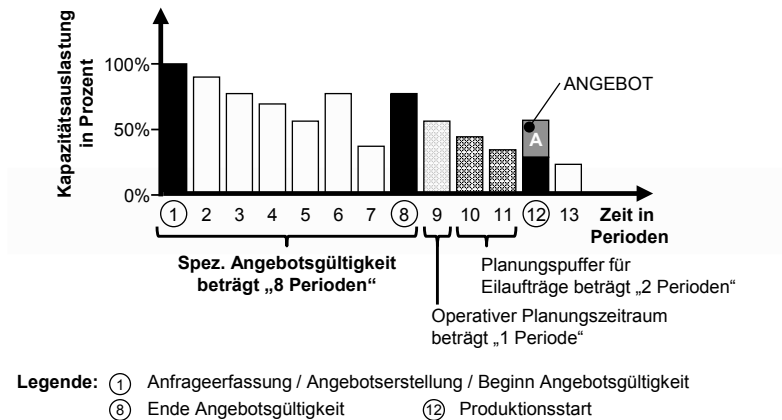


Abbildung 73: Ermittlung der spezifischen Angebotsgültigkeit

Die Berücksichtigung der operativen Produktionsplanung ist erforderlich, da innerhalb dieses Zeitraums von Seiten des Angebotsprozesses keine Änderungen am geplanten Produktionsprogramm mehr veranlasst werden können. Der Planungspuffer ist in die Betrachtung als Einflussgröße mit einzubeziehen, da durch diesen ein zusätzlicher Freiraum zur Einplanung von Eilaufträgen berücksichtigt wird und somit das Risiko einer möglichen Kapazitätsüberdeckung deutlich reduziert werden kann. In einem dritten und abschließenden Schritt ist zu überprüfen, ob die spezifische Angebotsgültigkeit ( $AG_{spez}$ ) kleiner / gleich oder größer als die vorab definierte maximale Angebotsgültigkeit ( $AG_{max}$ ) ist. In Abhängigkeit hiervon sind zwei verschiedene Vorgehensweisen zur Herleitung der für den Kunden relevanten Angebotsgültigkeit zu unterscheiden (Abbildung 74).

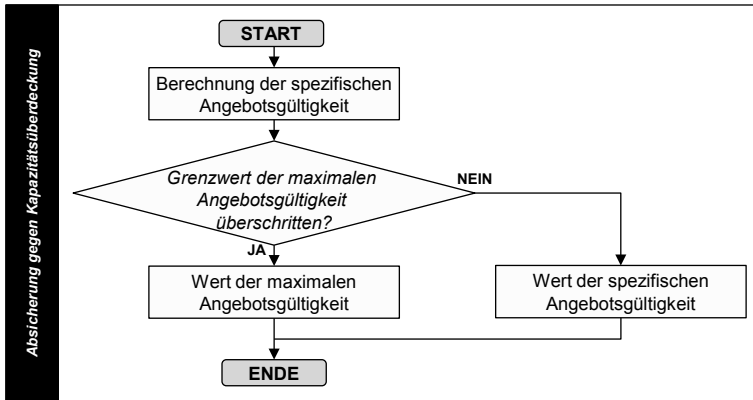


Abbildung 74: Ablauflogik zur Absicherung gegen eine Kapazitätsüberdeckung

**Spezifische Angebotsgültigkeit < Maximale Angebotsgültigkeit**

Im ersten Fall ist die berechnete Zeitspanne der spezifischen Angebotsgültigkeit kleiner als die vorgegebene maximale Gültigkeitsdauer, die im Beispiel exemplarisch mit sieben Perioden definiert ist. Dementsprechend kann der Termin, bis zu dem die Rückmeldung des Kunden bezüglich der Annahme oder Ablehnung des Angebots spätestens zu erfolgen hat, auf Basis der für das spezifische Angebot ermittelten Gültigkeitsdauer berechnet werden. Die Herleitung der spezifischen Angebotsgültigkeit ist anhand von Abbildung 75 visualisiert und wird nachfolgend erklärt.

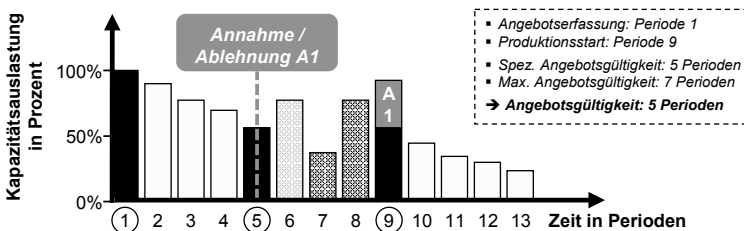


Abbildung 75: Bestimmung der Angebotsgültigkeit bei  $AG_{spez} < AG_{max}$

Die Anfrage A1 wird in Periode 1 vom Vertrieb erfasst. Die Einplanung in die Kapazitätsprofile der erforderlichen Ressourcengruppen ergibt unter der Prämisse der Einhaltung des vom Kunden geforderten Liefertermins als voraussichtlichen Produktionsstart die Periode 9. Aufgrund des beispielhaft festgelegten ope-



rativen Produktionsplanungszeitraums von einem Tag sowie des vorgegebenen Planungspuffers von zwei Tagen wird der Termin, bis zu dem vom Kunden eine Rückmeldung hinsichtlich der Annahme oder Ablehnung des Angebots erfolgen muss, auf die Periode 5 festgelegt. Die spezifische Angebotsgültigkeit beträgt somit fünf Perioden.

### Spezifische Angebotsgültigkeit > Maximale Angebotsgültigkeit

Im zweiten Fall ergibt sich ein potenzieller Produktionsstarttermin, der bei der anschließenden Berechnung der spezifischen Angebotsgültigkeit zu einem Wert führt, der größer ist als der von der maximalen Angebotsgültigkeit festgelegte Grenzwert es erlaubt. Um den Anteil der durch Planungsannahmen gebundenen Produktionskapazität zu reduzieren, wird in diesem Zusammenhang statt der ermittelten Angebotsgültigkeit der vorgegebene Wert der maximalen Gültigkeitsdauer übernommen. Der zweite Fall ist anhand der nachfolgenden Abbildung 76 noch einmal beispielhaft erläutert.

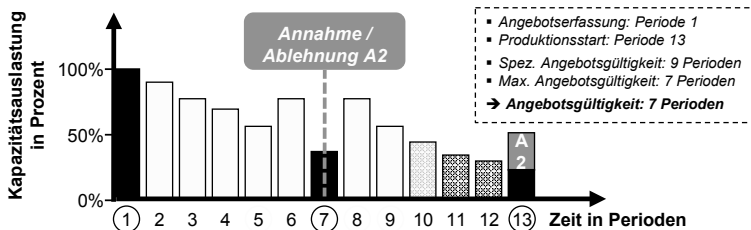


Abbildung 76: Bestimmung der Angebotsgültigkeit bei  $AG_{spez} > AG_{max}$

Die Anfrage A2 wird in Periode 1 an den Vertrieb gemeldet. Anhand der Kapazitätsbedarfe des Angebots resultiert aus der Berechnungslogik zur Bestimmung des Produktionsstarts die Periode 13. Die ermittelte spezifische Gültigkeitsdauer des Angebots ergibt sich anhand der Länge der Zeitspanne zwischen der Anfrageerfassung und dem geplanten Produktionsstart mit neun Perioden. Da es sich in diesem Fall um eine unzulässige Überschreitung der definierten maximal erlaubten Angebotsgültigkeit von sieben Perioden handelt, ist dem Kunden die Periode 7 als Ablauftermin der Rückmeldefrist für das an ihn übermittelte Angebot zu kommunizieren.

### 6.3.6 Zusammenfassung – Produktliefertermin

Die Bestimmung des Produktliefertermins basiert auf einem mehrstufigen Verfahren, das sich aus einer klassischen Durchlaufterminierung sowie einer nachfolgenden kombinierten rückwärts- und vorwärtsgerichteten Kapazitätsterminierung zusammensetzt. Zur Absicherung gegen eine zu hohe Unter- bzw. Überauslastung der betrachteten Produktionsressourcen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgeschlagen, den Prozessschritt der Kapazitätsterminierung um zwei entwickelte Verfahren zu ergänzen.

Die Durchlaufterminierung stellt einen vorgelagerten Prozess dar, der grundsätzliche Informationen hinsichtlich der theoretischen Erfüllbarkeit des vom Kunden gewünschten Liefertermins ohne Berücksichtigung der vorliegenden Kapazitätsauslastung der Ressourcen liefert. Hiervon abgeleitet ergeben sich verschiedene Vorgehensweisen zur Durchführung der Kapazitätsterminierung, die sich hinsichtlich der Anzahl an erforderlichen Planungsdurchläufen sowie der jeweils zu verfolgenden vorwärts- bzw. rückwärtsgerichteten Planungsrichtung unterscheiden. Das wesentliche Element der nachgelagerten Kapazitätsterminierung besteht dabei in der Verwendung des auf Grundlage der berechneten Auftragswahrscheinlichkeit reduzierten Angebotskapazitätsbedarfs zur Einplanung auf den Produktionsressourcen. Hierdurch kann die Unsicherheit bezüglich der Annahme bzw. Ablehnung des Angebots durch den Kunden bei der Planung der Kapazitätsbedarfe direkt mit berücksichtigt werden.

Eine Erweiterung der klassischen Prozessschritte der Kapazitätsterminierung stellt die Methode zur Absicherung gegen eine Kapazitätsunterdeckung dar. Der Betrachtungsfokus liegt hierbei auf der Reduktion des Risikos, dass die aufgrund der Nutzung der Auftragswahrscheinlichkeit durchgeführte Überbuchung der Produktionskapazitäten in der nachgelagerten Auftragsabwicklung zu einer Kapazitätsunterdeckung führt. In Abhängigkeit der Risikobereitschaft des Unternehmens wird hierbei ein spezifischer Grenzwert festgelegt, anhand dessen die maximale Wahrscheinlichkeit, mit der eine Kapazitätsunterdeckung eintreten darf, definiert ist. Die dem eigentlichen Prozess der Kapazitätsterminierung nachgelagerte Absicherung gegen eine Kapazitätsüberdeckung schließt die Aktivitäten zur Terminierung des Angebots ab. Das zentrale Element bildet hierbei die je Angebot spezifisch zu ermittelnde Angebotsgültigkeit, die in Abhängigkeit vom Zeitbedarf der operativen Produktionsplanung sowie des Zeitanteils eines zusätzlichen Planungspuffers unter Berücksichtigung einer maximal zulässigen Gültigkeitsdauer bestimmt wird. Der als Einflussgröße definierte Planungspuffer

übernimmt an dieser Stelle die Aufgabe, das Risiko einer Kapazitätsüberdeckung zu reduzieren, indem er Planungsfreiräume für kurzfristig eintreffende Anfragen absteckt.

Als Ergebnis der Kapazitätsterminierung liegen somit der in das formale Angebot zu übertragende und an den Kunden zu kommunizierende verbindliche Liefertermin sowie die Gültigkeitsdauer des Angebots vor.

## **6.4 Zwischenfazit**

Die Detaillierung der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung stand im Fokus der Ausführungen der vorangegangenen Abschnitte. Hierbei wurden im Detail die beiden zentralen Elemente des im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellten Prozesses zur Durchführung der Terminplanung, d. h. die wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit sowie die simulationsbasierte Bestimmung des Produktliefertermins, vorgestellt.

Die wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit umfasst Verfahren zur Abschätzung des zukünftigen Kaufverhaltens des Kunden. Durch die Berücksichtigung dieser Größe bei der Einplanung der Angebotskapazitätsbedarfe in die Belastungsdiagramme der Maschinengruppen wird die Unsicherheit, dass der Kunde das von ihm konfigurierte und angefragte Produkt nicht in einen Auftrag überführen wird, direkt mit abgebildet. Von zentraler Bedeutung sind hierbei die Qualität der Eingangsdaten sowie die kontinuierliche Aktualisierung der zugrundeliegenden Datenbasis. Die bei der Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit herangezogenen Einflussparameter können dabei sukzessive um weitere Faktoren, wie beispielsweise saisonale Effekte, ergänzt werden.

Bei der simulationsbasierten Bestimmung des Produktliefertermins handelt es sich um eine in der Angebotsbearbeitung angesiedelte Methode zur Unterstützung der Tätigkeiten der zeitlichen Einplanung der Kundenanfrage. Auf Basis einer Durchlaufterminierung sowie einer Kapazitätsterminierung, die um Verfahren der Absicherung gegen eine Unter- bzw. Überauslastung der Produktionsressourcen erweitert wurde, kann eine belastbare Aussage hinsichtlich des Produktliefertermins getroffen werden. Da die Planung zu diesem sehr frühen Zeitpunkt der Auftragsabwicklung allerdings noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, findet lediglich eine Grobplanung der Produktionsressourcen auf der Ebene von Maschinengruppen bzw. Produktionsbereichen statt. Die weitere Detaillie-

zung der Planungsdaten, d. h. die Aufspaltung der im Rahmen der Angebotsterminierung einem Planungsbereich zugeordneten Kapazitätsbedarfe auf die einzelnen Ressourcen, erfolgt unmittelbar vor der Herstellung des Produkts und ist somit nicht Bestandteil der vorgeschlagenen Methodik.

Die in den vorangegangenen Ausführungen bisher lediglich theoretisch hergeleitete und ausgearbeitete Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung wird im nachfolgenden Kapitel 7 anhand eines Beispielszenarios in ihrer Umsetzung beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung für die praktische Anwendung bewertet.

## **7 Umsetzung der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung**

### **7.1 Kapitelüberblick**

In den vorangegangenen Kapiteln wurden sowohl die Herleitung der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen erläutert als auch deren konkrete inhaltliche Ausgestaltung theoretisch diskutiert. Hierauf aufbauend wird in den nachfolgenden Abschnitten die praktische Anwendung der entwickelten Methodik anhand eines aus dem industriellen Umfeld abgeleiteten Fallbeispiels aufgezeigt.

Den Ausgangspunkt der Betrachtung bilden in Abschnitt 7.2 die Vorstellung des Beispielprodukts sowie die grundsätzliche Beschreibung des Ablaufs des Produktionsprozesses. Es handelt sich hierbei um ein Erzeugnis, das vom Kunden im Verlauf der Anfrageerfassung innerhalb vorgegebener Grenzen an seine Wünsche angepasst werden kann. Der spezifische Ressourcenbedarf ergibt sich demzufolge erst nach Abschluss der Produktkonfiguration in Abhängigkeit der gewählten Produktspezifikation. In Abschnitt 7.3 wird anschließend die praktische Umsetzung der Methodik detailliert erläutert. Auf Basis des bereits eingeführten Beispielszenarios wird hierzu die gesamte Wirkkette der Angebotsterminierung von der Ermittlung der Auftragswahrscheinlichkeit bis hin zur Ableitung des Produktliefertermins beleuchtet.

Den Kern des folgenden Abschnitts 7.4 bildet die Bewertung der entwickelten Methodik in Bezug auf die Erfüllung der in Kapitel 5 festgelegten spezifischen und allgemeinen Anforderungen. Hierbei wird sowohl eine qualitative Einschätzung als auch, so weit wie möglich, eine quantitative Aussage hinsichtlich des Erfüllungsgrads der Anforderungen getroffen. Die Ausführungen zur Umsetzung der Methodik werden in Abschnitt 7.5 durch ein vorläufiges Zwischenfazit abgeschlossen.

## 7.2 Vorstellung des Praxisbeispiels

### 7.2.1 Beschreibung der Produkteigenschaften

Das zur Veranschaulichung der entwickelten Methodik verwendete Praxisbeispiel basiert auf den im Forschungsprojekt MUSKIM<sup>8</sup> gewonnenen Erkenntnissen hinsichtlich der Umfänge der Auftragsabwicklung zur Planung und Ausführung der Produktion von Schaltschränken bei einem ausgewählten Hersteller. Diese werden in der Regel zum Schutz der im industriellen Umfeld verbauten elektrischen bzw. elektronischen Komponenten vor Verschmutzung oder Beschädigung eingesetzt. Um die gestellten Anforderungen in ausreichendem Umfang erfüllen zu können, setzt sich der Schaltschrank aus mindestens drei zwingend erforderlichen Hauptbaugruppen zusammen. Hierbei handelt es sich um die Montageplatte zur Befestigung der Einbauten, um das Gehäuse mit einem offenen Boden zur einfachen Kabeldurchführung sowie um die verschließbare Tür zur Vermeidung von unberechtigten Zugriffen. Der grundsätzliche Aufbau eines für die betriebliche Anwendung konzipierten Schaltschranks ist in der nachfolgenden Abbildung 77 aufgezeigt.

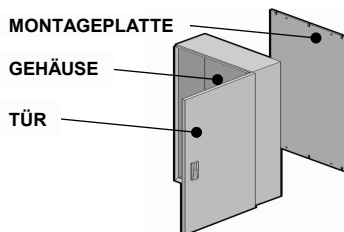


Abbildung 77: Basiskomponenten eines Schaltschranks

Die konkreten Ausprägungen der dargestellten Komponenten sowie die Eigenschaften weiterer vom Kunden geforderter Einbau- bzw. Anbauteile werden im Verlauf des Konfigurationsprozesses schrittweise definiert. Im Rahmen des Konfigurationsprozesses kann der Kunde hierbei auf Basis eines vom Unternehmen spezifizierten Lösungsraums ausgewählte Produktmerkmale individuell festlegen. Er ist somit in den freigegebenen Bereichen nicht mehr an die vorgegebenen

---

<sup>8</sup> Weiterführende Informationen zu dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekt "MUSKIM – Methoden- und Systemunterstützung für die kundenintegrierte Montage" sind bei REINHART & SPATH 2009 zu finden.

Standardausprägungen gebunden, sondern kann die Anpassung des Produkts entsprechend seiner persönlichen Bedürfnisse realisieren.

Der Fokus der Ausführungen zur Umsetzung der Methodik liegt auf dem grundsätzlichen Nachweis der Anwendbarkeit der entwickelten Verfahren zur Optimierung der Angebotsterminierung. Da die Vorgehensweise zur Abbildung individueller Produktvarianten allgemeingültig übertragbar ist, sind im Praxisbeispiel die Optionen zur Individualisierung des Schaltschranks auf die Geometrie sowie die Lackierung begrenzt. Entsprechend der getroffenen Festlegung kann der Kunde die Breite, die Höhe und die Tiefe des Schaltschranks innerhalb eines gültigen Wertebereichs, der sich aus dem maximalen Arbeitsraum der Produktionsressourcen ergibt, frei wählen. Die gewünschte Lackierung des Schaltschranks ist mittels der Eingabe des normierten RAL-Farbcodes individuell festzulegen.

### 7.2.2 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die Tätigkeiten zur Herstellung eines Schaltschranks können dem Rohbau, der Lackiererei und der Montage zugeordnet werden. Der hieraus resultierende grundsätzliche Ablauf des Produktionsprozesses ist in Abbildung 78 schematisch skizziert und wird im weiteren Verlauf dieses Abschnitts sukzessive detailliert.

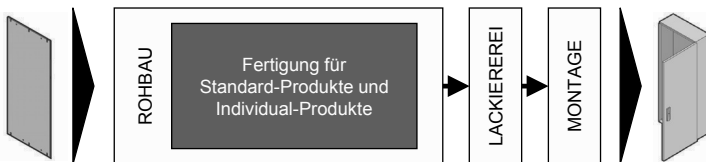


Abbildung 78: Überblick zur Fertigung und Montage von Schaltschränken

Die nicht beschnittenen Bleche werden zu Beginn des Produktionsprozesses direkt aus einem zentralen Lager in den Rohbau übergeben. Dort findet sowohl die Herstellung des Schrankgehäuses als auch der dazugehörigen Schranktür mittels verschiedener trennender und umformender Verfahren statt. Anschließend durchlaufen die beiden Bauteile die Lackiererei. Der Zusammenbau von Gehäuse und Tür sowie der Einbau der in einem separaten Fertigungsprozess hergestellten Montageplatte werden in der Montage ausgeführt. Darüber hinaus werden in diesem abschließenden Prozessschritt entsprechend der geforderten Kundenkonfiguration diverse Einbau- und Anbauteile sowie der Innenausbau installiert.

Zur Reduktion der Komplexität des Anwendungsbeispiels wird in den nachfolgenden Ausführungen auf eine Untersuchung der Tätigkeiten zur Herstellung der Schaltschranktür verzichtet. Es erfolgt somit ausschließlich eine ganzheitliche Betrachtung der Produktionsprozesse des Schaltschrankgehäuses von der Erzeugung des Blechzuschnitts bis hin zur Durchführung der Lackierung. Hierbei wird im ersten Teilprozess die Außenkontur des Schaltschrankgehäuses aus dem als flaches Metallblech vorliegenden Rohmaterial auf Basis der vom Kunden geforderten geometrischen Abmessungen herausgeschnitten. Hierauf folgt in einem zweiten Arbeitsschritt das Lasern bzw. Stanzen der erforderlichen Löcher und Ausbrüche. Den dritten Prozessschritt stellt das Abkanten der Kanten des Schaltschrankgehäuses dar. Im Nachgang hierzu erfolgen im vierten Arbeitsschritt die Anbringung von Bolzen zur Befestigung der Einbauteile sowie das Verschweißen der Scharniere für die Türen. Nach Abschluss der Tätigkeiten werden die Seitenteile und das Dach des Gehäuses in einem fünften Prozessschritt abgekantet bzw. aufgestellt. Daraufhin sind im sechsten und siebten Arbeitsgang das Verschweißen des Gehäuses sowie das Schleifen der Kanten des Schaltschranks durchzuführen. Im achten Prozessschritt findet abschließend die Lackierung des Schaltschrankgehäuses statt. Eine zusammenfassende Übersicht der erläuterten Prozessschritte ist in Abbildung 79 aufgeführt.

Prozessschritt	Prozessbeschreibung	Produktionsbereich
1. Schritt	Kontur schneiden	Rohbau
2. Schritt	Löcher / Aussparungen schneiden	
3. Schritt	Abkanten der Falze	
4. Schritt	Schweißen der Bolzen, Muttern, ...	
5. Schritt	Hochstellen der Seitenteile / Deckel	
6. Schritt	Schweißen der Ecken / Kanten	
7. Schritt	Schleifen der Verschweißungen	
8. Schritt	Lackieren des Schaltschrankgehäuses	Lackiererei

Abbildung 79: Prozessschritte des Produktionsprozesses zur Herstellung des Schaltschrankgehäuses



## 7.3 Anwendung der Methodik

### 7.3.1 Abstraktion der Methodik

Die Umsetzung der Methodik dient dem Nachweis, dass mit Hilfe der entwickelten Modelle eine Verbesserung hinsichtlich der Qualität der Aussage zum Produktliefertermin unter Berücksichtigung der Kapazitätssituation der Produktionsressourcen erzielt werden kann. Die Bestätigung dieser Annahme erfordert im Idealfall eine ganzheitliche Anwendung der Methodik. Aufgrund der Komplexität des neu gestalteten Gesamtprozesses zur Optimierung der Tätigkeiten der Angebotsterminierung war im Rahmen der Implementierung des Fallbeispiels allerdings eine Fokussierung auf zentrale Aspekte der Methodik erforderlich. Das in den nachfolgenden Ausführungen betrachtete Szenario behandelt somit ausschließlich die Verwendung der Monte-Carlo-Simulation zur Kapazitätsterminierung auf Basis einer angebotsspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit. In Bezug auf die weiteren Teilprozesse müssen, soweit sie zur Durchführung der Terminierung zwingend erforderlich sind, entsprechende Annahmen bzw. Vereinfachungen getroffen werden. Dies sind folgende:

- **Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage basiert auf Zufallswerten:** Die Bestimmung der kunden- und produktspezifischen Auftragswahrscheinlichkeit erfordert eine umfassende Datenbasis, die eine schlüssige Ableitung der Einzelwerte ermöglicht. Für das genutzte Beispiel liegen diese Informationen aufgrund inkonsistenter Daten lediglich unvollständig vor. Da die Auftragswahrscheinlichkeit als Eingangsgröße der Kapazitätsterminierung zwangsläufig erforderlich ist, sind die jeweiligen Werte der Auftragswahrscheinlichkeit somit zufallsbasiert zu ermitteln.
- **Arbeitsgänge der Anfrage sind einem Kapazitätsbereich zugeordnet:** Im Hinblick auf die Verknüpfung zwischen dem Produktionsprozess und den Ressourcen wird festgelegt, dass jeweils eine eindeutige Zuordnung zwischen einem Arbeitsgang und der zu einem Planungsbereich zusammengefassten Produktionsressourcen besteht. Somit sind im vorliegenden Beispiel alle Tätigkeiten im Rohbau und der Lackierung in einem einzigen Kapazitätsbereich aggregiert. Bei der Durchführung der kapazitiven Einplanung ist daher lediglich eine zeitliche Verschiebung der betrachteten Prozessschritte möglich.

- **Liefertermin der Anfrage entspricht dem Produktionsendtermin:** Hinsichtlich des an den Kunden zu kommunizierenden Liefertermins wird im vorliegenden Anwendungsfall die Vereinfachung getroffen, dass der ermittelte Produktionsendtermin dem voraussichtlichen Liefertermin entspricht. In Bezug auf die Überprüfung der grundsätzlichen Anwendbarkeit der Methodik kann die Detailbetrachtung der nachgelagerten logistischen Kette in dem gewählten Beispiel vernachlässigt werden.
- **Einplanung der Anfrage und der Kaufentscheidung erfolgt zyklisch:** Im Gegensatz zur Anwendung der Methodik in der betrieblichen Praxis erfolgt die Einplanung der Anfragen und die Abbildung der Kaufentscheidungen durch Abarbeitung von Sammelisten. Die auf Basis der Auftragswahrscheinlichkeit simulierte Erteilung des Auftrags bzw. die Ablehnung des Angebots wird hierbei zu Beginn des Planungszeitraums importiert. Die kapazitive Einplanung der eingehenden Kundenanfrage auf die verfügbaren Produktionsressourcen erfolgt hingegen zum Abschluss der jeweils betrachteten Planungsperiode.

### 7.3.2 Definition der Szenarien

Der Nachweis der Vorteilhaftigkeit der definierten Methodik wird in den nachfolgenden Ausführungen anhand eines Vergleichs zweier alternativer Szenarien für die Ableitung von Produktlieferterminen im Rahmen der Angebotsbearbeitung geführt. Es ist demzufolge erforderlich, sowohl ein Referenzszenario ohne Anwendung der Methodik (Szenario A) als auch ein Beispielszenario (Szenario B) für die Anwendung der Methodik zu definieren. Diese werden nach dem Durchlaufen des Planungsprozesses bezüglich der erzielten Ergebnisqualität der beschriebenen Kenngrößen einander gegenübergestellt:

- **Szenario A:** Die Überbuchung der Produktionsressourcen erfolgt entsprechend der in Kapitel 6 vorgestellten klassischen Vorgehensweise bis zum Erreichen einer festen Kapazitätsgrenze.
- **Szenario B:** Die Überbuchung der Produktionsressourcen erfolgt entsprechend der in Kapitel 6 entwickelten Methodik auf Basis der Monte-Carlo-Simulation bis zur Überschreitung des Grenzwerts für das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung. Innerhalb des Szenario B wird mit Hilfe von drei alternativen Ausprägungen (20 %, 10 %, 0 %) die Auswirkung der Variation des Grenzwerts untersucht.

Zur Überprüfung der Methodik werden im Anwendungsbeispiel 50 Listen bzw. Tabellen mit jeweils 100 Anfragen als Eingangsinformation für die Terminbestimmung erzeugt. Neben den Angaben zu dem vom Kunden gewünschten Produkt umfassen die Tabellen die Auftragswahrscheinlichkeit, den Produktionskapazitätsbedarf sowie die Abschätzung hinsichtlich der Annahme bzw. der Ablehnung des Angebots durch den Kunden. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Szenarien sicherzustellen, werden die Listen sowohl für Szenario A als auch für Szenario B als Berechnungsgrundlage herangezogen.

Die weiteren zur Durchführung der Kapazitätsterminierung festgelegten Rahmenbedingungen und Kenngrößen ergeben sich wie folgt:

- **Berücksichtigung der Individualisierung:** Um den Einfluss des Anteils der individuellen Produkte auf die Methodik zu erfassen, werden bezüglich der Zusammensetzung der Anfragelisten zwei Fälle unterschieden. Hierbei ist im ersten Fall der Anteil der individuellen Produkte mit 30 % vorgegeben, wohingegen im zweiten Fall der Anteil der individuellen Produkte mit 60 % festgelegt ist. Die Angaben zum prozentualen Anteil beziehen sich dabei auf die Gesamtmenge der Anfragen, die zur Bildung der Listen zur Verfügung steht.
- **Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit:** Die Wahrscheinlichkeit der Auftragserteilung ist bei den Standard-Produkten aufgrund der Erfahrungswerte aus der industriellen Praxis mit einem niedrigen Wert von 20 % vorgegeben. Für die Individual-Produkte wird dagegen infolge der im Regelfall besseren Erfüllung der kundenbezogenen Anforderungen an die Eigenschaften des Produkts eine höhere Auftragswahrscheinlichkeit von 70 % definiert. Die Größe der zulässigen Streuung beider Wahrscheinlichkeiten wird mit einer Breite von  $\pm 10$  % festgelegt.
- **Bestimmung des Kapazitätsbedarfs:** Der Kapazitätsbedarf der Anfrage ergibt sich auf Basis des Zeitbedarfs des dem Anwendungsbeispiel zugrundeliegenden Produktionsprozesses. Da die verschiedenen Produktionsschritte zu einem Planungsbereich aggregiert werden, sind deren Einzelwerte ebenfalls zu einem Gesamtkapazitätsbedarf zusammenzufassen. Im Gegensatz zum Kapazitätsbedarf für die Produktion eines Standard-Produkts erfordert die Herstellung eines Individual-Produkts einen um ca. 25 % höheren Kapazitätsbedarf.

Die zyklisch zu durchlaufende Angebotsterminierung gestaltet sich im Hinblick auf die grundsätzliche Vorgehensweise für beide Szenarien identisch. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Prozessschritte erfolgt in den anschließenden Abschnitten. Hierbei konzentrieren sich die weiteren Ausführungen ausschließlich auf die Prozesse zur Umsetzung von Szenario B, d. h. es wird das Vorgehen unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation erläutert. Die gesonderte Betrachtung der Prozesskette zur Umsetzung von Szenario A ist nicht erforderlich, da diese aufgrund des Verzichts auf die Monte-Carlo-Simulation als ein vereinfachter Fall des komplexeren Szenario B anzusehen ist. Die Implementierung der erforderlichen Prozessschritte ist demzufolge unter Berücksichtigung der zu treffenden Vereinfachungen unmittelbar von Szenario B abzuleiten.

### 7.3.3 Simulation der Szenarien

#### 7.3.3.1 Ergänzung der Kundenanfragen

Den Ausgangspunkt des Anwendungsbeispiels bildet das Vorliegen mehrerer fiktiver Kundenanfragen, welche unter Einhaltung der vorgegebenen produkt- und prozessbezogenen Restriktionen automatisiert erzeugt werden. Die Verteilung der unterschiedlichen Produktvarianten ergibt sich hierbei mit Hilfe eines implementierten Zufallsgenerators, der aus den verschiedenen Merkmalen und deren Ausprägungswerten jeweils gültige Kombinationen ermittelt. Einen ganzheitlichen Überblick der vordefinierten Standardwerte sowie der zulässigen Wertebereiche der individualisierbaren Merkmale vermittelt die nachfolgende Abbildung 80.

Standardwerte für Optionen "Geometrie" und "Lackierung"				Wertebereiche für individualisierbare Optionen "Geometrie" und "Lackierung"			
Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Lackierung [RAL-Code]	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Lackierung [RAL-Code]
600	800	300	7040	600 bis 1500	600 bis 1500	200 bis 600	7000er 8000er 9000er
800	1000	400	9005				
1000	1200						
1200	1400						

**Legende:** 7000er = Grau-Töne    8000er = Braun-Töne    9000er = Weiß-Schwarz-Töne

Abbildung 80: Ausprägungen der Merkmale „Geometrie“ und „Lackierung“ bei einem Standard- bzw. Individual-Schaltschrank

Die auf der Grundlage der Kundenanfragen vorhandenen Angaben zum geforderten Produkt werden inklusive der berechneten Auftragswahrscheinlichkeit für jede Anfrage erfasst. Aufgrund der Beschränkung der Individualisierungsoptionen auf einen erweiterten vom Unternehmen vordefinierten Lösungsraum wird hierbei die Annahme getroffen, dass die zur Herstellung des Produkts erforderlichen Prozess- und Ressourceninformationen automatisiert aus vorhandenen Standarddaten abgeleitet werden können. Die gesammelten Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen werden anschließend in einer Haupt-Planungstabelle kontextbezogen gespeichert und liegen somit in einer konsolidierten Wissensbasis für die weiteren planungsbezogenen Tätigkeiten der kapazitätsorientierten Terminierung der Kundenanfragen vor (Abbildung 81).

A-Nr.	AW	Produkttyp	Höhe [mm]	Breite [mm]	Tiefe [mm]	Lackierung [RAL-Code]	K <sub>p</sub> Bedarf <sub>A</sub> [min]
A001	0,19	Standard	1200	1400	300	7040	17,30
A002	0,21	Standard	600	1200	400	9005	17,86
A003	0,72	Individuell	1290	1280	210	7040	19,43
A004	0,63	Individuell	1070	710	430	8001	21,42
...	...	...	...	...	...		...

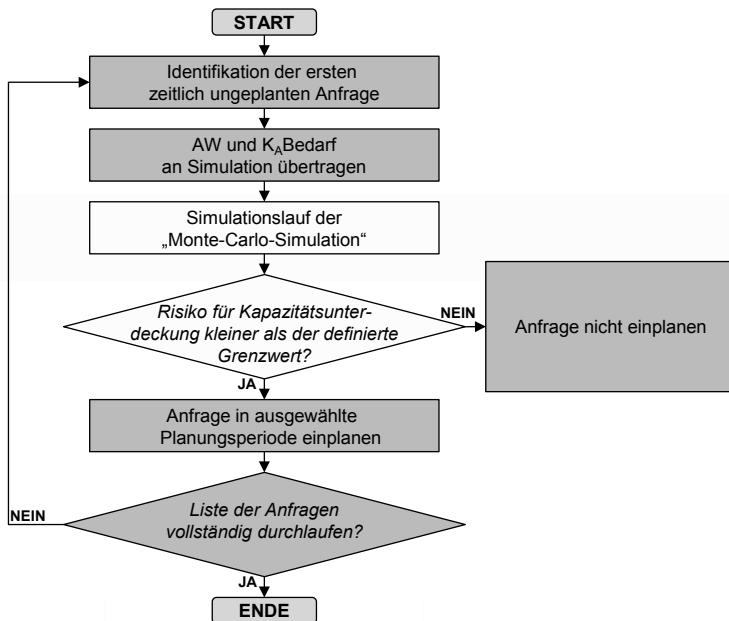
**Legende:** A-Nr.      Angebotsnummer  
 AW            Auftragswahrscheinlichkeit  
 K<sub>p</sub>Bedarf<sub>A</sub>    Produktionskapazitätsbedarf des Angebots

*Abbildung 81: Haupt-Planungstabelle der Angebotsterminierung mit den planungsrelevanten Informationen je Kundenanfrage*

### 7.3.3.2 Einplanung der Kundenanfragen

Zur Umsetzung der Terminbestimmung wird für die zu betrachtende Ressource eine Angebots-Planungstabelle sowie eine Auftrags-Planungstabelle erzeugt, die über den gesamten taktischen Planungszeitraum eine übersichtliche Darstellung der jeweils in einer Planungsperiode zu berücksichtigten Anfragen und Aufträge mit ihren spezifischen Kapazitätsbedarfen vermitteln. Als Datenbasis der kapazitiven Einplanung der Kundenanfragen dient die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Haupt-Planungstabelle.

Die grundsätzliche Einplanung der Anfragen basiert auf dem in Kapitel 6 hergeleiteten allgemeingültigen Modell. Aufgrund der fokussierten Betrachtung ist es allerdings im vorliegenden Beispiel nicht erforderlich, alle Planungsschritte zu durchlaufen. Zudem muss die inhaltliche Beschreibung verschiedener Teilelemente entsprechend dem vorliegenden Anwendungsfall angepasst werden. Der unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen resultierende Prozessablauf ist in Abbildung 82 dargestellt.



**Legende:** ■ Inhalte des Prozesselements sind infolge der Fokussierung angepasst

Abbildung 82: Prozessablauf zur kapazitiven Einplanung der Kundenanfragen unter Berücksichtigung des Grenzwerts zur Vermeidung einer Kapazitätsunterdeckung

Zu Beginn des Planungsdurchlaufs wird die erste zeitlich noch nicht eingeplante Kundenanfrage in der Haupt-Planungstabelle identifiziert. Die für diesen Eintrag hinterlegten Informationen zur Angebotsnummer (A-Nr.), zur Auftragswahrscheinlichkeit (AW) sowie zum Produktionskapazitätsbedarf ( $K_p\text{Bedarf}_A$ ) werden in die Angebots-Planungstabelle übertragen und stehen somit der Monte-Carlo-Simulation als Parameter zur Verfügung (Abbildung 83).



Im Rahmen Planung wird für jede Anfrage einzeln überprüft, ob die Einlastung auf der Produktionsressource in der ermittelten Planungsperiode den zuvor definierten Grenzwert für das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung unter- bzw. überschreitet. Sollte dies der Fall sein, wird der Kapazitätsbedarf der Anfrage in der betrachteten Periode belassen und der Planungsprozess für das nachfolgende Element angestoßen. Wird hingegen die Bedingung nicht erfüllt, so wird die Anfrage nicht eingeplant. Das erläuterte Vorgehen ist über alle Anfragen zu wiederholen, bis die Anfrageliste vollständig eingeplant ist.

### 7.3.3.3 Einplanung der Kundenrückmeldungen

Die Überprüfung der von Seiten des Kunden zurückgemeldeten Informationen bezüglich der Annahme oder der Ablehnung des Angebots umfasst im Kontext der vorliegenden Arbeit die bereits in Kapitel 5 erläuterten Tätigkeiten der Angebotsnachbereitung. Da im verfolgten Anwendungsfall ausschließlich der Vergleich der verschiedenen kapazitiven Planungsverfahren untersucht wird, kann der Einfluss der Angebotsgültigkeit auf den Gesamtprozess der Angebotsterminierung vernachlässigt werden (Abbildung 85).

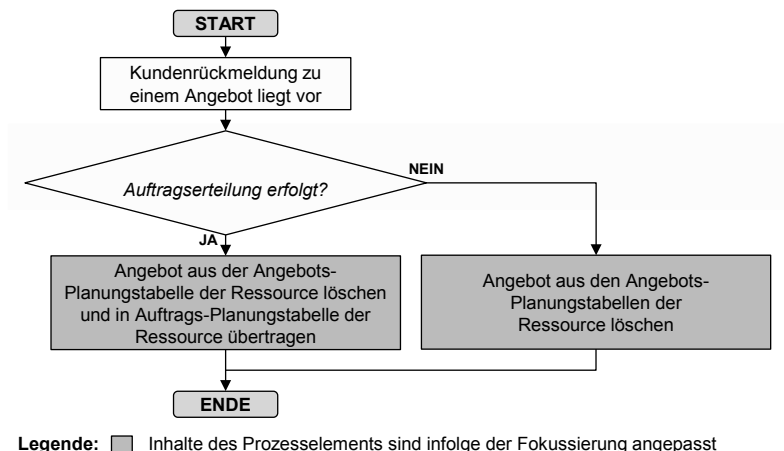


Abbildung 85: Prozessablauf zur Generierung der auf Basis der Kundenrückmeldungen abgeleiteten Auftragsliste für die Produktion

Da die tatsächliche Entscheidung des Kunden bezüglich der Annahme bzw. der Ablehnung des Angebots im vorliegenden fiktiven Anwendungsbeispiel nicht



vorliegt, muss sie mittels einer geeigneten Logik nachgebildet werden. Zu diesem Zweck wird für jede Anfrage eine Zufallszahl zwischen 0 und 1 ermittelt, deren jeweilige Ausprägung unter Berücksichtigung der vorgegeben Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage zu einer Annahme oder zu einer Ablehnung des Angebots führt (Abbildung 86).

A-Nr.	AW	Zufallszahl (Wertebereich von 0 bis 1)	Kundenentscheidung (Ablehnung = 0 / Annahme = 1)
A001	0,19	0,38	0
A002	0,21	0,22	0
A003	0,72	0,65	1
A004	0,63	0,13	1
...	...	...	...

*Abbildung 86: Simulation der Kundenentscheidung anhand der Verknüpfung der Auftragswahrscheinlichkeit und einer Zufallszahl*

Hiermit ergibt sich beispielsweise für die Anfrage A003 mit einer Auftragswahrscheinlichkeit von 72 % für alle Zufallszahlen, die kleiner oder gleich dem Wert 0,72 sind, eine Auftragserteilung und bei allen Werten, die größer als 0,72 sind, eine Ablehnung des Angebots. Wie in der Abbildung 86 ersichtlich, wurde mit dem Wert 0,65 eine Zufallszahl ermittelt, deren Ausprägung kleiner als die vorgegebene Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage ist. Die infolgedessen resultierende Kundenentscheidung entspricht einer Annahme des Angebots A003.

Die Rückmeldungen der Kunden werden jeweils zum Abschluss der Planungsperiode ausgewertet. Erfolgt durch den Kunden eine Auftragserteilung, ist die Anfrage aus der Angebots-Planungstabelle zu entnehmen und mit dem hinterlegten realen Produktionskapazitätsbedarf in die Auftrags-Planungstabelle zu übertragen. Im Fall einer Ablehnung des Angebots durch den Kunden wird der mit der Anfrage verbundene Kapazitätsbedarf umgehend aus der vorhandenen Angebots-Planungstabelle gelöscht. Auf Grundlage den in der Auftrags-Planungstabelle abgebildeten Kapazitätsbedarfen der Aufträge kann unter Berücksichtigung der maximal verfügbaren Gesamtkapazität die für den weiteren Prozess der Angebotsterminierung zur Verfügung stehende freie Angebotskapazität abgeleitet werden. Nach Abschluss einer Planungsperiode liegt die fixierte Auftragsliste für die nachgelagerte Produktion vor (Abbildung 87).



Abbildung 87: Auftrags-Planungstabelle mit den je Periode abzuarbeitenden Aufträgen sowie der Darstellung des Belastungsdiagramms des betrachteten Planungsbereichs

In der Grafik ist beispielhaft für fünf unabhängige Planungsperioden das aus der Angebotsterminierung unter Berücksichtigung des Grenzwerts für das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung resultierende Auftragsvolumen der Produktion dargestellt. In den Perioden 1 bis 4 wird die Angebotskapazität aufgrund der Anwendung der Monte-Carlo-Simulation eingehalten. In Periode 5 ergibt sich trotz der Methodik eine geringfügige Überlastung der Produktionsressource. Die detaillierte Analyse der Szenarien ist Gegenstand des nachfolgenden Abschnitts.

### 7.3.4 Analyse der Szenarien

Die Auswertung der in den vorangegangenen Abschnitten definierten Szenarien fokussiert sich auf die Kapazitätssituation in der Produktion sowie die Terminüberschreitung bezüglich des ursprünglich an den Kunden kommunizierten Liefertermins. Die Untersuchung der Kapazitätssituation erfolgt hierbei anhand der Ableitung der vorhandenen Kapazitätsauslastung sowie der Berechnung der prozentualen Kapazitätsüberbuchung.

#### Kapazitätsauslastung

Die Produktionsauslastung ergibt sich auf Basis der Ergebnisse der kapazitiven Einplanung der an das Unternehmen kommunizierten Produktanfragen sowie der anhand von Erwartungswerten der Auftragswahrscheinlichkeit simulierten Kundenentscheidung zur Annahme bzw. Ablehnung des Angebots (Abbildung 88).

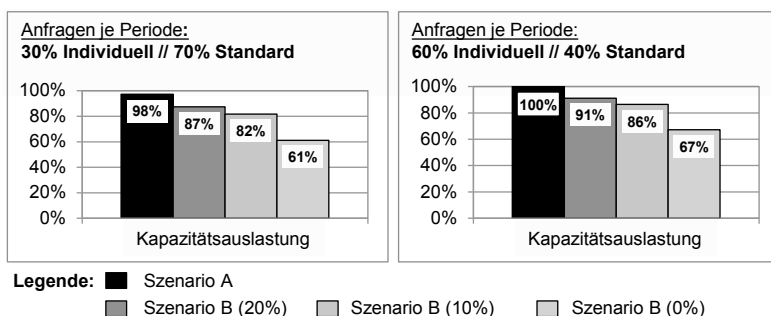


Abbildung 88: Kapazitätsauslastung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten

Die Darstellung zeigt, dass sich sowohl bei einem Anteil von 30 % als auch bei einem Anteil von 60 % für die klassische Kapazitätsplanung (Szenario A) die jeweils größten Werte der Produktionsauslastung ergeben. Innerhalb der verschiedenen Ausprägungen der auf der Monte-Carlo-Simulation basierenden Planungsmethodik (Szenarien B) verringert sich die Kapazitätsauslastung sukzessive mit der herbeigeführten Reduktion des Grenzwerts für das maximal zulässige Risiko (20 %, 10 %, 0 %) einer Kapazitätsunterdeckung. Ferner ist zu erkennen, dass mit einem zunehmenden Anteil an kundenindividuellen Produkten an der Gesamtmenge der an das Unternehmen herangetragenem Anfragen die Kapazitätsauslastung in allen Szenarien geringfügig ansteigt.

### Kapazitätsüberbuchung

Über die ausschließliche Analyse der Kapazitätsauslastung hinausgehend ist es zudem erforderlich, die verschiedenen Szenarien im Hinblick auf das Auftreten einer Kapazitätsüberbuchung zu untersuchen. Die Auswertung der jeweils betrachteten Planungsperioden bezüglich der Einhaltung des zur Verfügung stehenden Kapazitätsangebots wird in Abbildung 89 veranschaulicht.

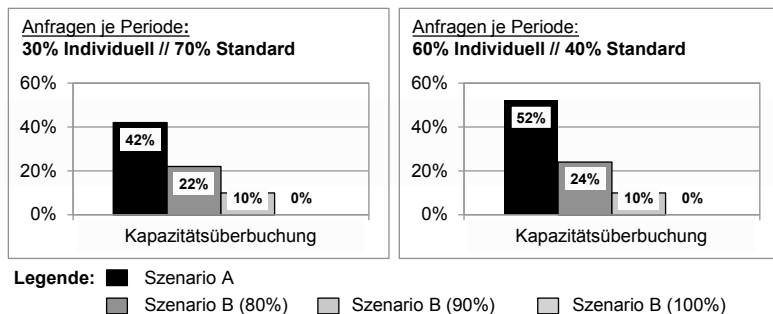


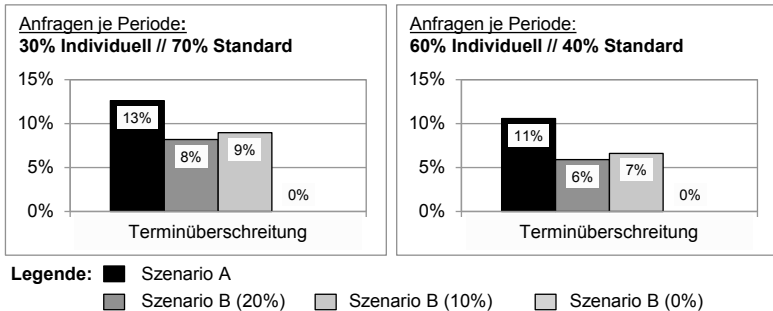
Abbildung 89: Kapazitätsüberbuchung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten

Im betrachteten Untersuchungsbereich ergibt sich der Anteil der Planungsperioden, innerhalb derer die eingeplanten Angebotskapazitätsbedarfe zu einer Überbuchung der vorhandenen Produktionsressourcen führen, bei der klassischen Planung mit 42 % (30 % individuelle Anfragen) bzw. 52 % (60 % individuelle Anfragen). Durch die Einbindung der Monte-Carlo-Simulation in die Tätigkeiten der Angebotsterminierung sowie unter Einbeziehung des definierten Grenzwerts kann dieser Wert deutlich reduziert werden. Mit der Reduktion des Risikos einer Kapazitätsunterdeckung sinkt hierbei der prozentuale Anteil der Fälle in denen es zu einer Überlastung der Produktionsressourcen kommt, bis dieser letztendlich den Wert 0 % erreicht. Die Auswertung zeigt darüber hinaus, dass im Fall der klassischen Kapazitätsplanung (Szenario A) eine höhere Individualisierung des Produktspektrums zu einer höheren Überbuchung der Ressourcen führt. Bei der Monte-Carlo-Simulation (Szenarien B) hingegen wirkt sich die Zusammensetzung des Produktspektrums nur geringfügig auf die Kapazitätsauslastung aus.

### Terminüberschreitung

Die Ableitung einer Aussage hinsichtlich des Terminverzugs erfordert eine Fokussierung auf diejenigen Planungsperioden, welche aufgrund des eingeplanten

Angebotskapazitätsbedarfs sowie der getroffenen Kundenentscheidung jeweils einen oder mehrere Aufträge enthalten, die nicht zum ursprünglich an den Kunden kommunizierten Liefertermin übergeben werden können. Der jeweils prozentuale Anteil der innerhalb einer Planungsperiode verspätet abzuarbeitenden Aufträge am Gesamtauftragsvolumen ist in Abbildung 90 dargestellt.



*Abbildung 90: Aufträge mit Terminüberschreitung in einer Planungsperiode mit Kapazitätsüberbuchung der Szenarien A und B in Abhängigkeit des Anteils der Anfragen an individuellen Produkten*

Der prozentuale Anteil der Aufträge mit einer Terminüberschreitung in einer Planungsperiode, in der eine Kapazitätsüberbuchung auftritt, liegt bei Szenario A bei 11 % bzw. 13 %. Durch die Nutzung der Monte-Carlo-Simulation kann jeweils eine geringfügige Reduktion der betrachteten Kenngröße erzielt werden. Hieraus resultiert, dass sich bei einem Grenzwert für das Risiko einer Kapazitätsunterdeckung von 20 % bzw. 10 % die Werte 8 % und 6 % sowie 9 % und 7 % ergeben. Bei einem Grenzwert von 0 % liegt, da in keiner der betrachteten Perioden eine Überbuchung der Produktionskapazität erfolgt, eine vollständige Einhaltung der an den Kunden kommunizierten Termine vor. Die Variation des Anteils der individualisierten Produkte am Gesamtvolumen der Anfrage besitzt wiederum lediglich einen geringen Einfluss auf die betrachtete Kenngröße.

### 7.3.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Analyse der Szenarien sind in Abbildung 91 gesamtheitlich dargestellt. Da die durchgeführten Auswertungen aufzeigen, dass der Einfluss des Anteils an Anfragen individueller Produkte im vorliegenden Anwendungsfall lediglich eine untergeordnete Bedeutung bezüglich der erzielbaren Erkenntnisse

einnimmt, werden die beiden Fälle (30 % bzw. 60 % individuelle Anfragen) je betrachtetem Szenario zusammengefasst und jeweils der arithmetische Mittelwert gebildet.

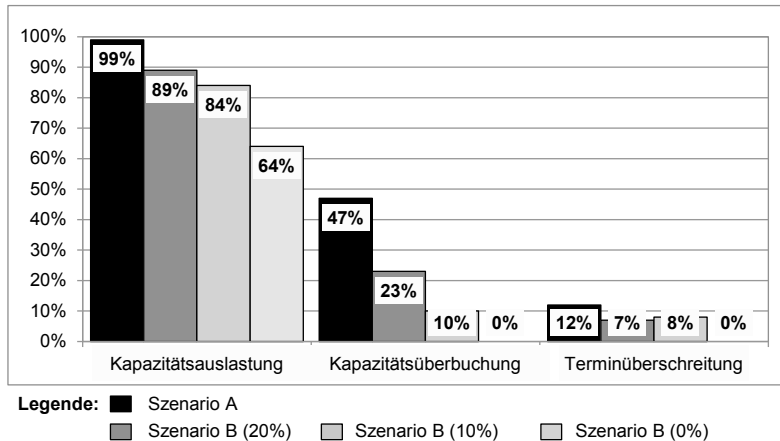


Abbildung 91: Vergleich der resultierenden Werte der Kapazitätsauslastung, der Kapazitätsüberbuchung und der Terminüberschreitung für die betrachteten Szenarien A und B

Aus der ganzheitlichen Betrachtung geht bei Szenario A die Kapazitätssituation wie folgt hervor. Die durchschnittliche Kapazitätsauslastung je Planungsperiode erreicht mit 99 % einen hohen Wert. Allerdings zeigt die weitere Analyse, dass in 47 % aller Fälle eine Kapazitätsüberbuchung vorliegt und somit häufig das bereitgestellte Kapazitätsangebot zur Bewältigung des eingeplanten Auftragsvolumens nicht ausreicht. Die durch die Anwendung der klassischen Vorgehensweise theoretisch erzielbare Auslastung ist demzufolge unmittelbar mit einem deutlichen Risiko der Überbuchung der Produktionsressourcen verbunden. Im direkten Vergleich zeigt sich für die Szenarien B bei einem definierten Sicherheitsfaktor von 80 % bzw. 90 % bei gleicher Zusammensetzung des Auftragsvolumens eine geringfügige Reduktion der Kapazitätsauslastung auf 89 % bzw. 84 %. Das potenzielle Risiko einer Überbuchung der Produktionskapazität sinkt hierbei deutlich auf 23 % und 10 %. Bei einem Sicherheitsfaktor von 100 %, d. h. das Auftreten einer Kapazitätsüberdeckung wird vollständig ausgeschlossen, ergibt sich für das Szenario B die Auslastung der Produktionsressourcen mit 64 %. Die direkte Gegenüberstellung der Kennzahlen zur Analyse der Kapazitätssituation

zeigt, dass durch die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation im Vergleich zur klassischen Planung mit einer um 10 % bzw. 15 % geringeren Kapazitätsauslastung das Risiko einer Kapazitätsüberbuchung um 24 % bzw. 37 % reduziert und somit die Qualität der Planungsergebnisse nachweislich verbessert werden kann.

Aufgrund der Analyse der Terminüberschreitung wird deutlich, dass der Anteil der nicht zum versprochenen Zeitpunkt an den Kunden übergebenen Produkte in Szenario A bei 12 % liegt. Unter Berücksichtigung der vorgegebenen Sicherheitsfaktoren (80 %, 90 %) nimmt der Terminverzug für die beiden Szenarien B die Ausprägungen 7 % bzw. 8 % an. Der Unterschied zwischen dem klassischen Verfahren sowie der Terminierung unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation beträgt im betrachteten Anwendungsfall lediglich Werte im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass aufgrund des Sicherheitsfaktors insgesamt pro Planungsperiode weniger Aufträge eingelastet werden und sich somit die Bezugsbasis bei der Berechnung des Verhältnisses zwischen Aufträgen mit Einhaltung des Liefertermins und Aufträgen mit Terminüberschreitung verkleinert. Zusammenfassend betrachtet reduziert sich im direkten Vergleich von Szenario A und den Szenarien B der Terminverzug lediglich um 5 % bzw. 4 %. Aufgrund der erläuterten Gründe kann auf Basis der Analyseergebnisse dennoch die These gestützt werden, dass durch die Nutzung der Monte-Carlo-Simulation eine Reduktion der Terminüberschreitung bzw. eine Verbesserung der Liefertreue zu erzielen ist.

### **7.4 Bewertung der Methodik**

In den folgenden Ausführungen wird die entwickelte Methodik bezüglich der Erfüllung der in Kapitel 5 definierten Anforderungen bewertet. Die spezifischen Anforderungen stehen hierbei in unmittelbarem Bezug zu den zentralen Fragestellungen der Arbeit hinsichtlich der Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit der Anfrage sowie der Realisierung der Kapazitätsplanung zur Durchführung der Lieferterminbestimmung. Unter dem Begriff der allgemeinen Anforderungen sind hingegen sowohl die aus einer wissenschaftlichen Sichtweise geprägten Erfordernisse als auch die aus einer praktischen Anwendung resultierenden Bedarfe zusammengefasst (Abbildung 92).

Spezifische Anforderungen	Allgemeine Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsfähigkeit der Datenerfassung</li> <li>• Anpassungsfähigkeit der Kapazitätsgrenzen</li> <li>• Echtzeitfähigkeit der Terminbestimmung</li> <li>• Systemfähigkeit der Implementierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparenz</li> <li>• Wirtschaftlichkeit</li> <li>• Praxistauglichkeit</li> <li>• Skalierbarkeit</li> </ul>

Abbildung 92: Spezifische und allgemeine Anforderungen an die Methodik

Die Evaluierung der Methodik basiert auf den Erkenntnissen, die anhand der Umsetzung des erläuterten Anwendungsbeispiels gewonnen werden konnten. Zur Sicherstellung einer allgemeingültigen Bewertung wurden darüber hinausgehend Erfahrungen aus der Bearbeitung von Kooperationsprojekten, die gemeinsam mit produzierenden Unternehmen durchgeführt wurden und thematisch in den Kontext der vorliegenden Arbeit einzuordnen sind, ergänzend herangezogen.

### **Validierung hinsichtlich der spezifischen Anforderungen**

Die Forderung nach einer **Leistungsfähigkeit der Datenerfassung** wird durch die entwickelte Methodik in Bezug auf die Synchronisation mit externen Datenquellen sowie die interne Abbildung der Informationen in einer Wissensbasis vollständig erfüllt. So werden entsprechend dem definierten Gesamtprozess die zur Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit benötigten Informationen über den Kunden bzw. das Produkt unmittelbar zwischen dem CRM-Systeme sowie der Datenbasis der Angebotsterminierung synchronisiert. Darüber hinaus ist der Austausch der Kapazitätsdaten mit dem PPS-System an den jeweils verfolgten betrieblichen Planungszyklus gekoppelt, um einen konsistenten Datenstand über die verschiedenen Systeme zu gewährleisten. Die interne Abbildung der zur Durchführung der Angebotsterminierung benötigten Informationen erfolgt hierbei strukturiert in Form einer tabellarisch aufgebauten Wissensbasis. Die genutzte Datenstruktur ist so ausgelegt, dass sie an die spezifischen Anforderungen des Unternehmens sowohl in horizontaler Richtung um zusätzliche Einflussparameter als auch in vertikaler Richtung hinsichtlich des Detaillierungsgrads der abgebildeten Informationen angepasst werden kann.

Die Kapazitätsgrenzen der Produktionsressourcen sind in Abhängigkeit der bereits eingeplanten Aufträge sowie der Zusammensetzung des Kapazitätsbedarfs der Angebote adaptiv zu gestalten. Um dies in der Angebotsterminierung berücksichtigen zu können, ist die **Anpassungsfähigkeit der Kapazitätsgrenzen** als weitere Anforderung an die Methodik formuliert. Dieser Vorgabe wird das entwickelte Verfahren der Kapazitätsterminierung dahingehend gerecht, dass der



zulässige einer Ressource zugeordnete Angebotskapazitätsbedarf mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation vor jeder Planung überprüft wird. Hierdurch kann das Risiko einer in der nachgelagerten Produktion auftretenden Kapazitätsunterdeckung reduziert werden. Darüber hinaus umfasst die entwickelte Methodik zur auslastungsorientierten Terminierung die Berechnung einer jeweils spezifischen Angebotsgültigkeit, welche durch einen Maximalwert begrenzt ist. Der Produktionsplanung werden hiermit zusätzliche Planungsfreiräume gegeben, die dazu beitragen, eine hohe Auslastung der Ressourcen sicherzustellen und somit eine Kapazitätsüberdeckung zu vermeiden.

Der Kunde fordert im Allgemeinen zeitnah nach Übermittlung seiner Anfrage an das Unternehmen eine zuverlässige Aussage hinsichtlich des Produktliefertermins. Dementsprechend muss das zur Bewerkstelligung der Terminierung herangezogene Konzept das Bedürfnis nach einer **Echtzeitfähigkeit der Terminbestimmung** unterstützen. Die Erfüllung dieser Anforderung hängt von einer Vielzahl an Einflussparametern ab, die zum einen von der Komplexität der Methodik bestimmt werden und zum anderen aber auch auf die Rechenleistung der verwendeten Hardware zurückzuführen sind. Im betrachteten Anwendungsbeispiel liegen die Ergebnisse der Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit sowie der anschließenden zur Ermittlung des Produktliefertermins durchgeführten Terminierung bereits nach kurzer Zeit vor. Es ist zwar davon auszugehen, dass mit einer zunehmenden Komplexität des Anwendungsfalls die Menge der von der Methodik zu verarbeitenden Daten kontinuierlich ansteigt, allerdings sollten die hardwaretechnischen Randbedingungen aufgrund innovativer Konzepte, wie beispielsweise dem Cloud-Computing, keinen begrenzenden Faktor bezüglich des Zeitbedarfs zum Durchlaufen der Methodik mehr darstellen. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf eine weiterführende Analyse der Echtzeitfähigkeit der Methodik verzichtet wurde, kann die Erfüllung dieser Anforderung nicht endgültig geklärt werden.

Die Forderung nach einer **Systemfähigkeit der Implementierung** bezieht sich sowohl auf die Eingliederung in die bestehenden Geschäftsprozesse der Auftragsabwicklung als auch auf die Einbindung in die vorhandene Softwarelandschaft. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Konzepte erfüllen beide Kriterien. Zum einen unterstützt der modulare Aufbau der Methodik die nahtlose Integration in die bereits im Unternehmen verankerten Prozesse. In Abhängigkeit der im Vertrieb oder der Produktion genutzten Planungskonzepte ist es möglich, jeweils spezifische Teilaspekte herauszugreifen und umzusetzen. So kann bei dem Vorliegen einer unzureichenden Qualität der Informationen zum

Kaufverhalten der Kunden beispielsweise die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit ausgeklammert werden und die zur Bestimmung des Produktliefertermins erforderlichen Eingangsdaten können durch Standardwerte substituiert werden. Zum anderen wurde mit Hilfe des Anwendungsbeispiels die Implementierung der Methodik in einer betrieblichen Standardsoftware aufgezeigt. Aufgrund der hierdurch bereits vorhandenen definierten Schnittstellen ist eine einfache Integration in die bestehende Softwarelandschaft, die beispielsweise Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung umfasst, unter Wahrung eines durchgängigen Informationsflusses realisierbar.

### **Validierung hinsichtlich der allgemeinen Anforderungen**

Um die notwendige Akzeptanz beim Anwender der Methodik sicherzustellen, sind die Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit und die Berechnung des Produktliefertermins transparent zu gestalten. Die Forderung nach **Transparenz** bezieht sich hierbei sowohl auf die Darlegung der Wirkbeziehungen der verschiedenen Berechnungsschritte und Einflussgrößen als auch auf die Dokumentation von Zwischenergebnissen inklusive deren Zustandekommens. Bereits bei der Definition der einzelnen Prozesselemente wurde dementsprechend ein besonderes Augenmerk auf die Nachvollziehbarkeit der definierten Teilschritte sowie die Offenlegung der vorhandenen Abhängigkeitsbeziehungen gelegt. Die Realisierung der Methodik wurde mit Hilfe einer Tabellenkalkulation durchgeführt. Aufgrund der Verwendung einer betrieblichen Standardsoftware konnte zwar eine transparente Umsetzung der entwickelten Konzepte erzielt werden, allerdings mussten die zugrundeliegende Datenbasis und die erforderliche Programm- bzw. Ablauflogik gemeinsam implementiert werden. Hier sollte in einem nächsten Entwicklungsschritt eine klare Trennung der Wissens- bzw. Datenbasis von der Berechnungslogik verfolgt werden, um die Transparenz weiter zu erhöhen und somit das Vertrauen in die Ergebnisqualität des Ansatzes signifikant zu steigern.

Der Nachweis der **Wirtschaftlichkeit** der Methodik gestaltet sich aufgrund der stark vom jeweils vorliegenden Anwendungsfall abhängigen praktischen Implementierung als schwierig. Auf eine allgemeingültige monetäre Bewertung der entwickelten Verfahren wird somit im Rahmen der vorliegenden Arbeit verzichtet. Stattdessen werden in den nachfolgenden Betrachtungen die erforderlichen Kosten zur Umsetzung sowie der ableitbare Nutzen aus der Anwendung einander gegenübergestellt. Die mit der Methodik verbundenen Kosten bestehen grundsätzlich sowohl aus initialen Kosten, die aus der Erstellung und Einführung der Methodik resultieren, als auch aus kontinuierlichen Kosten, die mit der dauerhaf-

ten Anwendung der Methodik verbunden sind. Den jeweiligen Kategorien können hierbei beispielhaft folgende Elemente zugeordnet werden:

- **Initiale Kosten:** Softwareentwicklung inkl. Schnittstellendefinition, Aufbau der Datenbasis, Einführungsmaßnahmen, ...
- **Kontinuierliche Kosten:** Wartung und Pflege; Anpassung der Berechnungslogik, Fort- und Bildungsmaßnahmen, ...

Der unmittelbare Nutzen der entwickelten Methodik besteht in der direkten Beeinflussung der Zufriedenheit des Kunden mit dem Leistungserbringer aufgrund der positiven Effekte bezüglich der Einhaltung des im Rahmen der Angebotsterminierung ermittelten Produktliefertermins. Auf Basis der Erfüllung seiner diesbezüglichen Erwartungen ist es möglich, eine langfristige Bindung der Kunden an das Unternehmen aufzubauen. Ein Indikator für die Zufriedenheit kann hierbei aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl an Aufträgen der Bestandskunden und der Anzahl an Aufträgen der Neukunden gewonnen werden. Je höher der Anteil an Aufträgen der bereits an das Unternehmen gebundenen Kunden ist, bei Annahme eines konstanten bzw. wachsenden Auftragseingangs, desto besser wurde die Erwartungshaltung dieser Gruppe in der Vergangenheit erfüllt. Eine weitere Möglichkeit zur Ableitung der Kundenzufriedenheit besteht in der Betrachtung der Wiederholkäufe der Bestandskunden. Je höher sich hierbei die Anzahl an erneuten Beauftragungen ergibt, desto größer ist die Zufriedenheit mit der bisherigen Leistung des Unternehmens. Für die nachgelagerte Produktion besteht darüber hinaus ein Nutzen aus der Methodik darin, dass bereits im Rahmen der Angebotsterminierung auf Basis realistischer Annahmen zur Auftragserteilung eine gleichmäßige Auslastung der Ressourcen angestrebt wird. Hiermit kann eine Verbesserung der internen Prozesse der Auftragsabwicklung erzielt werden, die eine zuverlässigere Planung erlaubt und zur Reduktion von Überlastung beiträgt.

Mit Hilfe der Implementierung des aus dem industriellen Umfeld abgeleiteten Anwendungsbeispiels in einer Tabellenkalkulation konnte die grundsätzliche **Praxistauglichkeit** der Methodik aufgezeigt werden. Die in diesem Kontext zu erfüllenden Anforderungen werden dabei zusammenfassend durch eine hohe Benutzerfreundlichkeit sowie die einfache Umsetzbarkeit im industriellen Umfeld charakterisiert. Die Erfüllung beider Elemente basiert auf der Beherrschung der Komplexität des Gesamtprozesses, welche durch die strukturierte und übersichtliche Abbildung mittels in voneinander abgegrenzten Arbeitsmappen erreicht wurde. Der Anwender wird hierdurch in die Lage versetzt, die jeweils erforderli-

chen Berechnungsschritte sowie die Ausprägungen der jeweiligen Einflussgrößen direkt einzusehen und die getroffenen Annahmen zu einzelnen Faktoren an die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen jederzeit anzupassen.

Die Ausprägung der kunden- bzw. produktbezogenen Auftragswahrscheinlichkeit wird in großem Maße von der vom Unternehmen verfolgten Strategie der Marktbearbeitung bestimmt. So liegen bei einer Einzelfertigung zwar detaillierte Informationen zum Kunden vor, allerdings können aufgrund des spezifischen Produkts lediglich allgemeine Ableitungen zur produktbezogenen Umwandlungsrate vom Angebot zum Auftrag getroffen werden. Im Gegensatz hierzu ist bei einer Massenfertigung das Wissen über den einzelnen Kunden mit einer hohen Unsicherheit behaftet, wohingegen die Auftragswahrscheinlichkeit der verschiedenen Produkte in Folge der vorhandenen Datenbasis zuverlässig bestimmbar ist. Hieraus resultiert, dass in Abhängigkeit der jeweiligen Wettbewerbsstrategie die Qualität der zur Verfügung stehenden Informationen einer sehr breiten Streuung unterliegen kann. Die erfolgreiche Implementierung der Methodik setzt deshalb die **Skalierbarkeit** der verwendeten Verfahren bezüglich des jeweils vorliegenden Anwendungsfalls voraus. Die Erfüllung dieser Anforderung ist aufgrund des modularen Aufbaus der entwickelten Vorgehensweise grundsätzlich gegeben, da die Einflussfaktoren zur Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit sowie die hinterlegten Berechnungsvorschriften jederzeit ergänzt, gelöscht oder modifiziert werden können.

Eine Zusammenfassung der erläuterten Erfüllungsgrade der an die Methodik gestellten Anforderungen ist in der nachfolgenden Abbildung 93 zu finden.

Spezifische Anforderungen		Allgemeine Anforderungen	
• Leistungsfähigkeit der Datenerfassung	●	• Transparenz	◐
• Anpassungsfähigkeit der Kapazitätsgrenzen	●	• Wirtschaftlichkeit	◐
• Echtzeitfähigkeit der Terminbestimmung	◐	• Praxistauglichkeit	◐
• Systemfähigkeit der Implementierung	●	• Skalierbarkeit	●

**Legende:** Die Anforderungen sind ...  
 ● ... vollständig erfüllt    ◐ ... überwiegend erfüllt    ◑ ... teilweise erfüllt  
 ◒ ... kaum erfüllt    ○ ... nicht erfüllt

Abbildung 93: Erfüllungsgrade der gestellten Anforderungen der Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen

## 7.5 Zwischenfazit

Die prototypische Umsetzung der in Kapitel 6 vorgestellten Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen bildete den Betrachtungsgegenstand der Ausführungen in Kapitel 7. Als Anwendungsbeispiel aus dem industriellen Umfeld wurde die Produktion eines Schaltschrankgehäuses ausgewählt. Hierbei handelt es sich um ein Produkt, das sowohl im B2B-Umfeld (Business-to-Business) als auch im B2C-Markt (Business-to-Consumer) vertrieben wird und das aufgrund der oftmals spezifischen Kundenanforderungen durch einen hohen Individualisierungsgrad gekennzeichnet ist.

Um die durch die Anwendung der entwickelten Methodik erzielbaren Verbesserungen hinsichtlich der Liefertreue sowie der Kapazitätsauslastung quantitativ nachzuweisen, wurden für das vertriebsseitige Vorgehen zur Bestimmung des Produktliefertermins zwei Szenarien definiert. Das Szenario A bildete die im industriellen Umfeld verbreitete klassische Vorgehensweise der Angebotsterminierung ab. In Bezug auf die nachgelagerte Gegenüberstellung der beiden Szenarien stellte es die Vergleichsbasis der zu analysierenden Kennzahlen dar. Das Szenario B hingegen entspricht hinsichtlich der zu durchlaufenden Prozesse dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten Konzept der Angebotsterminierung. Die inhaltliche Ausrichtung fokussierte sich hierbei auf die Prozesse der Kapazitätsterminierung unter Verwendung der Monte-Carlo-Simulation.

Als Eingangsdaten für die beiden Szenarien lag jeweils eine Liste an Kundenanfragen vor, die eine repräsentative Auswahl des geforderten Produktspektrums, von Standardvarianten bis hin zu Individualvarianten mit kundenspezifisch definierten Produktausprägungen, umfasste. Auf Basis dieser Daten sowie der Prozess- und Ressourceninformationen wurden die Anfragen zeitlich auf den Produktionsmitteln eingeplant und die voraussichtlichen Produktliefertermine ermittelt. Anschließend wurden unter Berücksichtigung der definierten Auftragswahrscheinlichkeit die zu erwartenden Kundenrückmeldungen abgeleitet. Somit lagen für beide Szenarien letztendlich verbindliche Auftragslisten vor. Der nachfolgende Vergleich beider Szenarien zeigte, dass mit dem im Rahmen der Arbeit entwickelten Vorgehen zur Durchführung der Angebotsterminierung trotz der getroffenen Vereinfachungen eine Verbesserung hinsichtlich der Qualität der Aussage zum Produktliefertermin unter Berücksichtigung der Kapazitätssituation der Produktionsressourcen erzielt werden konnte.

Die anschließende Bewertung der Methodik hinsichtlich der in Kapitel 5 definierten spezifischen und allgemeinen Anforderungen umfasste eine ganzheitliche Betrachtung der entwickelten Konzepte. Mit Ausnahme der Echtzeitfähigkeit, für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit kein vollständiger Nachweis geführt werden konnte, wurden hierbei die spezifischen Anforderungen vollständig erfüllt. In Bezug auf die allgemeinen Anforderungen ergab die kritische Betrachtung für die Transparenz, die Wirtschaftlichkeit sowie die Praxistauglichkeit geringfügige Abstriche hinsichtlich der vollständigen Erfüllung der gestellten Anforderungen. Ganzheitlich betrachtet konnte auf Basis der durchgeführten Bewertung dennoch ein positives Gesamtfazit gezogen werden.

Den Abschluss der vorliegenden Arbeit bildet im nachfolgenden Kapitel 8 eine zusammenfassende Schlussbetrachtung der inhaltlichen Ausführungen sowie ein Ausblick hinsichtlich zukünftiger im Kontext der Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen angesiedelter Forschungsthemen.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

### 8.1 Zusammenfassung

Die aktuelle Diskussion zum Thema Industrie 4.0 zeigt deutlich, dass der produktionstechnische Bereich in den nächsten Jahrzehnten einem erheblichen Wandel unterworfen sein wird. Hierbei gilt es nicht nur, den Trend einer zunehmenden Unterstützung der Prozesse der Auftragsabwicklung durch integrierte und ganzheitlich vernetzte Softwaresysteme zu verfolgen, sondern es sind auch in besonderem Maße die gesellschaftlichen Veränderungen, wie beispielsweise der Wunsch nach individualisierten Produkten, zu berücksichtigen. Viele Unternehmen aus dem verarbeitenden Gewerbe sind sich dieser Entwicklung bewusst und reagieren mit entsprechenden Angeboten auf die neuen Bedürfnisse der Kunden. So wird inzwischen von einer zunehmenden Anzahl an Unternehmen den Kunden die Möglichkeit eingeräumt, ausgewählte Produkteigenschaften entsprechend den individuellen Wünschen anzupassen.

Aus dem Bedürfnis nach individualisierten Produkten resultiert allerdings eine Verschiebung der aus Kundensicht relevanten Wettbewerbsfaktoren. So treten aufgrund der Berücksichtigung individueller Anforderungen zunehmend die Kosten oder die Qualität bei der Entscheidung für ein Produkt in den Hintergrund. Demgegenüber haben sich die zeitbezogenen Kenngrößen der Lieferzeit und der Liefertreue als maßgebliche Einflussparameter etabliert. Insbesondere die gestiegenen Anforderungen hinsichtlich einer hohen Liefertreue, also der Einhaltung des im Angebotsprozess ermittelten und an den Kunden kommunizierten Liefertermins, stellen die produzierenden Unternehmen hierbei vor neue Herausforderungen. Um die Erwartungshaltung der Kunden erfüllen zu können, werden somit Konzepte zur Durchführung der Angebotsbearbeitung benötigt, die Unsicherheiten hinsichtlich der Annahme oder Ablehnung des Angebots sowie die Ungewissheiten bezüglich der für die Einplanung der Anfrage erforderlichen Abschätzung der zukünftigen Kapazitätsauslastung abbilden. Dies erfordert eine Modifikation der häufig ausschließlich für die Bedürfnisse der Serienproduktion optimierten Prozesse der Auftragsabwicklung.

Die Berücksichtigung der genannten Risiken bei der Bestimmung des Produktliefertermins im Rahmen der Angebotsbearbeitung bildete den thematischen Kern der vorliegenden Arbeit, die sich mit der Entwicklung einer Methodik zur auslas-

tungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen befasst. Zur Klärung der formulierten zentralen Forschungsfragen wurden zunächst aufbauend auf den diskutierten wissenschaftlichen Grundlagen grundsätzlich zu betrachtende Anforderungen an die Methodik abgeleitet sowie ein konzeptioneller Entwurf des Gesamtprozesses der Angebotsterminierung definiert. Dieser ganzheitliche Ansatz umspannt dabei die Tätigkeitsfelder von der Erfassung der Anfrage bis hin zur nachgelagerten Auswertung des Angebotsprozesses.

Im Verlauf der weiteren Ausführungen wurden die einzelnen Prozessschritte ausführlich erläutert. Ein zentrales Element der entwickelten Methodik stellt die wissensbasierte Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit auf der Grundlage definierter Gewichtungsfaktoren und produkt- bzw. kundenspezifischer Wahrscheinlichkeitswerte dar. Durch die Variation der Gewichtungsfaktoren kann die Berechnung der Auftragswahrscheinlichkeit an die vorhandenen unternehmensspezifischen Erfahrungswerte angepasst werden. Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitswerte ist auf das im Unternehmen vorhandene Wissen bezüglich der Prozesse der Auftragsabwicklung zurückzugreifen. Hierbei handelt es sich um Daten, die sowohl aus dem Vertrieb als auch aus der Produktion bereitgestellt werden müssen. Der modulare Aufbau der Berechnungslogik erlaubt es darüber hinaus sowohl die produkt- als auch die kundenspezifische Auftragswahrscheinlichkeit um weitere Einflussfaktoren zu ergänzen und somit die Aussagekraft der Auftragswahrscheinlichkeit schrittweise zu erhöhen. Im Anschluss an die Beschreibung der Ermittlung der Auftragswahrscheinlichkeit wurde der Prozess zur simulationsbasierten Bestimmung des Produktliefertermins erläutert. Das unmittelbare Planungsvorgehen basiert hierbei auf der Kombination von durchlauf- und kapazitätsorientierten Ansätzen unter Berücksichtigung der berechneten Auftragswahrscheinlichkeit. Der wesentliche Unterschied zu den bereits etablierten Methoden besteht in der Nutzung der Monte-Carlo-Simulation zur Reduzierung des Risikos einer Überbuchung der Produktionskapazität. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation wird dabei die Wahrscheinlichkeit, dass die geplante Zusammensetzung der auf einem Produktionsmittel in einer bestimmten Planungsperiode eingeplanten Kombination aus Anfragen und Aufträgen in der zeitlich nachgelagerten Produktion zu einer Kapazitätsüberbuchung führt, bestimmt. Auf Basis eines Grenzwerts, der ein Maß für die Risikobereitschaft des Unternehmens bezüglich der zulässigen geplanten Kapazitätsüberbuchung darstellt, kann nach Abschluss der Simulation anhand der gewonnenen Erkenntnisse die Entscheidung bezüglich der Einplanung der Anfrage getroffen werden.



Die gestellten Forschungsfragen betreffend der Bestimmung einer adaptiven Auftragswahrscheinlichkeit sowie der Einplanung des um die Auftragswahrscheinlichkeit reduzierten Angebotskapazitätsbedarfs wurden durch die Ausarbeitung des Verfahrens zur wissensbasierten Ermittlung der Wahrscheinlichkeit der Auftragserteilung und die Entwicklung des Vorgehens zur simulationsbasierten Ableitung des Produktliefertermins umfassend geklärt.

Die Umsetzung der Methodik in einem praxisrelevanten Anwendungsfall veranschaulichte abschließend deren Potenzial. Hierbei konnte anhand des Vergleichs mit einem Referenzbeispiel, das die klassische Vorgehensweise zur Durchführung der Angebotsterminierung abbildet, die verbesserte Ergebnisqualität des entwickelten Konzepts hinsichtlich der Einhaltung des prognostizierten Produktliefertermins unmittelbar aufgezeigt werden. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Methodik stellt somit nachweislich eine geeignete Lösungsstrategie zur Beherrschung der Risiken der Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen dar.

## **8.2 Ausblick**

Die grundsätzliche Motivation der vorliegenden Arbeit bestand in der Schaffung eines Problembewusstseins hinsichtlich der Herausforderungen bei der Angebotsbearbeitung. Die durchgeführten Untersuchungen fokussierten sich hierbei auf die Optimierung des Prozesses der Angebotsterminierung unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen einer kundenindividuellen Produktion. Die aus den identifizierten Handlungsfeldern abgeleiteten Anforderungen konnten mittels der entwickelten Methodik erfüllt werden. Allerdings mussten aufgrund der Komplexität der Problemstellung verschiedene Vereinfachungen, die sich sowohl auf die Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit als auch auf die Kapazitätsterminierung beziehen, getroffen werden. Es gilt nun, diese Annahmen im Rahmen weiterführender Forschungsarbeiten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Gesamtprozess detailliert zu untersuchen und gegebenenfalls mittels geeigneter Lösungsstrategien zu substituieren.

Zum einen könnte der Prozess der Anfragebewertung, der zur Bestimmung der Auftragswahrscheinlichkeit dient, auf Basis zukünftiger Forschungstätigkeiten vertiefend ausgearbeitet werden. Um die Aussagequalität dieser Kenngröße weiter zu erhöhen, gilt es anhand wissenschaftlicher Untersuchungen zu klären, welche zusätzlichen Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung des Kunden existie-

ren und in welchen Abhängigkeitsbeziehungen diese zueinander stehen. Als zu betrachtende Größen könnten hierbei beispielsweise saisonale Einflüsse oder die aktuelle Phase des Produktlebenszyklus in Frage kommen. Zum anderen sollte der zur Ableitung des Liefertermins erforderliche Prozess der Kapazitätsterminierung weiter untersucht werden. Das im Rahmen der Arbeit entwickelte Vorgehen berücksichtigt keine Umplanung von bereits auf den Produktionsressourcen eingeplanten Arbeitsinhalten. Würde die Verschiebung unter Einhaltung des an den Kunden kommunizierten Liefertermins ermöglicht, könnten vorhandene Kapazitätsfreiräume besser ausgenutzt und somit die Planungseffizienz deutlich gesteigert werden. Des Weiteren gilt es zu prüfen, inwiefern eine detaillierte Angebotsterminierung auf Ebene der einzelnen Ressourcen auch bei einem komplexen Produktionsprozess durchführbar ist. Heuristische Verfahren, wie beispielsweise genetische Algorithmen, stellen hierbei vielversprechende Ansätze dar, um komplexe Problemstellungen bei einer annehmbaren Rechenzeit in einer ausreichend hohen Ergebnisqualität zu lösen. Durch die Nutzung eines solchen Verfahrens könnte ebenfalls die Umsetzung einer ganzheitlichen Terminierung, d. h. die integrative Betrachtung der im Vertrieb angesiedelten Grobterminierung sowie der in der Produktion durchgeführten Feinterminierung, realisiert werden, wodurch ein lückenloses Ineinandergreifen der planenden und steuernden Prozesse gewährleistet werden würde.

Das Themenfeld der Angebotsterminierung bietet somit eine Vielzahl an offenen Fragestellungen für weitere Forschungsaktivitäten, die es zu klären gilt. Ungeachtet dessen kann bereits durch Nutzung der in dieser Arbeit entwickelten Ansätze ein entscheidender Beitrag dazu geleistet werden, die Liefertreue zu verbessern und somit den Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit der produzierenden Unternehmen in Deutschland langfristig zu erhalten. Dies ist zwingend erforderlich, denn nach wie vor erwirtschaftet der sekundäre Sektor in Deutschland knapp ein Viertel des Bruttoinlandsprodukts und ist somit für die Sicherung des Wohlstands und für den Erhalt zukunftsfähiger Arbeitsplätze von zentraler Bedeutung.

## Literaturverzeichnis

### ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion - Herausforderung, Forschungsfelder, Chancen. 1. Aufl. München: Hanser 2011. ISBN: 978-3-446-42595-8.

### ALBERS & KRAFFT 2000

Albers, S.; Krafft, M.: Regeln zur Bestimmung des fast-optimalen Angebotsaufwands. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 70 (2000) 10, S. 1083-1107.

### ALICKE 2003

Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken. 1. Aufl. Berlin: Springer 2003. ISBN: 3-540-44370-3.

### ALMENRÄDER 1987

Almenräder, A.: Baustein: P.1 - Angebotsplanung. In: Rationalisierung-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V. (Hrsg.): PPS-Fachmann: Grundlagen, Planung, Steuerung - Band 2: Planung. Düsseldorf: TÜV Rheinland 1987. ISBN: 3-921451-26-4.

### AMBERG & SCHUMACHER 2002

Amberg, M.; Schumacher, J.: CRM-Systeme und Basistechnologien. In: Meyer, M. (Hrsg.): CRM-Systeme mit EAI - Konzeption, Implementierung und Evaluation. 1. Aufl. Braunschweig: Vieweg 2002, S. 21-60. ISBN: 3-528-05795-5.

### ARLT et al. 2001

Arlt, V.; Götz, O.; Nebuhr, K.; Ranze, C.: Der schnelle Weg zum richtigen Antrieb durch Produktkonfiguration - Technologie, Anwendung, Nutzen. In: Schraft, R. et al. (Hrsg.): SPS IPC DRIVES 2001. Nürnberg, 27.-29.11.2001. Heidelberg: Hüthig 2001, S. 651-660. ISBN: 3-7785-2833-5.

### BACKHAUS 1980

Backhaus, K.: Auftragsplanung im industriellen Anlagengeschäft. Stuttgart: Poeschel 1980. ISBN: 3-7910-0261-7.

### BACKHAUS & VOETH 2011

Backhaus, K.; Voeth, M.: Industriegütermarketing. 9. Aufl. München: Vahlen 2011. ISBN: 978-3-800-64304-2.

**BÄR 1977**

Bär, W.: Produktionsplanung und Auftragsbearbeitung im Industriebetrieb. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1977. ISBN: 3-409-34441-1.

**BARRMEYER 1982**

Barrmeyer, M.-C.: Die Angebotsplanung bei Submission. Münster: Lit 1982. ISBN: 3-88660-081-5.

**BAUMBERGER 2007**

Baumberger, G. C.: Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. Diss. Technische Universität München (2007). München: Dr. Hut 2007. ISBN: 978-3-899-63660-4.

**BECKER 2010**

Becker, J. K., Ralf; Müller, Oliver; Winkelmann, Axel: Vertriebsinformationssysteme - Standardisierung, Individualisierung, Hybridisierung und Internetisierung. Heidelberg: Springer 2010. ISBN: 978-3-642-11858-6.

**BGB 2013**

BGB: Bürgerliches Gesetzbuch. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 2013. ISBN: 978-3-423-05001-2.

**BIENIEK 2001**

Bieniek, C.: Prozeßorientierte Produktkonfiguration zur integrierten Auftragsabwicklung bei Variantenfertigern. Diss. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig (2001). Aachen: Shaker 2001. ISBN: 3-8265-8937-8. (Schriftenreihe des IFU 1).

**BONGULIELMI 2003**

Bongulielmi, L.: Die Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess. Diss. ETH Zürich (2002). Düsseldorf: VDI 2003. ISBN: 3-18-315116-2. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 16 Nr. 151).

**BRANKAMP 1973**

Brankamp, K.: Ein Terminplanungssystem für Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung. 2. Aufl. Würzburg: Physica-Verlag 1973. ISBN: 3-7908-0103-8.

**BRINKOP 2014**

Brinkop, A.: Marktführer Produktkonfiguration. <[www.brinkop-consulting.com/guide/marktfuehrer.pdf](http://www.brinkop-consulting.com/guide/marktfuehrer.pdf)> - 07.07.2014.

BULLINGER et al. 2009

Bullinger, H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H.-J.; Westkämper, E. (Hrsg.):  
Handbuch Unternehmensorganisation - Strategien, Planung, Umsetzung.  
3. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-540-72136-9.

BULLINGER 2010

Bullinger, H.-J.: Perspektiven der Produktionstechnik - Vorsprung durch  
Innovation. 10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010.  
Karlsruhe, 09.-10.03.2010.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE 2011

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:  
Jahreswirtschaftsbericht 2011: Deutschland im Aufschwung - den  
Wohlstand von morgen sichern. < www.bmwi.de/> - 01.02.2011.

BURGHARDT 2013

Burghardt, M.: Einführung in Projektmanagement - Definition, Planung,  
Kontrolle, Abschluss. 6. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2013.  
ISBN: 978-3-895-78904-5.

COATES 1995

Coates, J.: Customization promises sharp competitive edge. Research  
Technology Management 38 (1995) 6, S. 6-7.

CORSTEN et al. 2008

Corsten, H.; Corsten, H.; Gössinger, R.: Projektmanagement: Einführung.  
2. Aufl. München: Oldenbourg 2008. ISBN: 978-3-486-58606-0.

COTTIN & DÖHLER 2009

Cottin, C.; Döhler, S.: Risikoanalyse - Modellierung, Beurteilung und  
Management von Risiken mit Praxisbeispielen. Wiesbaden: GWV  
Fachverlage GmbH 2009. ISBN: 978-3-834-80594-2.

DAVIS 1987

Davis, S. M.: Future Perfect. Massachusetts: Addison-Wesley 1987.  
ISBN: 0-201-11513-1.

DELOITTE & TOUCHE 1998

Deloitte & Touche: Vision in Manufacturing - Global Manufacturing  
Report. New York: Deloitte 1998. ISBN: 0-965495-46-9.

DIN 69900

DIN 69900: Projektmanagement - Netzplantechnik; Beschreibung und  
Begriff. Berlin: Beuth 2009.

DOMSCHKE & DREXL 2007

Domschke, W.; Drexel, A.: Einführung in Operations Research. 7. Aufl.  
Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-540-70948-0.

DÖRFLINGER & MARXT 2001

Dörflinger, M.; Marxt, C.: Mass Customization - neue Potenziale durch  
kundenindividuelle Massenproduktion (I). *io management* 70 (2001) 3,  
S. 86-93.

DÜLL 2009

Düll, A.: Aktive Produktindividualisierung - Ansatzpunkte zur  
nutzerorientierten Konzeption von Mass-Customization-Angeboten im  
Konsumgütermarkt. Diss. Universität Mannheim (2008). Wiesbaden:  
Gabler 2009. ISBN: 978-3-834-91518-4. (Schriftenreihe des Instituts für  
Marktorientierte Unternehmensführung (IMU)).

DURAY et al. 2000

Duray, R.; Ward, P. T.; Milligan, G. W.; Berry, W. L.: Approaches to  
Mass Customization: Configurations and empirical Validation. *Journal of  
Operations Management* 18 (2000) 6, S. 605-625.

EVERSHEIM et al. 1982

Eversheim, W.; Koch, R.; Radermacher, W.: Angebotsabwicklung -  
Ermittlung der optimalen Aufbau- und Ablauforganisation. Berlin: Beuth  
1982. ISBN: 3-410-37964-9.

EVERSHEIM 1996

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik - Band 1:  
Grundlagen. 3. Aufl. VDI-Verlag 1996. ISBN: 978-3-184-00934-2.

EVERSHEIM 1998

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik: Band 2 -  
Konstruktion. 3. Aufl. Berlin: Springer 1998. ISBN: 3-540-62650-6.

EVERSHEIM & SCHUH 1999

Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management - Band 2:  
Produktmanagement. Berlin: Springer 1999. ISBN: 3-540-65451-8.

EVERSHEIM 2002

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik: Band 3  
Arbeitsvorbereitung. 4. Aufl. Berlin: Springer 2002.  
ISBN: 3-540-42016-9.

EVERSHEIM & SCHUH 2003

Eversheim, W.; Schuh, G.: Standard, individualisiert - individuell. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 55-63. ISBN: 3-540-00594-3.

FÄRBER et al. 2002

Färber, U.; Kuppinger, R.; Löllmann, P.: Das 3Liter-PPS® Konzept: Die richtige Dosis PPS für Kundenauftragsfertiger. wt Werkstatttechnik online 92 (2002) 5, S. 242-247.

FELDMANN et al. 2004

Feldmann, K.; Gergs, H.-J.; Slama, S.; Wirth, U.: Montage strategisch ausrichten - Praxisbeispiele marktorientierter Strukturen. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3-540-40304-3.

FELLER 1992

Feller, A. H.: Kalkulation in der Angebotsphase mit selbsttätig abgeleiteten Erfahrungswissen. Diss. Universität Karlsruhe (TH) (1992). (Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe 46).

GAHR 2006

Gahr, A. H.: Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte - eine flexible entwicklungsbegleitende Kalkulation. Diss. Technische Universität München (2006). München: Dr. Hut 2006. ISBN: 3-89963431-4. (Produktentwicklung).

GAUSEMEIER 2009

Gausemeier, J. P., Christoph; Wenzelmann, Christoph: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung - Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. München: Hanser 2009. ISBN: 978-3-446-41055-8.

GAUSMANN 2008

Gausmann, O.: Kundenindividuelle Wertschöpfungsnetze. Diss. Universität Augsburg (2008). Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN: 978-3-834-91339-5.

GIEHLER 2010

Giehler, F.: Erhöhung der Planungsproduktivität am Beispiel der Auftragsabwicklung im Werkzeugbau. Diss. RWTH Aachen (2010). Aachen: Apprimus 2010. ISBN: 978-3-940-56573-0. (Ergebnisse aus der Produktionstechnik 16).

GIZANIS 2005

Gizanis, D.: Kooperative Auftragsabwicklung - Architektur, Praxisbeispiele und Nutzenpotenziale. Diss. Universität St. Gallen (2005).

GRABOWSKI 1972

Grabowski, H.: Ein System zur Technischen Angebotsplanung in Unternehmen mit auftragsgebundener Fertigung. Diss. RWTH Aachen (1972).

GRABOWSKI & KAMBARTEL 1977

Grabowski, H.; Kambartel, K.-H.: Rationelle Angebotsbearbeitung in Unternehmen mit Auftragsfertigung. Essen: Girardet 1977. ISBN: 3-7736-0403-3.

GRÄBLER 2004

Gräßler, I.: Kundenindividuelle Massenproduktion - Entwicklung, Vorbereitung der Herstellung, Veränderungsmanagement. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3-540-20554-3.

GRONAU 2010

Gronau, N.: Enterprise Resource Planning - Architektur, Funktionen und Management von ERP-Systemen. 2. Aufl. München: Oldenbourg 2010. ISBN: 978-3-486-59050-0.

HACKSTEIN 1989

Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS) - Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. ISBN: 3-18-400924-6.

HAGEMEISTER 2007

Hagemeister, T.: Advanced Planning Systeme - Marktanalyse ausgewählter Anbieter zur Unterstützung des Supply Chain Managements. Saarbrücken: VDM 2007. ISBN: 978-3-836-41358-9.

HEGER 1988

Heger, G.: Anfragebewertung im industriellen Anlagengeschäft. Diss. Freie Universität Berlin (1987). Berlin: Duncker & Humblot 1988. ISBN: 3-428-06554-9. (Vertriebswirtschaftliche Abhandlungen 30).

HEIOB 1982

Heiob, W.: Einsatz dialogorientierter Entscheidungstechnik in der Angebots- und Auftragsbearbeitung im Unternehmen mit auftragsgebundener Produktion. Diss. Universität Karlsruhe (TH) (1982). Düsseldorf: VDI-Verlag 1982. ISBN: 3-18-141510-3. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 10 Nr. 15).



HELMKE 2008

Helmke, S. U., Matthias F.; Dangelmaier, Wilhelm (Hrsg.): Effektives Customer Relationship Management: Instrumente - Einführungskonzepte - Organisation. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2008.  
ISBN: 978-3-834-90415-7.

HENTSCHEL 2008

Hentschel, D.: Kunde "droht" mit Auftrag - Risiko Auftragswahrscheinlichkeit. PPS Management 13 (2008) 1, S. 55-58.

HESSELER 2007

Hesseler, M. G., Marcus: Basiswissen ERP-Systeme. Herdecke: W3L-Verlag 2007. ISBN: 978-3-937-13738-4.

HIPPNER et al. 2011

Hippner, H.; Hubrich, B.; Wilde, K. D.: Grundlagen des CRM - Strategie, Geschäftsprozesse und IT-Unterstützung. 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2011. ISBN: 978-3-834-92550-3.

HOFBAUER & HELLWIG 2012

Hofbauer, G.; Hellwig, C.: Professionelles Vertriebsmanagement - Der prozessorientierte Ansatz aus Anbieter- und Beschaffersicht. 3. Aufl. Erlangen: Publicis Publishing 2012. ISBN: 978-3-89578-402-6.

HOITSCH 1993

Hoitsch, H.-J.: Produktionswirtschaft - Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. 2. Aufl. München: Vahlen 1993.  
ISBN: 3-80061619-X.

HÜLLENKREMER 2002

Hüllenkremer, M.: Frontoffice meets Backoffice. it - industrielle Informationstechnik (2002) 1-2, S. 22-24.

JODLBAUER & GMAINER 2006

Jodlbauer, H.; Gmainer, R.: Erfolgsfaktor Liefertreue - Hohe Liefertreue sichert Wettbewerbsvorteile. PPS Management 11 (2006) 4, S. 44-47.

JUNGE 2002

Junge, M.: Individualisierung. Frankfurt/Main: Campus 2002.  
ISBN: 3-593-37025-5.

KAMBARTEL 1973

Kambartel, K.-H.: Systematische Angebotsplanung in Unternehmen der Auftragsfertigung. Diss. RWTH Aachen (1973).

KIENER et al. 2009

Kiener, S.; Maier-Scheubeck, N.; Obermaier, R.; Weiß, M.: Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. 9. Aufl. München: Oldenbourg 2009. ISBN: 978-3-486-59098-2.

KLETTI 2006

Kletti, J. (Hrsg.): MES - Manufacturing Execution System. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-28010-1.

KOCH 1995

Koch, M.: Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung in der Investitionsgüterindustrie. Diss. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (1994). München: Hanser 1995. ISBN: 3-446-18174-1. (Fertigungstechnik - Erlangen 41).

KOMPENHANS 1977

Kompenhans, K.: Netzplantechnik + Transplantechnik. Offenbach am Rhein: VWK 1977. ISBN: 3-7756-7003-3.

KÖRSMEIER 1996

Körsmeier, R.: Kundennahe, rechnerunterstützte Angebotserstellung im Vertriebsaußendienst für komplexe Investitionsgüter. Diss. Universität-Gesamthochschule Paderborn (1996). Düsseldorf: VDI-Verlag 1996. ISBN: 3-18-308916-5. (Fortschritt-Berichte Reihe 16 Nr. 89).

KRATZ 1975

Kratz, J.: Der Interaktionsprozess für den Kauf von einzeln gefertigten Investitionsgütern. Diss. Ruhr-Universität Bochum (1975). (Bochumer Wirtschaftswissenschaftliche Studien 15).

KREBS 2012

Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten. Diss. Technische Universität München (2011). München: Utz 2012. ISBN: 978-3-831-64156-7. (Forschungsberichte iw 255).

KREUTZER 1990

Kreutzer, R. T.: Die Basis für den Dialog. Absatzwirtschaft 33 (1990) 4, S. 104-113.

KUHLMANN 2001

Kuhlmann, E.: Industrielles Vertriebsmanagement. München: Vahlen 2001. ISBN: 3-80062715-9.

## KURBEL 2005

Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Management. 6. Aufl. München: Oldenbourg 2005. ISBN: 3-486-57578-3.

## LANDAU &amp; HELLWIG 2007

Landau, K.; Hellwig, R.: Projektmanagement - Grundlagen und Anwendung. 2. Aufl. Stuttgart: Ergonomia-Verlag 2007. ISBN: 978-3-935-08975-3.

## LINDEMANN et al. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-25506-2.

## LINK 1993

Link, J. H., Volker: Database Marketing und Computer Aided Selling. München: Vahlen 1993. ISBN: 3-8006-1783-8.

## LÖDDING 2008

Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung - Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2. Aufl. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-540-76859-3.

## LUX 2001

Lux, S.: Entwicklung rechnerunterstützter Angebotssysteme mit generischen Methoden. Diss. Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig (2001). Aachen: Mainz 2001. ISBN: 3-89653-856-X. (Berichte des Instituts für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente 61).

## MARCINSKI 2008

Marcinski, G.: Einsatzgebiete von ERP-, APS- und MES-Lösungen. ERP-Management 4 (2008) 4, S. 62-64.

## MELZER-RIDINGER 2007

Melzer-Ridinger, R.: Supply Chain Management - Prozess- und unternehmensübergreifendes Management von Qualität, Kosten und Liefertreue. München: Oldenbourg 2007. ISBN: 978-3-486-58259-8.

## MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Münchener Kolloquium ... nur der Wandel bleibt. Garching, 16.-17.03.2000. München: Utz 2000, S. 311-331. ISBN: 3-89675-923-X.

MÖHRINGER 1998

Möhringer, S.: Integrierte rechnergestützte Angebotsbearbeitung im kundenspezifischen Maschinen- und Anlagenbau. Diss. Technische Universität Darmstadt (1998). Düsseldorf: VDI-Verlag 1998. ISBN: 3-18-310216-1. (Fortschritt-Berichte Reihe 16 Nr. 102).

NIETSCH 1996

Nietsch, T.: Erfahrungswissen in der computergestützten Angebotsbearbeitung - Erfassung, Darstellung und Anwendung mit Hilfe fallbasierter Methoden. Diss. Universität Münster (1995). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 1996. ISBN: 3-8244-6340-7.

NYHUIS & WIENDAHL 2012

Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien - Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 978-3-540-92838-6.

PAHL et al. 2007

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. 7. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-540-34060-7.

PILLER 1998

Piller, F. T.: Kundenindividuelle Massenproduktion - Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München: Hanser 1998. ISBN: 3-446-19336-7.

PILLER & STOTKO 2003

Piller, F. T.; Stotko, C. M.: Mass Customization und Kundenintegration - Neue Wege zum innovativen Produkt. Düsseldorf: Symposium 2003. ISBN: 978-393-660805-2.

PILLER 2006

Piller, F. T.: Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 978-3-835-00355-2.

PINE 1993

Pine, B. J.: Mass Customization - The New Frontier in Business Competition. Boston: Harvard Business School Press 1993. ISBN: 0-87584-372-7.

PORTER 1980

Porter, M. E.: Competitive Strategy - Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York: Free Press 1980. ISBN: 0-7432-6088-0.

## REFA 1991

REFA: Planung und Steuerung - Teil 3. München: Hanser 1991. ISBN: 3-446-16351-4. (Methodenlehre der Betriebsorganisation).

## REHKOPF 2006

Rehkopf, S.: Revenue Management-Konzept zur Auftragsannahme bei kundenindividueller Produktion. Diss. Technische Universität Braunschweig (2006). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2006. ISBN: 978-3-835-00587-7.

## REICHWALD &amp; PILLER 2006

Reichwald, R.; Piller, F. T.: Interaktive Wertschöpfung - Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 3-8349-0106-7.

## REINHART &amp; ZÄH 2003

Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003. ISBN: 3-540-00594-3.

## REINHART &amp; SPATH 2009

Reinhart, G.; Spath, D. (Hrsg.): Auftragsprozesse in der kundenintegrierten Montage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2009. ISBN: 978-3-816-77882-0.

## REINHART et al. 2009

Reinhart, G.; Wiedemann, M.; Rimpau, C.: An Approach for the Offer Specification Process for customized Products. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 22 (2009) 1, S. 69-82.

## RIMPAU 2011

Rimpau, C.: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte. Diss. Technische Universität München (2010). München: Utz 2011. (Forschungsberichte iwv 239).

## SCHEER 2006

Scheer, C.: Kundenorientierter Produktkonfigurator: Erweiterung des Produktkonfigurator-Konzeptes zur Vermeidung kundeninitiierten Prozessabbrüche bei Präferenzlosigkeit und Sonderwünschen in der Produktspezifikation. Diss. Johannes Gutenberg-Universität Mainz (2006). Berlin: Logos 2006. ISBN: 3-8325-1392-2. (Wirtschaftsinformatik - Theorie und Anwendung 3).

SCHELLMANN 2012

Schellmann, H.: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz. Diss. Technische Universität München (2012). München: Utz 2012. ISBN: 978-3-831-64189-5.  
(Forschungsberichte iwB 260).

SCHIEMENZ & SCHÖNERT 2005

Schiemenz, B.; Schönert, O.: Entscheidung und Produktion. 3. Aufl. München: Oldenbourg 2005. ISBN: 3-486-57716-6.

SCHIRRMEISTER et al. 2003

Schirrmeister, E.; Warnke, P.; Dreher, C.: Untersuchung über die Zukunft der Produktion in Deutschland. < [www.zukunft-der-produktion.de/beispielanalysen/Abschlussbericht.pdf](http://www.zukunft-der-produktion.de/beispielanalysen/Abschlussbericht.pdf)> - 20.07.2014.

SCHMIDT 2008

Schmidt, H.: VDI-Studie zum Angebotsmanagement. < [www.vdi.de/uploads/media/Ergebnis\\_der\\_VDI-Studie\\_Angebotsmanagement\\_01.pdf](http://www.vdi.de/uploads/media/Ergebnis_der_VDI-Studie_Angebotsmanagement_01.pdf)> - 24.07.2014.

SCHÖNSLEBEN 2011

Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement - Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken. 6. Aufl. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-20380-0.

SCHUH 2005

Schuh, G.: Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools. 2. Aufl. München: Hanser 2005. ISBN: 3-446-640043-5.

SCHUH 2006

Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung - Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-40306-7.

SCHUH & WESTKÄMPER 2006

Schuh, G.; Westkämper, E. (Hrsg.): Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau: Stand, Potenziale, Trends. Aachen: FIR an der RWTH Aachen [u. a.] 2006. ISBN: 3-926690-02-X.

SCHUH et al. 2010

Schuh, G.; Boos, W.; Kuhlmann, K.; Rittstieg, M.: Bewertung von Geschäftsprozessen in indirekten Bereichen. ZWF 105 (2010) 4, S. 265-270.

- SCHULZE 2002  
Schulze, J.: CRM erfolgreich einführen. Berlin: Springer 2002.  
ISBN: 3-540-43292-2.
- SPATH et al. 2006  
Spath, D.; Rally, P.; Richter, M.: Adaptiv-unternehmerische  
Arbeitsorganisation. Industrie Management 22 (2006) 1, S. 27-30.
- SPATH 2008  
Spath, D.: Profitable, kundenindividuelle Auftragsabwicklung. 3.  
Modellfabrikforum - Wirtschaftlich montieren im Hochlohnland -  
Kundenindividuelle Auftragsabwicklung. Stuttgart, 09.07.2008.
- SPATH 2013  
Spath, D. (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Stuttgart:  
Fraunhofer Verlag 2013. ISBN: 978-3-839-60570-7.
- STADTLER & KILGER 2010  
Stadtler, H.; Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced  
Planning. 3. Aufl. Berlin: Springer 2010. ISBN: 3-540-22065-8.
- STATISTISCHES AMT DER EUROPÄISCHEN UNION 2014  
Statistisches Amt der Europäischen Union: Reales BIP - Veränderungen  
zum Vorjahr in %. <[www.ec.europa.eu/eurostat](http://www.ec.europa.eu/eurostat)> - 01.06.2014.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2013  
Statistisches Bundesamt: Industriesektor in Deutschland weiterhin stärker  
als in vielen anderen EU-Staaten.  
<[www.destatis.de/Europa/DE/Thema/UnternehmenProduktion](http://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/UnternehmenProduktion)> -  
15.06.2014.
- STEINBUCH 1977  
Steinbuch, P. A.: Organisation. Ludwigshafen/Rhein: Kiehl 1977. ISBN:  
3-47-70481-3. (Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft).
- STELAND 2010  
Steland, A.: Basiswissen Statistik - Kompaktkurs für Anwender aus  
Wirtschaft, Informatik und Technik. 2. Aufl. Heidelberg: Springer 2010.  
ISBN: 978-3-642-02666-9.
- SUDHOFF 2007  
Sudhoff, W.: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in  
der Produktion. Diss. Technische Universität München (2007). München:  
Utz 2007. ISBN: 978-3-831-60749-5. (Forschungsberichte iwB 208).

SUTTROP 1992

Suttrop, D.: Entwicklung einer Methode zur Erstellung von expertensystemgestützten Angebotsbearbeitungssystemen für variantenreiche Produkte. Diss. RWTH Aachen (1992). Aachen: Verlag der Augustinus-Buchhandlung 1992. ISBN: 3-86073-095-9. (Aachener Beiträge zur Humanisierung und Rationalisierung 3).

TENTROP 2011

Tentrop, F.: Entwicklung eines integrierten Gestaltungsansatzes der Produktionslogistik. Diss. Technische Universität Berlin (2011). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2011. ISBN: 978-3-798-32317-9. (Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin 17).

VDI-EKV 1983

VDI-EKV (Hrsg.): Angebotserstellung in der Investitionsgüterindustrie. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983. ISBN: 3-18-400552-6. (Technischer Vertrieb).

VDI-EKV 1991

VDI-EKV (Hrsg.): Auftragsabwicklung im Maschinen- und Anlagenbau. Düsseldorf: VDI-Verlag 1991. ISBN: 3-18-400898-3. (Technik und Wirtschaft).

VDI-EKV 1999

VDI-EKV (Hrsg.): Angebotsbearbeitung - Schnittstelle zwischen Kunden und Lieferanten. Berlin: Springer 1999. ISBN: 3-540-64281-1.

VDI 4504

VDI 4504, Blatt 1: Angebotsmanagement im Industriegütergeschäft. Berlin: Beuth 2008.

VDI 5600

VDI 5600, Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme - Manufacturing Execution Systems (MES). Berlin: Beuth 2007.

WANNENWETSCH 2007

Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 3. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-540-29756-7.

WEINBERG 1954

Weinberg, F.: Über die Anwendung mathematischer Methoden mit spezieller Würdigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Termin-Großplanung für differenzierte Fabrikationsprogramme bei vorwiegender Serienfertigung. Diss. ETH Zürich (1954).



WESTEKEMPER 2002

Westekemper, M.: Methodik zur Angebotspreisbildung - am Beispiel des Werkzeug- und Formenbaus. Diss. RWTH Aachen (2002).

WESTKÄMPER 2006

Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-540-26039-4.

WIENDAHL 2002

Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Logistikqualität - Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung. 2. Aufl. Berlin: Springer 2002. ISBN: 3-540-42362-1.

WIENDAHL 2004

Wiendahl, H.-P.: Wie Liefertermin ermitteln? Von den Anforderungen zur richtigen Lösung. 9. Fraunhofer IPA PPS-Seminar - Lieferterminermittlung - Produzieren zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Stuttgart, 30.09.2004.

WIENDAHL 2014

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 8. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN: 978-3-446-44053-1.

WIENKER 1994

Wienker, R. G.: Entwicklung eines Kommunikationssystems für die integrierte Auftragsplanung und -steuerung. Diss. RWTH Aachen (1993). Aachen: Shaker 1994. ISBN: 3-86111-910-2. (Berichte aus der Produktionstechnik 7/94).

WILDEMANN 1987

Wildemann, H.: Auftragsabwicklung in einer computergestützten Fertigung (CIM). Zeitschrift für Betriebswirtschaft 57 (1987) 1, S. 6-31.

WILDEMANN 1999

Wildemann, H.: Auftragsabwicklungssegmente - Kundenorientierung und Teambildung in der Auftragsabwicklung. München: TCW Transfer-Centrum 1999. ISBN: 3-931511-57-X. (TCW-Report Nr. 11).

WÜPPING 1999

Wüpping, J.: Produktkonfiguration für die kundenindividuelle Serienfertigung (Mass Customization). Industrie Management 15 (1999) 1, S. 65-69.

ZÄH et al. 2006

Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Wiedemann, M.; Prash, M.: Integrated Workflow for Customized Order Processing. In: Westkämper, E. (Hrsg.): First CIRP International Seminar on Assembly Systems. Stuttgart, 15.-17.11.2006. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006, S. 261-265. ISBN: 978-3-816-77213-2.

ZÄH & WIEDEMANN 2011

Zäh, M. F.; Wiedemann, M.: Konzept zur Terminplanung im Angebotsprozess individualisierter Produkte. wt Werkstattstechnik online 101 (2011) 6, S. 434-440.

ZÄPFEL 2001

Zäpfel, G.: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagements. 2. Aufl. München: Oldenbourg 2001. ISBN: 3-486-25618-1.

## Anhang

### Softwareprodukte

*Oracle Crystal Ball*<sup>®</sup>

Oracle Deutschland GmbH, Riesstraße 25, 80992 München

*Microsoft Excel*<sup>®</sup>

Microsoft Deutschland GmbH, Konrad-Zuse-Straße 1, 85716 Unterschleißheim

### Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten, in welchen verschiedene Fragestellungen zur Produktion hochvarianter Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen untersucht wurden und deren Ergebnisse in Teilen in das vorliegende Dokument eingeflossen sind. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit. Im Folgenden sind die Studienarbeiten in alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens der Autoren aufgeführt.

Tobias Anger: Entwicklung einer marktdifferenzierten Produktionsplanung und Auftragsabwicklung; Abgabe am 01.06.2011 (Diplomarbeit)

Fabian Frank: Entwicklung eines Produktkonfigurators für die kundenindividuelle Serienfertigung; Abgabe am 31.10.2006 (Semesterarbeit)

Fabian Frank: Methodology development for optimized sequence planning of customized orders; Abgabe am 15.05.2007 (Diplomarbeit)

Christoph Goßmann: Entwicklung eines Modells zur kapazitätsangepassten Lieferterminbestimmung im Angebotsprozess kundenindividueller Produkte; Abgabe am 30.04.2010 (Semesterarbeit)

Sebastian Storck: Entwicklung einer ganzheitlichen Steuerungsmethode für die auftragsbezogene Produktion; Abgabe am 30.06.2008 (Diplomarbeit)



# Seminarberichte IWB

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte IWB sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten - ISBN 3-931327-01-9
- Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten - ISBN 3-931327-02-7
- Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-03-5
- Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten - ISBN 3-931327-04-3
- Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-05-1
- Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten - ISBN 3-931327-06-0
- Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-77-9
- Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-78-7
- Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten - ISBN 3-931327-79-5
- 3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten - ISBN 3-931327-10-8
- Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-11-6
- Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten - ISBN 3-931327-12-4
- Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-13-2
- Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- Flexible fluide Kleb-/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-15-9
- Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-16-7
- Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-17-5
- Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**  
165 Seiten - ISBN 3-931327-18-3
- Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**  
85 Seiten - ISBN 3-931327-19-1
- Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen – Plug & Play – Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**  
105 Seiten - ISBN 3-931327-20-5
- Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-21-3
- Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-22-1
- EDM Engineering Data Management**  
195 Seiten - ISBN 3-931327-24-8
- Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**  
152 Seiten - ISBN 3-931327-25-6
- Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-26-4
- Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
111 Seiten - ISBN 3-931327-27-2
- Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
154 Seiten - ISBN 3-931327-28-0
- Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlussseminar**  
156 Seiten - ISBN 3-931327-29-9
- Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten - ISBN 3-931327-31-0
- Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**  
181 Seiten - ISBN 3-931327-33-7
- Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**  
102 Seiten - ISBN 3-931327-34-5
- Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**  
129 Seiten - ISBN 3-931327-35-3
- Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
124 Seiten - ISBN 3-931327-36-1
- Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-37-X
- Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**  
128 Seiten - ISBN 3-931327-38-8
- Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-39-6
- Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**  
160 Seiten - ISBN 3-931327-40-X
- Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**  
146 Seiten - ISBN 3-89675-041-0
- Stückzahlflexible Montagesysteme**  
139 Seiten - ISBN 3-89675-042-9
- Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**  
120 Seiten - ISBN 3-89675-043-7
- Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**  
125 Seiten - ISBN 3-89675-044-5
- Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**  
173 Seiten - ISBN 3-89675-045-3
- Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**  
108 Seiten - ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation  
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen  
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung  
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion  
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle  
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien  
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen - Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung  
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation  
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele  
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug  
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion - Datenintegration und Benutzerschnittstellen  
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien  
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik  
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln  
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien - Anspruch - Realität - Technologien  
100 Seiten - ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 - Visionen - Umsetzung - Werkzeuge  
124 Seiten - ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen - Einsatz und Innovationspotenzial  
143 Seiten - ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 - Basis für Wachstum - Erfahrungen Werkzeuge Visionen  
136 Seiten - ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung - Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder  
185 Seiten - ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder  
148 Seiten - ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion - Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik  
139 Seiten - ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion - Visionen und Methoden zur Kooperation - Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation - Kooperation entlang der Wertschöpfungskette  
134 Seiten - ISBN 3-98675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen  
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten  
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen - Werkzeuge - Visionen  
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen - Erfahrungen - Entwicklungen  
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik  
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle  
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen  
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen  
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement  
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche  
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends - Zukünftige Anwendungsfelder  
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement  
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen  
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?  
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum - Innovation im Werkzeug- und Formenbau  
375 Seiten - ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing - Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung  
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement - Schlang im Mittelstand  
102 Seiten - ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik - Vorsprung durch Simulation  
134 Seiten - ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion - Wertschöpfung effizient gestalten  
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt  
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik  
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau  
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben  
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwv Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen  
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!  
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«  
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik · Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen  
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 · Modulares Simulationssystem für das Strahlenschmelzen  
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung  
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen  
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung  
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette  
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! · Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen  
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

## Forschungsberichte IWB Band 1–121

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen.

- 1 Streifinger, E.: Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel  
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 Fuchsberger, A.: Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen  
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 Maier, C.: Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrieroboter  
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 Summer, H.: Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen  
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 Simon, W.: Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen  
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 Büchs, S.: Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung  
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 Hunzinger, J.: Schneiderodierte Oberflächen  
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 Pilland, U.: Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen  
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung  
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 Reithofer, N.: Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen  
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 Diess, H.: Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse  
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 Reinhart, G.: Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungszäse  
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 Bürstner, H.: Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion  
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 Groha, A.: Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme  
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 Riese, K.: Klipsmontage mit Industrierobotern  
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 Lutz, P.: Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung  
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 Klippel, C.: Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems  
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 Rascher, R.: Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung  
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 Heusler, H.-J.: Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme  
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 Kirchknopf, P.: Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen  
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 Sauerer, Ch.: Beitrag für ein Zerspanprozessmodell Metallbandsägen  
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 Karstedt, K.: Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung  
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 Peiker, St.: Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems  
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 Schugmann, R.: Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage  
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 Wrba, P.: Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik  
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 Eibelhäuser, P.: Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung  
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 Prasch, J.: Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie  
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 Teich, K.: **Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion**  
1990 - 52 Abb. - 158 Seiten - ISBN 3-540-52764-8
- 29 Pfang, W.: **Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze**  
1990 - 59 Abb. - 153 Seiten - ISBN 3-540-52829-6
- 30 Tauber, A.: **Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung**  
1990 - 93 Abb. - 190 Seiten - ISBN 3-540-52911-X
- 31 Jäger, A.: **Systematische Planung komplexer Produktionssysteme**  
1991 - 75 Abb. - 148 Seiten - ISBN 3-540-53021-5
- 32 Hartberger, H.: **Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme**  
1991 - 58 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-53326-5
- 33 Tuzcek, H.: **Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung**  
1992 - 125 Abb. - 179 Seiten - ISBN 3-540-53965-4
- 34 Fischbacher, J.: **Planungsstrategien zur stömungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten**  
1991 - 60 Abb. - 166 Seiten - ISBN 3-540-54027-X
- 35 Moser, O.: **3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen**  
1991 - 66 Abb. - 177 Seiten - ISBN 3-540-54076-8
- 36 Naber, H.: **Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente**  
1991 - 85 Abb. - 139 Seiten - ISBN 3-540-54216-7
- 37 Kupec, Th.: **Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen**  
1991 - 68 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-54260-4
- 38 Maulhardt, U.: **Dynamisches Verhalten von Kreissägen**  
1991 - 109 Abb. - 159 Seiten - ISBN 3-540-54365-1
- 39 Götz, R.: **Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile**  
1991 - 86 Abb. - 201 Seiten - ISBN 3-540-54401-1
- 40 Koepfer, Th.: **3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung**  
1991 - 74 Abb. - 126 Seiten - ISBN 3-540-54436-4
- 41 Schmidt, M.: **Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme**  
1992 - 108 Abb. - 168 Seiten - ISBN 3-540-55025-9
- 42 Burger, C.: **Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen**  
1992 - 94 Abb. - 186 Seiten - ISBN 3-540-55187-5
- 43 Hoßmann, J.: **Methodik zur Planung der automatisierten Montage von nicht formstabilen Bauteilen**  
1992 - 73 Abb. - 168 Seiten - ISBN 3-540-5520-0
- 44 Petry, M.: **Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabkaskens für robotergeführte Klebprozesse**  
1992 - 106 Abb. - 139 Seiten - ISBN 3-540-55374-6
- 45 Schönecker, W.: **Integrierte Diagnose in Produktionszellen**  
1992 - 87 Abb. - 159 Seiten - ISBN 3-540-55375-4
- 46 Bick, W.: **Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades**  
1992 - 70 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-55377-0
- 47 Gebauer, L.: **Prozßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen**  
1992 - 84 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-55378-9
- 48 Schrüfer, N.: **Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung**  
1992 - 103 Abb. - 161 Seiten - ISBN 3-540-55431-9
- 49 Wisbacher, J.: **Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen**  
1992 - 77 Abb. - 176 Seiten - ISBN 3-540-55512-9
- 50 Garnich, F.: **Laserbearbeitung mit Robotern**  
1992 - 110 Abb. - 184 Seiten - ISBN 3-540-55513-7
- 51 Eubert, P.: **Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe**  
1992 - 89 Abb. - 159 Seiten - ISBN 3-540-44441-2
- 52 Glaas, W.: **Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung**  
1992 - 67 Abb. - 140 Seiten - ISBN 3-540-55749-0
- 53 Helm, H.J.: **Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose**  
1992 - 60 Abb. - 153 Seiten - ISBN 3-540-55750-4
- 54 Lang, Ch.: **Rechnergestützte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung**  
1992 - 75 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-55751-2
- 55 Schuster, G.: **Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage**  
1992 - 67 Abb. - 135 Seiten - ISBN 3-540-55830-6
- 56 Bomm, H.: **Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme**  
1992 - 87 Abb. - 195 Seiten - ISBN 3-540-55964-7
- 57 Wendt, A.: **Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen**  
1992 - 74 Abb. - 179 Seiten - ISBN 3-540-56044-0
- 58 Hansmaier, H.: **Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung**  
1993 - 67 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-56053-2
- 59 Dilling, U.: **Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen**  
1993 - 72 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-56307-5
- 60 Strohmayr, R.: **Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeeinrichtungen**  
1993 - 80 Abb. - 152 Seiten - ISBN 3-540-56652-X
- 61 Glas, J.: **Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware**  
1993 - 80 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-56890-5
- 62 Stetter, R.: **Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobotersatzes**  
1994 - 91 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-56889-1
- 63 Dirndorfer, A.: **Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage**  
1993 - 76 Abb. - 144 Seiten - ISBN 3-540-57031-4
- 64 Wiedemann, M.: **Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen**  
1993 - 81 Abb. - 137 Seiten - ISBN 3-540-57177-9
- 65 Woenckhaus, Ch.: **Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung**  
1994 - 81 Abb. - 140 Seiten - ISBN 3-540-57284-8
- 66 Kummesteiner, G.: **3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme**  
1994 - 62 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-57535-9
- 67 Kugelmann, F.: **Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen**  
1993 - 76 Abb. - 144 Seiten - ISBN 3-540-57549-9
- 68 Schwarz, H.: **Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**  
1994 - 96 Abb. - 148 Seiten - ISBN 3-540-57577-4
- 69 Wiethen, U.: **Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen**  
1994 - 70 Abb. - 142 Seiten - ISBN 3-540-57794-7
- 70 Seehuber, M.: **Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**  
1994 - 72 Abb. - 155 Seiten - ISBN 3-540-57896-X
- 71 Amann, W.: **Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen**  
1994 - 71 Abb. - 129 Seiten - ISBN 3-540-57924-9
- 72 Schöpf, M.: **Rechnergestütztes Projektförderungs- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**  
1997 - 63 Abb. - 130 Seiten - ISBN 3-540-58052-2
- 73 Welling, A.: **Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**  
1994 - 66 Abb. - 139 Seiten - ISBN 3-540-580-0
- 74 Zetlmayer, H.: **Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinstserienproduktion**  
1994 - 62 Abb. - 143 Seiten - ISBN 3-540-58134-0



- 75 Lindl, M.: Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung  
1994 - 66 Abb. - 147 Seiten - ISBN 3-540-58221-5
- 76 Zipper, B.: Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer flexiblen Fertigung  
1994 - 64 Abb. - 147 Seiten - ISBN 3-540-58222-3
- 77 Raith, P.: Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung  
1995 - 51 Abb. - 130 Seiten - ISBN 3-540-58223-1
- 78 Engel, A.: Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation  
1994 - 69 Abb. - 160 Seiten - ISBN 3-540-58258-4
- 79 Zäh, M. F.: Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen  
1995 - 95 Abb. - 186 Seiten - ISBN 3-540-58624-5
- 80 Zwanzger, N.: Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung  
1995 - 65 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-58634-2
- 81 Romanow, P.: Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen  
1995 - 66 Abb. - 151 Seiten - ISBN 3-540-58771-3
- 82 Kahlenberg, R.: Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen  
1995 - 71 Abb. - 136 Seiten - ISBN 3-540-58772-1
- 83 Huber, A.: Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung  
1995 - 87 Abb. - 152 Seiten - ISBN 3-540-58773-X
- 84 Birkel, G.: Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionszellen  
1995 - 64 Abb. - 137 Seiten - ISBN 3-540-58869-8
- 85 Simon, D.: Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement  
1995 - 77 Abb. - 132 Seiten - ISBN 3-540-58942-2
- 86 Nedeljkovic-Groha, V.: Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen  
1995 - 94 Abb. - 188 Seiten - ISBN 3-540-58953-8
- 87 Rockland, M.: Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen  
1995 - 83 Abb. - 168 Seiten - ISBN 3-540-58999-6
- 88 Linner, St.: Konzept einer integrierten Produktentwicklung  
1995 - 67 Abb. - 168 Seiten - ISBN 3-540-59016-1
- 89 Eder, Th.: Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme  
1995 - 62 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-59084-6
- 90 Deutschle, U.: Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen  
1995 - 80 Abb. - 188 Seiten - ISBN 3-540-59337-3
- 91 Dieterle, A.: Recyclingintegrierte Produktentwicklung  
1995 - 68 Abb. - 146 Seiten - ISBN 3-540-60120-1
- 92 Hechl, Chr.: Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte  
1995 - 73 Abb. - 158 Seiten - ISBN 3-540-60325-5
- 93 Albertz, F.: Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen  
1995 - 83 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-60608-8
- 94 Trunzer, W.: Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgensensoren  
1996 - 101 Abb. - 164 Seiten - ISBN 3-540-60961-X
- 95 Fichtmüller, N.: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme  
1996 - 83 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-60960-1
- 96 Trucks, V.: Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen  
1996 - 64 Abb. - 141 Seiten - ISBN 3-540-60599-8
- 97 Schäffer, G.: Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme  
1996 - 71 Abb. - 170 Seiten - ISBN 3-540-60958-X
- 98 Koch, M. R.: Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung  
1996 - 67 Abb. - 138 Seiten - ISBN 3-540-61104-5
- 99 Moctezuma de la Barrera, J. L.: Ein durchgängiges System zur Computer- und rechnergestützten Chirurgie  
1996 - 99 Abb. - 175 Seiten - ISBN 3-540-61145-2
- 100 Geuer, A.: Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung  
1996 - 84 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-61495-8
- 101 Ebner, C.: Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten  
1996 - 67 Abb. - 132 Seiten - ISBN 3-540-61678-0
- 102 Pischelstrieder, K.: Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion  
1996 - 74 Abb. - 171 Seiten - ISBN 3-540-61714-0
- 103 Köhler, R.: Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten  
1997 - 62 Abb. - 177 Seiten - ISBN 3-540-62024-9
- 104 Feldmann, Ch.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung  
1997 - 71 Abb. - 163 Seiten - ISBN 3-540-62059-1
- 105 Lehmann, H.: Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystemen  
1997 - 96 Abb. - 191 Seiten - ISBN 3-540-62202-0
- 106 Wagner, M.: Steuerungsintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe  
1997 - 94 Abb. - 164 Seiten - ISBN 3-540-62656-5
- 107 Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen  
1997 - 63 Abb. - 129 Seiten - ISBN 3-540-62794-4
- 108 Krönert, U.: Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung  
1997 - 53 Abb. - 127 Seiten - ISBN 3-540-63338-3
- 109 Pfersdorf, I.: Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service  
1997 - 74 Abb. - 172 Seiten - ISBN 3-540-63615-3
- 110 Kuba, R.: Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion  
1997 - 77 Abb. - 155 Seiten - ISBN 3-540-63642-0
- 111 Kaiser, J.: Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen  
1997 - 67 Abb. - 139 Seiten - ISBN 3-540-63999-3
- 112 Geyer, M.: Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung  
1997 - 85 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-64195-5
- 113 Martin, C.: Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz  
1998 - 73 Abb. - 162 Seiten - ISBN 3-540-64401-6
- 114 Löffler, Th.: Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse  
1998 - 85 Abb. - 136 Seiten - ISBN 3-540-64511-X
- 115 Lindermaier, R.: Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen  
1998 - 84 Abb. - 164 Seiten - ISBN 3-540-64686-8
- 116 Koehrer, J.: Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung  
1998 - 75 Abb. - 185 Seiten - ISBN 3-540-65037-7
- 117 Schuller, R. W.: Leitfäden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen  
1999 - 76 Abb. - 162 Seiten - ISBN 3-540-65320-1
- 118 Debuschewitz, M.: Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung  
1999 - 104 Abb. - 169 Seiten - ISBN 3-540-65350-3

- 119 Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline- Programmierung von 3D-Laseranlagen  
1999 - 98 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-65382-1
- 120 Pfoh, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen  
1999 - 69 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-65525-5
- 121 Spitznagel, J.: Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen  
1999 - 63 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-65896-3

## Forschungsberichte IWB ab Band 122

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Forschungsberichte IWB ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile  
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernd Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung  
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme  
164 Seiten - ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern  
167 Seiten - ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik  
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelmann*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern  
168 Seiten - ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Rolf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen  
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen  
190 Seiten - ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 *Otto Murr*: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen  
178 Seiten - ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 *Michael Macht*: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping  
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 *Bruno H. Mehler*: Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden  
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heltmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle  
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialfußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen  
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Abay*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik  
159 Seiten - ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken  
172 Seiten - ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung  
165 Seiten - ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokusspositionierung beim Laserstrahlschweißen  
193 Seiten - ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabbah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen  
148 Seiten - ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schilffebacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken  
187 Seiten - ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprengel*: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung  
144 Seiten - ISBN 978-3-89675-757-9
- 142 *Andreas Gallasch*: Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion  
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 *Ralf Cuiper*: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen  
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 *Christian Schneider*: Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 *Christian Jonas*: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen  
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 *Ulrich Willnecker*: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen  
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 *Christof Lehner*: Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss  
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 *Frank Rick*: Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen  
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 *Michael Höhn*: Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme  
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0

- 150 **Jörn Böhl:** Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 **Robert Bürgel:** Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben  
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0021-2
- 152 **Stephan Dürrschmidt:** Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 **Bernhard Eich:** Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung  
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudarfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke  
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe  
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 **Gerhard Nowak:** Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 **Martin Werner:** Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen  
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 **Bernhard Lenz:** Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung  
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 **Stefan Grunwald:** Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 **Josef Gartner:** Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen  
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 **Wolfgang Zeller:** Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 **Michael Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen  
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Führer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses  
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler  
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik  
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weibenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich Raßgoderer:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen  
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen  
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 **Paul Jens Peter Ross:** Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung  
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 **Stefan von Praun:** Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 **Florian von der Hagen:** Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 **Oliver Kramer:** Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe  
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 **Winfried Dohmen:** Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 **Oliver Anton:** Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenter Montagesysteme  
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 **Welf Broser:** Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 **Frank Breitinge:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterens für das Druckgießen  
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieveling:** Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling  
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 **Thomas Baudisch:** Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 **Heinrich Schieferstein:** Experimentelle Analyse des menschlichen Kaustems  
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 **Joachim Berlak:** Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 **Christian Meierloh:** Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung  
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 **Volker Weber:** Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 **Thomas Bongardt:** Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern  
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9
- 185 **Tim Angerer:** Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 **Alexander Krüger:** Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme  
197 Seiten - ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 **Matthias Meindl:** Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing  
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 **Thomas Fusch:** Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 **Thomas Mosandl:** Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme  
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 **Christian Patron:** Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 **Robert Cisek:** Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3

- 192 **Florian Auer:** Methode zur Simulation des Laserstrahlsschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen  
160 Seiten - ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 **Carsten Selke:** Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung  
137 Seiten - ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 **Markus Seefried:** Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 **Wolfgang Wagner:** Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 **Christopher Ulrich:** Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 **Johann Härtl:** Prozessgasfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern  
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 **Bernd Hartmann:** Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 **Michael Schlip:** Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 **Florian Manfred Grätz:** Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 **Dieter Eireiner:** Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 **Gerhard Volkwein:** Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0663-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 **Henning Rudolf:** Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 **Stella Clarke-Griebisch:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraber:** Sensoreinsatz in der telepräsen- ten Mikromontage  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 **Rainer Schack:** Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 **Wolfgang Sudhoff:** Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion  
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 **Stefan Müller:** Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 **Ulrich Kohler:** Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme  
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 **Klaus Schlicknieder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Müller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansorge:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 **Georg Wünsch:** Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme  
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 **Thomas Oertli:** Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 **Bernd Petzold:** Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsen- te Mikromontage  
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 **Lucas Papadakis:** Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 **Mathias Mörtl:** Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung  
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 **Sebastian Weig:** Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 **Tobias Hornfeck:** Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 **Hans Egermeier:** Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 **Matthäus Sigi:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlstahns  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets  
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasieren förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 **Florian Hagemann:** Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 **Haitham Rashidy:** Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 **Wolfgang Vogl:** Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern  
248 Seiten - ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 **Sonja Schedl:** Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess  
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 **Andreas Trautmann:** Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels  
314 Seiten - ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 **Patrick Neise:** Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 **Christian Habicht:** Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in unterbetrieblichen Wertschöpfungsketten  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4

- 234 **Ulrich Munzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen  
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreißschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 **Nils Müller:** Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen  
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 **Franz Decker:** Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 **Christian Lau:** Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 **Christoph Rimpau:** Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte  
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer für flexiblen Teilleistungsanforderungen  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 **Florian Schwarz:** Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung  
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 **Martin Georg Prasch:** Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage  
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schilp:** Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 **Stefan Lutzmann:** Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens  
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 **Gregor Branner:** Modellierung transientscher Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 **Josef Ludwig Zimmermann:** Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme  
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 **Clemens Pörnbacher:** Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme  
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 **Alexander Lindworsky:** Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest  
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 **Michael Mauderer:** Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 **Roland Mark:** Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze  
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 **Florian Reichl:** Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreißschweißen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik  
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 **Pascal Krebs:** Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 **Gerhard Straßer:** Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung  
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 **Frédéric-Felix Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflusintensiver Produktionsanlagen  
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 **Thomas Hensel:** Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen  
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 **Sherif Zaidan:** A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots  
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 **Hendrik Schellmann:** Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 **Marwan Rad:** Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators  
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 **Markus Ruhstorfer:** Rührreißschweißen von Rohren  
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmelitungsschweißen von Stählen  
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 **Michael Ott:** Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 **Martin Ostgathe:** System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage  
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 **Imke Nora Kellner:** Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 **Florian Oefele:** Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen  
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 **Claudia Anna Ehinger:** Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5
- 269 **Tobias Zeilinger:** Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 **Stefan Krug:** Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 **Marcel Lotz:** Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwungrad-Reißschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Mouthiho:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Waibel:** Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen  
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 **Christian Eschey:** Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 **Florian Aull:** Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden  
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 **Marcus Hennauer:** Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6

- 277 **Alexander Götzfried:** Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 **Saskia Reinhardt:** Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 **Fabian J. Meling:** Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 **Jörg Egbers:** Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 **Max von Bredow:** Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 **Tobias Philipp:** RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen  
142 Seiten - ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 **Stefan Rainer Johann Braunreuther:** Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 **Johannes Pohl:** Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen  
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 **Mathy Wiesbeck:** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 **Sonja Huber:** In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen  
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 **Robert Wiedenmann:** Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 **Thomas Irenhauser:** Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz  
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 **Jens Hatwig:** Automatisierte Bahnplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung  
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4405-6
- 290 **Matthias Baur:** Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-4408-7
- 291 **Alexander Schober:** Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation  
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-4415-5
- 292 **Matthias Glonegger:** Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfließmontagesystemen  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4419-3
- 293 **Markus Kahmert:** Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM)  
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 **Sebastian Schindler:** Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4434-6
- 295 **Tobias Fockerer:** Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens  
128 Seiten - ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 **Rüdiger Spillner:** Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion  
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 **Daniel Schmid:** Rührreibschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie  
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 **Florian Karl:** Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln  
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 **Philipp Ronald Engelhardt:** System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage  
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 **Markus Graßl:** Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion  
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 **Thomas Kirchmeier:** Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess  
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4478-0
- 302 **Oliver Rösch:** Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4486-5
- 303 **Christoph Sieben:** Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolben dichtungen  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4510-7
- 304 **Philipp Alexander Schmidt:** Laserstrahlschweißen elektrischer Kontakte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4519-0
- 305 **Yi Shen:** System für die Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4520-6
- 306 **Thomas Bonin:** Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen  
274 Seiten - ISBN 978-3-8316-4522-0
- 307 **Jan Daniel Musiol:** Remote-Laserstrahl-Abtragschneiden  
168 Seiten - ISBN 978-3-8316-4523-7
- 308 **Emin Genc:** Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement  
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-4525-1
- 309 **Mirko Langhast:** Beherrschung von Schweißverzug und Schweißegenspannungen  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4524-2
- 310 **Markus Schweiße:** Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloszillation  
284 Seiten - ISBN 978-3-8316-4536-7
- 311 **Florian Geiger:** System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktspezifischer Auftragsdaten  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4537-4
- 312 **Peter Schnellbach:** Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung unter Berücksichtigung von Zielgrößen Ganzheitlicher Produktionssysteme  
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-4540-4
- 313 **Stefan Schwarz:** Prognosefähigkeit dynamischer Simulationen von Werkzeugmaschinenstrukturen  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4542-8
- 314 **Markus Pröpster:** Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus  
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4547-3
- 315 **Dominik David Simon:** Automatisierte flexible Werkzeugsysteme zum Umformen und Spannen von Kunststoffscheiben und -schalen  
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-4548-0
- 316 **Stefan Maurer:** Frühaufklärung kritischer Situationen in Versorgungsprozessen  
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4554-1

- 317 **Tobias Maier:** Modellierungssystematik zur aufgabenbasierten Beschreibung des thermoelastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen  
274 Seiten - ISBN 978-3-8316-4561-9
- 318 **Klemens Konrad Niehues:** Identifikation linearer Dämpfungsmodelle für Werkzeugmaschinenstrukturen  
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-4568-8
- 319 **Julian Christoph Sebastian Backhaus:** Adaptierbares aufgabenorientiertes Programmiersystem für Montagesysteme  
264 Seiten - ISBN 978-3-8316-4570-1
- 320 **Sabine G. Zitzlsberger:** Flexibles Werkzeug zur Umformung von Polycarbonatplatten unter besonderer Beachtung der optischen Qualität  
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4573-2
- 321 **Christian Thiemann:** Methode zur Konfiguration automatisierter thermografischer Prüfsysteme  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4574-9
- 322 **Markus Westermeier:** Qualitätsorientierte Analyse komplexer Prozessketten am Beispiel der Herstellung von Batteriezellen  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4586-2
- 323 **Thorsten Klein:** Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau  
284 Seiten - ISBN 978-3-8316-4598-5
- 324 **Markus Wiedemann:** Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4599-2

