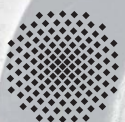


STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

THOMAS WOCHINGER

**Modell zur Gestaltung einer kapazitätsgeprüften
durchgängigen Planung und Steuerung
in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer
Investitionsgüter**



Universität Stuttgart



Fraunhofer

IPA

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG BAND 117

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai Peter Birke

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marco Huber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. a.D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Thomas Wochinger

Modell zur Gestaltung einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11/9 70-11 01
info@ipa.fraunhofer.de; www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl^{1,2}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai Peter Birke^{1,4}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marco Huber^{1,2}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer^{1,5}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl³

Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper^{1,2}

¹Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

²Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart

³Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

⁴Institut für Photovoltaik (IPV) der Universität Stuttgart

⁵Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart

Titelbild: © Oleksandr Delyk/Shutterstock.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

ISBN: 978-3-8396-1665-9

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2020

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau IRB, Stuttgart
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© **FRAUNHOFER VERLAG**, 2020

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 800469, 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon 0711 970-2500

E-Mail verlag@fraunhofer.de

URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Modell zur Gestaltung einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

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

Vorgelegt von

Dipl.-Wi.-Ing. Thomas Wochinger

aus Köngen

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Tag der mündlichen Prüfung: 21.07.2020

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2020

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während und nach meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projektleiter und Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. Die Themenstellung und Lösungsidee der Dissertation entsprangen meiner Beratungstätigkeit bei mittelständischen Produktionsunternehmen sowie zahlreichen Diskussionen, Forschungsaktivitäten und Veranstaltungen im Themenfeld der Planung und Steuerung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sowie des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart, für seine Begleitung und wohlwollende Unterstützung der Arbeit sowie für die Übernahme des Hauptberichts.

Ebenso möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis, Leiter des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik IFA der Leibniz Universität Hannover, für die sorgfältige Durchsicht der Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts danken.

Meinen Weggefährten und Kollegen aus den Bereichen Auftragsmanagement, Produktionsplanung und -steuerung und Produktionsmanagement danke ich für die vielen wertvollen Anregungen und Diskussionen. Sie alle haben über die Zusammenarbeit in der täglichen Arbeit direkt oder indirekt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Dr.-Ing. Jörg Mandel, der bei der frühzeitigen und richtigen Weichenstellung für diese Arbeit eine entscheidende Rolle gespielt hat. Lehrreich war ebenso jede Diskussion mit Dipl.-Kfm. techn. Eftal Okhan. Großer Dank gebührt dem Team der Bibliothek unter der Leitung von Christina Berse für die großartige Unterstützung. Darüber hinaus möchte ich meine Kollegen der Kemmler Baustoffe GmbH erwähnen, die wissend oder unwissend ebenso Ihren Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Meinen Eltern danke ich für die Ermöglichung meiner Ausbildung sowie die fachliche und moralische Unterstützung - nicht nur bezogen auf die Erstellung dieser Arbeit. Mein größter Dank gilt meiner Frau Nina und meinen beiden Kindern Leni und Max für ihre Unterstützung und ihre langjährige Geduld. Sie haben mir die Motivation und Energie gegeben, dieses Ziel zu verwirklichen.

Kurzzusammenfassung

Zunehmende Kundenanforderungen, ein höherer Grad an Individualisierung und verstärkter globaler Wettbewerb verlangen von Unternehmen ein hohes Maß an Innovations- und Wandlungsfähigkeit. In der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter ist trotz durch Kunden, Lieferanten oder interner Prozesse bedingter Unsicherheiten und dynamischer Engpässe eine hohe Leistungsfähigkeit im Auftragsmanagement zur Erreichung von Termintreue-, Durchlaufzeit-, Bestands- und Auslastungszielen erforderlich. Der geeignete Umgang mit der auftretenden Komplexität wird zum differenzierenden Wettbewerbsfaktor.

Das entwickelte Modell ermöglicht im komplexen Umfeld kundenspezifischer Investitionsgüter eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung entlang der gesamten Auftragsabwicklung. Dazu bedient es sich dezentraler Organisationsformen mit einem hohen Maß an Selbstorganisation, regelkreisbasierten Grundsätzen der Kybernetik zur engen Kopplung von Ausführungs- und Lenkungsebene sowie dem aus dem Lean Management bewährten Taktprinzip. Im Rahmen des Gestaltungsmodells wird das dem Modell zugrundeliegende Prinzip der taktorientierten Planung und Steuerung auf die gesamte Prozesskette vom Auftragseingang bis zur Auslieferung angewendet. Das entwickelte Wirkmodell bildet die Abhängigkeiten zwischen den Funktionen, Stell-, Regel- und Zielgrößen ab und hebt die Bedeutung einzelner Funktionen hervor. Die Modellelemente Zielsystem, Planungsmodell, PPS-Parameter und Organisationsstruktur werden mit unterschiedlichen Ausgestaltungsmöglichkeiten definiert. Dies gewährleistet eine flexible Anwendbarkeit bei verschiedenen und sich ändernden Rahmenbedingungen.

Das Gestaltungsmodell wurde bei einem Hersteller kundenspezifischer Komponenten für die Luft- und Raumfahrt erprobt. Dabei zeigte sich, dass durch die Anwendung die Zielerreichung und Effizienz in der Planung und Steuerung stark gesteigert werden kann. Die entstehende Transparenz stellt darüber hinaus den Ausgangspunkt für weitere Verbesserungen dar.

Short Summary

Increasing customer requirements, a high degree of individualization and an intensified global competition demand a high level of ability in innovation and transformation from companies. Within the order fulfillment of customized capital goods, a high performance in order management is mandatory to achieve the targets with regard to adherence to delivery dates, lead times, inventory and utilized capacity. Obstacles are uncertainties and dynamic capacity bottlenecks which are conditioned by customers, suppliers or internal processes. The appropriate handling of occurring complexity leads to a competitive advantage.

The developed model enables a capacity-proofed integrated planning and control along the whole order processing of customized capital goods. For this purpose, it takes advantage of decentralized forms of organization with a high degree of self-organization, cybernetic models in order to interlink the operating and control level as well as the proven takt principle that stems from Lean Management. Within the scope of the elaborated design model the basic principle of the takt-oriented planning and control is applied to the entire process chain from order to delivery. The elaborated model which depicts causes and effects within the takt-oriented planning and control illustrates the dependencies between functions, actuating variables, controlled variables and command variables and emphasizes the importance of specific functions. The model units *target system*, *planning model*, *planning and control parameters* and *organizational structure* are specified with varying scopes of configuration. These scopes of configuration ensure the flexible applicability in different and changing surrounding conditions.

The developed design model was proved at a manufacturer of customized components in aerospace. The utilization assured the applicability and showed that the achievement of objectives as well as the efficiency in planning and control can be highly increased by the utilization. Moreover, the arising transparency represents the point of origin for further improvements.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Forschungsfrage.....	9
1.4 Zielsetzung	10
1.5 Forschungskonzeption.....	12
1.6 Aufbau der Arbeit.....	18
2 Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter.....	20
2.1 Komplexität und Ansätze zum Umgang mit Komplexität	20
2.1.1 Begriffsbestimmung Komplexität	20
2.1.2 Klassifizierung komplexer Systeme	22
2.1.3 Komplexitätstreiber und deren Auswirkungen.....	23
2.1.4 Ansätze zum geeigneten Umgang mit Komplexität	25
2.2 Herausforderungen in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter	27
2.2.1 Maschinen- und Anlagenbau	27
2.2.2 Luft- und Raumfahrt.....	31
2.2.3 Zwischenfazit	33

2.3	Grundlagen der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter	34
2.3.1	Grundlegende Eingrenzung des Untersuchungsbereichs.....	34
2.3.2	Definition wesentlicher Begriffe.....	36
2.3.3	Betriebstypologische Einordnung des Untersuchungsbereichs	39
2.3.4	Gestaltungsaspekte der PPS.....	50
2.4	Bedarf eines Gestaltungsmodells zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung	66
3	Ansätze der PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter	68
3.1	Grundlegende Ansätze der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter	68
3.1.1	Lean Production und Lean Management.....	68
3.1.2	Prozessmanagement.....	71
3.1.3	Multiprojektmanagement.....	72
3.2	Bestehende Verfahren und Methoden der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter.....	76
3.2.1	Relevante Ansätze im Kontext der PPS.....	77
3.2.2	Relevante Ansätze aus dem Prozessmanagement	84
3.2.3	Relevante Ansätze aus dem Multiprojektmanagement.....	87
3.2.4	Taktorientierte Ansätze	89
3.3	Zusammenfassender Vergleich bestehender Ansätze	96
4	Konzeption des Gestaltungsmodells.....	99
4.1	System- und modelltheoretische Einordnung	99
4.2	Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter.....	102
4.2.1	Grundobjekte des Gestaltungsmodells	102

4.2.2	Grundprinzip der taktororientierten PPS	106
4.2.3	Wirkmodell der taktororientierten PPS	109
4.2.4	Struktur des Gestaltungsmodells	113
4.3	Zwischenfazit.....	115
5	Detaillierung des Gestaltungsmodells.....	117
5.1	Zielsystem	117
5.2	Planungsmodell	121
5.2.1	Ressourcenmodell	121
5.2.2	Auftragsmodell.....	135
5.2.3	Pufferlogik und -anwendung	142
5.3	PPS-Parameter	149
5.3.1	Planungsebenen.....	149
5.3.2	Terminierungslogik	151
5.3.3	Prioritäten	155
5.3.4	Werkzeugeinsatz in der PPS	156
5.4	Organisationsstruktur.....	157
5.4.1	Planungsorganisation und Rollen des Gestaltungsmodells	157
5.4.2	Koordination zwischen dezentralen Kapazitätseinheiten	159
5.5	Planungs- und Steuerungsablauf	160
5.5.1	Anfrageplanung	162
5.5.2	Taktororientierte Grobplanung	163
5.5.3	Dezentrale Feinplanung innerhalb des Takts.....	164
5.5.4	Abarbeitung von Arbeitspaketen.....	165
5.5.5	Rückmeldung.....	166
5.5.6	Fortschrittskontrolle und Controlling	167

5.5.7	Turbulenzhandling	168
6	Anwendung und kritische Reflexion	170
6.1	Ausgangssituation	170
6.2	Anwendung des Gestaltungsmodells.....	174
6.2.1	Logistische Zielgewichtung	174
6.2.2	Planungsmodell	175
6.2.3	PPS-Parameter.....	179
6.2.4	Organisationsstruktur.....	182
6.2.5	Planungs- und Steuerungsablauf.....	182
6.3	Ergebnisse der Anwendung.....	184
6.4	Kritische Reflexion.....	187
7	Zusammenfassung und Ausblick	191
8	Summary and Outlook	194
9	Anhang	197
9.1	Anhang A: Methodische Grundlagen.....	197
9.1.1	Pareto- und Clusteranalyse	197
9.1.2	Turbulenzprofil	198
9.1.3	Logistische Kennlinien	199
9.1.4	Ermittlung von Sollwerten für Auftrags- und Durchlaufzeiten.....	201
9.1.5	Ausgewählte Methoden aus dem Projektcontrolling	203
9.2	Anhang B: Merkmale der Auftragsstypen des Gestaltungsmodells.....	206
10	Literatur.....	207

Abkürzungsverzeichnis

AC	Actual Cost
APS	Advanced Planning and Scheduling
BKT	Betriebskalendertag
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer-Aided Design
COCOMO	Constructive Cost Model
d. h.	das heißt
DIPCOS	Distributed Production Control System
ERP	Enterprise Resource Planning
EV	Earned Value
FG	Flussgrad
FIFO	First In – First Out
FPL	Feinplanung
ggf.	gegebenenfalls
i. A.	in Anlehnung
inkl.	inklusive
IT	Informationstechnologie
KE	Kapazitätseinheit
KW	Kundenwunsch
MES	Manufacturing Execution System

Abkürzungsverzeichnis

MPM	Multiprojektmanagement
MRP	Material Requirements Planning
MRPII	Manufacturing Resources Planning
PC	Planned Cost
PIT	Produzieren im Takt®
POLCA	Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
QRM	Quick Response Manufacturing
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operation Reference Model
TAA	Terminabweichung beim Abgang
TA _m	mittlere Terminabweichung
TB	Taktbreite
TE	Termineinhaltung
TT	Termintreue
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel
ZE	Zeiteinheit
z. T.	zum Teil

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Benötigte und verfügbare Reaktionszeit	3
Abbildung 1-2:	Funktionen der kundenanonymen Produktentwicklung und kundenspezifischen Auftragsabwicklung	6
Abbildung 1-3:	Wissenschaftssystematik.....	13
Abbildung 1-4:	Forschungsmethodologisches Vorgehen.....	16
Abbildung 1-5:	Heuristischer Bezugsrahmen dieser Arbeit.....	17
Abbildung 1-6:	Aufbau der Arbeit.....	19
Abbildung 2-1:	Klassifikation von Systemkomplexität	22
Abbildung 2-2:	St. Galler Management-Konzept nach BLEICHER.....	34
Abbildung 2-3:	Morphologisches Merkmalsschema der PPS.....	39
Abbildung 2-4:	Auftretende unterschiedliche Engpasssituationen	44
Abbildung 2-5:	Bevorratungsstrategien.....	47
Abbildung 2-6:	Gestaltungsaspekte und Zielsystem der PPS.....	50
Abbildung 2-7:	Definition Termineinhaltung und Termintreue	52
Abbildung 2-8:	Durchlaufzeitenanteile von Aufträgen	53
Abbildung 2-9:	Funktionen der PPS nach Hackstein	55
Abbildung 2-10:	Arten von Unschärfe	60
Abbildung 3-1:	Begriffe im Multiprojektmanagement.....	72
Abbildung 3-2:	Puffer im Critical-Chain-Projektmanagement.....	75
Abbildung 4-1:	Regelkreis der PPS.....	100
Abbildung 4-2:	Grundobjekte des Gestaltungsmodells und deren Verknüpfung.....	102
Abbildung 4-3:	Grundobjekt Artikel	102
Abbildung 4-4:	Grundobjekt Ressource	103

Abbildung 4-5:	Generalisiertes Grundobjekt Kapazitätseinheit	104
Abbildung 4-6:	Trichtermodell und Durchlaufdiagramm einer Kapazitätseinheit.....	105
Abbildung 4-7:	Grundprinzip der taktororientierten PPS	107
Abbildung 4-8:	Auftragsdurchlauf durch die Kapazitätseinheiten der taktororientierten PPS	108
Abbildung 4-9:	Wirkmodell der taktororientierten PPS	110
Abbildung 4-10:	Grundaufbau und Modellelemente des Gestaltungsmodells.....	113
Abbildung 5-1:	Aufbau des fünften Kapitels	117
Abbildung 5-2:	Einordnung des Zielsystems des Gestaltungsmodells in das St. Galler Management-Konzept.....	118
Abbildung 5-3:	Gewichtung von Zielgrößen und logistische Positionierung.....	119
Abbildung 5-4:	Prinzip des Ressourcenmodells.....	122
Abbildung 5-5:	Eingrenzung der Zeitintervalle für die Taktbreiten.....	124
Abbildung 5-6:	Wesentliche Einflussgrößen auf die Taktbreite	125
Abbildung 5-7:	Entstehende Wartezeiten durch ungleichmäßige Taktbreiten.....	126
Abbildung 5-8:	Vergleich von Taktbreitenminimum und -maximum zur Bestimmung der Taktbreite TB	131
Abbildung 5-9:	Kapazitätsgrenzen und Kapazitätsflexibilität der Kapazitätseinheit.....	132
Abbildung 5-10:	Spezifika von Kapazitätseinheiten	134
Abbildung 5-11:	Auftragstypen des Gestaltungsmodells.....	137
Abbildung 5-12:	Spezifika von Prozessschritten	139
Abbildung 5-13:	Ablauf zur Erzeugung eines Auftragsplans	141
Abbildung 5-14:	Pufferarten des Gestaltungsmodells	143
Abbildung 5-15:	Iteration zur Erzeugung des Planungsmodells.....	148
Abbildung 5-16:	Planungsebenen des Gestaltungsmodells.....	149

Abbildung 5-17: Zusammenspiel von Auftragsabwicklung, Beschaffung und Planungsebenen	151
Abbildung 5-18: Ausgestaltungsmöglichkeiten der Rückwärtsterminierung	153
Abbildung 5-19: Meilensteinterminierungslogik.....	154
Abbildung 5-20: Mögliche Auslegungen von Prioritäten und deren Auswirkungen	155
Abbildung 5-21: Organisationsstruktur und Rollen des Gestaltungsmodells.....	158
Abbildung 5-22: Kunden-Lieferanten-Beziehungen zwischen Kapazitätseinheiten.....	159
Abbildung 5-23: Planungs- und Steuerungsablauf.....	161
Abbildung 5-24: Plantafel für die Kapazitätsplanung und -steuerung.....	163
Abbildung 5-25: Unterstützung der Feinplanung durch Visualisierung.....	164
Abbildung 5-26: Unterstützung der Abarbeitung und kontinuierliche Verbesserung	165
Abbildung 5-27: Burndown-Diagramm zur Visualisierung des Restarbeitsvorrats	167
Abbildung 5-28: Ablauf des Turbulenzhandlings.....	168
Abbildung 6-1: Betriebstypologische Einordnung des Anwendungsbeispiels	171
Abbildung 6-2: Turbulenzprofil im Anwendungsfall	173
Abbildung 6-3: Logistische Zielgewichtung im Anwendungsfall	174
Abbildung 6-4: Gegenüberstellung der Plan- und Ist-Auftragszeiten an einer Bestückungsanlage.....	176
Abbildung 6-5: Turbulenzhandling bei Auftreten einer Turbulenz	183
Abbildung 6-6: Kapitalwertentwicklung vor und während der Einführung der taktorientierten PPS	185
Abbildung 9-1: Pareto- und Clusteranalyse.....	197
Abbildung 9-2: Turbulenzprofil	198
Abbildung 9-3: Logistische Kennlinien	200
Abbildung 9-4: Methoden zur Bestimmung von Sollzeiten.....	202
Abbildung 9-5: Methoden aus dem Projektcontrolling.....	204

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht der Anforderungen an das zu konzipierende Gestaltungsmodell.....	67
Tabelle 3-1: Erfüllung der definierten Anforderungen durch die bewerteten Ansätze.....	97
Tabelle 5-1: Merkmale der Sollzeit-Ermittlungsverfahren.....	138
Tabelle 5-2: Möglichkeiten zur Erzeugung und Definition eines Auftragsplans.....	141
Tabelle 5-3: Ausgestaltungsmerkmale der Anfrageplanung.....	162
Tabelle 5-4: Ausgestaltungsmöglichkeiten der Rückmeldung.....	166
Tabelle 6-1: Auftragsstypen im Anwendungsfall.....	175
Tabelle 6-2: Ergebnis der Taktbreitenbestimmung und Festlegung der Kapazitätsgrenzen.....	178
Tabelle 6-3: Planungsebenen und deren PPS-Parameter im Anwendungsfall.....	180
Tabelle 9-1: Merkmale der Auftragsstypen des Gestaltungsmodells.....	206

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Systematische und kontinuierliche Innovation sowie eine schlanke Produktion am Wirtschaftsstandort Deutschland gelten als Erfolgsfaktoren in einem zunehmend komplexen Unternehmensumfeld (Schuh 2013, S. 7; Dispan 2018, S. 18ff; Schatz 2018, S. 245ff). Die daraus resultierende Komplexität macht sich in zahlreichen Feldern bemerkbar. Neben gesellschaftlichen Faktoren wie politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen, einem zunehmenden Umweltbewusstsein oder dem bereits im Gange befindlichen Wertewandel wirkt die zunehmende Internationalisierung als weiterer Beschleuniger des Wandels (Spath 2009, S. 10; Giessmann 2010, S. 38; Wildemann 2012, S. 19; Schuh 2016, S. 5ff).

Die derzeit stattfindende Reindustrialisierung in den USA, der Eintritt von Marktteilnehmern aus Low-Cost-Ländern, die in der Lage sind, qualitativ hochwertige Produkte zu liefern, sowie die Verschiebung der Absatzmärkte nach Asien sind entscheidende Entwicklungen, für die geeignete Reaktionsstrategien erforderlich sind (Bauernhansl 2014a, S. 10; VDMA et al. 2014, S. 12ff.; Welcker 2017). Aufgrund der in den meisten deutschen Wirtschaftssektoren vorherrschenden Rahmenbedingungen, wie einer geringen Verfügbarkeit von Rohstoffen und hohen Kosten der Arbeit, intensiviert sich der Wettbewerb zunehmend für deutsche Unternehmen (Westkämper 2009b, S. 8–9; Zahn et al. 2009, S. 111; Giessmann 2010, S. 38; Bauernhansl 2017, S. 1ff).

Darüber hinaus ist zu beobachten, dass das Ausmaß an kundenspezifischen und individualisierten Produkten und Dienstleistungen zunimmt (Spath 2009, S. 11; Schuh et al. 2012, S. 3; Wildemann 2012, S. 4; Bauernhansl et al. 2014, S. 1; Dispan 2018, S. 22ff.). Als Konsequenz der zunehmenden Vielfalt an Produkten sinken die Produktionsvolumen pro Variante. Dies stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen wie erhöhte Flexibilitätsbedarfe und ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit (Westkämper 2009b, S. 9–11; Bauernhansl 2014a, S. 13; Bauernhansl 2017, S. 6ff). Unter dem Stichwort Mass Customization – maßgeschneiderte Massenfertigung – konnten in den letzten Jahren durch eine stärkere Orientierung der Produktion an den tatsächlichen Kundenanforderungen umfangreiche Erfolge wie eine Reduktion von Losgrößen und Durchlaufzeiten erreicht werden (Zahn et al.

2009, S. 111; Spath 2013, S. 17; Hankammer 2017, S. 3ff.). Die zukünftigen Entwicklungen zu einem noch höheren Grad an Individualisierung oder sogar Personalisierung sowie der zunehmende globale Wettbewerb erfordern von Unternehmen Wandlungsfähigkeit und einen geeigneten Umgang mit der auftretenden Komplexität (Westkämper 2009a, S. 91–93; Westkämper 2009b, S. 7; Bauernhansl 2014a, S. 13; Bauernhansl 2017, S. 10ff).

Hinsichtlich Wandlungsfähigkeit spielen Innovationen, die zum richtigen Zeitpunkt am Markt verfügbar sind, eine zentrale Rolle (Spath 2009, S. 11–12). Die vom Markt geforderten immer kürzeren Innovationszyklen erfordern von den Unternehmen kurze Entwicklungszeiten mit hoher Kosteneffizienz, um aus den dafür getätigten Investitionen eine positive Kapitalwertentwicklung zu erreichen (Spath 2009, S. 12; ECORYS et al. 2012, S. 222-225; Ehrlenspiel 2017, S. 226ff.).

Bezüglich des geeigneten Umgangs mit der auftretenden Komplexität haben gerade produzierende Unternehmen der Auftragsfertigung wie bspw. Maschinen- und Anlagenbauer, Unternehmen der Raumfahrtindustrie oder Werkzeugbauer mit durch internen Rahmenbedingungen, Lieferanten oder Kunden verursachten Turbulenzen umzugehen (Westkämper 2009a, S. 27; Wiendahl 2010, S. 211–212; Born 2018, S.1). Beispielsweise verursachen Änderungen von Terminen oder Spezifikationen, Nichtverfügbarkeiten von Maschinen und Personal sowie schwankende Wiederbeschaffungszeiten einen hohen Aufwand in der gesamten Auftragsabwicklung (Wiendahl 2010, S. 213; Dispan 2018, S. 38). Komplexitätsverstärkend wirkt zudem die Knappheit an qualifizierten Arbeitskräften und Ingenieuren, vor allem in den wissensintensiven Bereichen der Auftragsabwicklung wie der Entwicklung, Konstruktion oder Arbeitsvorbereitung (VDI et al. 2013, S. 25–26; Institut der deutschen Wirtschaft Köln 2014, S. 8–10; PwC 2017a; VDMA 2016, S. 14).

Die wachsende Komplexität und Dynamik führt zu der in Abbildung 1-1 aufgezeigten Zeitschere nach Bleicher (Bleicher 2004, S. 45): einerseits steigt die benötigte Reaktionszeit aufgrund der wachsenden Komplexität, andererseits sinkt die verfügbare Reaktionszeit durch die zunehmende Dynamik.

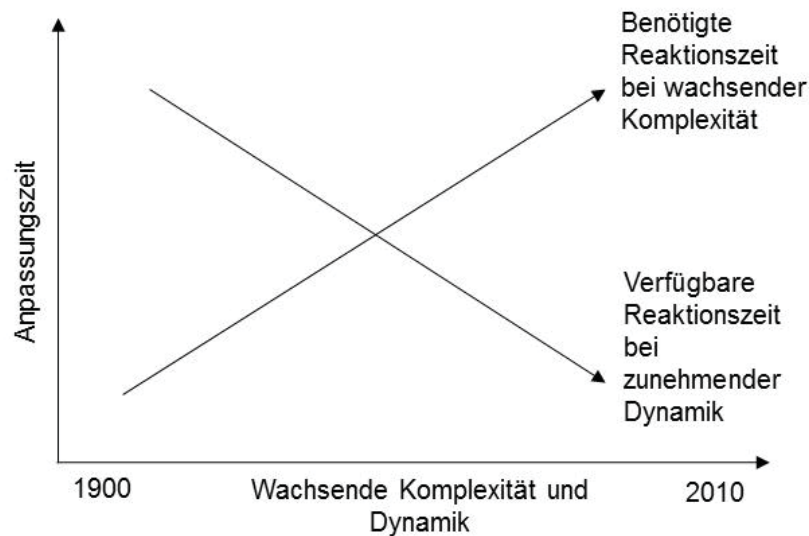


Abbildung 1-1: Benötigte und verfügbare Reaktionszeit (Bleicher 2004, S. 59)

Das durch die Zeitschere nach Bleicher beschriebene Dilemma ist gemäß Ashbys Gesetz¹ nur dann geeignet zu bewältigen, wenn die interne Komplexität – beschrieben durch die angebotenen Produkte, die Organisation und Prozesse – der durch die Gesamtheit der Markt- und Kundenanforderungen maßgeblich bestimmten externen Komplexität entspricht (Ashby 1974; Schuh 2005, S. 13; Bauernhansl et al. 2014, S. 2–3; Bauernhansl 2017, S.10). Der geeignete Umgang mit Komplexität wird damit zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor (Bauernhansl 2012, S. 77; Spath 2013, S. 19; Bauernhansl 2014a, S. 15; Bauernhansl 2017, S. 9). Das Management von Komplexität umfasst mit der Reduktion, der Beherrschung und der Vermeidung von Komplexität (siehe bspw. (Schuh 2005, S. 52; Giessmann 2010, S. 41–45; Wildemann 2012, S. 75)) unterschiedliche Strategien, die auf alle vier Lebenszyklen der Produktion – Produkt, Technologie, Fabrik und Auftrag (Bauernhansl 2014a, S. 25–26) – anzuwenden sind. Folgende Erfolgsfaktoren sind bei der Anwendung und Umsetzung dieser Strategien von zentraler Bedeutung:

- Ausrichtung des Leistungsangebots auf den Kunden durch kundenspezifische System- und Integrationslösungen (Spath 2009, S. 21; Kopshoff 2018, S. 30ff.),
- Innovationsfähigkeit (Spath 2009, S. 16–17; Spath 2013, S. 20; Meyer 2015, S. 205ff.), welche sich in den getätigten und geplanten steigenden Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen widerspiegelt (KPMG 2014, S. 12–13; PwC 2017b),

¹ Ashbys Gesetz besagt, dass der aus der Systemumwelt resultierenden externen Komplexität nur dann erfolgreich begegnet werden kann, wenn die interne Systemkomplexität gleichwertig ausgeprägt ist (Ashby 1974).

- geeignete Einbringung und Nutzung der menschlichen Fähigkeiten zur Durchführung von Prozessen in Administration und Produktion sowie Generierung von Verbesserungen und Innovationen (Spath 2009, S. 21–23; Westkämper 2009a, S. 72; Westkämper 2009a, S. 94–96; Wildemann 2009, S. 193; Bauernhansl 2012, S. 75; Spath 2013, S. 46; Spath 2013, S. 53; Heidling 2019, S. 14),
- Flexibilität und Wandlungsfähigkeit, um auf volatilen Märkten insbesondere bei personalintensiver Arbeit eine hohe Reaktionsfähigkeit und -schnelligkeit zu gewährleisten (ElMaraghy et al. 2009; Spath 2009, S. 15; Westkämper 2009b, S. 13–14; Zahn et al. 2009, S. 119; Schuh et al. 2012, S. 3; Spath 2013, S. 21; Spath 2013, S. 68; Spath 2013, S. 74; Wiendahl et al. 2014, S. 7),
- dezentrale Organisationsformen mit klaren Regeln, einem hohen Maß an Selbstorganisation, Selbststeuerung und entsprechenden Freiheitsgraden (Warnecke 1992; Dickmann 2009, S. 88ff; Wildemann 2009, S. 183; Bauernhansl 2012, S. 74; Spath 2013, S. 98; Bauernhansl 2017, S. 11), die zukünftig durch cyber-physische Systeme im Kontext von Industrie 4.0 unterstützt werden²,
- Informations- und Kommunikationssysteme in einer möglichst einheitlichen IT-Landschaft zur Unterstützung der Geschäftsprozesse und inner- und überbetrieblichen Kooperation (Westkämper 2009a, S. 36; Schuh et al. 2012, S. 3; Westkämper 2013, S. 48–49; Bauernhansl 2014b, S. 15; Spath 2017, S. 48; Born 2018, S. 25),
- die systematische Anwendung von Prinzipien des Lean Management, mit dem in der Vergangenheit umfangreiche Erfolge und Verbesserungen erzielt werden konnten (Womack et al. 2004; Schuh 2007a; Abegglen 2009; Töpfer 2009; Schneider et al. 2011; Pötters et al. 2018, S. 29) sowie
- logistische Exzellenz bzgl. Lieferfähigkeit, Preis und Liefertreue bzw. Zeit, Qualität, Kosten (Nyhuis et al. 2012, S. 3; Spath 2013, S. 90; Wiendahl et al. 2014, S. 15; VDMA et al. 2014, S. 50).

² Die Strategie Industrie 4.0 verspricht durch Dezentralisierung mit Hilfe cyber-physischer Systeme die Erschließung von weitreichenden Potentialen (acatech 2013; Bauernhansl 2014, S. 15; FhG IPA et al. 2014, S. 38ff.; Vogel-Heuser 2014, S. 39–40; Bauernhansl 2017, S. 11): Senkung der Komplexitätskosten um 60–70% (Bauernhansl 2014, S. 31), branchenabhängige Wachstumspotentiale durch Industrie 4.0 um 15–30% (BITKOM et al. 2014, S. 36), so dass sich ein jährliches Umsatzwachstumspotential von über 30 Milliarden Euro für alle Industrieunternehmen ergibt (entspricht durchschnittlich 2,5% pro Jahr (PwC et al. 2014)).

1.2 Problemstellung

Die konsequente Erschließung von Optimierungspotentialen und das Streben nach Vermeidung von Verschwendungen mit Hilfe der Prinzipien des Lean Managements führen zu einer hohen Logistikleistung in Form von kurzen Durchlaufzeiten und geringen Beständen. Damit geht allerdings der Nebeneffekt einher, dass die Herausforderungen in den Planungs- und Steuerungsprozessen zunehmen (Wiendahl 2010, S. 14–15):

1. Die Anforderung an die Terminüberwachung steigt, da auftretende Störungen kaum mehr aufzuholen sind und durch den geringeren durchschnittlichen Bestand das Risiko von Auslastungsverlusten steigt (Wiendahl 2010, S. 15–16).
2. Eine Segmentierung der Fertigung nach Produktfamilien (Suzaki 1989, S. 43ff; Erlach 2010, S. 126ff.) verursacht einen höheren Bedarf an Kapazitätsflexibilität, da Bedarfsschwankungen zu Über- und Unterlasten in den Segmenten führen (Wiendahl 2010, S. 16–17).
3. Die Verkürzung von Durchlaufzeiten führt zu stärkeren Schwankungen der Kapazitätsbedarfe. Grund hierfür ist die Verdichtung des Kapazitätsbedarfs pro Auftrag auf eine kürzere Zeitspanne (Wiendahl 2010, S. 18).
4. Mit der Reduktion der Lieferzeiten verringert sich ebenso die Liefertoleranz: das Zeitfenster, in dem die Lieferung an den Kunden zu erfolgen hat, wird demnach enger, was wiederum die Anforderungen an die Termintreue steigert (Wiendahl 2010, S. 20) und den Bedarf an einer vorausschauenden Engpasserkennung verursacht (Wiendahl 2010, S. 22).
5. Da Kunden aufgrund verkürzter Lieferzeiten ihre Aufträge später erteilen, sinken der Auftragsbestand und die Auftragsreichweite. Durch diesen verkürzten Horizont bereits vorliegender Aufträge vergrößert sich die Unsicherheit und macht eine verbesserte Prognosequalität notwendig (Wiendahl 2010, S. 22).

Diese Herausforderungen werden in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter durch die dort vorherrschenden Rahmenbedingungen verstärkt. Zunächst ist festzustellen, dass durch die auftretenden, unterschiedlichen Kapazitätsbedarfe dynamische Engpässe entstehen. EVERSHEIM unterscheidet in Prozessketten der kundenanonymen Produktentwicklung und Prozessketten der kundenspezifischen Auftragsabwicklung (vgl. Abbildung 1-2 (Eversheim 2002, S. 3)).

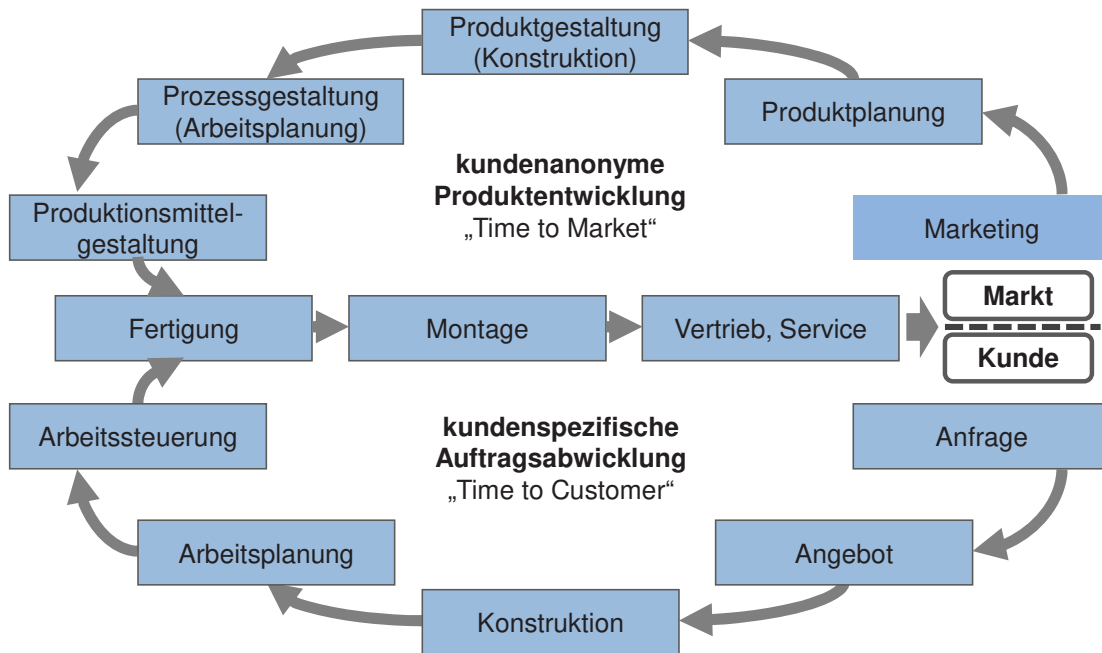


Abbildung 1-2: Funktionen der kundenanonymen Produktentwicklung und kundenspezifischen Auftragsabwicklung (Eversheim 2002, S. 4)

Während in der Produktentwicklung hauptsächlich das Ziel einer kurzen Produktentwicklungszeit verfolgt wird (*Time to Market*), strebt die kundenspezifische Auftragsabwicklung primär die Einhaltung von Lieferterminen an (*Time to Consumer*). In den meisten Unternehmen treten beide Prozessketten grundsätzlich auf, jedoch mit unterschiedlichem Anteil (Eversheim 2002, S. 4). Die zur Verfügung stehenden Kapazitäten zur Erfüllung der Funktionen in den jeweiligen Bereichen sind bei Auftragsfertigern und Unikatfertigern allerdings häufig nicht segmentiert. Durch Marktanforderungen und Kundenaufträge entstehende Projekte und Aufträge verursachen infolgedessen dynamische Engpasssituationen, die die Komplexität in der Planung und Steuerung steigern.

Die erforderliche Innovationsfähigkeit (Spath 2009, S. 12; ECORYS et al. 2012, S. 222–225; Meyer 2015, S. 205ff.) ist, gerade bei Unternehmen mit einem hohen Anteil an kundenspezifischen Produkten und kundenspezifischer Entwicklung, stark mit der Verfügbarkeit von erfahrenem und ausgebildetem Personal verknüpft (BMBF 2005, S. 5; Hansen 2014, S. 28ff.). Andererseits verfügen kleine und mittlere Unternehmen in der Regel nicht über die

finanziellen Mittel, um eine zum Abfangen von Schwankungen ausreichende Personalausstattung aufzubauen und sind zum Teil weniger attraktiv für Ingenieure und Fachkräfte als Großunternehmen (Wittenstein 2007, S. 21; Hansen 2014, S. 28ff.).

Darüber hinaus haben gerade die der Produktion vorgelagerten Bereiche einen großen Einfluss auf die Gesamtdurchlaufzeit (Eversheim 1996a, S. 235). HERTLEIN zeigt auf, dass etwa 60-80% der Durchlaufzeit von Aufträgen durch die indirekten Bereiche beansprucht werden und der Anteil an Liegezeiten oftmals 90% beträgt, da bei zahlreichen Aufträgen Klärungsbedarf besteht (Hertlein 2010, S. 77–82). In den indirekten Bereichen entstehende Verzögerungen müssen in den nachfolgenden Bereichen mit großem Aufwand aufgeholt werden (Brankamp et al. 1985, S. 53). Diese Verzögerungen in den indirekten Bereichen können eine Vielzahl von Ursachen haben. Generell ist festzustellen, dass ein Teil der Verzögerungen auf unvermeidliche Unsicherheiten wie nicht exakt planbare Vorgänge aufgrund häufig neuer oder veränderter Prozesse zurückzuführen sind (Gottschalk et al. 2004, S. 715ff; Sackermann 2009, S. 1). Auch fehlende Rückkopplungen relevanter Daten aus den ausführenden Prozessen führen zu Planungsunsicherheiten und -ungenauigkeiten, was sich an Symptomen wie hohen Beständen, streuenden Auftrags- und Prozesszeiten oder häufigen Reihenfolgevertauschungen zeigt (Wildemann 2006; Scholz-Reiter et al. 2008, S. 110; Wildemann 2008, S. 20; Wiendahl 2010, S. 12). Ausbleibende Lern- und Erfahrungskurveneffekte aufgrund einer geringen Wiederholhäufigkeit verstärken die aufgezeigten Wirkungsweisen (Stalk et al. 1992, S. 19ff; Benett 1999, S. 3; Greiff 2001, S. 12). Durch den hohen Kundenbezug ist ebenso eine schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen und -änderungen in Menge, Termin und Spezifikation (Spath 2009, S. 21; KPMG 2014, S. 19; Kopshoff 2018, S. 1-2) erforderlich.

Zur Begegnung dieser Herausforderungen sind die Tätigkeiten der Auftragsabwicklung auf die Kundenbedürfnisse auszurichten (KPMG 2014, S. 19; Born 2018, S. 20 ff.; Dispan 2018, S. 19). Die Volatilität der Märkte macht zunächst Flexibilität zum Schlüsselfaktor (Spath 2013, S. 70). Da die Prozessketten der kundenanonymen Produktentwicklung und der kundenspezifischen Auftragsabwicklung häufig über Projekte koordiniert werden, ist ein stringentes Projektmanagement unerlässlich, das alle Fachfunktionen integriert und ein aktives Änderungsmanagement betreibt (Spath 2009, S. 21). Zudem ist der Aufwand zur Steuerung der Produktion für viele Unternehmen hoch (Spath 2013, S. 84; Spath 2013, S. 91). Dies

führt dazu, dass die Verbesserung der Prognose und Planung ein zentrales Optimierungsfeld sein wird (KPMG 2014, S. 7; Dispan 2018, S. 38). Diese Optimierung der Planung ist nicht nur auf Teilbereiche oder einzelne Funktionen zu beziehen, sondern sollte durchgängig über die gesamte Prozesskette erfolgen (acatech 2013, S. 39; KPMG 2014, S. 8; Kopshoff 2018, S. 2).

ACATECH zeigt auf, dass für die Planungs- und Steuerungsprozesse „Organisations- und Gestaltungsmodelle von Arbeit, die ein hohes Maß an selbstverantwortlicher Autonomie mit dezentralen Führungs- und Steuerungsformen kombinieren“ (acatech 2013, S. 57), bedeutsam sein werden. 45% der Unternehmen einer Studie des Fraunhofer IAO stimmen der Aussage zu, dass viele Entscheidungen unnötigerweise in die Leitungsebene eskaliert werden, weitere knapp 30% erkennen dieses Verhalten teilweise in ihrem Unternehmen (Spath 2013, S. 97). Da Entscheidungen zukünftig auch schneller und dynamischer gefällt werden müssen, wird die Bedeutung der Themen Führung und Dezentralisierung weiter zunehmen (Schlund et al. 2014, S. 20–21; Bauernhansl 2017, S. 11). Deshalb sind erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume für die Beschäftigten, aber auch klare Regelungen für das Zusammenspiel erforderlich (acatech 2013, S. 57).

Unterstützt werden diese Führungs-, Planungs- und Steuerungsformen durch ein hohes Maß an vertikaler Integration. Gemäß einer Studie von KPMG sind 12% der Unternehmen sehr effektiv und 53% der Unternehmen effektiv bei der Ermittlung der Rentabilität (KPMG 2014, S. 5). Die zunehmende Volatilität der Märkte und die Entwicklung hin zu kundenspezifischen Lösungen macht es allerdings erforderlich, die Systeme und Prozesse zur Ermittlung der Kosten und Gewinne zu verbessern (KPMG 2014, S. 4–7; Nielsen 2017, S. 595ff.; Born 2018, S. 16).

Zusammenfassend lässt sich der resultierende Handlungsbedarf für ein durchgängiges Planungs- und Steuerungsverfahren folgendermaßen beschreiben:

- Berücksichtigung begrenzter Ressourcen-Kapazitäten und dynamischer Engpässe über die gesamte Prozesskette,
- geeigneter Umgang mit Unsicherheiten und auftretenden Störungen,
- angemessener Aufwand zur Planung und Steuerung unter Berücksichtigung dezentraler Organisationsmodelle sowie
- Schaffung von Transparenz über Fortschritt und Kosten.

1.3 Forschungsfrage

KUBICEK befürwortet die Formulierung von Forschungsfragen, um den Betrachtungsbereich einzugrenzen und eine geeignete Ausrichtung des Forschungsprozesses vorzunehmen (Kubicek 1977, S. 16; Rumelt et al. 1995, S. 39). Zur Formulierung der Forschungsfrage wird die Arbeit wie folgt abgegrenzt:

- *Untersuchungsobjekt* ist die Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter.
- *Untersuchungsgegenstand* ist die Verbesserung und Konzeption der Produktionsplanung und -steuerung in der kundenspezifischen Auftragsabwicklung unter Berücksichtigung aller planungsrelevanten Ressourcen in der Produktion und den produktionsvorgelagerten Bereichen.
- *Untersuchungsmotivation* sind der hohe Wettbewerbsdruck für die deutsche Industrie, der zu kurzen Innovationszyklen, hoher Komplexität und schlechter Zielerreichung führt, sowie die Erkenntnis, dass trotz hohem Planungs- und Steuerungsaufwand ein hohes Maß an Intransparenz besteht.
- *Einflussfaktoren* sind die betrieblichen Rahmenbedingungen in der kundenspezifischen Auftragsabwicklung von Investitionsgütern sowie die vom Markt an die Auftragsabwicklung gestellten logistischen Anforderungen.
- *Untersuchungsziel* ist die Definition von Gestaltungsprinzipien, die unter Berücksichtigung vorliegender Rahmenbedingungen und logistischer Anforderungen eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung ermöglichen.

Der formulierten Problemstellung entsprechend, wird auf Basis dieser Eingrenzung folgende grundlegende Forschungsfrage formuliert:

Kann in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung erreicht werden?

Die folgenden Teilfragen sind im Laufe des Forschungsprozesses zu beantworten und strukturieren die vorliegende Dissertation:

- Welche Gestaltungselemente sind in der Planung und Steuerung einer Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter zu beachten?
- Was sind planungsrelevante Ressourcen und zu berücksichtigende Bedarfe?
- Welche Gestaltungsprinzipien sind abhängig von den jeweils geltenden Rahmenbedingungen und logistischen Anforderungen anzuwenden?
- Welche Methoden und Werkzeuge können für eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung eingesetzt werden?

1.4 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Hersteller von kundenspezifischen Investitionsgütern im internationalen Wettbewerb. Ansatzpunkt ist die Verbesserung der Planung und Steuerung in der gesamten Auftragsabwicklungskette. Unter Verbesserung wird in dieser Arbeit die gesteigerte Einhaltung der logistischen Ziele Termintreue, Durchlaufzeit, Bestand und Auslastung bei einem möglichst geringen Planungs- und Steuerungsaufwand verstanden.

Dazu kann auf mehrere bestehende Ansätze zurückgegriffen werden. Zum einen auf Lean Management, das sich als Organisationsprinzip in produzierenden Unternehmen etabliert hat, Effizienz auch bei hoher Varianz gewährleistet und Planungsaktivitäten in die Wertschöpfung integriert (Womack et al. 2004, S. 8–10). Ein wesentliches Element des Lean Management ist der Einsatz eines Taktes, um die Bedarfsrate des Marktes mit der Produktionsrate zu synchronisieren (Rother et al. 2000, S. 46). Prozesse der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter besitzen allerdings nur bedingt determinierbare und gut strukturierbare Eigenschaften: die verfügbaren Informationen und Daten sind gerade in der frühen Phase der Auftragsabwicklung unvollständig und unsicher (Ehrlenspiel 2009, S. 259ff; Wiendahl 2010, S. 277–278; Schuh et al. 2012, S. 139ff.). Deshalb ist das bereits in vielen Produktionen etablierte Taktprinzip auf die gesamte Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter anzupassen und auszuweiten.

Die Produktionsplanung und -steuerung liefert Verfahren und Methoden zur Einhaltung logistischer Ziele auch bei komplexen Rahmenbedingungen. In diesem Kontext sind Selbstorganisation und Selbststeuerung vielversprechende Prinzipien für den geeigneten

Umgang mit Komplexität (Scholz-Reiter et al. 2009, S. 1449ff.). Diese sind für die Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter in Kombination mit dem aus dem Lean Management stammenden Taktprinzip auszugestalten, um deren Vorteile zur Erreichung der logistischen Ziele bei einem geringen Planungs- und Steuerungsaufwand nutzen zu können.

Darüber hinaus ist das Projektmanagement hilfreich, das bei der Strukturierung von Projekten hinsichtlich Inhalten, Abfolgen, Ressourcen und Verantwortlichkeiten sowie der Einhaltung von Meilensteinen und Terminen unterstützt (Seidl 2011, S. 1–4). Die dort enthaltenen Methoden und Werkzeuge können in geeigneter Form auf die Planung und Steuerung kundenspezifischer Investitionsgüter transferiert werden.

Unternehmen der kundenspezifischen Investitionsgüterproduktion sollen unterstützt werden, eine effiziente³ Planung und Steuerung umzusetzen und damit den Unternehmenserfolg nachhaltig zu sichern. Um eine positive Veränderung in der betrieblichen Praxis zu erreichen, ist eine konzeptionelle Arbeit erforderlich, die ein Modell entwickelt, das die Planung und Steuerung unter den vorherrschenden Rahmenbedingungen ausgestaltet. Vor diesem Hintergrund lässt sich das Ziel der Arbeit zusammenfassen:

Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Konzeption eines Gestaltungsmodells zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter.

Ein Gestaltungsmodell ermöglicht nach ULRICH eine „Darstellung komplexer Systeme, welche die für das Verhalten des Systems relevanten Komponenten und Aspekte wiedergeben und aufzeigen, wie das System auf mögliche Eingriffe voraussichtlich reagieren wird.“ (Ulrich 2001, S. 184). Dazu sind die vorherrschenden Rahmenbedingungen miteinzubeziehen, so dass das Modell eine kontextabhängige Gestaltung in Bezug auf den definierten Betrachtungsbereich gestattet. Gegenstand der Betrachtung sind Aufträge, Projekte und

³ Effizienz (efficiency) wird von DRUCKER im Sinne von „doing the things right“ verwendet, wohingegen unter Effektivität (effectiveness) „doing the right things“ verstanden wird (Drucker 2007, S. 45). Es existieren allerdings diverse andere Interpretationen, vgl. bspw. (Sauerwald 2007, S. 35ff.).

relevante Kapazitätsbedarfe in der Auftragsabwicklung von kundenspezifischen Investitionsgütern. Die Durchgängigkeit adressiert die integrierte Betrachtung der Auftragsabwicklung von der Annahme des Auftrags über die Entwicklung, Konstruktion, Materialwirtschaft, Arbeitsvorbereitung und Planung bis in die Produktion. Die Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten stellt realistische Auftrags-, Projekt- und Produktionspläne unter Beachtung dynamischer Engpässe sicher. Neben dem Aspekt der Planung, die vorausschauend zukünftige Ereignisse ermittelt und Handlungsalternativen bestimmt und beurteilt, wird gleichermaßen die Steuerung mitbetrachtet, um auf Unvorhergesehenes in geeigneter Art und Weise zu reagieren.

Damit kann der vorherrschenden und zukünftig weiter steigenden Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüterhersteller geeignet begegnet werden (Schuh 2007b, S. 31). Insbesondere produzierenden Unternehmen in Hochlohnländern, die sich über ein hohes Maß an Kundenorientierung und Kundenindividualität am Markt differenzieren, bietet diese Arbeit die Möglichkeit, ihre Planung und Steuerung an den Marktanforderungen auszurichten, indem Handlungsoptionen zur Ausgestaltung einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung aufgezeigt werden.

1.5 Forschungskonzeption

Wissenschaftliche Forschung kann nach BINDER als Prozess verstanden werden, der bildhaft mit einer Reise verglichen werden kann: beginnend von einem bekannten Ort erschließt der Forschende während seiner Reise Neuland (Binder et al. 1996, S. 3ff.). Durch diese Metapher werden die subjektiven Einflüsse eines Forschungsprozesses offensichtlich, die aufgrund der unterschiedlichen grundlegenden Erkenntnisperspektiven des Forschenden zu Beginn und während des Prozesses vorherrschen. Die grundlegende Erkenntnisperspektive zeigt die inhärenten Vorurteile, mit denen der wissenschaftliche Erkenntnisprozess beginnt und die den Lösungsraum beschränken (Ulrich 1971, S. 43). Das *belief system* des Forschenden beinhaltet einerseits unweigerlich Vorurteile, kann aber andererseits nicht ultimativ nachgewiesen und als grundlegende Überlegung akzeptiert werden (Guba et al. 1994, S. 107).

Daher müssen die grundlegende Erkenntnisperspektive und die methodologische Vorgehensweise des Erkenntnisprozesses mitsamt den Grundannahmen, Paradigmen und Vorurteilen erläutert werden. Dies ist insbesondere für Arbeiten von Bedeutung, die an der Grenze zwischen Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften angesiedelt sind (Ulrich et al. 1976, S. 306). Durch diese Offenlegung der Wertprämissen kann das sogenannte Subjektivitätskriterium einer wissenschaftlichen Arbeit überwunden werden (Ulrich et al. 1976, S. 306).

Einordnung in die Wissenschaftssystematik

Ausgangspunkt für die Erläuterung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Erkenntnisperspektive ist die Einordnung der Dissertation in das Spektrum der Wissenschaften. Dabei unterscheiden sich Wissenschaften bezüglich des erfassten Ausschnitts der Wirklichkeit und sind nach ULRICH/HILL grundsätzlich in Formal- und Realwissenschaften unterteilbar (Abbildung 1-3) (Ulrich et al. 1976, S. 305).

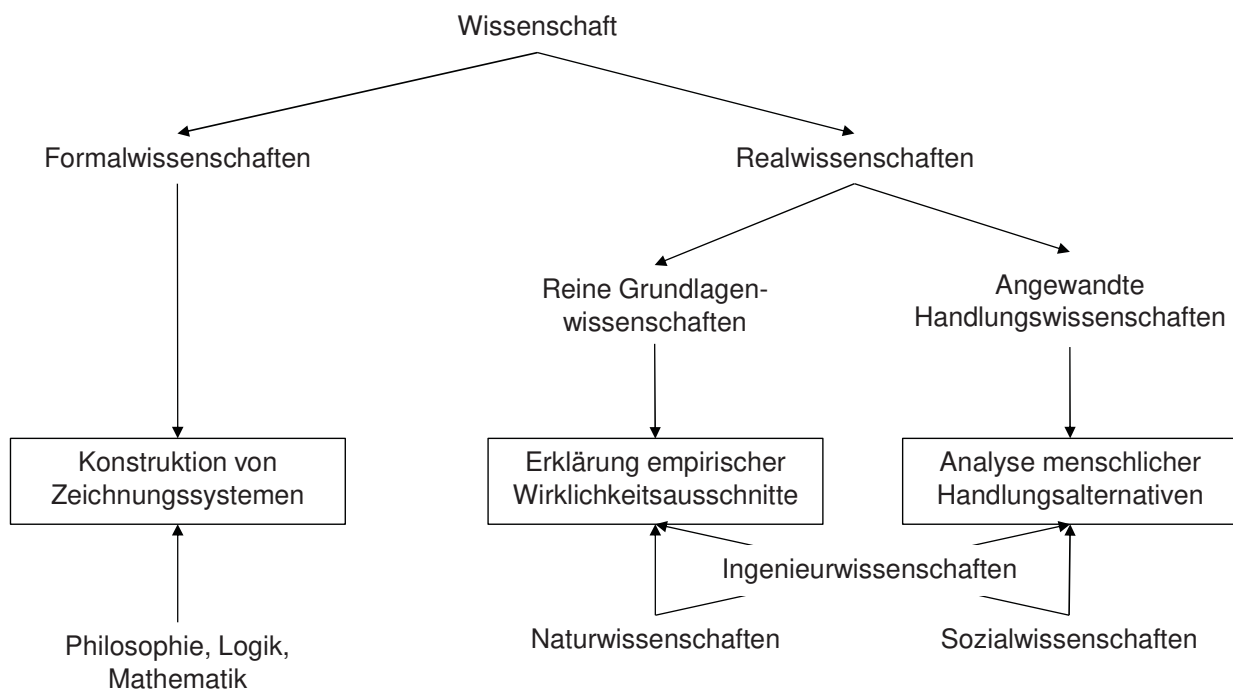


Abbildung 1-3: Wissenschaftssystematik (Ulrich et al. 1976, S. 305)

Formalwissenschaften zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, dass ihre Aussagen rein analytisch sind. Ziel ist es, Zeichensysteme mit Regeln zur Verwendung dieser Zeichen zu konstruieren (Ulrich et al. 1976, S. 305–306). Gegenstand der Untersuchung sind keine real

existierenden Objekte sowie deren Beziehungen. Hierdurch fokussiert sich der Beweis der Richtigkeit auf die Suche nach logischen Widersprüchen (Schanz 1987, S. 2039).

Im Gegensatz dazu zielen Realwissenschaften darauf ab, in der Realität beobachtbare Objekte und sinnvoll wahrnehmbare Ausschnitte der Wirklichkeit empirisch zu beschreiben, zu erklären und zu gestalten (Ulrich et al. 1976, S. 305). Die dabei abgeleiteten Aussagen sind in erster Linie synthetisch und nicht rein analytisch (Schanz 1987, S. 2039). Die Realwissenschaften können in reine Grundlagenwissenschaften und angewandte Handlungswissenschaften unterteilt werden (Ulrich et al. 1976, S. 305). In den Grundlagenwissenschaften wie Physik, Chemie oder Biologie wird versucht, die Diskrepanz zwischen Beobachtung und Theorie mit Hilfe theoretischer Modelle begreifbar zu machen (Ulrich 2001, S. 172ff.). Handlungswissenschaften wie bspw. die Sozialwissenschaften oder die Psychologie fokussieren auf die Analyse menschlicher Verhaltensalternativen, um technische und soziale Systeme zu gestalten (Schanz 1987, S. 2039). Der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn besteht primär in der Erweiterung des Verständnisses, indem Modelle und Methodiken für eine zu gestaltende Realität entwickelt werden (Kubicek 1977, S. 7). Zu den Handlungswissenschaften ist nach vorherrschender Auffassung auch die Betriebswirtschaftslehre zu rechnen (Ulrich et al. 1976, S. 305).

Die Ingenieurwissenschaften lassen sich nicht eindeutig in den Bereich der Handlungs- oder Grundlagenwissenschaften einordnen (Ulrich 1971, S. 47). An der Schnittstelle zwischen der Betriebswirtschaftslehre und den organisationstheoretischen Ingenieurwissenschaften befindet sich die Führungs- und Managementlehre, die sich mit der Gestaltung, Lenkung und Entwicklung zweckgerichteter sozio-technischer Systeme befasst (Ulrich 2001, S. 105).

Diese Arbeit ist innerhalb der Ingenieurwissenschaften den angewandten Handlungswissenschaften einzuordnen, da sie zum einen den Anspruch hat, Menschen bei der Gestaltung einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter zu unterstützen. Zum anderen bewegt sie sich aufgrund ihres Praxisbezugs an der Schnittstelle zwischen Ingenieur- und Betriebswirtschaftslehre und nutzt Erkenntnisse der Grundlagenwissenschaften.

Forschungsansatz

Wertungen und wertende Entscheidungen prägen wissenschaftliche Forschung (Binder et al. 1996, S. 3). Das oben beschriebene Subjektivitätskriterium ist durch die Erläuterung der Weltsicht des Autors und des Vorverständnisses des Autors zu überwinden (Röbl 1990, S. 100), was mit Hilfe der Zugrundelegung eines Paradigmas, Forschungs- oder Erkenntnisprogramms (Lakatos 1974) erfolgen kann. Nach ULRICH/HILL sind der faktortheoretische Ansatz von GUTENBERG (Gutenberg 1979), der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH (Ulrich 1970) und der entscheidungstheoretische Ansatz nach HEINEN (Kosiol 1968) mögliche Paradigmen in den Sozialwissenschaften (Ulrich et al. 1976, S. 308ff.). Der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH ist maßgebend für diese Arbeit. Er zielt auf Probleme der Gestaltung, Lenkung und Entwicklung zweckgerichteter sozialer Systeme ab, berücksichtigt die dort vorherrschende Dynamik und Komplexität und verzichtet auf die Auffassung der totalen Beherrschbarkeit betrieblicher Problemstellungen (Ulrich 1981, S. 168ff.). Der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH ist zudem als Unternehmensführungslehre einzuordnen, die ein hohes Maß an Nähe zur realen Problemstellungen und zu den Ingenieurwissenschaften aufweist (Ulrich et al. 1976, S. 308).

Erkenntnisstrategie und Entstehungszusammenhang

Die Erkenntnis beginnt nach POPPER „nicht mit der Wahrnehmung, Beobachtung oder Sammlung von Daten und Tatsachen, sondern [...] mit Problemen“ (Popper 1969, S. 104). Diese Arbeit wurde den angewandten Handlungswissenschaften zugeordnet. Damit werden der praktische Nutzen der gewonnenen Erkenntnisse fokussiert und Fragestellungen praktisch handelnder Menschen bearbeitet, für deren Lösung kein befriedigendes Wissen verfügbar ist (Ulrich et al. 1984, S. 172).

Der Maßstab für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn in den Handlungswissenschaften soll sich nach KUBICEK im Gegensatz zu den Grundlagenwissenschaften, in denen die Prüfstrategie der empirischen Forschung verfolgt wird (Kubicek 1977, S. 7; Ulrich et al. 1984, S. 184ff.), an einem Verständniszuwachs durch die Entwicklung von Modellen für eine noch zu schaffende Realität ausrichten (Kubicek 1977, S. 7). Damit orientiert sich der wissenschaftliche Fortschritt an einer mit den entwickelten Modellen besseren Beherrschbarkeit der Realität oder sogar der Schaffung neuer Realitäten (Kubicek 1977, S. 7; Kromney

1991, S. 20). Die zugrundeliegende Forschungsmethodologie wird als explorative Forschung bezeichnet (Kubicek 1977, S. 13; Ulrich et al. 1984, S. 192; Tomczak 1992, S. 83), welcher diese Arbeit folgt.

Forschungsmethodologie

Auf Basis der Einordnung in die Wissenschaftssystematik und der Wahl des Forschungsansatzes kann die Forschungsmethodologie bestimmt werden. Der in dieser Arbeit verfolgte Forschungsprozess unterliegt der Methodologie der explorativen Forschung und orientiert sich am explorativen Forschungszyklus nach TOMCZAK (Tomczak 1992, S. 83ff.).

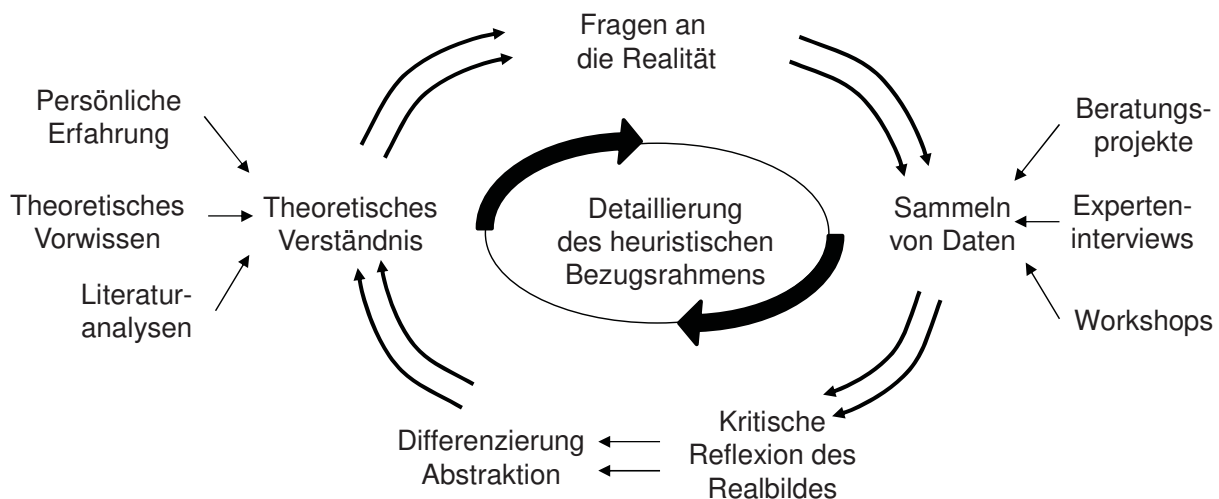


Abbildung 1-4: Forschungsmethodologisches Vorgehen

(Kubicek 1977, S. 14; Tomczak 1992, S. 84)

Es findet im Rahmen des explorativen Forschungszyklus ein iterativer Lernprozess statt (siehe Abbildung 1-4). Dieser basiert auf systematischem Erfahrungswissen und wird von theoretischen Absichten geleitet (Kubicek 1977, S. 13): an die Realität formulierte Forschungsfragen, das Gewinnen von Erkenntnissen der Theorie und die darauf aufbauende Ableitung neuer Fragen führen letztendlich zu neuen Erkenntnissen der Realität.

Im Mittelpunkt des verfolgten explorativen Forschungsprozesses steht ein heuristischer Bezugsrahmen (Röbli 1990, S. 101), der zunächst das Vorverständnis des Forschers darstellt (Kubicek 1977, S. 16; Tomczak 1992, S. 84). Der heuristische Bezugsrahmen steuert den Forschungsprozess und gewährt eine Orientierung für die Lösung praxisrelevanter Probleme (Kubicek 1977, S. 16; Tomczak 1992, S. 84). Ausgangspunkt des heuristischen

Bezugsrahmens dieser Dissertation ist die in Kapitel 1.2 erläuterte Problemstellung. Abbildung 1-5 zeigt den heuristischen Bezugsrahmen dieser Arbeit.

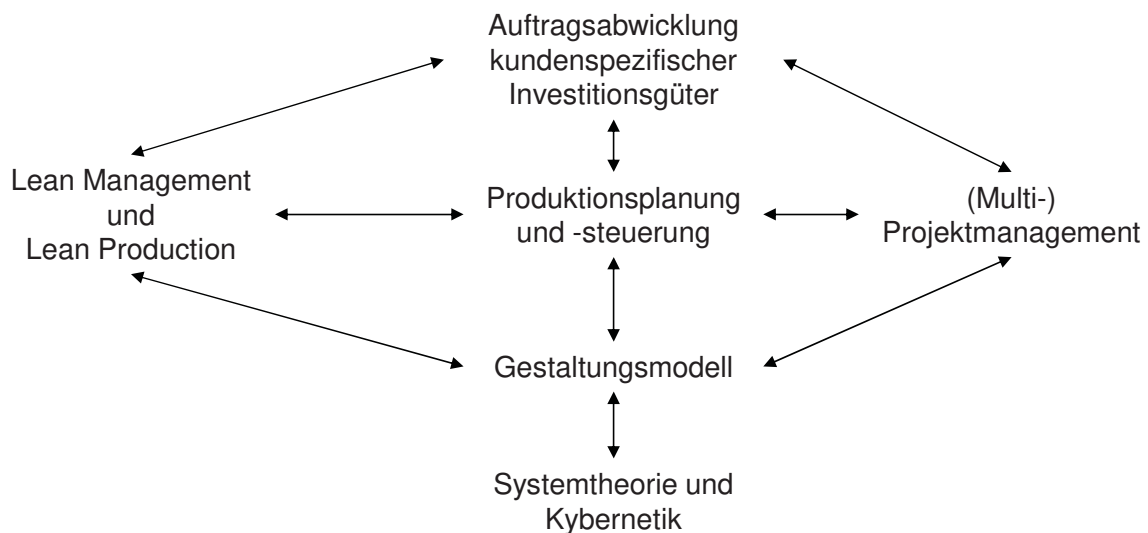


Abbildung 1-5: Heuristischer Bezugsrahmen dieser Arbeit

Wesentliche Elemente sind die Objekte *Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter*, *Lean Management und Lean Production*, *(Multi-)Projektmanagement* sowie die *Produktionsplanung und -steuerung*. Auf Grundlage dieser Analyseeinheiten kann das Gestaltungsmodell erarbeitet werden (Zohm 2004, S. 10), wozu wiederum Inhalte der Systemtheorie und Kybernetik einfließen. Eine weitere Konkretisierung der Größen sowie deren Mechanismen und Beziehungen müssen im Laufe des Forschungsprozesses erfolgen, indem durch ständige Interaktion zwischen Fragen an die Realität, Sammlung von Daten über die Realität und der theoretischen Nutzung dieser Daten ein verfeinertes theoretisches Verständnis aufgebaut wird. Dies ermöglicht eine Anpassung des heuristischen Bezugsrahmens und die Ableitung weiterführender Fragen (Kubicek 1977, S. 28).

KUBICEK fordert für den Forschungsprozess, dass der Forscher „seinen Objektbereich durch gezielte Erfahrungsgewinnung selbst kennenlernen [muss]“ (Kubicek 1977, S. 11). Durch die stetige Diskussion mit der Praxis und dem daraus resultierenden Erkenntnisgewinn wird dieser Forderung entsprochen. Die Auseinandersetzung mit den Themenfeldern *Lean Management und Lean Production*, *Produktionsplanung und -steuerung* sowie *Multiprojektmanagement* waren Schwerpunkte der Tätigkeiten des Autors als Projektleiter und Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung in

Stuttgart. In zahlreichen Projekten ergab sich der Eindruck, dass die vorherrschenden Rahmenbedingungen in der kundenspezifischen Auftragsabwicklung zu einer hohen Komplexität für Unternehmen verursachen. Andererseits konnte der Autor das Verständnis schärfen, dass die auszugestaltende Lösung von zahlreichen Einflussfaktoren und Restriktionen abhängt und zur Erreichung einer hohen Lösungsgüte vielfältige Ursache-Wirkungsprinzipien zu berücksichtigen sind. Umfassendes theoretisches Verständnis zur Bewältigung von Komplexität in der Auftragsabwicklung und der Gestaltung von Produktionssystemen durch Lean-Prinzipien, Methoden der Produktionsplanung und -steuerung sowie Werkzeuge des Multiprojektmanagements konnte der Autor durch die Bearbeitung mehrerer Forschungsprojekte entwickeln. Die positiven Rückmeldungen aus den genannten Tätigkeiten waren Motivation und zugleich Auftrag zur Vertiefung der Fragestellung im Sinne des Prozesses der explorativen Forschung.

1.6 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist im Sinne der Strategie angewandter Forschung nach ULRICH ausgerichtet (Ulrich et al. 1984, S. 192). Dieser fordert übereinstimmend mit dem explorativen Forschungsansatz nach KUBICEK ein hohes Maß an Praxisbezug (Kubicek 1977, S. 12ff; Ulrich et al. 1984, S. 192ff.). Der Forschungsprozess beginnt demzufolge mit der Problemstellung in der Praxis und endet mit Überprüfung der entwickelten Lösung durch Implementierung und Beratung in der Praxis (Ulrich et al. 1984, S. 192). Die Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert, wie Abbildung 1-6 aufzeigt.

Das erste Kapitel der Arbeit zeigt die Problemstellung auf, leitet die Zielsetzung der Arbeit ab und charakterisiert das forschungstechnische und inhaltliche Vorgehen.

Das zweite Kapitel beschreibt die Grundlagen der Arbeit und arbeitet den Handlungsbedarf aus der Praxis heraus. Dazu werden basierend auf einer Bestimmung des Begriffs Komplexität auch grundlegende Ansätze zum Umgang mit auftretender Komplexität erläutert. Eine Analyse relevanter Branchen gewährleistet die Ableitung der in der Praxis auftretenden Problematik. Schließlich werden Anforderungen an zu entwickelnde Modell spezifiziert.



Abbildung 1-6: Aufbau der Arbeit

Das dritte Kapitel stellt bestehende Ansätze der Planung und Steuerung zur Bewältigung der Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter vor und bewertet diese bezüglich ihrer Eignung zur Erfüllung der spezifizierten Anforderungen. Das Ergebnis zeigt den Handlungsbedarf aus der Theorie auf.

Das vierte Kapitel beinhaltet die Konzeption des Gestaltungsmodells zur kapazitätsgeprüften durchgängigen PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter. Das Modell umfasst die für die Ausgestaltung maßgeblichen Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie die für die Erfüllung der spezifizierten Anforderungen notwendigen Gestaltungselemente. Das fünfte Kapitel detailliert die Gestaltungselemente des Modells.

Das sechste Kapitel stellt die Anwendung des Gestaltungsmodells in der Praxis dar und dient der kritischen Reflexion.

Das siebte Kapitel fasst schließlich die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit zusammen. Zudem wird diskutiert, welche Bedarfe zur Weiterentwicklung und welche Ansätze für weitere Forschungsarbeiten vorhanden sind.

2 Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Der Begriff *Komplexität* gewinnt in der Auftragsabwicklung zunehmend an Bedeutung (Jäger et al. 2013, S. 341–342). Im Management und zur Führung von Unternehmen ist es nach MALIK notwendig, „vertiefere Kenntnisse über Komplexität zu haben“ (Malik 1998, S. 3). Die Bewältigung von Komplexität wird demnach zunehmend zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil (Bauernhansl et al. 2014, S. 1).

Kapitel 2 beschäftigt sich daher zunächst mit dem Begriff der Komplexität und Ansätzen zum geeigneten Umgang damit. Anhand zweier repräsentativer Branchen werden die auftretende Komplexität sowie Herausforderungen der Planung und Steuerung dargestellt. Eine detaillierte Betrachtung von Rahmenbedingungen, Aktivitäten und Voraussetzungen der Planung und Steuerung erlaubt die Eingrenzung des Betrachtungsbereichs und die Ableitung von Anforderungen an das Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung. Damit lässt sich der Bedarf eines Gestaltungsmodells aus praktischer Sicht begründen.

2.1 Komplexität und Ansätze zum Umgang mit Komplexität

2.1.1 Begriffsbestimmung Komplexität

Der Begriff *Komplexität* verbindet unterschiedliche Denkansätze und wissenschaftliche Erkenntnisse aus verschiedensten Gebieten (Scobel 2008, S. 88). Dadurch wird der Komplexitätsbegriff in der Literatur divers verwendet (Kirchhof et al. 2003, S. 11). Der Systemtheoretiker LUHMANN zeigt mit seiner Definition „Komplexität ist die Einheit einer Vielfalt“ (Luhmann 1997, S. 136), dass Komplexität ein Begriff der Beobachtung und Beschreibung ist, die auch immer eine Selbstbeschreibung des Beobachters enthält (Luhmann 1997, S. 136ff.). Vom Beobachtenden oder Handelnden wird Komplexität als eine undurchschaubare oder unverständliche Situation empfunden, in der geplant, entschieden oder gehandelt wird oder werden sollte (Ulrich et al. 1988, S. 61; Malik 1998, S. 3; Kirchhof et al. 2003, S. 11).

Es kann zunächst eine funktionalorientierte Sicht auf Komplexität angewendet werden, die die „Anzahl möglicher Systemzustände“ (Espejo et al. 1996, S. 60) widerspiegelt und als Varietät bezeichnet wird (Espejo et al. 1996, S. 60; Malik 1996, S. 186; Malik 1998, S. 6). Der Begriff der Varietät wird von ULRICH und PROBST in die beiden Dimensionen *Anzahl und Diversität der Elemente und Wirkungsbeziehungen* sowie *Variabilität im Zeitablauf* unterteilt (Ulrich et al. 1988, S. 61ff.). Demnach ist Komplexität ein Zusammenspiel wechselseitiger Beziehungen in einem System, die verschiedenste Konsequenzen bis hin zu nichtlinearen Wirkungen, Rückkopplungen und nicht vorhersehbaren Effekten mit sich bringen (Scobel 2008, S. 89ff.). Sozio-technische Systeme, die im Vergleich zu technischen Systemen ein hohes Maß an Freiheit im Verhalten aufweisen, sind daher als komplexe Systeme zu betrachten (Esser 2002, S. 36ff.). Mit dem Begriff *Transparenz* erweitert BRONNER das Verständnis von Komplexität, indem die Fähigkeit ergänzt wird, die Dimensionen von Varietät eines Systems zu überblicken (Bronner 1992, S. 1122).

Demgegenüber wird die Diversität der Elemente und Wirkungsbeziehungen auch als Kompliziertheit⁴ eines Systems verstanden (Bronner 1992, S. 1122). Die Kompliziertheit muss dabei von dem Begriff Komplexität unterschieden werden (Denk et al. 2009, S. 18; Bauernhansl et al. 2014, S. 1). Der wesentliche Unterschied zwischen Kompliziertheit und Komplexität besteht darin, dass in einem komplexen System vorhandene inhärente Unsicherheit nicht komplett nachvollziehbar und erklärbar ist (ElMaraghy et al. 2012, S. 793–794). Die in der Literatur genannten Ursachen und Kategorisierungen sind vielfältig: beispielhaft sind die Schwierigkeit der Systembeschreibung (Otto et al. 1985, S. 128), Intransparenz (Dörner 2003, S. 63) und Vielzieligkeit (Weth 2001, S. 11) zu nennen. Entscheidend ist, dass durch diese Eigenschaften ein komplexes System beeinflussbar, allerdings nicht beherrschbar ist (Bauernhansl et al. 2014, S. 1).

Das Verständnis komplexer Systeme dieser Arbeit umfasst neben den Dimensionen Vielzahl und Vielfalt die Eigenschaften Veränderlichkeit und Vieldeutigkeit sowie Variabilität und Unsicherheit (gemäß Reiß 1993, S. 54ff; Kirchhof et al. 2003, S. 17–18; Giessmann 2010, S. 30–35). Deshalb kann die Charakteristik von Komplexität mit den vier Dimensionen Vielzahl, Vielfalt, Dynamik und Intransparenz beschrieben werden (Jäger et al. 2013, S. 341; Bauernhansl et al. 2014, S. 1).

⁴ Der Begriff Kompliziertheit gibt einen schwierigen, verwickelten, umständlichen Zustand wieder und entsteht durch die Verschiedenheit der Elemente eines Systems und der Relationen (Bronner 1992, S. 1122ff.).

2.1.2 Klassifizierung komplexer Systeme

In den verschiedenen Darstellungen von Komplexität in der Literatur zeigen sich struktur- und verhaltensbezogene Eigenschaften von komplexen Systemen. ULRICH und PROBST klassifizieren komplexe Systeme zum einen anhand der Anzahl und Diversität der Elemente und deren Beziehungen (Strukturkomplexität), zum anderen anhand der Variabilität im Zeitablauf (Verhaltenskomplexität) (Ulrich et al. 1988, S. 57ff.). Gemäß BEER (Beer 1967, S. 29ff.) lassen sich damit vier grundsätzlich Systemtypen festhalten, wie in Abbildung 2-1a dargestellt:

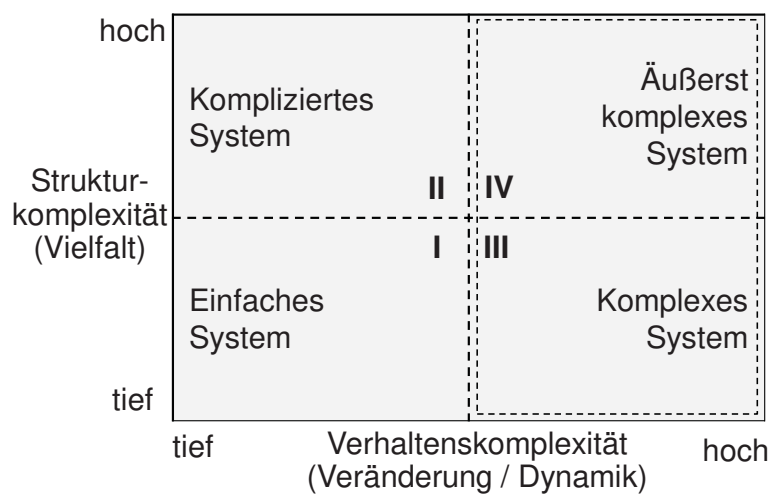


Abbildung 2-1: Klassifikation von Systemkomplexität (Ulrich et al. 1988, S. 61)

Einfache Systeme weisen eine geringe Anzahl von diversen Elementen und Beziehungen auf und zeigen nur ein geringes Maß an Veränderung und Dynamik. Komplizierte Systeme beinhalten zwar eine hohe Anzahl an diversen Elementen und Verknüpfungen, lassen sich aber wie einfache Systeme durch analytische Methoden und Verfahren abbilden und sind durch ihre Determiniertheit beherrschbar. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf komplexen und äußerst komplexen Systemen, die hinsichtlich ihres Verhaltens ein hohes Maß an Komplexität aufweisen. Obwohl komplexe Systeme aufgrund ihrer geringen Strukturkomplexität beschreibbar sind, sind eine Vorhersagbarkeit zukünftiger Systemzustände und eine vollkommene Beherrschbarkeit nicht gegeben.

Die Komplexität der Auftragsabwicklung kann analog zur Kategorisierung von produktionslogistischen Systemen (Böse et al. 2007, S. 296ff.) in die Kategorien Organisation (Prozess und Struktur), Zeit und System unterteilt werden. Die prozessuale Komplexität spiegelt die

Anzahl und Unterschiedlichkeit der Abläufe wider, wohingegen die strukturelle Komplexität die Anzahl unterschiedlicher Systemelemente definiert. Demnach sind für die Auftragsabwicklung zum einen die Komplexität in den Prozessen und Strukturen zu berücksichtigen, die sich „in der Anzahl der gleichen bzw. verschiedenen Elemente, in der Anzahl der gleichen bzw. verschiedenen Relationen und Operationen sowie in der Anzahl der Hierarchie-Ebenen“ (Ebeling et al. 1998, S. 18) zeigen. Die zeitliche Komplexität beinhaltet die Beschreibung des Systemzustands zu einem Zeitpunkt bzw. in einem Zeitraum oder der Veränderung im Zeitablauf. Die Kategorie System unterteilt sich in eine interne Komplexität, die die Abläufe, Elemente, Eigenschaften und Beziehungen innerhalb definierter Systemgrenzen beschreibt, und eine externe Komplexität, die die Bestandteile außerhalb der Systemgrenzen darstellt (Böse et al. 2007, S. 296ff.).

2.1.3 Komplexitätstreiber und deren Auswirkungen

Komplexitätsverursachende Faktoren werden als Komplexitätstreiber bezeichnet (Kirchhof et al. 2003, S. 39). Komplexitätstreiber sind selbst Systemelemente, die benachbarte Systemelemente und deren Beziehungen zueinander kritisch beeinflussen und das Komplexitätsniveau infolgedessen erhöhen⁵ (Meyer 2007, S. 26; Lammers 2012, S. 31). Nach BLISS sind grundsätzlich exogene und endogene Komplexitätstreiber zu unterscheiden (Bliss 2000, S. 4ff.).

Die Komplexitätstreiber wirken sich in Komplexitätsfeldern aus. Komplexitätsfelder sind diejenigen Unternehmensbereiche, in denen Komplexität auftritt (Jäger et al. 2013, S. 341). Das Produktportfolio, die Prozesse, die Informationstechnologie und die Organisation sind typische Felder, in denen Komplexität auftaucht (Kirchhof et al. 2003, S. 40; Jäger et al. 2013, S. 341; Bauernhansl et al. 2014, S. 3).

Für die durch die Komplexität entstehenden Kosten, die Komplexitätskosten, gibt es in der Literatur keine eindeutige Definition und Strukturierung. Nach ADAM und ROLLBERG sind Komplexitätskosten Aufwände aus den Faktorverbräuchen, die aus der Komplexität des Leistungsprogramms, der Kundenstruktur, der Produkte sowie dem Programm und der

⁵ Eine detaillierte Übersicht zur Strukturierung und den Strukturelementen zugeordneten Komplexitätstreibern gibt GIEßMANN (Gießmann 2010, S. 38).

Organisation der Leistungserstellung hervorgehen (Adam et al. 1995, S. 667ff.). Häufig wird eine Differenzierung in direkte und indirekte Komplexitätskosten vorgenommen (vgl. Giessmann 2010, S. 39 in Anlehnung an Schwenk-Willi 2001, S. 55 sowie Bliss 2000, S. 9 und Meyer 2007, S. 33). Die direkten Komplexitätskosten machen sich dabei in einmaligen oder dauerhaften höheren/zusätzlichen Aufwänden bemerkbar (Giessmann 2010, S. 39). Indirekte Komplexitätskosten werden auch als Opportunitätskosten bezeichnet, welche aufgrund des zusätzlichen Abstimmungs- und Koordinationsbedarfs, Kannibalisierungseffekten oder Deckungsbeitragsverminderungen durch schlechte Termintreue oder Qualitätsproblemen entstehen (Meyer 2007, S. 32ff.).

Neben der Unterteilung in direkte und indirekte Komplexitätskosten ist die Unterscheidung zwischen produktiven bzw. wertschöpfenden und unproduktiven bzw. nicht wertschöpfenden Kosten verbreitet (Wilson et al. 2010, S. 34; Wildemann 2012, S. 341). Während produktive Kosten bspw. Überstunden-Zuschläge, Material-Mehrkosten oder Aufwände für die Kommunikation mit Kunden umfassen, stellen unproduktive Kosten etwa Nacharbeiten, Maschinenleerzeiten oder die Entsorgung von Produkten dar (Wildemann 2012, S. 341). Die eindeutige Zuordnung von Komplexitätskosten zu direkten und indirekten Kosten kann zwar nicht in einfacher Art und Weise erfolgen, maßgebend ist nach WILSON allerdings der progressive bzw. exponentielle Komplexitätskostenverlauf bei zunehmender Komplexität (Wilson et al. 2010, S. 34).

Komplexitätskosten können daher zusammenfassend als diejenigen Kosten bezeichnet werden, die zur Bewältigung von Komplexität in den Unternehmensbereichen anfallen. Bezogen auf diese Arbeit sind Komplexitätskosten im Sinne von WILSON (Wilson et al. 2010, S. 34) überwiegend als nicht wertschöpfende Kosten zu sehen. Als Anforderung resultiert damit:

- ↳ Das Gestaltungsmodell reduziert bei vorliegender Produkt-Komplexität Komplexitätskosten unter Berücksichtigung von Organisation, Prozessen und Informationsflüssen.

2.1.4 Ansätze zum geeigneten Umgang mit Komplexität

Die Kybernetik gibt Hilfestellung zum geeigneten Umgang mit komplexen Systemen, indem sie Fragen zur Kontrolle, Regelung und Steuerung von komplexen Systemen beantwortet (Malik 1998, S. 5; Ulrich 2001, S. 42ff.). Gemäß WIENER, der als Begründer der Kybernetik gilt, ist „Kybernetik die Wissenschaft, die sich mit den Gesetzmäßigkeiten der Steuerung, Regelung und Rückkopplung der Informationsübertragung und -verarbeitung in Maschinen, Organismen und Gemeinschaften beschäftigt sowie die Theorie und Technik der Informationsverarbeitungssysteme untersucht“ (Brockhaus 2005, S. 519). Die Disziplin der Managementkybernetik befasst sich dabei mit der Anwendung von Kybernetik auf das Management komplexer Organisationen wie Unternehmen (vgl. Beer 1967). Die Managementkybernetik bedient sich zur Steuerung und Regelung den aus der Natur übertragenen Prinzipien der Selbstregulierung und Selbstorganisation (Malik 1998, S. 8). Da diese Prinzipien in von Menschen geschaffenen Systemen meistens nicht von allein vorhanden sind, sind Maßnahmen zur Förderung von Selbstorganisation und Selbstregulierung zu ergreifen (Malik 1998, S. 8). Die grundlegende Strategie des kybernetischen Managements verlangt daher, das Unternehmen so zu organisieren, dass „es sich so weit wie möglich selbst organisieren und selbst regulieren kann“ (Malik 1998, S. 9).

Daraus resultiert allerdings auch, dass nicht alles so gestaltet werden kann, dass es sich selbst organisiert und selbst reguliert (Malik 1998, S. 9). Gemäß Ashbys Gesetz kann ein System A von einem anderen System B nur dann gelenkt werden, wenn die Varietät des Systems B mindestens so groß ist wie die Varietät von System A (Ashby 1957, S. 206–207). Das Gesetz von Ashby zeigt damit auch auf, dass es nicht immer sinnvoll ist, die Komplexität eines Systems zu reduzieren (Malik 1998, S. 5; Malik 1998, S. 9). Wenn man diese Überlegungen auf Unternehmen überträgt, müssen die im komplexen System *Unternehmen* vorhandenen endogenen Komplexitätstreiber und -faktoren mit den exogenen Komplexitätstreibern und -faktoren ausbalanciert sein (Jäger et al. 2013, S. 341; Bauernhansl et al. 2014, S. 3). Es kann für ein Unternehmen daher erforderlich werden, ein angemessenes Maß an Komplexität zu entwickeln (Malik 1998, S. 10).

Das Komplexitätsmanagement fasst die Strategien zum geeigneten Umgang mit Komplexität zusammen und beinhaltet „die Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums (Produkte, Prozesse, Ressourcen) im Unternehmen“ (Schuh 2005,

S. 36). Ziel des Komplexitätsmanagements ist nach KIRCHHOF „die Beherrschung der Komplexität des Unternehmens im Sinne der permanenten Herbeiführung einer Stimmigkeit zwischen Komplexitätsbedarf und Komplexitätspotenzial durch Anwendung von Prinzipien der Komplexitätserhöhung und -reduktion sowie der Abstimmung der Strategien aufeinander“ (Kirchhof et al. 2003, S. 68). Daraus leiten sich die grundsätzlichen Strategien Komplexitätsreduzierung, -beherrschung und -vermeidung ab (vgl. Meyer 2007, S. 33ff; Giessmann 2010, S. 41ff; Wildemann 2012, S. 75ff; Jäger et al. 2013, S. 342–343; Bauernhansl et al. 2014, S. 3).

Ausprägungen dieser drei Strategien stellen die Standardisierung, die Strukturierung, die Mustererkennung und die Modellierung dar (Schwaninger 1989, S. 156ff.). Durch die Einführung von Regeln, Normen, Bedingungen, Richtlinien und Werthaltungen ist es möglich, ein standardisiertes Verhalten zu schaffen und damit auf die Komplexität eines Systems einzuwirken (Schwaninger 1989, S. 156ff.). Standardisierung reduziert einerseits die Komplexität durch die Festlegung von Restriktionen (Bronner 1992, S. 1126), kann andererseits aber auch zur Komplexitätserhöhung führen, indem Ansprüche verschiedener Gruppen wie Kunden oder Mitarbeiter berücksichtigt werden (Schwaninger 1989, S. 159). Der Ansatz der Strukturierung baut für das System einen Handlungsrahmen zur Beschreibung der Rechte und Pflichten von Handlungen auf (Bronner 1992, S. 1126). Dieser umfasst auch die Kommunikation mit den für die Handlungen notwendigen Weisungs- und Berichtspflichten (Schwaninger 1989, S. 160). Das Erkennen von Mustern ermöglicht die Identifikation von Regelmäßigkeiten und dadurch die Ableitung von Einsichten zu vorher nicht erklärbaren Störungen und Eigenschaften von Systemen. Obwohl komplexe Systeme nicht beherrschbar sind, befähigen erkannte Muster zu einer besseren Vorausschau (Schwaninger 1989, S. 158). Ergänzend dazu dient die Modellierung der Abbildung der Realität und der Definition allgemeingültiger Aussagen, indem die komplexe Realität durch das Modell beschränkt wird (Schwaninger 1989, S. 157). Hierdurch wird eine Komplexitätsreduzierung vorgenommen.

- ↳ Das Gestaltungsmodell gewährleistet mit Hilfe kybernetischer Prinzipien wie der Selbstorganisation, Standardisierung, Strukturierung, Mustererkennung und Modellierung einen geeigneten Umgang mit der auftretenden Komplexität.

2.2 Herausforderungen in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Schwerpunkte für einen erfolgreichen Umgang mit Komplexität stellen zukünftig die drei Bereiche Prozesse, Produkte und Organisation dar (Bauernhansl 2014c, S. 12). Dies bestätigt eine Studie, in der das Bestandsmanagement, der Umgang mit steigenden Kundenanforderungen, schwankende Bedarfe bei gleichzeitig komplexerer Supply Chain sowie durch eine schwierigere Planung steigende Prozesskosten als Schlüsselfaktoren für produzierende Unternehmen abgeleitet werden (Roland Berger 2012a). In den folgenden Unterkapiteln werden in Anlehnung an das Fünf-Kräfte-Modell von PORTER (Porter 1998, S. 4) die Absatzmärkte, die Lieferanten, die Wettbewerbssituation sowie die Innovationsfähigkeit und Technologie der Herstellung kundenspezifischer Investitionsgüter untersucht. Anhand zweier repräsentativer Branchen werden die Herausforderungen in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter beschrieben und Anforderungen an die Planung und Steuerung abgeleitet.

2.2.1 Maschinen- und Anlagenbau

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau gehört mit ca. einer Million Beschäftigten, 200 Milliarden Euro Umsatz und einem Anteil von 11% der weltweiten Produktion in der Branche zu den Schlüsselbranchen der deutschen Industrie (VDMA et al. 2014, S. 6–7). Mit über 11% der deutschen Forschungs- und Entwicklungsausgaben im verarbeitenden Gewerbe gehören 97% der deutschen Maschinen- und Anlagenbauer zu den Innovationsführern oder frühen Innovationsfolgern der Industrie (VDMA et al. 2014, S. 6–7), obwohl die durchschnittliche Beschäftigtenanzahl nur bei ca. 170 Mitarbeitern liegt. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau beansprucht demgemäß im internationalen Wettbewerb die Rolle des Technologie-, Innovations- und Qualitätsführers (Kinkel et al. 2007, S. 1).

Die Branche hat zunehmend mit schwankenden Marktbedarfen zu kämpfen: saisonbereinigt beträgt die Schwankungsbreite seit 2010 ca. 30% (VDW 2012, S. 12; VDMA 2013, S. 17). Dadurch entsteht eine unausgeglichene Kapazitätsauslastung (VDMA 2013, S. 13) und eine geringere Auftragsreichweite (VDW 2012, S. 10; VDMA et al. 2014, S. 44). Zudem gewinnt der Auslandsumsatzanteil ausgehend von derzeit 61% weiter an Relevanz (Statista 2013b,

S. 16). Deshalb ist davon auszugehen, dass es durch die vernetzten Märkte zu ähnlichen oder sogar stärkeren Marktschwankungen und kürzeren Intervallen kommen wird (Oliver Wyman 2010; ECORYS et al. 2012, S. 14–15).

Im Hinblick auf die nachgefragten Maschinen und Anlagen sind zwei Entwicklungsrichtungen zu verzeichnen. Zum einen ein wachsendes Segment mit günstigen Maschinen in relativ hoher Stückzahl, zum anderen kundenspezifische Lösungen, die im oberen Preissegment angesiedelt sind (CECIMO 2011, S. 40). Im unteren und mittleren Marktsegment mit einfacheren und weniger automatisierten Maschinen ist zwar - getrieben durch die starke Nachfrage in den Schwellenländern - mit dem größten Wachstum zu rechnen, allerdings besteht hier ein Käufermarkt mit intensiver Differenzierung durch den Preis (Roland Berger 2011a, S. 6; ECORYS et al. 2012, S. 180). Überdies ist laut einer Studie vom VDMA und McKinsey sowohl bei deutschen Einzelmaschinen- und Komponentenherstellern als auch für Anbieter kundenspezifischer Gesamtlösungen mit einem deutlichen Wachstum zu rechnen (VDMA et al. 2014, S. 29), was die Ergebnisse mehrerer anderer Studien bestätigen (Schuh 2007a, S. 4; ECORYS et al. 2012, S. 181).

Bezüglich der Wettbewerbssituation wird häufig die Bedrohung durch chinesische Unternehmen angeführt, die Marktanteile gewinnen und durch Akquisitionen technologisches Know-how aufbauen (Roland Berger 2011a, S. 10–12; AlixPartners 2012; ECORYS et al. 2012, S. 180; VDMA et al. 2014, S. 29). Gerade das mittlere Preissegment gilt als hart umkämpft (Roland Berger 2011a, S. 11–23; WestLB 2012, S. 9ff.). Neben nordamerikanischen Maschinen- und Anlagenbauern sind auch japanische Unternehmen nach wie vor ein ernstzunehmender Wettbewerber für deutsche Firmen (CECIMO 2011, S. 25; ECORYS et al. 2012, S. 127; ECORYS et al. 2012, S. 134–136). Technologische Innovationen sehen in einer Studie des VDMA 41% der Unternehmen als wesentlich an, um nachhaltig wettbewerbsfähig zu bleiben, und planen, dieser Marktanforderung durch Ausbau der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu begegnen (VDMA et al. 2014, S. 44). Der Anteil von Innovationen am Gesamtumsatz beträgt derzeit ca. 28% (Statista 2013a, S. 25; Statista 2013b, S. 40). Die Steigerung der Ausgaben für Forschung und Entwicklung von durchschnittlich 2% pro Jahr (VDMA 2011, S. 42; Statista 2013a, S. 22; Statista 2013b, S. 39) wird sich auch in den kommenden Jahren verstärken (Statista 2013b, S. 41). Die Anzahl der im Bereich der Forschung und Entwicklung tätigen Mitarbeiter wird sich demzufolge ebenso erhöhen (Statista 2013b, S. 41).

Innovationsfähigkeit ist damit ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor, um am Markt nachhaltig erfolgreich zu sein (VDW 2012, S. 28; Heidling 2019, S. 14). Das Einbeziehen verschiedenster wissenschaftlicher Disziplinen wird dabei weiterhin einer der Erfolgsfaktoren sein, um die Anforderungen hinsichtlich Effizienz, Präzision, Digitalisierung, Sicherheit und Nachhaltigkeit zu erfüllen (CECIMO 2011, S. 36; VDW 2012, S. 25; ECORYS et al. 2012, S. 219). Innovationen im Maschinen- und Anlagenbau besitzen eher einen inkrementellen Charakter, da die beim Anwender dominierende Rentabilitätsanforderung zu kurzen Amortisationszeiten führen muss. Demnach muss häufig eine Minimierung von Entwicklungskosten beim Maschinen- und Anlagenbauer erfolgen (Hirsch-Kreinsen et al. 2000, S. 46). Hinsichtlich Innovationsfähigkeit sind zudem drei wesentliche Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Forschungs- und Entwicklungsbudgets sind im Vergleich zu den Ausgaben ausländischer Wettbewerber bezogen auf den Unternehmensumsatz hoch, in absoluten Zahlen allerdings als gering einzustufen (WestLB 2012, S. 2ff; WestLB 2012, S. 9ff.). Deshalb ist eine effektive und effiziente Nutzung der Budgets erforderlich.
- Die Innovationszyklen werden wettbewerbsbedingt kürzer, wohingegen der Investitionsaufwand für Innovationen steigt (CECIMO 2011, S. 41ff; Statista 2013b, S. 7). Es ist daher schwierig, auch bei schwankender Ertragslage den hohen Qualitätsstandard einzuhalten.
- Die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten werden vor allem im mittleren Preissegment vernetzter und internationaler (Roland Berger 2011a, S. 20; WestLB 2012, S. 8ff; ECORYS et al. 2012, S. 202). Die zunehmende Verlagerung von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in Schwellenländer macht eine bessere Planung und Koordination notwendig.

Die angebotenen Maschinen und Anlagen stellen eine Kombination aus verschiedensten Hardware- und Softwarekomponenten dar, die als Gesamtlösung die Kundenanforderung erfüllen (ECORYS et al. 2012, S. 210–211). In diesem Zuge steigen auch die Anforderungen an die Logistik sowie die Qualifikation des Personals zur Entwicklung und Konstruktion: neben einem fundierten technischen Know-how sind zunehmend multidisziplinäres Wissen und die Fähigkeit zum kollaborativen Arbeiten erforderlich (CECIMO 2011, S. 36; HCOB 2019, S. 10ff.). Problematisch ist hierbei allerdings der teilweise schon festzustellende Mangel an qualifizierten Fachkräften zu sehen (CECIMO 2011, S. 41ff; VDMA et al. 2014, S. 44; VDMA 2016, S. 88).

Erfolgsfaktoren im Maschinen- und Anlagenbau

Um den aufgezeigten Herausforderungen gerecht zu werden, sind Innovationen ein zentraler Baustein zur Erhaltung und zum Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit (CECIMO 2011, S. 25; VDMA et al. 2014, S. 50; Heidling 2019, S. 15). Gerade für Innovationsführer und frühe Innovationsfolger ergeben sich deutliche Wachstums- und Profitabilitätsvorteile (PwC 2011, S. 4; VDMA et al. 2014, S. 26). Die Vielfalt der angebotenen Produkte steigert einerseits die Wirkung am Markt, erhöht andererseits aber die Kosten durch höhere Bestände, kleinere Losgrößen, eine größere Anzahl an Änderungen sowie einer höheren Planungs- und Logistikkomplexität (Roland Berger 2012a, S. 6). Deshalb sind auch Prozessinnovationen wichtig, um eine Kostenreduktion, Qualitätssteigerungen und eine schnelle Reaktion auf Kundenanfragen zu ermöglichen (VDMA et al. 2014, S. 26). Gerade letzteres gewährleistet auch zukünftig Umsatzsteigerungen (Oliver Wyman 2010; PwC 2011, S. 4; VDMA et al. 2014, S. 50). Aufgrund der heterogenen Kundenanforderungen ist die Bewältigung einer hohen Produktkomplexität erforderlich (Oliver Wyman 2010; Roland Berger 2012a, S. 9; VDMA et al. 2014, S. 44). Modularisierungs- und Standardisierungsstrategien dienen dazu, die Produktkomplexität zu managen (VDMA et al. 2014, S. 59). Der gezielte Einsatz von Flexibilität verspricht die Einhaltung von Kundenanforderungen auch bei auftretenden Schwankungen und Unsicherheiten (Oliver Wyman 2010). Grundlage für den Erfolg wird auch zukünftig die operative Exzellenz sein (VDMA et al. 2014, S. 24). Wesentliche Faktoren hierfür sind neben der Lieferzeit, der Liefertermintreue und dem aufgrund der internen Prozessen ermöglichten Verkaufspreis (Schuh 2007a, S. 18) die Anzahl an Kundenreklamationen sowie der Anteil der allgemeinen Vertriebs- und Verwaltungskosten (VDMA et al. 2014, S. 24). Eine Verbesserung der operativen Exzellenz kann dabei durch

- eine konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien entlang der gesamten Wertschöpfungskette (VDMA et al. 2014, S. 65ff.),
- eine Erhöhung der Prozesseffizienz (PwC 2011, S. 5), insbesondere auch in den Bereichen der Forschung und Entwicklung (AlixPartners 2012),
- ein stringentes, effizientes Projektmanagement bei der Durchführung kundenspezifischer Aufträge (VDMA et al. 2014, S. 66) sowie
- Planungs- und Steuerungssysteme, die mit den Unsicherheiten in einem volatilen Marktumfeld umgehen können (Oliver Wyman 2010, S. 8), erreicht werden.

2.2.2 Luft- und Raumfahrt

Die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie befindet sich bei einem Umsatz von mehr als 28 Milliarden Euro und über 100.000 Beschäftigten im Jahr 2012 (BDLI 2012, S. 5) weiter auf Wachstumskurs. So ist bspw. im Bereich der Passagierflugzeuge aufgrund des stark steigenden Passagieraufkommens weltweit mit einem jährlichen Wachstum von 3,8% bis 2031 zu rechnen (Airbus 2012, S. 12–14). Ähnliche Entwicklungs- und Wachstumszahlen sind bei der Raumfahrtsparte von Airbus zu verzeichnen (EADS 2012, S. 41).

Die Produktneueinführungen sind dabei durch den Einsatz von neuen Technologien und Materialien sowie der Zusammenarbeit mit einer Vielzahl und Vielfalt an Lieferanten gekennzeichnet, was in der Vergangenheit zu großen Verzögerungen geführt hat (ECORYS 2009, S. 313–314) S.313-314}. Die Knappheit an qualifiziertem Personal, insbesondere im Entwicklungs- und Konstruktionsbereich (ECORYS 2009, S. 194; ECORYS 2009, S. 195–196), verhindert bei Beibehaltung der notwendigen Qualität die Beschleunigung der Entwicklungs- und Auftragsdurchlaufzeiten.

Die wesentlichen Konkurrenten der europäischen Luft- und Raumfahrt sind in Nordamerika, Brasilien, Russland, China und Japan zu finden (Roland Berger 2012b, S. 17). Speziell die chinesische Konkurrenz wird in den nächsten Jahren zu einem bedeutenden Luft- und Raumfahrtstandort heranwachsen (ECORYS 2009, S. 157).

Die Innovationsausgaben deutscher Unternehmen in der Branche sind von 2006 bis 2012 um durchschnittlich jährlich 1,2% gestiegen und bewegen sich auf einem Niveau von ca. 2,5 Milliarden Euro im Jahr 2012 (Statista 2013b, S. 25). Dies entspricht im Mittel einer Investition von ca. 15% des Gesamtumsatzes (IHK für München und Oberbayern et al. 2007, S. 23). Dies schlägt sich auch in der Verteilung der Mitarbeiter auf die Bereiche nieder: durchschnittlich arbeiten 40% der Beschäftigten in Luft- und Raumfahrtunternehmen im Bereich Forschung und Entwicklung, in einigen Unterbranchen wie der Satellitennavigation sind es teilweise über 60% (IHK für München und Oberbayern et al. 2007, S. 23). Der Anteil der Innovationen am Gesamtumsatz betrug zwischen 2006 und 2010 zwischen 5% und 8%, wobei davon in der Regel nur ein geringer Anteil auf Marktneuheiten entfällt (Statista 2013b,

S. 26). Nachahmerinnovationen⁶ spielen eine bedeutende Rolle, weswegen auf Marktinnovationen der Konkurrenz schnell reagiert werden muss (Statista 2013b, S. 26).

Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung bei Luftfahrtunternehmen sind im Bereich Werkstoffe, Leichtbau, Fertigungstechnik, Antrieben, Energieversorgung, Avionik und Elektronik zu erkennen (IHK für München und Oberbayern et al. 2007, S. 23; ECORYS 2009, S. 318). Raumfahrtunternehmen befassen sich ebenso intensiv mit neuen Werkstoffen, Leichtbaustrukturen, neuen Antrieben für Satelliten und Raketen sowie der Energiegewinnung über Solargeneratoren und der Entwicklung neuartiger optischer Instrumente (IHK für München und Oberbayern et al. 2007, S. 23). Aufgrund des bereits sehr hohen technologischen Niveaus und dem hohen Risiko, schon bei einer kleinen fehlerhaften Technologieveränderung hohe Kosten zu verursachen, ist der Markt durch inkrementelle Verbesserungen der Technologie geprägt (ECORYS 2009, S. 20). In diese Richtung intensivierend wirkt die aufgrund der technologischen Komplexität notwendige Kooperation mit anderen Unternehmen (ECORYS 2009, S. 21).

Die aufgezeigten Faktoren verursachen hohe und steigende Forschungs- und Entwicklungskosten sowie lange Durchlaufzeiten bei kundenspezifischen Aufträgen (ECORYS 2009, S. 21; Statista 2013b, S. 25). Diese Kombination aus hohen notwendigen Investitionen und langen Durchlaufzeiten mit daraus resultierenden späten Einnahmen führt zu einem problematischen Cashflow (ECORYS 2009, S. 21).

Erfolgsfaktoren in der Luft- und Raumfahrt

Auch in der Branche Luft- und Raumfahrt werden Innovationen maßgeblich für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit sein. Darüber hinaus steigen die Anforderungen von Kunden hinsichtlich der Termineinhaltung (ECORYS 2009, S. 318ff.).

Die aufgezeigten Herausforderungen erfordern eine durchgängige Optimierung der Kosten für die Forschung, Entwicklung und Produktion in der Luft- und Raumfahrtbranche (Roland Berger 2012b, S. 17). Ein Optimierungsbereich stellt die Standardisierung und Modularisierung von Produkten dar (Roland Berger 2012b, S. 17).

⁶ Nachahmerinnovationen sind neue Produkte eines Unternehmens, die zum Zeitpunkt der Einführung schon von anderen Unternehmen angeboten wurden (Statista 2013c, S. 26).

Andererseits ist eine intensive Zusammenarbeit in der gesamten Supply Chain notwendig: sowohl im Forschungs- und Entwicklungsbereich als auch in der Produktion ist ein vernetztes Arbeiten notwendig, um die Kundenanforderungen hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten zu erfüllen (Roland Berger 2012b, S. 19). Hieraus resultiert allerdings auch, dass in diesen vernetzten Strukturen ein hohes Maß an Verlässlichkeit - insbesondere hinsichtlich vereinbarter Termine und Qualität - vorhanden sein muss. Neben der Produktoptimierung ist daher ebenso die Optimierung der Prozesse hinsichtlich einer verbesserten Leistungsfähigkeit bezüglich Termintreue, Durchlaufzeit und Qualität entscheidend. Erschwerend kommt hinzu, dass zum einen öffentliche Förderungen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eher rückläufig sind und sich zum anderen der Wettbewerb um qualifizierte Arbeitskräfte und Spezialisten zukünftig weiter intensivieren wird (ECORYS 2009, S. 319). Aus diesen Gründen ist eine hohe Effizienz in den Prozessen zur Nutzung der vorhandenen Budgets und der verfügbaren Mitarbeiter entscheidend.

2.2.3 Zwischenfazit

Die Beschreibung der aktuellen Herausforderungen im Maschinen- und Anlagenbau sowie der Luft- und Raumfahrt zeigen den notwendigen Handlungsbedarf mit Bezug auf die Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter. Zusammenfassend lassen sich übergreifend folgende Erfolgskriterien ableiten und entsprechende Anforderungen an das zu konzipierende Gestaltungsmodell festhalten:

- ↳ Gewährleistung einer effektiven Nutzung der vorhandenen Ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette,
- ↳ konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien und ein stringentes Projektmanagement, um die Prozesseffizienz zu erhöhen,
- ↳ Sicherstellung einer geeigneten Zusammenarbeit in vernetzten Strukturen, wozu ein hohes Maß an Verlässlichkeit bei Terminen und Qualität erforderlich ist,
- ↳ Befähigung von Unternehmen, nicht vermeidbare Unsicherheiten in einem volatilen Marktumfeld geeignet zu bewerkstelligen.

2.3 Grundlagen der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Gemäß dem in Kapitel 1.6 aufgezeigten Forschungsprozess werden im Folgenden problemrelevante Theorien der Grundlagenwissenschaften erfasst und interpretiert. Dazu wird zunächst eine Eingrenzung des Untersuchungsbereichs vorgenommen. Anhand einer betriebstypologischen Einordnung können komplexitätssteigernde Rahmenbedingungen in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter aufgezeigt und diskutiert werden. Die Gestaltungsaspekte strukturieren anschließend den Betrachtungsbereich und erlauben die Ableitung von Anforderungen an das zu entwickelnde Gestaltungsmodell.

2.3.1 Grundlegende Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Als grundlegenden Ordnungsrahmen für die Eingrenzung des Untersuchungsbereichs wird das St. Galler Management-Konzept (Bleicher 2004, S. 125) herangezogen. Das Konzept ist dabei dreidimensional in den Dimensionen der Management-Ebene, den Säulen Strukturen, Aktivitäten und Verhalten sowie der zeitlichen Komponente der Unternehmensentwicklung aufgebaut (vgl. Abbildung 2-2).

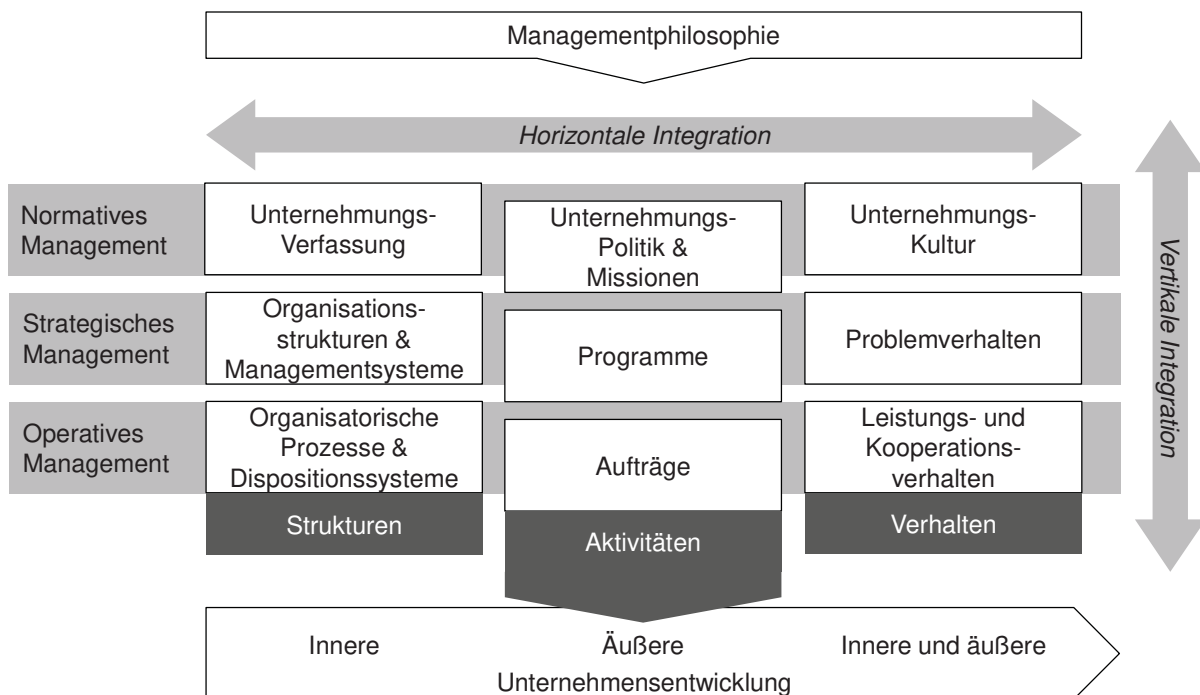


Abbildung 2-2: St. Galler Management-Konzept nach BLEICHER

(i. A. an Bleicher 2004, S. 91)

Im durch das normative⁷ und strategische Management⁸ vorgegebenen Rahmen leistet das operative Management lenkende, gestaltende und entwickelnde Willensbildung, -durchsetzung und -sicherung in Prozessen (Bleicher 2004, S. 90ff.). An den Schnittstellen der Management-Ebenen und Säulen sind Module eingeordnet, die die wesentlichen Inhalte des Konzeptes beinhalten sowie horizontal und vertikal miteinander vernetzt sind (Rüegg-Stürm 2003, S. 47ff.).

Aufgrund der Zielsetzung der Arbeit werden Ansätze im Stand der Forschung fokussiert, die der Ebene des operativen Managements zuzuordnen sind. Dies beinhaltet neben der Problemlösung im Einzelfall und der Gestaltung von Haupt- und Unterstützungsprozessen⁹ auch die ständige Verbesserung von vollziehenden und konzipierenden Prozessen (Bleicher 2004, S. 437ff; Rüegg-Stürm 2003, S. 63). Diese Arbeit umschließt hauptsächlich die Auftragsgenerierung und -abwicklung des operativen Managements und bezieht strategische Aspekte der Organisationsstrukturen und Managementsysteme ein. Während Managementsysteme der Informationsgewinnung und -verarbeitung dienen (Bleicher 2004, S. 353), geben Organisationsstrukturen den organisatorischen Gestaltungsrahmen in den Dimensionen Element- und Beziehungsorientierung, Strukturierungsrichtung, Regelungscharakter und Konfiguration an (Bleicher 2004, S. 336ff.).

⁷ Das normative Management befasst sich mit den generellen Zielen der Unternehmung. Maßgeblich sind Prinzipien, Normen und Spielregeln, die die Lebens- und Entwicklungsfähigkeit der Unternehmung gestatten (Bleicher 2004, S. 74).

⁸ Das strategische Management zielt auf den Aufbau, die Pflege und die Ausbeutung von Erfolgspotentialen ab, für die ein Ressourceneinsatz notwendig ist (Bleicher 2004, S. 75).

⁹ Nach BLEICHER sind als Hauptprozesse die Leistungsdefinition, Entwicklung, Marktkommunikation und Angebot, Herstellung, Auftragsabwicklung und Service zu sehen, die durch die Strategieplanung und -umsetzung, die Personalplanung und Betreuung, die Rentabilitäts- und Liquiditätssicherung, die Ressourcenbereitstellung und die Informationsversorgung unterstützt werden.

2.3.2 Definition wesentlicher Begriffe

Planung

Für den Begriff der Planung existieren zahlreiche Definitionen (siehe bspw. (Gutenberg 1979; Kosiol 1973; REFA 1985; Goedel 1997; Schneider 2007)). Die verschiedenen Auffassungen von Planung unterscheiden sich in der Frage, ob Planung Freiräume in der Entscheidung eingrenzt oder ob durch Planung auch Entscheidungsfreiräume ausgebaut werden können (Weise 2007, S. 58). Im Folgenden wird der Auffassung gefolgt, dass durch Planungsaktivitäten die Anzahl möglicher Lösungen zunächst vergrößert, durch Entscheidungen im Rahmen der Planung aber wiederum verkleinert wird.

Unter Planung wird daher im Rahmen dieser Arbeit die gedankliche Vorwegnahme zukünftiger Ereignisse mit der damit einhergehenden Ermittlung und Bewertung möglicher Handlungsalternativen, um zukünftige eigene Entscheidungen und Tätigkeiten zu verbessern, verstanden (Kosiol 1973, S. 307). Planung ist dabei explizit zukunftsbezogen und zukunfts-gestaltend. Sie wird als zielgerichteter, rationaler Prozess verstanden. Es ist allerdings festzuhalten, dass durch die Beteiligten irrationale Einschätzungen einfließen, so dass sich die Planungsergebnisse bei derselben Aufgabenstellung unterscheiden können (Goedel 1997, S. 11–12).

SZYPERSKI und WELTERS nennen mehrere Argumente für die Begrenztheit der Planung und erläutern die Dichotomie zwischen Planungsmöglichkeit und Planungsnotwendigkeit: wenn die Vielzahl, Vielfalt und Dynamik der Planungsobjekte größer sind als die Planung sie beherrschen kann, ist die Grenze der Planung erreicht (Szyperski et al. 1976). Dies schlägt sich in einer Wirtschaftlichkeitsanforderung an die Planung nieder.

Produktionsplanung und -steuerung

Der Begriff der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) entstand Anfang der 1980er Jahre durch eine Zusammenführung von Material- und Zeitwirtschaft (Wiendahl 2008, S. 277; Schuh et al. 2012, S. 4) mit dem Zweck, die wachsende Produktvielfalt zu beherrschen (Wiendahl 1997a, S. 251). Gegenstand der PPS ist die Bereitstellung von Gütern in bestimmten Mengen zu vorgegebenen Terminen in verlangter Qualität, so dass die betriebliche Leistungserstellung kostenminimal erfolgt (Westkämper et al. 1996; Wiendahl 1997a,

S. 251). Dabei hat das PPS-System die „Aufgabe, aufgrund erwarteter und/oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Beachtung der verfügbaren Ressourcen [...] durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, so daß bestimmte betriebliche Ziele erreicht werden“ (Zäpfel 2001, S. 56). Der darin inbegriffene Aspekt der Steuerung spiegelt ein Input-Output-System wider, bei dem eine oder mehrere Inputgrößen aufgrund der Gesetzmäßigkeiten des Systems den Output bestimmen (DIN 19226-1). Die Planungsrelevanz gibt an, welche Güter, Bereiche und Faktoren im Rahmen der PPS zu beachten sind (Wiendahl 2002, S. 89ff.).

Auftragsmanagement

WIENDAHL erweitert den Begriff der PPS zum Begriff *Auftragsmanagement* und betont mit dem Erfüllen von Kundenaufträgen als zentrales Ziel ein neues Verständnis der PPS bzw. des Auftragsmanagements (Wiendahl 2002, S. 24ff.). Während die klassische PPS versucht, die Produktion durch Bestände und Puffer vor Marktturbulenzen zu schützen, hebt sich das Auftragsmanagement von der klassischen PPS durch eine auftragsindividuelle Planung und Steuerung mit gezielten Maßnahmen zur termingerechten Fertigstellung der Aufträge ab (Wiendahl 2002, S. 25). Die Kernaufgabe des Auftragsmanagements stellt „das zeit- und mengenmäßige Zuordnen von Artikeln, Prozessen und Ressourcen (Mensch und Betriebsmittel) zu Aufträgen“ (Wiendahl 2002, S. 83) dar. Da für den Betrachtungsbereich der Arbeit die PPS auftragsindividuell erfolgt, wird im Rahmen dieser Arbeit den Begriffen PPS und Auftragsmanagement dasselbe Verständnis zugrunde gelegt.

Auftragsabwicklung

Die Auftragsabwicklung schließt alle Tätigkeiten zur Erledigung einer Anfrage sowie zur Durchführung eines sich daraus ergebenden Auftrags ein (Bär 1977, S. 14). Dabei kann zwischen der kaufmännischen und technischen Auftragsabwicklung unterschieden werden (Gudehus 2010, S. 45; Pfohl 2010, S. 72). Die kaufmännische Auftragsabwicklung ist dabei für die Auftragsannahme und kaufmännische Bearbeitung zuständig (Gudehus 2010, S. 45). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf die technische Auftragsabwicklung

gelegt, die die Unternehmensbereiche Vertrieb, Entwicklung bzw. Konstruktion, Materialdisposition, Arbeitsvorbereitung, Produktion und Versand umfasst (Eversheim 1996a, S. 227; Gudehus 2010, S. 45–46).

Turbulenz

Kapitel 2.1.1 hat gezeigt, dass in komplexen Systemen aufgrund der Charakteristika Vielzahl, Vielfalt, Dynamik und Intransparenz eine inhärente Unsicherheit vorherrscht (ElMaraghy et al. 2012, S. 793–794; Jäger et al. 2013, S. 341; Bauernhansl et al. 2014, S. 1). Gerade für die Faktoren Dynamik und Intransparenz hat im Kontext der Auftragsabwicklung der Begriff der Turbulenz Verbreitung gefunden (Westkämper et al. 2000; Wiendahl 2006a; Westkämper 2009b, S. 9ff.). WIENDAHL zeigt die Entwicklung des Begriffs *Turbulenz* in der Literatur auf (Wiendahl 2002, S. 52ff.), transferiert den Begriff auf die PPS und unterscheidet zwischen objektiv messbaren und subjektiven Aspekten von Turbulenz. Das Empfinden von Turbulenz hängt dabei vom Verhältnis zwischen Fähigkeiten und Anforderungen ab (Wiendahl 2002, S. 14–15). Turbulenz beschreibt im Kontext der PPS das Phänomen von Abweichungen einer generalisierten, mittelwertbasierten Planung durch das Auftreten von Turbulenzkeimen (Wiendahl 2002, S. 103ff.)

Die Ursachen von Turbulenz lassen sich in die vier Gruppen *Frequenzen*, *Schwankungen*, *Streuungen* sowie *(Plan-)Abweichungen/Störungen* unterteilen (Wiendahl 2006a, S. 184ff.). Turbulenz lässt sich damit als Konkretisierung des Begriffs Unsicherheit auffassen und wird im Kontext dieser Arbeit auf diese Weise verwendet.

2.3.3 Betriebstypologische Einordnung des Untersuchungsbereichs

Die Einordnung des Untersuchungsbereichs erfolgt anhand des morphologischen Merkmalschemas von SCHOMBURG (Schomburg 1980, S. 88ff.), das von SAMES und BÜDENBENDER (Sames et al. 1990, S. 1ff; Büdenbender 1991, S. 51) weiterentwickelt wurde. Die Fokussierung dieser Arbeit auf Sachgüter produzierender Unternehmen ist dafür bestimmend. Abbildung 2-3 umfasst zentrale Merkmale zur Beschreibung der PPS für diese Arbeit, die nach den Grundobjekten Artikel, Ressource und Auftrag (Wiendahl 2002, S. 46) unterteilt sind.

Merkmale		Ausprägungen			
Artikel	Endproduktart	Investitionsgut	Konsumgut	 	
	Kundenbezug des Endproduktes	kundenspezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt (mit Varianten)	Standardprodukt
	Stücklistentiefe / Dispositionsstufen	viele	wenige	einstufig	Handel (inkl. externe Produktion)
Resource	Ablaufprinzip	Baustelle	Werkstatt	Insel	Linie / Fließprinzip
	Material- und Auftragsflusskomplexität	komplex mit Rückflüssen	komplex	überschaubar	einfach
	Engpasscharakteristik	kein	stabil	dynamisch	ereignisdiskret
	Kapazitätsflexibilität	in der Zeitachse flexibel	in der Zeitachse wenig flexibel	in der Zeitachse nicht flexibel	
Auftrag	Bevorratungsstrategie	engineer-to-order	make-to-order	assemble-to-order	make-to-stock
	Auftragsauslösungsart	Nachfrage, Kundenauftrag	Prognose, Vorhersageauftrag	Verbrauch, Lager-nachfüllauftrag	
	Auftragstyp	Einzelstück	Kleinserie	Serie	Großserie, Massenfertigung
	Kundenänderungseinfluss nach Fertigungsstart	größerer Umfang (>25% d. Aufträge)	gelegentlich (5... 25% d. Aufträge)	unbedeutend (<5% d. Aufträge)	


 im Rahmen dieser Arbeit fokussierte Merkmalsausprägungen

Abbildung 2-3: Morphologisches Merkmalschema der PPS

(i. A. an Büdenbender 1991, S. 51 und Wiendahl 2010, S. 191)

2.3.3.1 Artikel

Ein Artikel stellt ein Gut dar, „das während der Beschaffung, der Produktion, der Lieferung und der Entsorgung identifiziert oder behandelt werden kann oder muss“ (Schönsleben 2011, S. 21).

Endproduktart

Investitionsgüter sind „Leistungen, die von Organisationen (Nicht-Konsumenten) beschafft werden, um mit ihrem Einsatz (Gebrauch oder Verbrauch) weitere Güter für die Fremdbedarfsdeckung zu erstellen oder um sie unverändert an andere Organisationen weiter zu veräußern, die diese Leistungserstellung vornehmen“ (Engelhardt et al. 1981, S. 24). Investitionsgüter haben üblicherweise eine lange Lebensdauer und werden über mehrere Jahre abgeschrieben (Leenders 2006, S. 423). Die im Betrachtungsbereich dieser Arbeit liegenden Investitionsgüter können gemäß den Strukturierungskriterien von HOFMANN ET AL. (Hofmann et al. 2012, S. 10–11) nichtproduktionsbezogen oder produktionsbezogen sein, weisen einen komplexen Charakter auf und stellen physische Güter dar.

Kundenbezug des Endproduktes

Die Strategie, mit der Produkte entwickelt und am Markt angeboten werden, wird durch den Kundenbezug des Endproduktes dargelegt (Wiendahl 2010, S. 192). Je größer der Einfluss des Kunden auf die Gestaltung des Endprodukts und je geringer der Grad der Standardisierung ist, desto höher fällt der organisatorische Aufwand für die Erfüllung des Kundenauftrags aus (Schuh et al. 2012, S. 124). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Kundenbezug des Endprodukts auf kundenspezifische Endprodukte und variantenreiche Produktfamilien eingegrenzt. Kundenspezifisch bedeutet, dass die Definition der Endproduktkonstruktion nahezu vollständig nach den auftragsbezogenen Kundenanforderungen stattfindet (Schuh et al. 2012, S. 124). Dies stellt häufig eine weitgehende Neukonstruktion dar. Bei variantenreichen Produktfamilien wird eine vorhandene Grundkonstruktion herangezogen wird, um den kundenspezifischen Auftrag zu erfüllen (Lindemann et al. 2006, S. 10)¹⁰.

¹⁰ Hier liegt eher der Charakter einer Anpassungskonstruktion vor, in der Standardkomponenten und konstruktiv angepasste Komponenten zu einem kundenspezifischen Endprodukt kombiniert werden (Schuh et al. 2012, S. 125).

Stücklistentiefe / Dispositionsstufen

In Erweiterung des Merkmals *Kundenbezug* beschreibt die Stücklistentiefe den konstruktionsbedingten Aufbau des Endproduktes (Schuh et al. 2012, S. 124) . Dabei kann zwischen der Strukturtiefe (Anzahl der Strukturstufen) und der Strukturbreite (Anzahl der Stücklistenpositionen) differenziert werden (Wiendahl 2010, S. 192). Die Stücklistentiefe stellt ein Maß für die zu planenden und zu steuernden Dispositionsstufen dar. SCHUH nimmt eine Einklassifizierung anhand der durchschnittlichen Anzahl der Strukturstufen und der durchschnittlichen Anzahl der Stücklistenpositionen vor (Schuh et al. 2012, S. 125). Demnach besteht der vornehmliche Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit in einer komplexen Struktur mit vielen Stücklistenstufen und -positionen. Die Stücklistentiefe stellt allerdings nur eines der Merkmale eines *komplexen Produkts* dar. Nach KÖHLER können zusätzlich die Anzahl der Funktionen, die räumliche Ausdehnung, der Integrationsgrad und die Bewegungsdynamik als weitere Merkmale von Komplexität herangezogen werden (Köhler 1997, S. 9).

2.3.3.2 Ressource

Definitionen des Begriffs *Ressource* schließen materielle und immaterielle Mittel ein (vgl. Rüegg-Stürm 2003, S. 45ff.). Im Kontext dieser Arbeit beschreibt eine Ressource einen Leistungserbringer, der die zur Herstellung von Gütern erforderlichen Prozesse ausführt (Wiendahl 2010, S. 81). Ressourcen stellen materielle Güter wie Maschinen oder Werkzeuge sowie Mitarbeiter dar. Im Rahmen der PPS stellt die Betrachtung der Auftragsabwicklung aus der Sicht der Ressourcen die Ressourcensicht dar (Wiendahl 2002, S. 120).

Ablaufprinzip

Das Ablaufprinzip veranschaulicht die räumliche Anordnung von Ressourcen zu Organisationseinheiten, charakterisiert die organisatorische Verantwortung und definiert die Art des Ablaufs (Wiendahl 2010, S. 192). Das Werkstattprinzip, das Inselprinzip und das Linienprinzip sind gängige Ablaufprinzipien in der Produktion (Wiendahl 1997a, S. 31ff; Schuh et al. 2012, S. 132). Nach HIRSCHBERG stellt das Werkstattprinzip eine funktionsorientierte,

das Linienprinzip eine produktorientierte oder prozessorientierte Strukturierung dar (Hirschberg 2000). Während in funktionsorientierten Strukturen Arbeitsplätze mit ähnlichen Technologien zu Organisationseinheiten zusammengefasst werden, bearbeiten produktorientierte Organisationseinheiten lediglich ein oder mehrere ähnliche Produkte (Inselprinzip). Die prozessorientierte Strukturierung fasst Arbeitsplätze zusammen, die ein Produktspektrum mit denselben Prozesssequenzen bearbeiten.

Die Logik des Ablaufprinzips kann auf die gesamte Auftragsabwicklung angewendet werden und wird im Kontext der Aufbauorganisation bzw. Primärorganisation diskutiert (vgl. Kosiol 1968; Wiendahl 1997a, S. 17ff; Ripperger 1999; Ullmann 2001, S. 34ff; Gaitanides 2007, S. 2). Gängig ist die funktionale Organisation, die alle Aufgaben für alle Produkte nach der Funktion zusammenfasst (Wiendahl 1997a, S. 17). Kundenspezifische Endprodukte mit hoher Stücklistentiefe, volatile Märkte und begrenzt zur Verfügung stehende Investitionsmittel verhindern insbesondere bei Mittelständlern den Aufbau von komplett produktorientierten Strukturen, weshalb auch in funktionsorientierten Strukturen eine hohe Leistungsfähigkeit bezüglich Termintreue, Durchlaufzeit, Beständen und Auslastung erreicht werden muss (Bornhäuser 2009, S. 29). Deshalb beziehen sich die Ausführungen dieser Arbeit im Schwerpunkt auf funktionsorientierte und teilweise produktorientierte Strukturierungen.

Große Aufträge und Projekte werden in Unternehmen häufig mit einer ergänzenden Sekundärorganisation abgewickelt (Specht et al. 2002, S. 337). Diese Sekundärorganisation kann die Formen *reine Projektorganisation*, *Projekt-Matrixorganisation*, *Einfluss-Projektorganisation* oder *Projektorganisation in der Linie* annehmen (Specht et al. 2002, S. 275–293; Kuster et al. 2008, S. 102–103).

Zusammenfassend kann aus der Eingrenzung des Ablaufprinzips folgende Anforderung festgehalten werden:

- ↳ Das Gestaltungsmodell ermöglicht die Planung und Steuerung kundenspezifischer Aufträge und Projekte mit komplexer Struktur in funktionsorientierten Strukturen.

Material- und Auftragsflusskomplexität

Die Materialflusskomplexität charakterisiert die Komplexität von Materialflussbeziehungen anhand der Kriterien *Zahl möglicher Nachfolger und Vorgänger* sowie *Anzahl der Rückflüsse* (Lödding 2008, S. 104–105; Wiendahl 2010, S. 193). Wenn zur Bearbeitung eines Auftrags Ressourcen aus anderen Bereichen benötigt werden, nimmt die Komplexität in der PPS zu, da konkurrierende Zugriffe auf einzelne Ressourcen vorkommen können (Schulte-Zurhausen 2005, S. 226; Ansorge 2008, S. 9). Gemäß einer Studie zum Stand des Ressourcenmanagements und der Kapazitätsplanung nutzen zwar 80% der befragten Unternehmen projekt-, team-, abteilungs- und/oder länderübergreifende Ressourcen, lediglich 45% verfügen allerdings über eine Ressourcenmanagement- und Kapazitätsplanungsfunktion (Planview 2013, S. 8).

LÖDDING unterscheidet zwischen *linearen Materialflüssen*, *komplexen Materialflüssen ohne Rückflüsse* und *komplexen Materialflüssen mit Rückflüssen* (Lödding 2008, S. 105). Anhand der von BÜCHEL und SAINIS entwickelten Kennzahlen lässt sich die Komplexität von Materialflüssen einer Fertigung quantifizieren (Büchel 1968, S. 25ff; Sainis 1975, S. 9ff.). Analoge Überlegungen lassen sich nicht nur für den Produktionsbereich, sondern für die gesamte Auftragsabwicklung anstellen, wobei in diesem Fall die Ablaufkomplexität von Aufträgen und Informationsflüssen untersucht und bewertet wird (Liker 2007, S. 149–151; Wiendahl 2010, S. 202–203).

Diese Arbeit fokussiert aufgrund des Schwerpunkts auf funktionsorientierte Strukturen auf komplexe Material- und Auftragsflüsse mit und ohne Rückflüsse.

Engpasscharakteristik

GOLDRATT und FOX prägten Anfang der 1980er Jahre den Begriff *Engpass*¹¹ (Goldratt 1981; Fox 1982a; Fox 1982b). WIENDAHL definiert eine Ressource als Engpass, wenn sie das Erfüllen mindestens eines logistischen Ziels oder Leistungsmerkmals begrenzt (Wiendahl 2002, S. 202). Demnach ist es wichtig, bei der Gestaltung und der operativen

¹¹ Daraus resultieren die heute allgemein anerkannten Regeln (Wiendahl 2002, S. 201) nach (Fox 1982a, 1982b): 1.) The utilization of a non-bottleneck resource is not determined by its own potential (capacity) but by some other constraints in the system; 2.) An hour lost at a bottleneck is an hour lost for the total system; 3.) An hour saved at a non-bottleneck is a mirage.

PPS Engpässe zu identifizieren und geeignet zu berücksichtigen (Lödding 2008, S. 37). Abbildung 2-4 zeigt in Anlehnung an WIENDAHL (Wiendahl 2002, S. 201) und BORNHÄUSER (Bornhäuser 2009, S. 32–33) unterschiedliche auftretende Engpass-situationen.

- Falls das Kapazitätsangebot¹² im Planungszeitraum ständig über dem Kapazitätsbedarf liegt, liegt kein Engpass vor.
- Ein statischer Engpass ist durch eine mittlere Überschreitung des Kapazitätsangebots im gesamten Planungszeitraum gekennzeichnet.
- Ein dynamischer Engpass liegt vor, wenn in mindestens einer Planperiode das zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot überschritten wird, nicht aber in allen.
- Ein ereignisdiskreter Engpass offenbart sich im Vergleich von Bedarf zu Angebot der Kapazität zu mehreren Zeitpunkten.

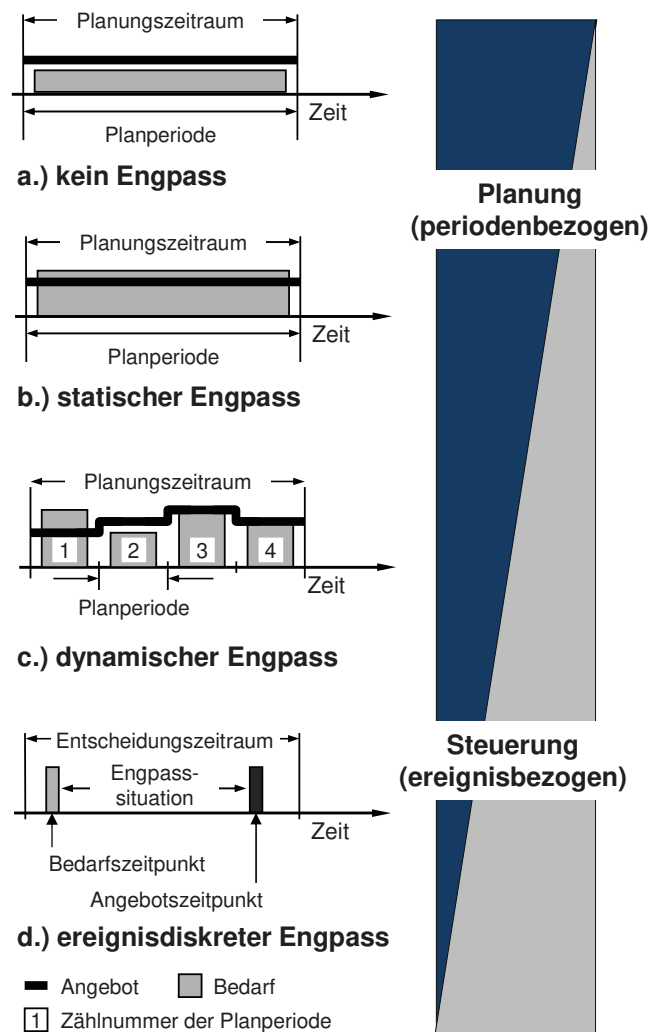


Abbildung 2-4: Auftretende unterschiedliche Engpass-situationen (Bornhäuser 2009, S. 32)

Der Betrachtungsfokus dieser Arbeit liegt aufgrund der durch die kundenspezifischen Endprodukte resultierenden schwankenden Auftragsmengen und dem sich stetig ändernden Auftragsmix (vgl. (Köster 1998, S. 33)) bei dynamischen und ereignisdiskreten Engpässen.

- ↳ Das Gestaltungsmodell ermöglicht eine frühzeitige Identifikation von Engpässen und unterstützt Unternehmen mit hoher Material- und Auftragsflusskomplexität.

¹² Das Kapazitätsangebot beschreibt die Möglichkeit einer Ressource, für einen bestimmten Zeitraum eine bestimmte Leistung anbieten zu können (Wiendahl 1997a, S. 322).

Kapazitätsflexibilität

Für den Begriff der *Kapazitätsflexibilität* existieren in der Literatur zahlreiche Definitionen, für die bspw. SHEWCHUK (Shewchuk 1998, S. 326) und WEMHÖNER (Wemhöner 2005, S. 27ff.) eine Übersicht geben. Die Kapazitätsflexibilität charakterisiert im Rahmen dieser Arbeit die Fähigkeit einer Ressource, das Kapazitätsangebot verändern zu können. Es wird zwischen Flexibilität von Betriebsmitteln und von Personal unterschieden (Lödding 2008, S. 467ff.). Je höher die Kapazitätsflexibilität, desto schneller, stärker und aufwandsärmer kann eine Änderung des Kapazitätsangebots vorgenommen werden (Begemann 2005, S. 34; Rogalski 2011, S. 26). Dabei können wiederum die drei Dimensionen Zeit, Qualität und Quantität differenziert werden, die eng miteinander verknüpft sind (Scharf 1976, S. 109ff; Kersten et al. 2005; Wemhöner 2005, S. 39). Das flexible Potential der Ressource¹³ beschreibt, inwiefern die Ressource für ausschließlich einen Prozess oder für unterschiedliche Prozesse einsetzbar ist (Schönsleben 2011, S. 212). Die quantitative Flexibilität gibt an, in welchem Umfang durch Veränderungen der Produktivität oder der Dauer der Ressourcennutzung eine Kapazitätserhöhung oder -reduktion erfolgen kann (Stützle 1987, S. 15ff; Zäpfel 2000, S. 269; Corsten 2007, S. 16). Zur Visualisierung der Flexibilität der Kapazität bieten sich Kapazitätshüllkurven an. Sie zeigen zum einen die Dauer einer Veränderung des Kapazitätsangebots hin zu einem Zustand erhöhter oder verminderter Kapazität (Reaktionszeit). Zum anderen geben sie die Zeiträume wieder, für die die Kapazitätsveränderungen mindestens aufrechterhalten werden müssen (Mindestinstallationszeiten) (Breithaupt 2001, S. 76).

Eine Bewertung der Flexibilität erfolgt immer im Bezug auf die Anforderungen der Umwelt. Ein System besitzt daher eine ausreichende Flexibilität, wenn die Möglichkeiten zur Anpassung des Kapazitätsangebot den Anforderungen entsprechen (Corsten et al. 2005, S. 110). Dabei ist auch die Position im Auftrags- und Materialfluss zu berücksichtigen: je weiter sich die Ressource am Ende des Auftragsdurchflusses befindet, desto höher sind die Vorausschau und die für die Kapazitätsanpassung zur Verfügung stehende Reaktionszeit (Bornhäuser 2009, S. 88). Es müssen daher im Falle von langen Reaktionszeiten in Kombination mit kurzen Vorlaufzeiten prognosebasiert Kapazitäten disponiert werden (Wiendahl 2002, S. 127).

¹³ Bzgl. dieser Dimension wird auch von *qualitativer Flexibilität* (Gulden 2009, S. 44), *Produkt-/Systemflexibilität* (Löffler 2011, S. 99–101) oder *functional flexibility* (Frieling et al. 2001, S. 75) gesprochen.

Die Möglichkeiten der Anpassungen des Kapazitätsangebots für Personal und Betriebsmittel sind dabei vielfältig, wie Übersichten bei REFA (REFA 1991) und LÖDDING (Lödding 2008, S. 467 ff.) zeigen. Da flexible Ressourcen in der Regel teurer als nicht flexible sind, sind Kostenvorteile nur durch den gezielten Einsatz und die daraus resultierende benötigte verringerte Gesamtkapazität möglich (Wemhöner 2005, S. 55).

WIENDAHL beschreibt mit dem Merkmal *Marktkopplung*, wie die Produktionsleistung mit den Nachfragemengen der Kunden verknüpft wird und unterscheidet die Grundformen atmende Produktion und nivellierende Produktion (Wiendahl 2010, S. 283). Die atmende Produktion koppelt Produktionsleistung und Nachfragemenge sehr eng, indem durch Maßnahmen der Kapazitätsflexibilität auf Schwankungen des Marktes reagiert wird. Dies erfordert ein hohes Maß an Kapazitätsflexibilität sowie eine vorausschauende Engpassidentifikation und -beseitigung (Wiendahl 2010, S. 283). Die nivellierende Produktion verknüpft dagegen Produktionsleistung und Nachfragemenge lose und entkoppelt mit Hilfe von Beständen. Um die Investition in das Umlaufvermögen in Grenzen zu halten, ist eine gute Prognose erforderlich (Wiendahl 2010, S. 283). Verschiedene Zwischenausprägungen dieser Grundformen sind möglich.

- ↳ Das Gestaltungsmodell dient dazu, Schwankungen des Kapazitätsbedarfs durch einen vorausschauenden, gezielten Einsatz von Kapazitätsflexibilität zu beherrschen.

2.3.3.3 Auftrag

Ein Auftrag stellt ein komplexes Geschäftsobjekt dar, das einerseits in einer externen Sicht die Geschäftspartner und die Artikel mit Menge, Termin und Zielort enthält. Andererseits sind die durchzuführenden Prozesse inklusive der jeweiligen Termine und Mengen, benötigten Kompetenzen und Artikel sowie die für Prozesse verantwortlichen Ressourcen in einer internen Sicht beinhaltet (Wiendahl 2010, S. 84; Schönsleben 2011, S. 17–18). Im Rahmen der PPS stellt die Betrachtung der Auftragsabwicklung aus der Sicht der Aufträge die Auftragssicht dar (Wiendahl 2002, S. 119).

Bevorratungsstrategie

Die Bevorratungsstrategie beschreibt die Erzeugung der aus den Marktbedarfen resultierenden Aufträge und definiert die Grenze zwischen auftragsbezogener und auftragsneutraler Produktion (Kundenentkopplungsebene, vgl. Abbildung 2-5) (Wiendahl 1997a, S. 143; Wiendahl 2010, S. 193):

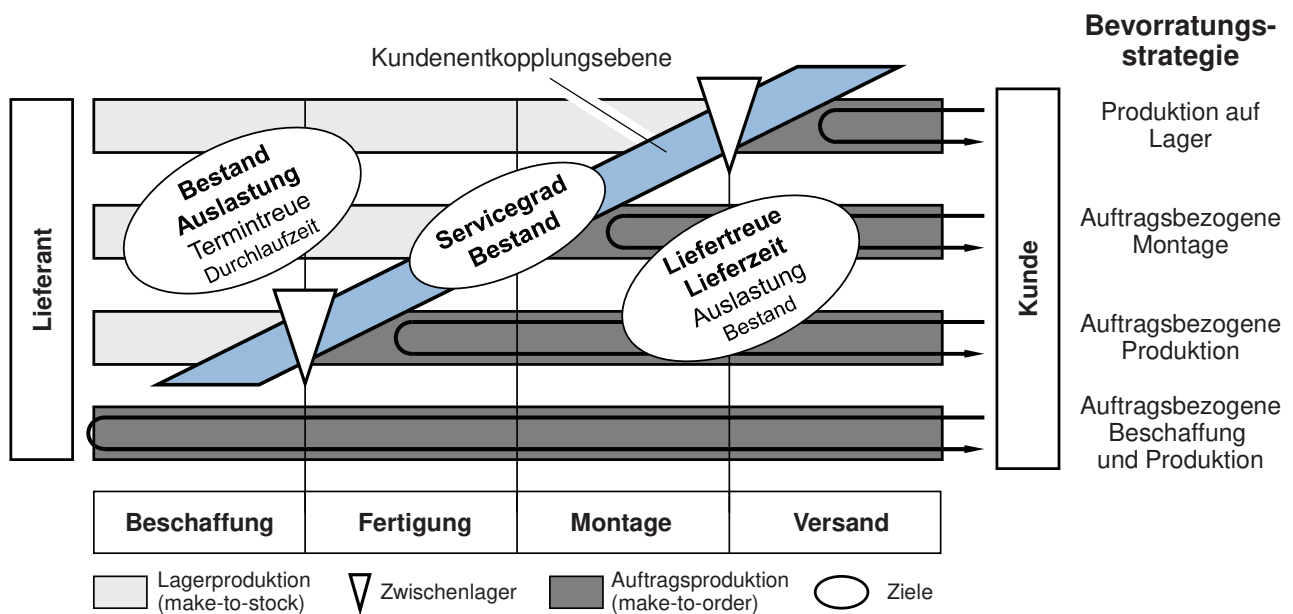


Abbildung 2-5: Bevorratungsstrategien (i. A. an Wiendahl 1997a, S. 143, nach Siemens AG, Eidenmüller)

Die Wahl des Kundenentkopplungspunktes hängt dabei von markt-, artikel- und prozessbezogenen Faktoren ab (Kirchner 2004, S. 31ff.) und stellt ein strategisches Gestaltungsmerkmal dar (Wiendahl 2010, S. 193).

Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sind Unternehmen mit den Bevorratungsstrategien *engineer-to-order* (auftragsbezogene Entwicklung, Konstruktion, Fertigung und Montage) und *make-to-order* (auftragsbezogene Produktion). Im Kontext des hohen Maßes an Kundenbezug, der in der Regel langen Durchlaufzeiten und einer nicht vorhandenen Bevorratung für viele Materialien besitzt die PPS die Aufgabe, trotz dieser Rahmenbedingungen eine termingerechte Lieferung der Aufträge zu garantieren (Bornhäuser 2009, S. 33). Neben der Kapazitätsflexibilität bestehen im Rahmen der Bedarfsglättung ggf. die Möglichkeiten, Aufträge abzulehnen, Tätigkeiten fremdzuvergeben oder die Start- und Endtermine eines Auftrags zu verschieben (*Belastungsflexibilität*, vgl. Lödging 2008, S. 106).

Auftragsauslösungsart

In Erweiterung des Merkmals *Bevorratungsstrategie* ist die Auftragsauslösungsart zu definieren. Diese zeigt die Ursache von auftretenden Bedarfen auf der Endprodukt- und Materialebene und kann die Ausprägungen *kunden-, prognose- und verbrauchsgesteuert* besitzen (Wiendahl 2010, S. 193). Während bei kundengesteuerter Auslösung ein Bedarf erst bei Vorliegen eines (Kunden-)Auftrags angelegt wird, geschieht dies in den anderen Fällen basierend auf einer Prognose bzw. eines Verbrauchs. Fokus dieser Arbeit sind kundengesteuerte Auftragsabwicklungen, wobei bestimmte Materialien aufgrund der gegenüber den Kundenlieferzeiten längeren Durchlauf- bzw. Wiederbeschaffungszeiten prognosegesteuert ausgelöst werden müssen.

Auftragstyp

Der Auftragstyp bildet die Wiederholfrequenz der Aufträge in der Auftragsabwicklung ab und beschreibt, in welcher Form die Frequenz der Kundennachfrage in die Frequenz der Produktionsaufträge umgesetzt wird (Wiendahl 2010, S. 194). Kriterien für die Bewertung der Auftragstypen stellen die produzierten Stückzahlen pro Periode (Hirsch 1992, S. 4), der Neuigkeitsgrad (Ehrlenspiel 2009, S. 259ff.), die Wiederholhäufigkeit gleicher oder ähnlicher Endprodukte und die durchschnittliche Auflagenhöhe der Endprodukte (Schuh et al. 2012, S. 130) dar¹⁴. Diese Arbeit konzentriert sich im Schwerpunkt auf Einzelaufträge (geringe Auflagenhöhe und keine Wiederholung) und Kleinserien (Auflagenhöhe < 50 Stück und Wiederholhäufigkeit < 12 Mal pro Jahr), wobei auch Aufträge mit Seriencharakter, die Ressourcen benötigen, ebenso in der PPS zu berücksichtigen sind. Innerhalb der Gruppe der Einzelaufträge ist zudem zwischen Kundenunikaten, internen Unikaten und Betriebsmittel-Unikaten zu unterscheiden (Hirsch 1992, S. 20).

- ↳ Das Gestaltungsmodell ist in der Lage, alle kapazitätsrelevanten Bedarfe angemessen zu berücksichtigen.

¹⁴ Als weitere gängige Typisierung verwenden NIPPA und REICHWALD die Unterscheidungskriterien Komplexitätsgrad, Neuigkeitsgrad, Variabilitätsgrad und Strukturiertheitsgrad (Nippa & Reichwald 1990, S. 65–114).

Im Rahmen der Bildung prozessorientierter Ablaufstrukturen werden Artikel bzw. Aufträge hauptsächlich anhand der Material- und Auftragsflüsse zu Produktfamilien bzw. Auftrags-typen zusammengefasst. Die Aufstellung aller Artikel und deren benötigte Prozessschritte in einer Produkt-Prozess-Matrix zeigt auf, welche Artikel einen ähnlichen Prozessfluss besitzen und daher gruppiert werden können (Erlach 2010, S. 39ff.).

Bei allen betrachteten Auftrags-typen entsteht in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter oftmals die Herausforderung, dass die notwendigen Kundenanforderungen und Produktspezifikationen noch nicht klar oder vollständig sind (Gulden 2009, S. 61). Es steht somit häufig zu Beginn der Tätigkeiten ein nur begrenztes Spektrum an Informationen zur Verfügung,

- das kontinuierlich konkretisiert und verändert wird (Tu 1997, S. 701ff.) und
- auf dessen Grundlage Planungs- und Steuerungsentscheidungen mit einem gewissen Maß an Unsicherheit getroffen werden müssen (Gansauge et al. 2007, S. 279; Gulden 2009, S. 61).

Entscheidend bei der Planung und Steuerung von Einzelaufträgen und Kleinserien ist daher ein geeigneter Umgang mit Unsicherheitsfaktoren wie Ungenauigkeiten in den Planungsinformationen und mit auftretenden Änderungen (Stuffer 1993, S. 9; Murr 1999, S. 17; Grunwald 2002, S. 14).

- ↳ Das Gestaltungsmodell berücksichtigt unterschiedliche Auftrags-typen und damit verbundene Unsicherheitsfaktoren in geeigneter Art und Weise.

Kundenänderungseinfluss nach Fertigungsstart

Dieses Merkmal beschreibt Störeinflüsse, die aus Veränderungen von Kundenwünschen resultieren und auf die Auftragsabwicklung wirken (Wiendahl 2006b, S. 186; Schuh et al. 2012, S. 135). Hieraus resultieren ggf. umfangreiche Umplanungen, die sowohl den geänderten Auftrag als auch durch konkurrierende Ressourcensituationen andere Aufträge betreffen können (Wiendahl 2006b, S. 185). Der Fokus dieser Arbeit auf kundenspezifische Investitionsgüter schränkt den Betrachtungsbereich auf Unternehmen ein, die Änderungseinflüssen in größerem Umfang unterworfen sind. Wichtig für die PPS ist, auf Basis einer hohen Transparenz über Auftragsfortschritt und Ressourcenstatus geeignete Maßnahmen

zur Bewältigung der vom Kunden verursachten Änderungen zu ergreifen (Murr 1999, S. 52). Nur auf diese Weise können unvermeidliche Abweichungen rechtzeitig erkannt und in der Planung berücksichtigt werden (Jakoby 2010, S. 203).

- ↪ Das Gestaltungsmodell stellt ein hohes Maß an Transparenz über Auftragsfortschritt und Ressourcenstatus sicher, um bei auftretenden Kundenänderungen geeignet reagieren zu können.

2.3.4 Gestaltungsaspekte der PPS

WIENDAHL definiert die in Abbildung 2-6a dargestellten sechs Gestaltungsaspekte, um mit diesen verschiedenen Sichten eine ganzheitliche Betrachtung auf die PPS zu ermöglichen (Wiendahl et al. 2005; Wiendahl 2008; Wiendahl 2010, S. 68).

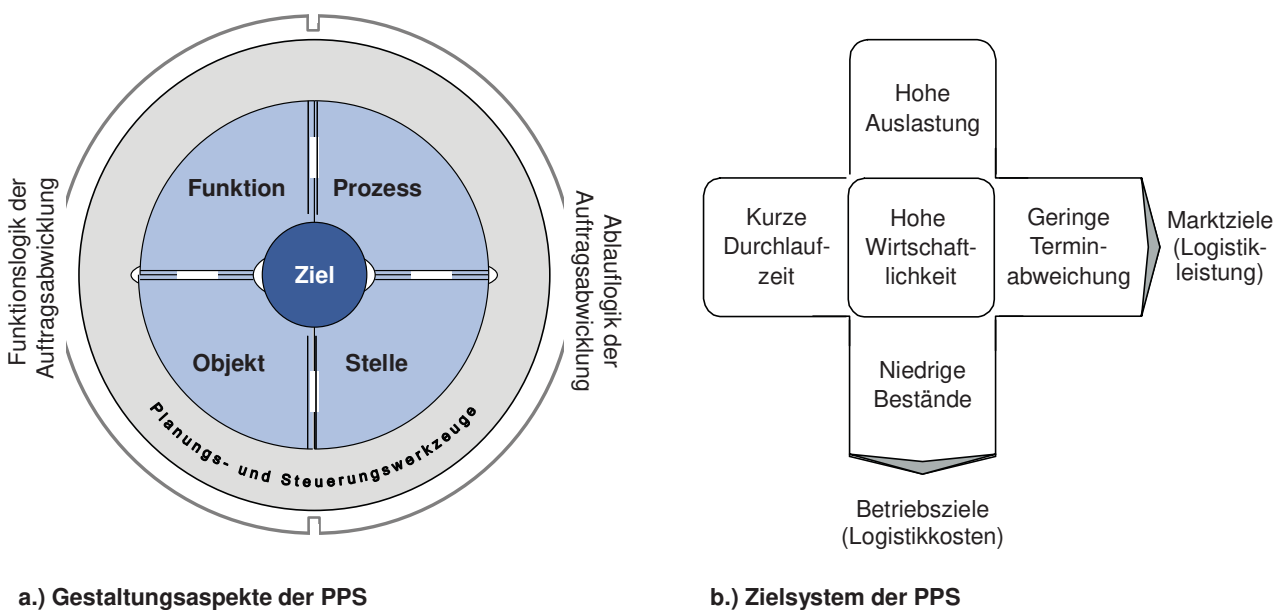


Abbildung 2-6: Gestaltungsaspekte und Zielsystem der PPS

(Wiendahl 2010, S. 68, Wiendahl 1997a, S. 252)

Die *Ziele* beinhalten die Ausgestaltung des Zielsystems und die Positionierung des Unternehmens darin. Unter *Funktionen* ist die Auswahl geeigneter Planungs- und Steuerungsverfahren und deren Parametrierung zu verstehen, während *Objekte* die Betrachtungsgegenstände der PPS wie Artikel, Ressourcen und Aufträge fokussieren. *Prozesse* ordnen die

Entscheidungs- und Ausführungsaktivitäten unter sachlogischer und zeitlicher Abfolge und beschreiben Informationsflüsse. Welche Organisationseinheit die Aktivität im Rahmen der Organisation verantwortet und welche Anforderungen hinsichtlich Kompetenzen und Qualifikation bestehen, wird durch den Gestaltungsaspekt *Stelle* abgedeckt. Übergreifend unterstützen *Werkzeuge* wie Planungs- und Steuerungssoftware, die erforderlichen Aktivitäten durch Standardisierung und (Teil-)Automatisierung auszuführen (Wiendahl et al. 2005, S. 636–637; Wiendahl 2010, S. 68–69; Wochinger et al. 2010, S. 222).

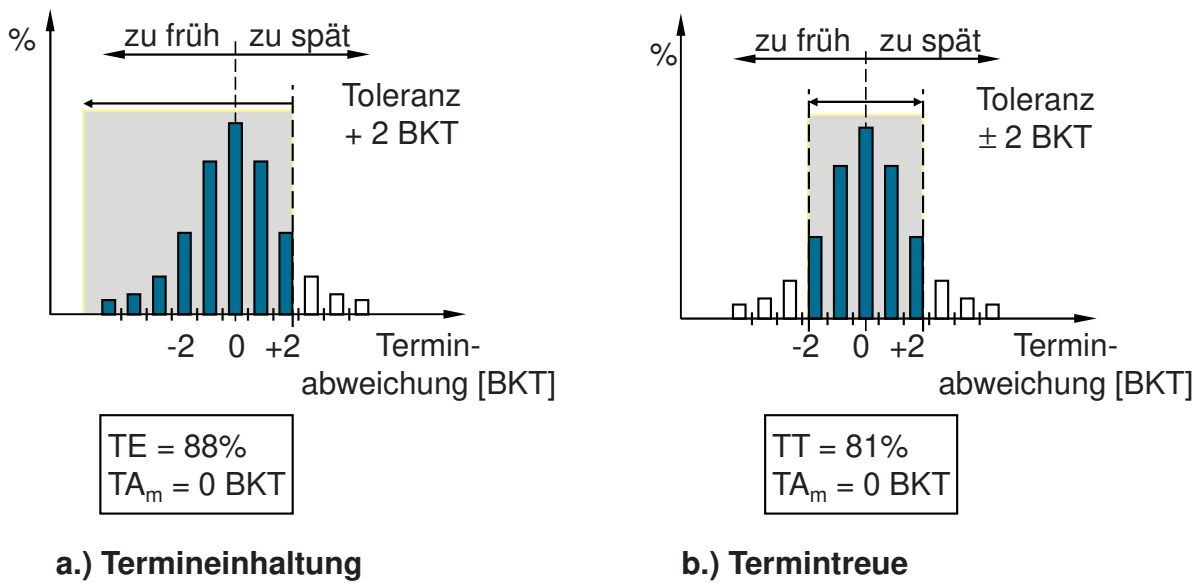
2.3.4.1 Ziele

Zentrales Ziel aus Kundensicht ist eine hohe Logistikleistung in Form von kurzen Durchlaufzeiten sowie einer pünktlichen Lieferung der Aufträge. Demgegenüber sollten die im Unternehmen zur Verfügung stehenden Kapazitäten gleichmäßig und hoch ausgelastet sein. Um die Kosten möglichst gering zu halten, ist ein möglichst geringes Bestandsniveau erforderlich (vgl. Abbildung 2-6b) (Wiendahl 1997a, S. 251ff; Erlach 2010, S. 17–29). Dieses Dilemma der Ablaufplanung (Gutenberg 1951, S. 259) erfordert eine übergreifende Festlegung der Zielprioritäten im Unternehmen (Wiendahl 2008, S. 290). Als Zielgrößen der PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter sind niedrige Bestände, eine hohe Auslastung, eine hohe Termintreue und kurze Durchlaufzeiten festzuhalten.

Termintreue

LÖDDING definiert die logistischen Größen *Terminabweichung*, *Termineinhaltung* und *Termintreue* (Lödding 2008, S. 24–25). Die Terminabweichung stellt dabei die Differenz zwischen einem tatsächlichen und einem geplanten Termin dar. Die Terminabweichung kann für den tatsächlichen Liefertermin, den Soll-, Plan- und Wunschliefertermin von internen und externen Kunden berechnet werden¹⁵ (Lödding 2008, S. 24–25). Wie Abbildung 2-7 aufzeigt, lässt sich die Termineinhaltung als relative Häufigkeit der zu früh oder rechtzeitig gelieferten Aufträge eines Zeitraums definieren. Die Termintreue stellt den prozentualen Anteil der Aufträge dar, die innerhalb einer definierten Termintoleranz geliefert wurden.

¹⁵ Der Begriff Liefertermin meint den tatsächlichen Liefertermin; der Soll-Liefertermin beschreibt den gegenüber dem Kunden bestätigten Liefertermin; der Plan-Liefertermin ist der durch die PPS festgelegte Termin; der Wunschliefertermin ist der vom Kunden ursprünglich gewünschte Liefertermin (Lödding 2008, S. 24).



TE: Termineinhaltung TA_m: mittlere Terminabweichung TT: Termintreue BKT: Betriebskalendertag

Abbildung 2-7: Definition Termineinhaltung und Termintreue

(i. A. Lödding 2008, S. 25 und Yu 2001, S. 13ff.)

Durchlaufzeit

Die Gesamtdurchlaufzeit eines Auftrags ist definiert als die Zeitspanne zwischen Bedarfsbestätigung und Bedarfserfüllung (Westkämper 2006, S. 71ff.). Der Zeitraum zwischen Start eines Auftrags bis zu seiner Fertigstellung wird als Auftragsdurchlaufzeit definiert (Nyhuis et al. 2012, S. 21). Analoge Überlegungen lassen sich ebenso auf der Ebene des Prozesses bzw. Arbeitsgangs anstellen, wie Abbildung 2-8 auf Grundlage eines aus Bearbeitungs-, Fertigungs- und Montageauftrags bestehenden Auftrags zeigt.

Wichtig für die PPS als Zielvorgabe und Verbesserungsgröße ist das Verhältnis zwischen der Durchführungszeit und Durchlaufzeit, das auch als Flussgrad bezeichnet wird (Wiendahl 2010, S. 125; Nyhuis et al. 2012, S. 23).

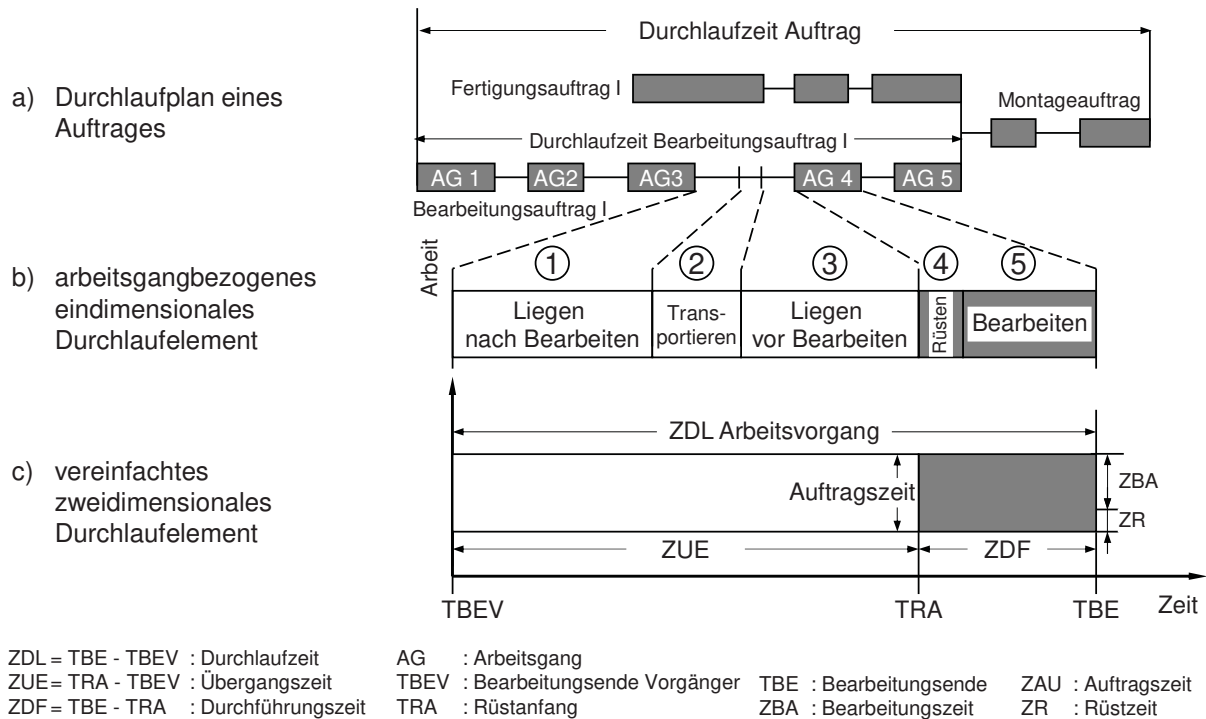


Abbildung 2-8: Durchlaufzeitenanteile von Aufträgen

(i. A. an Nyhuis et al. 2012, S. 21 und Nyhuis et al. 2012, S. 29)

Bestand

Bestände sind grundsätzlich in Lager- und Produktionsbestände zu unterscheiden (Lödding 2008, S. 32; Wiendahl 2010, S. 117). Der Lagerbestand ist der „körperliche Bestand, der sich in einem speziellen, als Lager deklarierten Bereich befindet“ (Westkämper et al. 2011, S. 96), kann auf Rohmaterial, Halbfabrikate und Fertigwaren bezogen sein und wird in Mengeneinheiten gemessen oder finanziell bewertet (Lödding 2008, S. 32). Nach WIENDAHL und NYHUIS bestimmt sich der Bestand in der Produktion durch die sich dort befindlichen Aufträge und wird in Vorgabestunden oder in Anzahl an Aufträgen gemessen (Nyhuis et al. 2012, S. 27–28). Aufgrund der Fokussierung auf die PPS und der Möglichkeit, diese Überlegungen auch auf Nichtproduktionsbereiche anzuwenden, wird im Folgenden diesem Verständnis gefolgt.

Bestände ermöglichen eine reibungslose Produktion, konstante Auslastungen von Ressourcen und eine wirtschaftliche Produktion durch die Überbrückung von Störungen. Sie verdecken allerdings auch störanfällige Prozesse und Probleme wie mangelnde Flexibilität, unzuverlässige Lieferanten und schlechte Termintreue (Wiendahl 1997a, S. 254). Nach dem

Gesetz von Little besteht bei einem sich im Gleichgewicht befindlichen Arbeitssystem ein direkter Zusammenhang zwischen dem Umlaufbestand¹⁶ - die freigegebenen, aber noch nicht fertiggestellten Aufträge - und der Durchlaufzeit in diesem System (Nyhuis et al. 2012, S. 32–36). Hohe Umlaufbestände verursachen lange mittlere Durchlaufzeiten mit großen Durchlaufzeitstreuungen, was eine Erhöhung des Planungs- und Steuerungsaufwandes nach sich zieht (Wiendahl 2002, S. 105).

Auslastung

Das Verhältnis zwischen tatsächlich erbrachter (mittlerer) Leistung und maximal möglicher Leistung einer Ressource in einer Periode wird als Auslastung bezeichnet (Wiendahl 2010, S. 143; Nyhuis et al. 2012, S. 27). Die maximal mögliche Leistung wird durch den restriktiven Faktor (Personal oder Betriebsmittel) sowie auftretende Störungen bestimmt (Wiendahl 2010, S. 143).

Oftmals wird eine hohe Auslastung als hochrangiges Ziel in der Auftragsabwicklung angesehen, um die Refinanzierung getätigter Investitionen schnell zu sichern (Wiendahl 2010, S. 144). Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels wie bspw. die Bearbeitung von großen Losen zur Optimierung von Rüstzeiten wirken sich negativ auf die anderen logistischen Zielgrößen aus (Wiendahl 1997a, S. 251ff.). LÖDDING zeigt auf, dass nach einer Investition die Kosten festgelegt sind und diese im Rahmen der operativen PPS folglich nicht als entscheidungsrelevantes Kriterien berücksichtigt werden dürfen. Richtigerweise sollte es so sein, dass die Kapazitäten in langfristiger Perspektive nicht zu großzügig ausgelegt werden (Lödding 2008, S. 36). Nach GOLDRATT (Goldratt 1981) ist die Aufgabe der PPS daher, das Engpassprinzip streng zu befolgen und die Engpässe der Produktion nur so auszulasten, dass die Nachfrage befriedigt wird (Wiendahl 2010, S. 144).

- ↳ Das Gestaltungsmodell unterstützt die Positionierung und Einhaltung der logistischen Zielgrößen, so dass trotz schwankenden Bedarfen und dynamischen Engpässen in jedem Bereich eine hohe Termintreue bei angemessenem Flussgrad, Bestandsniveau und Auslastung erzielt wird.

¹⁶ Oftmals wird anstatt dem Begriff Umlaufbestand auch Werkstattbestand, Fertigungsbestand, Arbeitsbestand oder *Work in progress* verwendet.

2.3.4.2 Funktionen

Funktionen stellen die Planungs- und Steuerungsaktivitäten mit den dafür eingesetzten Methoden dar (Wiendahl 2008, S. 286). Sie entsprechen damit einer Teilmenge der von PORTER genannten Wertaktivitäten, die sich - eingebettet in ein Wertsystem - zu Wertketten zusammenführen lassen. Dabei sind *primäre Wertaktivitäten* (orientieren sich am physischen Durchlauf des Produktes) und *unterstützende Wertaktivitäten* (stellen zentrale Ressourcen zur Unterstützung der primären Wertaktivitäten) zu differenzieren (Porter 1999, S. 61ff.).

Abbildung 2-9 zeigt die Funktionen der PPS nach Hackstein, die nach Zeithorizonten strukturiert sind:

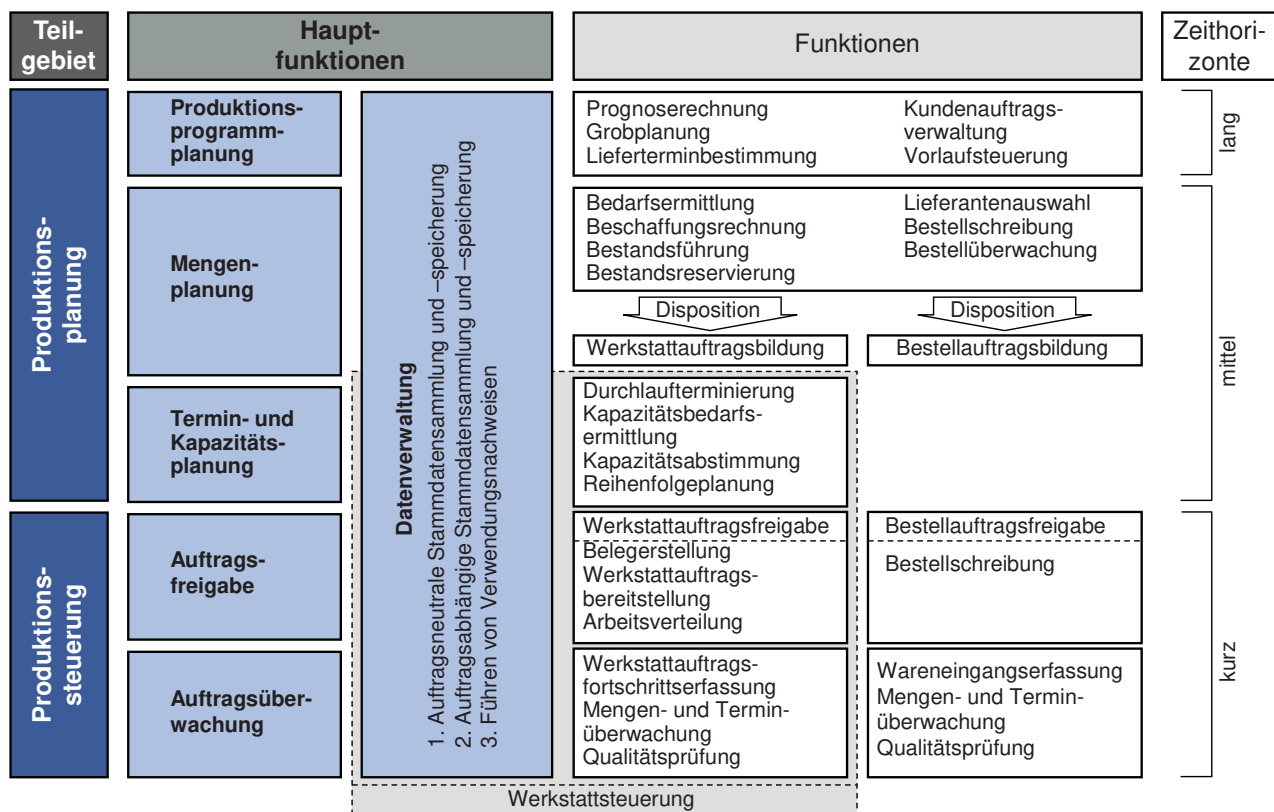


Abbildung 2-9: Funktionen der PPS nach Hackstein (i. A. an Hackstein 1989, S. 161)

Für eine ausführliche Erläuterung sei auf die detaillierten Beschreibungen des Aachener PPS-Modells (Schuh et al. 2012, S. 38–81), LÖDDING (Lödding 2008, S. 81) und SCHÖNSLEBEN (Schönsleben 2011, S. 241–309) verwiesen. Im Zuge dieser Arbeit sollen

für die PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter die folgenden fünf Aspekte betont werden:

1. Im Rahmen der Prognoserechnung und Grobplanung ist mit Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Kundenauftrags zu rechnen sowie die Spezifikation und Realisierbarkeit mit dem Kunden zu klären (Schuh et al. 2012, S. 140). Das Maß an Unsicherheit ist für die Planung daher hoch.
2. Die Angebotsbearbeitung hat mit der Anfragebewertung, Lieferterminermittlung, Preisermittlung und Angebotserstellung eine besondere Bedeutung und erfordert umfangreiche Abstimmungen mit dem Kunden. Im Falle eines Auftrags werden diese im Rahmen projektbegleitender Koordinationsmaßnahmen (Projektmanagement) fortgeführt (Schuh et al. 2012, S. 140).
3. Im Zuge der Bedarfsermittlung erfolgt die Ermittlung der aus dem Kundenbedarf resultierenden Sekundärbedarfe zwar bedarfsorientiert durch eine Stücklistenauflösung, viele der Baugruppen sind allerdings noch nicht konstruktiv bestimmt. Daher sind in einem frühen Stadium der Auftragsabwicklung zahlreiche Stücklisten nicht vorhanden (Wiendahl 2010, S. 277–278). Erschwerend kommt hinzu, dass Teile und Materialien mit einer langen Wiederbeschaffungszeit beschafft werden müssen (Schuh et al. 2012, S. 139). Daher kommen auch prognosebasierte Verfahren zum Einsatz.
4. Die für die Erfüllung eines Kundenauftrags notwendigen entwickelnden, konstruktiven und arbeitsplanenden Tätigkeiten¹⁷ bestehen aus Konzeption, Entwurf und Ausarbeitung (VDI 2221; Ehrlenspiel 2003, S. 146). Auch bei diesen Funktionen muss mit unvollständigen Informationen und Unsicherheiten bei der Durchführung umgegangen werden (Ehrlenspiel 2009, S. 241ff.).
5. Im Rahmen der Termin- und Kapazitätsplanung erfolgt oftmals keine zentrale kapazitätsgeprüfte Planung in den Bereichen der Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung (Ehrlenspiel 2009, S. 307; Jakoby 2010, S. 176). Die kapazitätsgeprüfte Planung und Steuerung begrenzt sich meistens auf die Produktionsbereiche, obwohl die produktionsvorgelagerten Bereiche 40-70% der

¹⁷ Entwicklung und Konstruktion sind dabei produktdefinierende Aktivitäten wie Anforderungsfestlegung, Funktionsfindung, Prinziparbeit, Gestaltung und Detaillierung; die Arbeitsplanung stellt eine prozessdefinierende Tätigkeit dar, die die Prozessplanung (bspw. Festlegung der Arbeitsgänge, Zeiten und notwendigen Betriebsmittel) und die Operationsplanung (bspw. NC-Programmierung) umfasst (Bochtler 1996, S. 105).

Gesamtauftragsdurchlaufzeit ausmachen (Lassen et al. 2005; Wiendahl et al. 2006, S. 31; Schuh et al. 2012, S. 142). Eine durchgängig kapazitätsgeprüfte Planung und Steuerung findet nicht oder nur mit Hilfe einer Kombination aus Projektmanagement und PPS für die produzierenden Bereiche statt. Dabei werden Prioritäten, die in den Wertaktivitäten teilweise nicht synchronisiert sind, eingesetzt, um eine geeignete Auftragsreihenfolge zu bestimmen. Das Zusammenspiel der Faktoren führt dazu, dass die Kapazitäten, Verfügbarkeiten und Termine sowohl innerhalb der einzelnen Bereiche als auch bereichübergreifend nur mangelhaft aufeinander abgestimmt sind (Eversheim 1996a, S. 236; Langer 2000, S. 24; Schuh et al. 2012, S. 142–143). Die Erfüllung der logistischen Ziele macht allerdings eine Synchronisation der Planungen zwischen vorgelagerten Bereichen und der Produktion notwendig (Stuffer 1993, S. 23; Franken 1998, S. 18).

↳ Das Gestaltungsmodell stellt eine über alle Wertaktivitäten konsistente Terminsicht mit Hilfe einer integrierten Planung und Steuerung her.

2.3.4.3 Prozesse

Ein Prozess zielt darauf ab, unter Einsatz von Ressourcen immateriellen und/oder materiellen Input in einen prozessspezifischen Output zu verwandeln (Rüegg-Stürm 2003, S. 64ff; Schuh et al. 2011b, S. 363). Ein Prozess ist einer Ressource bzw. einem Bereich zugeordnet, in dem er ausgeführt wird und unterteilt sich in Prozessschritte. Prozessinterdependenzen treten auf, wenn der Output einer Ressource zu einem Input einer anderen Ressource wird (Schulte-Zurhausen 2005, S. 225ff.). Planungsrelevante Attribute eines Prozesses stellen Menge, Zeitpunkt und Zeitdauer dar. Die Zeitdauer kann dabei entweder als Zeitdauer für den Prozess angegeben werden oder über eine Zuordnung von Rüst- und Bearbeitungszeiten mit Hilfe der Menge errechnet werden (Wiendahl 2010, S. 78).

An der Schnittstelle zwischen bereichsübergreifenden Prozessen können die Aufträge nach dem Bring-Prinzip (Push-Prinzip) oder dem Hol-Prinzip (Pull-Prinzip) an den Nachfolger weitergegeben werden. Während beim Bring-Prinzip die Aufgaben nach ihrer Fertigstellung automatisch weitergereicht werden, bleibt beim Hol-Prinzip der Arbeitsbestand so lange an

der Ressource, bis der Nachfolger einen tatsächlichen Bedarf anmeldet (Morgan et al. 2006, S. 95ff; Lödding 2008, S. 194).

Liege- und Wartezeiten zwischen den Prozessschritten verursachen den größten Anteil an der Durchlaufzeit (vgl. z. B. Davis 1982, S. 56; Stalk et al. 1992, S. 66ff.). Diese Unterbrechungen machen eine Koordination der Prozessschritte notwendig. Der daraus resultierende Koordinationsaufwand wächst stark mit der Anzahl der Prozessschritte und Schnittstellen und führt zu einer Erhöhung der Gemeinkosten (Schmelzer et al. 2008, S. 4ff.). Eine Verkürzung der Liege- und Wartezeiten kann durch eine Integration der Prozessschritte, eine anforderungsgerechte Datenbereitstellung und eine verbesserte Planung und Steuerung erreicht werden (Eversheim 1996b, S. 30–31).

Dabei ist in der PPS zwischen der Ausführungsebene (primäre Wertaktivitäten), der Lenkungsebene (laufende Entscheidungstätigkeiten) und der Reflexionsebene (hinterfragt und gestaltet das Zusammenspiel von Ausführung und Lenkung) zu unterscheiden (Wiendahl 2010, S. 87). WIENDAHL führt diese Ebenen zusammen und definiert in Anlehnung an den Deming-Zyklus den Auftragsmanagementzyklus mit den Phasen Zielsetzung, Prognostizieren, Belegen, Entscheiden, Ausführen, Erfassen, Bewerten und Lernen (Wiendahl 2002, S. 84ff; Wiendahl 2010, S. 87).

Die in Abbildung 2-9 dargestellten Funktionen werden auf der Ausführungsebene in der Regel nicht streng sequentiell durchlaufen. Zum einen erfordern die mehrteiligen Erzeugnisse mit unterschiedlichsten Eigenfertigungs- und Wiederbeschaffungszeiten innerhalb eines Kundenauftrags unterschiedliche Bearbeitungsreihenfolgen in den Bereichen, zum anderen verursachen auftretende Störungen und Kundeneinflüsse Rücksprünge (Schuh et al. 2012, S. 145). Dies erfordert auf der Lenkungsebene eine regelkreisbasierte, rollierende PPS gemäß des Auftragsmanagementzyklus.

- ↳ Das Gestaltungsmodell gewährleistet über geschlossene Regelkreise eine enge Kopplung zwischen Lenkungs- und Ausführungsebene.

Die Zusammenfassung von Planungs- und Steuerungsentscheidungen auf logische Ebenen und die Festlegung des angemessenen Detaillierungsgrads definieren die Entscheidungs- bzw. Planungsebenen im Auftragsmanagement (Wiendahl 2010, S. 294ff.). Die Ebenen weisen jeweils folgende Kriterien auf (Wiendahl 2010, S. 295):

- Systemgrenze (Betrachtungsgegenstand) und auf der Ebene zu treffende Entscheidungen (Entscheidungsgegenstand),
- Ziele der Planung und der Entscheidungen sowie der Detaillierungsgrad der Grundobjekte des Auftragsmanagements,
- Planungszeitraum (Planungshorizont) und Häufigkeit der Planaktualisierung (Planungsfrequenz).

Im Rahmen der Termin- und Kapazitätsplanung sind mit der Vorwärts- und Rückwärtsterminierung verschiedene Terminierungsarten zu unterscheiden (Fiedler 2010, S. 109; Schönsleben 2011, S. 639). Durch die Berechnungen ergeben sich resultierende Puffer und der kritische Pfad eines Auftrags. Der Puffer stellt dabei bei einem Prozess innerhalb eines Auftrags den zeitlichen Spielraum (Differenz zwischen dem frühest- und spätestmöglichen Zeitpunkt ohne Änderung des Endtermins) dar (DIN 69900, S. 6). Der kritische Pfad ist dabei der geschlossene Weg von Prozessen, bei denen der Zeitpuffer gleich Null ist. Daher bestimmt der kritische Pfad die Durchlaufzeit des Auftrags (Schönsleben 2011, S. 642). Dort auftretende Verspätungen haben unmittelbare Auswirkungen auf dessen Endtermin.

- ↳ Mit Hilfe des Gestaltungsmodells ist eine Ermittlung und kontinuierliche Überwachung des sich aus der Planung und Steuerung ergebenden kritischen Pfads möglich.

2.3.4.4 Objekte

Objekte stellen „den Betrachtungsgegenstand oder das Bearbeitungselement der Planung und Steuerung dar“ (Wiendahl 2010, S. 77). Es sind die Grundobjekte Artikel, Ressource, Auftrag (vgl. Abschnitt 2.3.3.3) und Prozess (vgl. Abschnitt 2.3.4.3) zu unterscheiden.

Mengen und Zeitpunkte (Bedarfs- und Verfügbarkeitstermin) sind für die PPS zentrale Merkmale eines Artikels (Wiendahl 2010, S. 77). Ausprägungen von Artikeln sind Endprodukte und die als Komponenten bezeichneten Baugruppen, Kaufteile und Rohmaterialien (Schönsleben 2011, S. 22). Eine Stückliste beschreibt die Produktstruktur, d. h. die strukturierte Zusammensetzung eines Produktes aus seinen Komponenten (Wiendahl 1997a, S. 155ff; Schönsleben 2011, S. 22).

Das Leistungsvermögen (Kapazität) und das geleistete Arbeitsergebnis (Leistung) sind wichtige Kenngrößen einer Ressource in der PPS (Wiendahl 2010, S. 82). In dem Durchlauf- oder Prozessplan eines Produkts ist die gesamte Produktionsstruktur in der Zeitachse mit seinen Dauern und Terminen abgebildet (Schönsleben 2011, S. 27). In der Auftragsabwicklung kundenindividueller Investitionsgüter ist allerdings zwischen Arbeitsplänen, die in der Produktion eingesetzt werden (Wiendahl 1997a, S. 195ff.), und Projektplänen, die den Ablauf des Kundenauftrags als Projekt planen und steuern (Bea et al. 2008, S. 138; Bea et al. 2008, S. 121), zu unterscheiden. Die für einen geplanten Arbeitsablauf verwendete Zeit wird nach REFA als Sollzeit bezeichnet (REFA 1997, S. 62). Dabei werden bei der Ermittlung zeitbeeinflussende Größen nicht explizit herangezogen (Olbrich 1993, S. 20). Im Gegensatz hierzu sind Planzeiten explizit in Abhängigkeit von zeitrelevanten Einflussfaktoren beschrieben. Wenn die Einflussfaktoren bekannt sind, kann die Planzeit errechnet werden (REFA 1997, S. 348). Im Rahmen dieser Arbeit wird der für einen Prozess anfallende Aufwand mit dem Begriff der Auftragszeit (siehe Abschnitt 2.3.4.1) bezeichnet.

Die für die Planung und Steuerung relevanten Objekte und deren Abbildung in informationstechnische Daten unterliegen in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter der Problematik, dass diese zu Beginn einer Anfrage gar nicht oder nur in begrenztem Umfang vorliegen und im Zeitverlauf erst erarbeitet und ergänzt werden (Wiendahl 2010, S. 277–278; Schuh et al. 2012, S. 139ff.). In der Literatur wird hierfür der Begriff der Unschärfe verwendet (vgl. bspw. Rommelfanger 1988, S. 5ff., Zimmermann et al. 1993, S. 3ff; Lunze 1995, S. 27ff.). SACKERMANN unterteilt den Begriff der Unschärfe in inhärente Unschärfe und näherungsweise Informationsbeschreibung, wie Abbildung 2-10 aufzeigt (Sackermann 2009, S. 27).

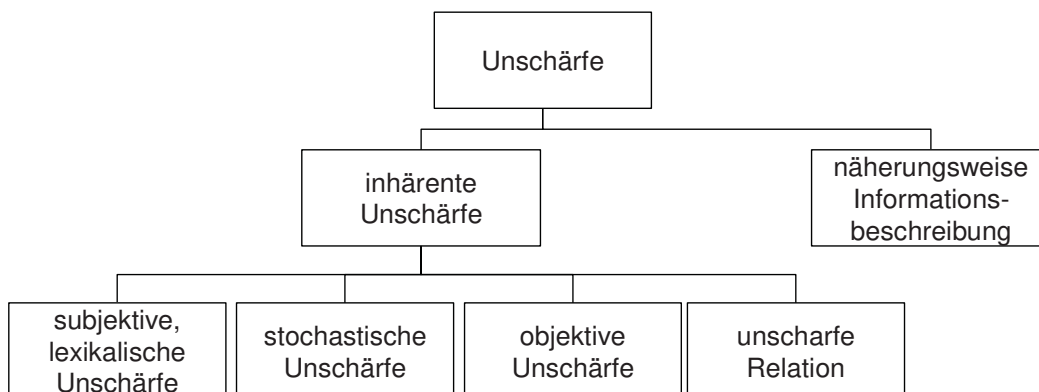


Abbildung 2-10: Arten von Unschärfe (i. A. an Sackermann 2009, S. 27)

Näherungsweise Informationsbeschreibung beschreibt Informationen und Aussagen, bei denen eine Reduktion an Informationen vorgenommen worden ist, um die Komplexität zu verringern. *Inhärente Unschärfe* bezieht sich auf Informationen, bei denen nicht eindeutig festgestellt werden kann, ob eine Aussage wahr oder falsch ist (Lunze 1995, S. 27ff.). Darunter fallen Unsicherheiten aufgrund sprachlicher Beschreibungen (subjektive, lexikalische Unschärfe), Angaben von Wahrscheinlichkeiten zu zukünftigen Eigenschaften oder Zuständen (stochastische Unschärfe), Informationsüberfluss und fehlende Informationen (objektive Unschärfe) sowie Aussagen, deren Beziehung nicht dichotom sind (unscharfe Relation) (Sackermann 2009, S. 23–27).

Der Begriff der Unschärfe kann damit als weitere Konkretisierung des Begriffs Unsicherheit verstanden werden. Im Folgenden werden die disjunkten Begriffe Turbulenz und Unschärfe zur Konkretisierung des Begriffs Unsicherheit als Begriffsverständnis verwendet. Als Anforderung resultiert daraus:

- ↳ Das Gestaltungsmodell zieht die auftretende Unschärfe in die Betrachtung mit ein und ermöglicht auch bei unscharfen Objekten eine aufwandsarme PPS.

Für die PPS und letztendlich auch das Unternehmensergebnis besitzt eine angemessene Informations- und Datenqualität eine hohe Relevanz (Wiendahl 2008, S. 287–289; Hildebrandt et al. 2011; Hayler 2013; Scheuch 2013), was auch die steigende Anzahl von Projekten zur Steigerung Datenqualität in Unternehmen zeigt (Packowski 2012). Aufgrund des Aufwands zur Datenerzeugung und -verbesserung und der in der Regel nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden Ressourcen ist es allerdings erforderlich, einen Kompromiss zwischen dem Aufwand für die Datenpflege und dem manuellen PPS-Aufwand für Umplanungen zu finden (Bornhäuser 2009, S. 24–25).

- ↳ Das Gestaltungsmodell stellt möglichst geringe Anforderungen an die Datenqualität und gewährleistet die Erstellung und Umplanung des Produktionsplans mit angemessenem Aufwand.

2.3.4.5 Stelle

Der Gestaltungsaspekt *Stelle* betrifft die Rollen, Personen und Bereiche, die eine Aktivität im Kontext einer Organisation verantworten¹⁸. Damit verbunden sind auch die für die Aktivität notwendigen Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen (Wiendahl 2010, S. 69).

Entscheidend für die PPS im Rahmen des Gestaltungsaspekts *Stelle* ist die Art der Koordination unterschiedlicher Stellen (vgl. bspw. (Kieser et al. 1992, S. 103ff; Westkämper et al. 1996; Schulte-Zurhausen 2005, S. 232ff.)). WESTKÄMPER und WIEDENMANN definieren fünf grundsätzliche Formen der Koordination (Westkämper et al. 1996). Die dabei wesentliche Fragestellung ist der geeignete Grad an Selbstorganisation und Selbststeuerung (siehe bspw. Stephan 2005, Hülsmann et al. 2007 oder Gierth 2009). Selbstorganisation bezeichnet die Art und Weise, mit der ein System seine Prozesse und Strukturen selbst gestaltet (Gierth 2009, S. 22). Demgegenüber beschreibt Selbststeuerung, dass Systemmitglieder bei Vorliegen bestimmter Situationen und Parameter im Rahmen von Prozessen Auswahlentscheidungen treffen, aus denen verschiedene, allerdings vorbestimmte Abläufe resultieren (Frese 2005, S. 180f; Windt 2006, S. 272). Dezentrale Selbststeuerung wird von ihren Befürwortern als geeignetes Mittel zur Bewältigung von Komplexität und Dynamik angesehen (Gierth 2009, S. 34; Scholz-Reiter et al. 2009, S. 1449ff.), bei dem allerdings keine Maximierung, sondern eine Optimierung des Grads an Selbststeuerung zur Erreichung der logistischen Ziele angestrebt werden sollte (Scholz-Reiter et al. 2007, S. 7ff.). Vorteile in dezentralen selbststeuernden Systemen sind, neben der Komplexitätsreduzierung, eine Bündelung von Wissen sowie eine hohe Identifikation mit den zu erledigenden Aufgaben. Zusammen mit der dezentralen Entscheidungskompetenz führt dies zu einer höheren Motivation sowie einer größeren Robustheit bei Störungen und Änderungen (Barrho 2001, S. 8). Ein ganzheitlicher Ansatz zur Beschreibung von Selbstorganisation und Selbststeuerung ist die *Fraktale Fabrik* nach WARNECKE (Warnecke 1992). Ein Fraktal stellt eine selbständig agierende Unternehmenseinheit mit eindeutig beschreibbaren Zielen und Leistungen dar (Warnecke 1992, S. 142). Typische Eigenschaften eines Fraktals sind die Selbstorganisation, die Zielorientierung und die Selbstähnlichkeit¹⁹, die um Methoden zur Optimierung der

¹⁸ Eine Stelle ist definiert als die kleinste organisatorische Einheit eines Unternehmens und beinhaltet den Aufgabenumfang einer Person. Eine Stelle ist eingebettet in die Aufbauorganisation, die die Art der Aufteilung der Wertaktivitäten auf die einzelnen Bereiche und Stellen beschreibt (Wiendahl 1997a, S. 17ff.).

¹⁹ Die Selbstähnlichkeit beinhaltet die organisatorische Gestaltung, die Art der Leistungserstellung sowie die Vorgabe und Verfolgung von Zielen; Zielorientierung bedeutet in diesem Zusammenhang die kontinuierliche

Fraktale ergänzt werden. Der Grad an Selbstorganisation und Selbststeuerung kann als „Summe der Freiheitsgrade, d. h. der Möglichkeiten zum unterschiedlichen aufgabenbezogenen Handeln“ (Tränkle 1994, S. 143) hinsichtlich zeitlicher Organisation von Aufgaben, Verfahrenswahl oder Mitteleinsatz verstanden werden. Die Fraktale sind demnach in der Lage, unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen alle Entscheidungen bezüglich Planung, Durchführung und Kontrolle der Aufgabe zu treffen. Die Freiheitsgrade einer Fertigungsinsel werden bspw. von MAßBERG im Detail beschrieben (Maßberg 1993, S. 13). ANSORGE definiert auf Basis von DECKER&GALLASCH (Decker et al. 1996) sowie REINHART&KRESS (Reinhart et al. 1999) die logistischen Freiräume *Termine* (grobterminiert – feinterminiert), *Fertigungsart* (funktionsorientiert – produktorientiert), *Auftragssteuerung* (zentral – dezentral), *Aufgabenumfang* (Fertigungsauftrag – Arbeitsgang), *Ressourcen* (feste Zuordnung – keine Zuordnung), *Vorprodukt* (festgelegt – nicht festgelegt), *Bearbeitungsreihenfolge* (fest – variabel), *Technologie* (eine festgelegt – verschiedene möglich), *Bezugsart* (Fremdfertigung – Eigenfertigung), *Arbeitsplan* (zentral vorgegeben – lokal definierbar) und *Datenhaltung* (zentral – lokal) (Ansorge 2008, S. 28).

Die Freiräume eines Fraktals beeinflussen die organisatorische Struktur. Eine steigende Menge an Freiheitsgraden der Fraktale führt zu einer Reduktion der Vorgaben und Kontrollen zentraler Planungs- und Steuerungsstellen²⁰. Durch die zentralen Planungs- und Steuerungsstellen wird im komplexen Umfeld eine Koordination der dezentralen Fraktale angestrebt, um die Durchlaufzeiten einzelner Kundenaufträge zu verkürzen, die zugesagten Liefertermine einzuhalten sowie frühzeitig Terminverzögerungen und Engpässe zu erkennen (Brankamp 1981, S. 35ff; Lohse 2002, S. 58).

- ↳ Das Gestaltungsmodell umfasst Richtlinien zur Festlegung des Grads an Selbstorganisation und Selbststeuerung, legt die notwendige organisatorische Struktur fest und definiert die Koordination der zentralen und dezentralen Einheiten.

Messung und Bewertung der Leistung der Fraktale; Selbstorganisation umfasst unter anderem das Vorhandensein angemessener Methoden zur Umsetzung der Ziele (Warnecke 1992, S. 142ff.).

²⁰ Diese werden in der betrieblichen Praxis als Auftragszentrum, Auftragsleitstelle, Leitstand oder Projektmanagement-Büro bezeichnet (Kemmner 1991; Rohweder 1996; Zäpfel 2001, S. 226ff.).

2.3.4.6 Werkzeuge

Werkzeuge unterstützen die Funktionen und Prozesse, indem sie Informationen bereitstellen oder Tätigkeiten (teil-)automatisch übernehmen. Die für die beschriebenen Gestaltungsaspekte der PPS erforderlichen Werkzeuge sind geeignet auszuwählen oder zu entwickeln (Wiendahl 2008, S. 292).

ERP²¹-Systeme bilden das Informations-Rückgrat produzierender Unternehmen und unterstützen die Geschäftsprozesse durch Module wie Finanz- und Rechnungswesen, Personalwirtschaft, Controlling oder Materialwirtschaft (Eisele et al. 2013). Im Kontext der Materialwirtschaft, Planung und Steuerung basieren die Funktionalitäten von ERP-Systemen auf dem klassischen MRP-Ansatz (Material Requirements Planning) und dem daraus entwickelten MRPII-Ansatz (Manufacturing Resources Planning) (Buzacott 2010, S. 480; Westkämper et al. 2011, S. 87). Dieses Verfahren durchläuft die hierarchischen Planungsstufen Absatz- und Produktionsgrobplanung, Produktionsplanung und Fertigungsplanung durch eine rückwärtsterminierte Sukzessivplanung²² mit Hilfe von arbeitsvorgangsbezogenen Plandurchlaufzeiten oder artikelbezogenen Wiederbeschaffungszeiten (Wight 1981).

Auf die Schwächen des MRP- und MRPII-Ansatzes wurde in der Literatur ausführlich eingegangen (Hopp et al. 1996, S. 109f; Toomey 1996, S. 59ff; Fleischmann 1998, S. 52; Suri 1998, S. 201ff; Ullmann 2001, S. 33; Kurbel 2005, S. 135–137), wovon folgende wesentlich für die vorliegende Arbeit sind:

- unrealistische Pläne aufgrund der unzureichenden Nichtberücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen, der Planung mit derselben Granularität auf den Planungsstufen und der Berechnung von Plänen mit Mittelwerten, die bei streuenden Durchlaufzeiten zu ungenau sind,
- hoher Planungsaufwand bei auftretenden Störungen, da diese nicht oder nur sehr spät in die Planung eingehen,
- keine ausreichende Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitätsflexibilität und
- geringe Akzeptanz und Vertrauen in die Planung, was zu ergänzenden, parallelen Planungen führt.

²¹ Enterprise Resource Planning

²² Folgende Funktionen werden sukzessiv durchlaufen: Primärbedarfsplanung, Sekundärbedarfsplanung mit Hilfe einer Stücklistenauflösung, Losbildung, Durchlaufterminierung mit anschließendem Kapazitätsabgleich, Auftragsfreigabe und Belegung der Maschinen.

Aufgrund dieser Schwächen haben sich ergänzende IT-Systeme zur Planung und Steuerung in Unternehmen etabliert. Produkt- und Prozesskonfiguratoren erzeugen aus einer Anforderungszusammenstellung mit Hilfe von standardisierten Merkmalen und einem Regelwerk eine Stückliste oder einen Prozessplan (Schönsleben 2011, S. 375). APS²³-Systeme ermöglichen die simultane Berücksichtigung von Prozessen, Material und Ressourcen bis hin zu einer unternehmensübergreifenden Planung (Schönsleben 2011, S. 445). *Advanced* bezeichnet in diesem Kontext die über die in den ERP-Funktionalitäten hinausgehenden Planungsverfahren sowie die in den Systemen integrierten mathematischen Verfahren (Betge 2006, S. 6). Ähnlich wie das MRPII-Konzept benötigen APS-Systeme eine entsprechende Datengrundlage und -qualität, um realistische Produktionspläne zu erzeugen.

MES²⁴-Lösungen stellen innerhalb eines Unternehmens das Bindeglied zwischen dem ERP-System und der Ausführungsebene dar (Wochinger et al. 2015, S. 12). Kernfunktionen von MES sind die Datenerfassung, die Feinplanung und -steuerung sowie das Monitoring und die Durchführung von Auswertungen (VDI 5600). Die Funktionalitäten von MES-Lösungen sind dabei stark fokussiert auf die Feinplanung und Unterstützung von Produktionsprozessen (Wochinger et al. 2015, S. 55).

Zur Abwicklung von Einzelaufträgen werden zudem Projektmanagement-Werkzeuge eingesetzt. Die Lösungen umfassen den gesamten Projektlebenszyklus von der Ideenverwaltung und -bewertung, der Planung und dem Controlling von Projekten, Projektprogrammen und Projektportfolios bis zum Abschluss von Projekten (Meyer et al. 2010, S. 28ff). Die Lösungen sind stark konzentriert auf die Planung und Verfolgung von Vorgängen. Eine Berücksichtigung von begrenzten Ressourcen erfolgt vornehmlich in den produktionsvorgelagerten Bereichen. Eine detaillierte Abbildung von Vorgängen und deren benötigten Ressourcen in der Produktion erfolgt in der Regel nicht (Meyer et al. 2010, S. 28ff).

ADRODEGARI ET AL. ermitteln in einer Studie anhand von 21 Fallstudien, dass die Prozessunterstützung durch Softwarewerkzeuge bei Unternehmen im *engineer-to-order* sehr heterogen ist und daher hohe Aufwände zur Herstellung eines durchgängigen Informa-

²³ Advanced Planning and Scheduling; der Begriff wird oftmals gleichgesetzt mit dem Begriff Supply-Chain-Management-Software (SCM-Software) (vgl. Schönsleben 2011, S. 445; Eisele et al. 2013)).

²⁴ Manufacturing Execution System

tionsflusses entstehen (Adrodegari et al. 2015, S. 920). Es ist darüber hinaus davon auszugehen, dass zukünftig die Funktionalitäten von IT-Systemen in spezifischen Apps bzw. Services in serviceorientierten Architekturen zusammengefasst werden, die flexibel kombiniert und eingesetzt werden können, um die Planungs- und Ausführungsprozesse zu unterstützen (Bauernhansl 2014a, S. 26–27). Für die vorliegende Arbeit lässt sich folgende Anforderung ableiten:

- ↪ Das Gestaltungsmodell ermöglicht es, die zur Verfügung stehenden Softwarewerkzeuge zu nutzen, setzt diese aber nicht voraus.

2.4 Bedarf eines Gestaltungsmodells zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung

Tabelle 2-1 führt die in Kapitel 2 abgeleiteten Anforderungen zusammen und strukturiert diese in fünf Kategorien.

Eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter	
Durchgängige Betrachtung aller relevanten Wertaktivitäten der Auftragsabwicklung	<ul style="list-style-type: none"> ↪ stellt eine geeignete Zusammenarbeit in vernetzten Strukturen sicher, wozu ein hohes Maß an Verlässlichkeit bei Terminen und Qualität erforderlich ist, ↪ unterstützt die Positionierung und Einhaltung der logistischen Zielgrößen, so dass trotz schwankenden Bedarfen und dynamischen Engpässen in jedem Bereich eine hohe Termintreue bei angemessenem Flussgrad, Bestandsniveau und Auslastung erzielt wird, ↪ stellt eine über alle Wertaktivitäten konsistente Terminsicht mit Hilfe einer integrierten Planung und Steuerung her,
Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten	<ul style="list-style-type: none"> ↪ gewährleistet eine effektive Nutzung der vorhandenen Ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, ↪ ist in der Lage, alle kapazitätsrelevanten Bedarfe angemessen zu berücksichtigen, ↪ ermöglicht eine frühzeitige Identifikation von Engpässen, ↪ ermittelt und überwacht kontinuierlich den sich aus der Planung und Steuerung ergebenden kritischen Pfad,

2 Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Umgang mit komplexen Auftrags- und Materialflüssen	<ul style="list-style-type: none"> ☞ plant und steuert in funktionsorientierten Strukturen kundenspezifische Aufträge und Projekte mit komplexer Struktur, ☞ unterstützt Unternehmen mit hoher Material- und Auftragsflusskomplexität, ☞ umfasst Richtlinien zur Festlegung des Grads an Selbstorganisation und Selbststeuerung, legt die notwendige organisatorische Struktur fest und definiert die Koordination der zentralen und dezentralen Einheiten,
Geeignete Berücksichtigung von Turbulenzen und Unschärfe	<ul style="list-style-type: none"> ☞ befähigt Unternehmen, nicht vermeidbare Unsicherheiten in einem volatilen Marktumfeld geeignet zu bewerkstelligen, ☞ gewährleistet mit Hilfe kybernetischer Prinzipien einen geeigneten Umgang mit der auftretenden Komplexität, ☞ berücksichtigt unterschiedliche Auftragsstypen und damit verbundene Unsicherheitsfaktoren in geeigneter Art und Weise, ☞ zieht die auftretende Unschärfe in die Betrachtung mit ein und ermöglicht auch bei unscharfen Objekten eine aufwandsarme PPS, ☞ gewährleistet über geschlossene Regelkreise eine enge Kopplung zwischen Lenkungs- und Ausführungsebene, ☞ stellt ein hohes Maß an Transparenz über Auftragsfortschritt und Ressourcenstatus her, um bei auftretenden Kundenänderungen geeignet reagieren zu können, ☞ dient dazu, Schwankungen des Kapazitätsbedarfs durch einen vorausschauenden, gezielten Einsatz von Kapazitätsflexibilität zu beherrschen,
Sicherstellung von Effizienz bei Planerstellung und Planausführung	<ul style="list-style-type: none"> ☞ reduziert Komplexitätskosten unter Berücksichtigung von Organisation, Prozessen und Informationsflüssen, ☞ wendet Lean-Prinzipien und ein stringentes Projektmanagement konsequent an, um die Prozesseffizienz zu erhöhen, ☞ stellt möglichst geringe Anforderungen an die Datenqualität und gewährleistet die Erstellung und Umplanung des Produktionsplans mit angemessenem Aufwand, ☞ ermöglicht es, die zur Verfügung stehenden Softwarewerkzeuge zu nutzen, setzt diese aber nicht voraus.

Tabelle 2-1: Übersicht der Anforderungen an das zu konzipierende Gestaltungsmodell

Diese Anforderungen werden im Folgenden zur Bewertung bestehender Ansätze der PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter herangezogen.

3 Ansätze der PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Im Folgenden werden bestehende Ansätze zur Bewältigung der in Kapitel 2.4 zusammengefassten Anforderungen vorgestellt und diskutiert. Die Bewertung der dargestellten Ansätze definiert den Handlungsbedarf.

3.1 Grundlegende Ansätze der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Als erstes Strukturierungselement bestehender Verfahren werden drei grundsätzliche Ansätze herangezogen, die in der Theorie und in der Praxis zur Bewältigung auftretender Komplexität Anwendung finden: Lean Production/Management, Prozessmanagement und Multiprojektmanagement.

3.1.1 Lean Production und Lean Management

Auf Grundlage einer Studie des Toyota-Produktionssystems zu Entwicklungs- und Produktionsbedingungen in der japanischen und westlichen Automobilindustrie wurde durch WOMACK, JONES und ROOS der Begriff *Lean Production* geprägt (Womack et al. 1991). Der Erfolg von *Lean Production* ist nicht in der Anwendung einzelner Methoden und Werkzeuge, sondern in der verschwendungsfreien Schaffung von Werten sowie im Zusammenwirken aller Elemente eines Systems, das jeden Tag gelebt und kontinuierlich verbessert wird, zu begründen (Liker 2007, S. 8ff.). WOMACK und JONES definieren mit der Kundenorientierung, der Wertschöpfungsorientierung, der Flussorientierung, dem Pull-Prinzip und der kontinuierlichen Verbesserung Grundprinzipien des *Lean Thinking*, die darauf abzielen, alle für die Wertschöpfung notwendigen Aktivitäten optimal aufeinander abzustimmen und Verschwendung zu vermeiden (Womack et al. 2004, S. 24ff.). Als Erfolgsfaktoren gelten eindeutige Ziele und Leitlinien, einfache Methoden und Werkzeuge und eine konsequente Überwachung der Verbesserungen. Aus diesem Grund werden im Folgenden für die vorliegende Arbeit wichtige Methoden und Werkzeuge vorgestellt.

Taktprinzip

Das Grundprinzip der Kundenorientierung kann über einen Kundentakt²⁵ erreicht werden, der die Marktbedarfe mit der Produktionsrate synchronisiert. Der Kundentakt für eine Produktfamilie berechnet sich aus dem Quotienten von verfügbarer Betriebszeit pro Jahr und dem Kundenbedarf in Stück pro Jahr (Rother et al. 2000, S. 46; Erlach 2010, S. 48). Der Kundentakt zeigt auf, welchen Rhythmus der Kunde für die Fertigstellung von Endprodukten vorgibt und unterstützt damit bei der Auslegung von durchschnittlichen Ressourcenkapazitäten. Durch Anwendung des Prinzips des Kundentakts auf die Prozesse der Auftragsabwicklung und Produktion entsteht eine vom Markt vorgegebene Zielvorgabe für die jeweiligen Prozessschritte und Bereiche, die zur Orientierung und Überwachen der Leistung dient (Bornhäuser 2009, S. 53; Wochinger et al. 2013, S. 791–794).

Die Anwendbarkeit des aus der Serienproduktion stammenden Kundentakts unter anderen betrieblichen Bedingungen ist begrenzt. Bei Vorliegen einer hohen Variantenvielfalt, eines Baustellen-, Werkstatt- oder Insel-Ablaufprinzips oder einer Einzelstück- bzw. Kleinserienfertigung findet der Produkt(familien)-orientierte Kundentakt aufgrund wirtschaftlicher und organisatorischer Restriktionen nur bedingt Anwendung (Gruß 2010, S. 126). BORNHÄUSER definiert in funktionsorientierten Strukturen mit dem Ressourcentakt ein Pendant zum Kundentakt, der nicht an Produkten oder Produktfamilien, sondern an Ressourcen orientiert ist (Bornhäuser 2009, S. 53). Grund ist die begrenzte Aussagekraft eines Produkt(familien)-orientierten Kundentakts bei einer hohen Variantenvielfalt, komplexen Materialflüssen und stark schwankenden Bedarfen.

Flussprinzip

Ein kontinuierlicher Fluss bedeutet die Weitergabe und Fortsetzung der Bearbeitung beim Nachfolger ohne großen Zeitverlust, nachdem eine Ressource einen Arbeitsgang beendet hat. Zielsetzung ist die Vermeidung von Warteschlangen und daraus resultierender Wartezeiten (Takeda 2004, S. 67ff.). Das Wertstromdesign stellt eine Vorgehensweise in sieben Schritten dar, um im Prozessablauf systematisch Verschwendungen zu vermeiden (Erlach 2010, S. 117ff.). Fest miteinander verkettete Prozessschritte werden über einen

²⁵ Der Begriff *Takt* stammt dabei ursprünglich aus der Musikwissenschaft und beschreibt eine Dauer von aufeinanderfolgenden, immer konstanten Zeitabschnitten (Lange 1991, S. 28).

Schrittmacherprozess geplant. Die vor- und nachgelagerten Prozessschritte werden abhängig vom Schrittmacherprozess gesteuert (Takeda 2004, S. 67ff; Smalley 2005, S. 30ff; Erlach 2010, S. 176ff.). Die Verkettung kann dabei bei einer begrenzten Anzahl von Varianten und gleichmäßigem Bedarf über Kanban verbrauchsorientiert ausgestaltet werden. In diesem Fall erzeugen die dem Schrittmacherprozess vorgelagerten Prozessschritte nur das, was am Schrittmacherprozess verbraucht wird (Erlach 2010, S. 189ff.). Eine Alternative zur Verkettung von Prozessschritten stellt das FIFO²⁶-Prinzip dar, das eine eindeutige Reihenfolge für einen Prozessschritt vorgibt. Mit dieser Vorgabe wird sichergestellt, dass die Aufgaben in einem Prozessschritt genau in der Ankunftsreihenfolge abgearbeitet werden. Dies erspart eine Planung dieses Prozessschrittes (Erlach 2010, S. 176ff.).

Visuelles Management

Visualisierung zielt darauf ab, mit Hilfe einer bildlichen Darstellung von Arbeitsabläufen und -ergebnissen Transparenz über Ziele, Prozesse und Leistungen herzustellen (VDI 2870, S. 16). Mit dieser Transparenz kann vor Ort erkannt werden, ob die Situation normal oder gestört ist (Takeda 2004, S. 93ff.). Zur Vereinheitlichung und Vereinfachung werden Standards eingesetzt. Durch visuelles Management erhalten alle beteiligten Personen die gleiche Informationsbasis. Übliche Werkzeuge sind Andon- oder Shopfloor-Boards (VDI 2870, S. 17). Auf dieser Basis ist die Ableitung sofortiger und kontinuierlicher Verbesserungsmaßnahmen möglich (Takeda 2004, S. 94).

Obwohl sich WOMACK, JONES und ROOS mit dem Ansatz des *Lean Thinking* schon auf das gesamte Unternehmen bezogen hatten (Womack et al. 1991), wurden die Prinzipien, Methoden und Werkzeuge in mehreren Lean-Wellen erweitert sowie von der Produktion ausgehend auf verschiedene Bereiche angewendet (vgl. bspw. Cusumano et al. 2008; Schuh et al. 2009; Schneider et al. 2011). Aufbauend auf einer Analyse japanischer und amerikanischer Entwicklungssysteme im Automobilbau beschäftigen sich MORGAN und LIKER mit der Gestaltung der Produktentwicklung und der Integration der bei Toyota identifizierten Erfolgsfaktoren Prozesse, Technologie und Mensch (Morgan et al. 2006). Die genannten Aspekte unterstützen dabei den Leitgedanken des Simultaneous Engineering, das durch Parallelisieren, Standardisieren und Integrieren von Entwicklungstätigkeiten eine

²⁶ First In – First Out

Verbesserung von Zeit, Kosten und Qualität in der Entwicklung anstrebt (Krottmaier 1995, S. 77; Stanke et al. 1997, S. 15ff; Dixius 1998, S. 8ff; Ehrlenspiel 2003, S. 202ff.).

3.1.2 Prozessmanagement

Im Rahmen des Prozessmanagements und der Prozessoptimierung beschäftigen sich zahlreiche Autoren mit der Verbesserung von Zeit, Qualität und Kosten bei Prozessen. *Business Process Improvement* nach HARRINGTON (Harrington 1991), *Business Reengineering* nach HAMMER und CHAMPY (Hammer et al. 1994), *Business Process Reengineering* nach JOHANNSON (Johansson 1993), *Process Innovation* nach DAVENPORT (Davenport 1993), *Prozessorganisation* nach GAITANIDES (Gaitanides 2007) sind als wesentliche Ansätze zu nennen.

Bei der Betrachtung der gesamten Auftragsabwicklung lassen sich mit Ansätzen der Prozessoptimierung gerade in „den indirekten Bereichen durch planerische und organisatorische Maßnahmen deutliche Durchlaufzeitreduzierungen erreichen“ (Eversheim 1996b, S. 29), die im Vergleich zu technologischen Verbesserungen in den direkten Bereichen sogar noch kostengünstiger sind (Eversheim 1996b, S. 29). Maßnahmen zur Fokussierung der wertschöpfenden Tätigkeiten, zu parallelem Arbeiten, zu schnellerem Arbeiten und zur Vermeidung von Fehlern und Rücksprüngen führen zu kürzeren Durchlaufzeiten bei geringeren Kosten und angemessener Qualität (Sommerlatte et al. 1992, S. 30).

Ein wesentliches Element der Prozessoptimierung ist die Standardisierung von Prozessen, bei der Informations-, Planungs-, Kontroll- und Produktionsprozesse einheitlich strukturiert und im Ablauf vereinheitlicht werden (Wilhelm 2007, S. 58ff; Schuh 2010, S. 39). Wesentliche Vorteile einer umfangreichen Standardisierung von Prozessen stellen Produktivitätssteigerungen, eine höhere Robustheit gegenüber Störungen, ein schnelles Erlernen der Aktivitäten sowie eine vereinfachte Koordination und Kontrolle dar (Schuh et al. 2011a, S. 388). Diesen Vorteilen stehen Nachteile wie die Gefahr einer monotonen Arbeitsweise und die Vernachlässigung innovativer Aufgaben gegenüber (vgl. (Krüger 2004, S. 174)). Die in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter zu durchlaufenden Prozessschritte (vgl. Abschnitt 2.3.3.3.) sind deshalb differenziert hinsichtlich Prozessstandardisierung zu betrachten (Scholz 1995, S. 132ff.).

3.1.3 Multiprojektmanagement

Die in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter zu erfüllenden Einzelaufträge und Kleinserien können als Projekte²⁷ angesehen werden, die mit Hilfe eines Projektmanagements geplant und gesteuert werden. Im Gegensatz hierzu ist das Projektportfolio eines Unternehmens - die Zusammenfassung aller geplanten, genehmigten und laufenden Projekte - zeitlich nicht befristet (Seidl 2011, S. 6). Um eine strategische Zielsetzung oder einen erwarteten Nutzen für eine Organisation zu erreichen, werden Programme „als eine Menge zusammenhängender Projekte und organisatorischer Veränderungsprozesse“ (Seidl 2011, S. 7) gebildet. Eine Übersicht zu den damit verbundenen Aufgaben geben Abbildung 3-1 sowie (Lomnitz 2001, S. 60ff.), (Burghardt 2002, S. 15ff.), (Hiller 2002, S. 10ff.), (Wienhold 2004, S. 1) und (Pommeranz 2011, S. 22ff.).

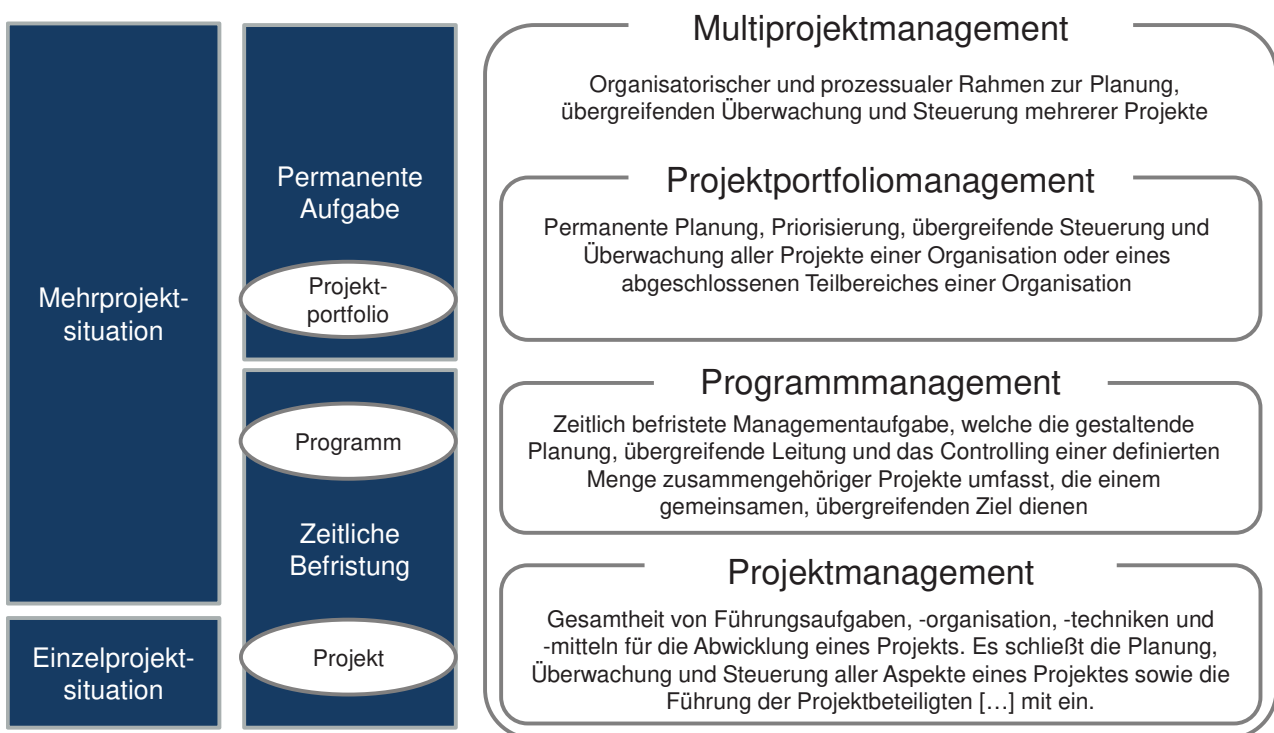


Abbildung 3-1: Begriffe im Multiprojektmanagement (i. A. an Seidl 2011, S. 11 und unter Verwendung von Dammer 2008, S. 13ff; DIN 69909-1, DIN 69901-1)

²⁷ Nach DIN 69901 ist ein Projekt ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist, z. B. Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle und andere Begrenzungen, Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben, projektspezifische Organisation“ (DIN 69901). Es existieren zahlreiche weitere ähnliche Begriffsdefinitionen, vgl. u. a. (Litke 1995, Rinza 1998, Madauss 2000; Lock 2007, Wieczorrek & Mertens 2007). Eine umfassende Übersicht zu Merkmalen von Projekten gibt SEIDL (Seidl 2011, S. 5).

Da Projekte in Unternehmen eine hohe Bedeutung besitzen, eine hohe Komplexität aufweisen und um Personalkapazitäten, Betriebsmittel und Budgets konkurrieren, ist eine Koordination der Projekte in Form eines Multiprojektmanagements erforderlich (Balzer 1998a; Dammer 2008, S. 16; Seidl 2011, S. 11ff.). Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sind die fünf Phasen des Multiprojektmanagements *Initialisierung, Definition, Planung, Steuerung* und *Abschluss* (DIN 69909-2), für die sich in der Literatur zahlreiche Methoden und Werkzeuge in Standardwerken wie bspw. (Litke 1995; Madauss 2000; Burghardt 2002; DIN 69901-3) finden. Die Folgenden sind dabei für diese Arbeit maßgeblich.

3.1.3.1 Projektstrukturierung im Rahmen der Definitionsphase

Bei der Projektstrukturierung ist zwischen der Produkt- und Projektstrukturplanung zu unterscheiden. Die zuerst zu durchlaufende Produktstrukturplanung sammelt und veranschaulicht die zum Produkt gehörenden Komponenten und ihre Stücklistenpositionen (Burghardt 2002, S. 76–77; Jakoby 2010, S. 122). Auf dieser Basis kann mit dem Projektstrukturplan, der alle zu durchlaufenden Aktivitäten enthält, ein Projekt unter Berücksichtigung der Prozessabläufe und der Aufbauorganisation in seine Aufgaben gegliedert werden (Bullinger 1997, S. 83; Burghardt 2002, S. 78–81; DIN 69900, S. 8). Die Aktivitäten werden dabei in mehreren Ebenen soweit herunter gebrochen, bis sie als sogenannte Arbeitspakete selbstständig durchführ-, plan- und kontrollierbar sind (Burghardt 2002, S. 77; Bea et al. 2008, S. 142). Meilensteine, die Orientierungspunkte darstellen und ein definiertes, zu überprüfendes Arbeitsergebnis darstellen, ergänzen den Projektstrukturplan (Fiedler 2010, S. 93).

3.1.3.2 Aufwandsplanung und -schätzung im Rahmen der Definitionsphase

Um im Projektmanagement eine Planung von Terminen und Kapazitäten durchführen zu können, ist die Ermittlung des für die zu erledigenden Arbeitspakete notwendigen Aufwands erforderlich (Zimmermann et al. 2006, S. 13). Dabei kann grundsätzlich zwischen Expertenbefragungen und analytischen Schätzverfahren unterschieden werden (Burghardt 2002, S. 85ff.):

- Expertenbefragungen erzeugen auf Grundlage des Fachwissens ausgewählter Personen eine Aufwandsschätzung. Während bei der Einzelschätzung nur die Meinung einer Person herangezogen wird, nutzen die Mehrfachschätzung, die Delphi-

Methode und die Schätzklausur das Fachwissen mehrerer Personen. Aus Aufwandsgründen ist die Einzelschätzung die in der Praxis am häufigsten verwendete Schätzform (Burghardt 2002, S. 107ff.).

- Analytische Methoden wie das *COCOMO-Modell* oder die *Function Point Analyse* nutzen historische Daten und Erfahrungen, um nach Einflussgrößen zu suchen und deren Auswirkung auf den Aufwand zu bestimmen. Herkunft und Schwerpunkt der Anwendung ist die Softwareentwicklung. In der sonstigen industriellen Praxis haben sich diese Methoden kaum durchgesetzt (Bea et al. 2008, S. 154; Oestereich et al. 2008, S. 83).

3.1.3.3 Termin- und Kapazitätsplanung im Rahmen der Planungsphase

Die in der Strukturplanung definierten Arbeitspakete werden zur Termin- und Kapazitätsplanung in Vorgänge übersetzt und logisch miteinander zu einem Netzplan verknüpft (Bea et al. 2008, S. 163). Während stochastische Netzpläne die Varianz der zugrundeliegenden Schätzwerte oder unterschiedliche Projektabläufe über Wahrscheinlichkeiten berücksichtigen, planen deterministische Verfahren mit einem festen Zeitbedarf und Projektablauf (Jakoby 2010, S. 167). In der betrieblichen Praxis haben sich die deterministischen Verfahren durchgesetzt, da sie einfacher zu handhaben sind (Burghardt 2002, S. 113–115; Bea et al. 2008, S. 171).

GOLDRATT (Goldratt 1997; Goldratt 2002) erweitert das klassische Projektmanagement um die Engpassbetrachtung (Lechler et al. 2005, S. 48) und bezieht darüber hinaus arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse ein (Leach 1999, S. 39). Dabei sind für das *Critical-Chain-Projektmanagement* folgende Aspekte entscheidend:

- Kritische Kette: Um eine Berücksichtigung begrenzter Ressourcen zu erreichen, ist die Betrachtung der kritischen Kette erforderlich, die die längste Folge unabhängiger Vorgänge unter Berücksichtigung von begrenzten Ressourcen darstellt (Techt et al. 2007, S. 13).
- Aggregierte Puffer: Schätzungen von Aufwänden und Dauern von Vorgängen enthalten versteckte Sicherheiten und sind in der Art ausgelegt, dass die Vorgaben mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% eingehalten werden können. Die zur Verfügung

stehende Zeit wird allerdings meist ausgereizt (Fiedler 2010, S. 111)²⁸. Die in diesen Vorgängen versteckten Puffer können ihren Nutzen nach GOLDRATT daher nicht voll entfalten. Daher ist es wirksamer, die Puffer aus den einzelnen Vorgängen zusammenzufassen und am Ende eines Projektes oder Teilprojektes anzusetzen (Techt et al. 2007, S. 132). Der Pufferverbrauch dient als wichtiges Kontrollinstrument (Seidl 2011, S. 100).

- Vermeidung von Multitasking: Multitasking reduziert die Effizienz der Arbeit und verlängert die Durchlaufzeit von Vorgängen (Leach 1999, S. 44). Daher ist eine gleichzeitige Bearbeitung von Aufgaben aus mehreren Projekten zu vermeiden (Fiedler 2010, S. 113).

Abbildung 3-2 veranschaulicht den gezielten Einsatz von unterschiedlichen Puffern im *Critical-Chain-Projektmanagement*:

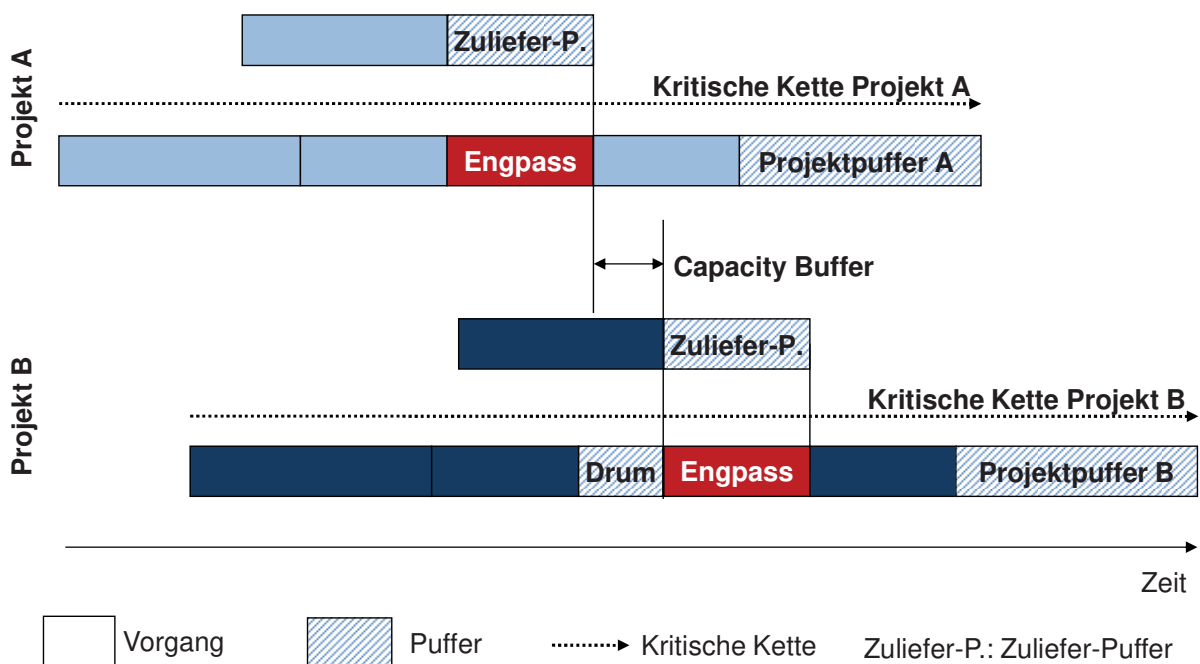


Abbildung 3-2: Puffer im Critical-Chain-Projektmanagement

(i. A. an Lechler et al. 2005, S. 54)

²⁸ Eine Erklärung für diesen Effekt liefert das Gesetz von Parkinson und das Studentensyndrom. Das Parkinsonsche Gesetz besagt: „Arbeit dehnt sich in genau dem Maß aus, wie Zeit für ihre Erledigung zur Verfügung steht“ (Fiedler 2010, S. 111). Dies kann durch das Studentensyndrom begründet werden, das besagt, dass Arbeitsaufgaben erst dann mit Nachdruck verfolgt werden, wenn ein gewisser Zeitdruck besteht (Leach 1999, S. 43).

Für das Management einzelner Projekte sind insbesondere der Projektpuffer und die Zulieferpuffer wichtig. Der Projektpuffer am Ende des Projektes sichert den Endtermin gegen Störungen auf der kritischen Kette. Zulieferpuffer werden bewusst dimensioniert und eingesetzt, um die kritische Kette vor Verspätungen zu schützen, die auf nicht kritischen Pfaden entstanden sind (Techt et al. 2007, S. 137).

Neben den Puffern für einzelne Projekte sind Puffer für das Multiprojektmanagement zu berücksichtigen (Lechler et al. 2005, S. 46), die dazu dienen, an Engpassressourcen eine volle Auslastung zu erreichen. *Drum Buffer* vor der Engpassressource verhindern Verzögerungen aufgrund von Verspätungen von direkten Vorgängern (Lechler et al. 2005, S. 54). Verspätungen aufgrund von Verzögerungen anderer Projekte werden über *Capacity Buffer* abgesichert. Dazu wird zwischen dem Einsatz der Engpassressource in zwei Projekten eine gewisse Zeitspanne als Puffer eingeplant (Lechler et al. 2005, S. 54).

In der Literatur existieren zahlreiche Verfahren zur geeigneten Dimensionierung der Puffer. Diese nutzen Mehrfachschätzungen oder historische Daten, beziehen teilweise Einflussfaktoren in die Betrachtung mit ein und unterscheiden sich hinsichtlich zugrundeliegender Annahmen und Voraussetzungen zur Implementierung. Eine Übersicht und Bewertung vorhandener Verfahren gibt GAUPP (Gaupp 2011).

3.2 Bestehende Verfahren und Methoden der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Im nachfolgenden Abschnitt werden vorhandene Verfahren und Methoden der Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter vorgestellt und unter den in Kapitel 2.4 abgeleiteten Anforderungen diskutiert. Strukturgebend ist die Zuordnung der Ansätze gemäß ihrer Hauptausrichtung zu den Bereichen *PPS*, *Prozessmanagement*, *Multiprojektmanagement* und der aus dem Lean Management stammenden *Taktorientierung*.

3.2.1 Relevante Ansätze im Kontext der PPS

In der Literatur finden sich zahlreiche Ansätze der Produktionsplanung und -steuerung, die die in Kapitel 2.3 beschriebenen Grundlagen erweitern und auf verschiedene Anwendungsfälle beziehen. Eine Übersicht über Methoden und Werkzeuge geben SCHÖNSLEBEN (Schönsleben 2011, S. 634ff.) und LÖDDING (Lödding 2008, S. 131ff.). Die dort dargestellten Verfahren sind grundsätzlich in der Lage, begrenzte Kapazitäten zu berücksichtigen sowie eine effiziente Planerstellung und -durchführung zu gewährleisten. Betrachtungsfokus ist dabei allerdings die Produktion mit dem Fokus der Produktionssteuerung ohne die Beachtung produktionsvorgelagerter Bereiche. Im Folgenden werden die für den Betrachtungsbereich dieser Arbeit relevanten Ansätze dargestellt.

3.2.1.1 Planung der Auftragsabwicklung komplexer Produkte nach GROß

GROß entwickelt 1990 ein Modell zur integrierten Planung der Auftragsabwicklung und weist in der Anwendung bei mehreren Unternehmen der Investitionsgüterindustrie Durchlaufzeitreduktionen, Lieferzeitverkürzungen, eine harmonisierte Kapazitätsauslastung in Fertigung und Montage sowie eine Verringerung des Steuerungsaufwandes nach (Groß 1990). Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Konfiguration von Aufträgen, der auftragsunabhängigen Produktionsprogrammplanung und der automatischen Erstellung von Plan- und Daten auf Basis eines durchgängigen IT-Werkzeugs und Datenmodells.

GROß fokussiert auf die Sicherstellung von Effizienz durch die durchgängige Nutzung von Konfigurationsdaten. Es werden dabei überwiegend alle Wertaktivitäten der Auftragsabwicklung von der Auftragskonfiguration bis zur Planung der Montage berücksichtigt. Lediglich die Steuerung und das Monitoring der Aufträge liegen nicht im Betrachtungsbereich. Offen bleibt allerdings eine detaillierte Auseinandersetzung mit begrenzten Kapazitäten entlang der Auftragsabwicklung sowie dem Umgang mit auftretenden Turbulenzen und vorkommender Unschärfe.

3.2.1.2 Horizontale Abstimmung dezentraler Leitstandssysteme nach KATH

KATH erarbeitet 1994 einen Ansatz zur Abstimmung dezentraler Leitstände, der ergänzend zu vertikalen Informationsflüssen zwischen zentraler PPS und Fertigungsbereichen auch horizontale, wechselseitig synchronisierende Kommunikationswege aufweist (Kath 1994). Kernelement ist dabei die prädiktive Kooperation, die es erlaubt, Interessen benachbarter Bereiche frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und durch einen vergrößerten dezentralen Handlungsspielraum auch dispositiv zu berücksichtigen. Die starke dezentrale Ausrichtung des Ansatzes gewährleistet dabei eine schnelle Reaktion auf auftretende Störungen. Zur operativen Anwendung wird das Leitstandssystem DIPCOS (Distributed Production Control System) entwickelt.

Engpassbetrachtungen führt KATH bezüglich Material und Maschinen in der Produktion, nicht hinsichtlich des zur Verfügung stehenden Personals oder sonstigen Werkzeugen und Vorrichtungen durch. Eine Berücksichtigung produktionsvorgelagerter Bereiche erfolgt lediglich in Form einer Bereitstellung von Informationen, die die Prognose von kurz- bis mittelfristigen Bestandsentwicklungen verbessert. Dennoch liefert der Ansatz nach KATH wertvolle Prinzipien zur dezentralen horizontalen Koordination.

3.2.1.3 Planung und Steuerung dezentraler Produktionsstrukturen im Kontext der Fraktalen Fabrik

Im Kontext der Fraktalen Fabrik nach WARNECKE (Warnecke 1992) entstanden mehrere Ansätze zur Planung und Steuerung dezentraler Produktionsstrukturen. Auf die für diese Arbeit wesentlichen wird im Folgenden eingegangen.

Im Jahr 1999 arbeitet BISCHOFF ein heuristisches Verfahren zur zielorientierten Auftrags-einplanung für teilautonome Leistungseinheiten²⁹ aus (Bischoff 1999). Es handelt sich dabei um ein Verfahren, das auf Basis von definierten und priorisierten Zielen die Auftragseinplanung der aus der Grobplanung zur Verfügung stehenden Fertigungsaufträge vornimmt. Die Belegung der Arbeitsplätze erfolgt mit Hilfe auftragsbezogener Zielerreichungsbeiträge, die

²⁹ Teilautonome Leistungseinheiten werden auch als selbststeuernde bzw. selbstorganisierte Leistungseinheiten bezeichnet, die Entscheidungen der Planung, Durchführung und Kontrolle innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen selbstständig treffen können. Sie entsprechen damit den in Kapitel 2.3.4.5 erläuterten dezentralen Bereichen bzw. Fraktalen. Der Begriff der Leistungseinheit wird im Stuttgarter Unternehmensmodell ausführlich erläutert (Westkämper 2006, S. 52–53).

von der übergeordneten Zielstellung abhängen und durch spezifische Ziele der teilautonomen Leistungseinheit beeinflusst werden. Kennzahlen messen die Planungsgüte und die tatsächliche Zielerreichung. Dies erlaubt, die Parameter der Methode anzupassen und kontinuierlich zu optimieren.

ULLMANN entwickelt 2001 eine Methode zur zielorientierten Steuerung von dezentralen Fertigungsinseln, die in ähnlicher Weise übergeordnete Ziele heranzieht und als Steuerungsmechanismus in Fertigungsinseln verwendet wird (Ullmann 2001). Die Methode beinhaltet die Festlegung von Produktionszielen, die Definition der Auftragspriorität sowie die Analyse der Fertigungsergebnisse.

Die Ansätze konzentrieren sich auf die detaillierte Termin- und Kapazitätsplanung und setzen eine funktionierende Grobplanung voraus. Auch komplexe Material- und Auftragsflüsse können mit Hilfe der Verfahren abgedeckt werden. Planungsgrundlagen in Form von übergeordneten und spezifischen Zielen sowie Fertigungsauftragsdaten sind Voraussetzung für die Verfahren. Unschärfe in diesen Planungsgrundlagen wird nur teilweise betrachtet. Auftretende Turbulenzen sind über eine Neuberechnung der Auftragseinplanung abgedeckt. Hervorzuheben für die Zielerreichung der vorliegenden Arbeit sind die Berücksichtigung konkurrierender logistischer Zielstellungen und die Rückführung der gewonnenen Erfahrungen über einen Regelkreis zur Anpassung der Verfahrensparameter.

3.2.1.4 Make-to-order Assembly Management nach KOLISCH

KOLISCH präsentiert einen Produktionsplanungsansatz mit drei Planungsebenen in der Einzel- und Kleinserienfertigung von großvolumigen Aufträgen mit Montagecharakter (Drexl et al. 2000; Kolisch 2001). Die oberste Ebene zerlegt die vorhandenen Aufträge in Auftragsabschnitte und maximiert unter Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten die Summe der Deckungsbeiträge. Die Auftragsabschnitte beinhalten alle für den Auftrag durchzuführenden Tätigkeiten inklusive deren Kapazitätsbedarf. Die zweite Ebene umfasst eine Planung des Montageablaufs sowie eine Losgrößenplanung für durch die Fertigung hergestellte Teile. Zielsetzung hierbei ist eine Minimierung der Lager- und Rüstkosten. Während der Kapazitätsbedarf für die Montagetätigkeiten dabei als stabil angesehen wird, wird die Kapazitätsflexibilität der Montageressourcen im Modell abgebildet. In der dritten Ebene wird auf Basis

der in der übergelagerten Ebene ermittelten Ecktermine eine Montagefeinplanung unter Berücksichtigung montagespezifischer Restriktionen wie Ressourcen und Flächen vorgenommen. Zielsetzung ist die Minimierung der Summe der gewichteten Eckterminüberschreitungen.

KOLISCH bricht die im Betrachtungsbereich bestehenden Herausforderungen auf mehrere Planungsebenen herunter und realisiert eine hierarchische Planung gegen begrenzte Kapazitäten entlang der gesamten Auftragsabwicklung. Allerdings erfolgt diese Betrachtung für die produktionsvorgelagerten Bereiche nur in grober Form auf der obersten Planungsebene. Unschärfe in den Plandaten wird über Mindest- und Höchstabstände zwischen den Auftragsabschnitten sowie zeitvariante Kapazitätsbedarfe und -angebote abgedeckt. Auftretende Turbulenzen fließen auf den jeweiligen Planungsebenen durch eine entsprechende Berücksichtigung in den Plandaten ein. Dem Optimierungsansatz mangelt es allerdings an Möglichkeiten zur dezentralen Reaktion auf auftretende Turbulenzen. Es kann zwar ein nach mehreren Kriterien optimaler Plan erzeugt werden, die Schaffung der dafür notwendigen Planungsvoraussetzungen sowie die bei auftretenden Turbulenzen auszulösenden Neuberechnungen lassen allerdings auf eine geringe Effizienz in der Planerstellung schließen.

3.2.1.5 Kundenorientierte Auftragsabwicklung nach HELLMICH

HELLMICH entwickelt eine Vorgehensweise zur prozessorientierten Planung und Steuerung der Auftragsabwicklung (Hellmich 2003). Er richtet dabei alle Aktivitäten der Auftragsabwicklung systematisch auf die angestrebten Marktziele aus. Auf Basis eines durchgängigen Prozessmodells (Erzeugnisprozessplan) werden dynamische Engpasssituationen identifiziert und Reaktionsmaßnahmen zur Belastungs- und Kapazitätsanpassung aufgezeigt. Grundsätze sind dabei eine rückstandsfreie Produktion und ein hohes Maß an Selbstorganisation. Zur Sicherstellung des erfolgreichen Betriebs der kundenorientierten Auftragsabwicklung geht HELLMICH ausführlich auf die aufbauorganisatorischen Implikationen ein.

Der Ansatz von HELLMICH erfüllt die Anforderungen zur Berücksichtigung der begrenzten Kapazitäten aller für die Auftragsabwicklung relevanter Bereiche. Der Erzeugnisprozessplan bezieht grundsätzlich komplexe Auftrags- und Materialflüsse ein, allerdings werden auch Anforderungen an prozessorientierte und organisatorische Rahmenbedingungen gestellt.

Unschärfe in den Planungsgrundlagen wird über Zuschlagszeiten abgedeckt. Die Ausführungen hierzu sind allerdings sehr grob gehalten. Es fehlen differenzierte Vorschläge zur Anwendung und Verteilung von Puffern. Eine detaillierte Ressourcensicht sowie die Auseinandersetzung mit den Fragestellungen der Planungsrelevanz und der geeigneten Abbildung von Ressourcen entlang der Auftragsabwicklungskette sind im Ansatz nicht enthalten. Durch die starke Dominanz der Auftragsicht und die fehlende Sicht auf die geeignete Abbildung der Ressourcen bleiben Unklarheiten bezüglich der Effizienz des Ansatzes bestehen. HELLMICH liefert insgesamt allerdings einen umfassenden Ansatz, der dessen organisatorische Einbettung sehr detailliert beschreibt.

3.2.1.6 Planung und Steuerung des Werkzeug- und Formenbaus nach TRACHT

TRACHT erweitert das bis dahin gängige Produktmodell im Werkzeug- und Formenbau um logistische Planungsdaten und ermöglicht so eine durchgängige Planung des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses ohne die Kenntnis der Detailstruktur des Produkts (Tracht 2001). Eine Trennung in eine fertigungsorientierte Sicht, die der Stücklistenstruktur eines Artikels entspricht, und eine durchlauforientierte Sicht, bestehend aus Durchlaufgruppen und Durchlaufeinheiten, gewährleistet die aufwandsarme Termin- und Kapazitätsplanung direkt nach Auftragseingang. TRACHT geht neben dem Aufbau des Produktmodells auch auf den Planungs- und Steuerungsablauf sowie die Organisation ein.

Kern der Arbeit von TRACHT ist die Erweiterung des Produktmodells. Die Ausführungen zur Planung und Steuerung sowie der organisatorischen Einbettung bleiben oberflächlich in Form einer hauptsächlich singulären Auftragsicht. Eine Betrachtung aus Ressourcensicht zu einem effizienten Umgang mit mehreren Aufträgen in dynamischen Engpasssituationen bleibt aus. Ebenso fehlen Herangehensweisen zur Ermittlung von Planungsgrundlagen wie Auftrags- oder Durchlaufzeiten im unsicheren Umfeld. Aus der Logik der Vergrößerung auf Durchlaufgruppen lassen sich allerdings wertvolle Erkenntnisse ableiten.

3.2.1.7 Auftragsmanagement von komplexen Produkten nach LOHSE

LOHSE arbeitet ein Gesamtkonzept zum Auftragsmanagement von komplexen Produkten in agilen Unternehmensstrukturen auf Basis von Dezentralisierungsprinzipien aus (Lohse 2002). Er liefert Gestaltungsansätze zum Aufbau wandlungsfähiger, lernender Organisationseinheiten, deren dezentraler Koordination, Hinweise zur logistik- und montagegerechten Gestaltung von Erzeugnissen sowie Aufgabenbeschreibungen der zentralen Kompetenz- und Servicezentren und internen Leistungseinheiten. Der Informationsfluss wird über dezentrale Planungs- und Steuerungssysteme auf den jeweiligen Auftragsabwicklungsebenen³⁰, die über Schnittstellen kommunizieren, realisiert. Im Rahmen der Auftragsplanung dienen Auftragsgerüste der übergreifenden Grobplanung. Daraus abgeleitete Arbeitspakete dienen als Führungsinstrumente für die einzelnen Planungsbereiche und als Grundlage für die Planung innerhalb des Bereichs.

LOHSE liefert ein integriertes Ablaufschema für das Auftragsmanagement komplexer Produkte, das alle relevanten Bereiche der Auftragsabwicklung abdeckt und grundsätzlich auch eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten realisieren kann. Die Beschreibungen bleiben allerdings auf grober Ebene. Es fehlen beispielsweise Regeln zur Dimensionierung der planungsrelevanten Organisationseinheiten und Planungsobjekte. Auch die Funktionen der Rückmeldung und Fortschrittskontrolle sind oberflächlich gehalten. Die aus der Planung resultierenden Arbeitspakete sind in einer Kunden-Lieferanten-Beziehungen zwar definiert, unklar bleiben hingegen Steuerungsmechanismen beim Auftreten von Turbulenzen sowie der für die Planerstellung und Planänderung entstehende Aufwand.

3.2.1.8 Multi-kriterielle Feinplanung in teilautonomen Produktionsbereichen nach KLINKEL

Ergebnis der Arbeit von KLINKEL ist eine Methodik zur optimierten Reihenfolgebildung in der Feinplanung teilautonomer Produktionseinheiten (Klinkel 2004). Durch die Methodik werden die Funktionen der Reihenfolgeplanung sowie der Werkstattauftragsfreigabe und -steuerung unterstützt. Erforderliche Grundlagen sind ein vorhandener Auftragsvorrat des teilautonomen Produktionsbereichs, die Priorisierung bereichsspezifischer Ziele sowie

³⁰ Diese entsprechen den in Kapitel 2.3.4.3 beschriebenen Entscheidungsebenen.

die Definition von Bewertungskriterien für die Planungsgüte. Auf dieser Basis nimmt die Methodik eine Reihenfolgebildung der im Vorrat befindlichen Aufträge vor. Die erzeugte Auftragsreihenfolge wird mit Hilfe eines multi-kriteriellen Kennzahlensystems - bestehend aus Ressourcen-, Auftrags- und Zeitfensterkriterien - bewertet. Es besteht mit der Bewertungssystematik die Möglichkeit, Planungsalternativen manuell zu erzeugen und zu bewerten. KLINKEL beschreibt darüber hinaus Handlungsmöglichkeiten bei auftretenden Störungen.

Fokus der Methodik ist die Reihenfolgebildung in teilautonomen Produktionsbereichen. Die Methodik bezieht sich dabei auf einen dominierenden Prozessschritt innerhalb des Produktionsbereichs. Es werden weder komplexe Auftrags- und Materialflüsse betrachtet noch Kapazitätsgrenzen im Detail berücksichtigt. Der Umgang mit Störungen ist Bestandteil der Methodik. Unschärfe in den Planungsgrundlagen ist durch die übergeordnete Grobplanungsebene bereits behoben. Es werden zwar zahlreiche Kriterien zur Erzeugung einer optimierten Reihenfolge herangezogen, entscheidende Restriktionen wie die Eignung von Ressourcen aber nicht berücksichtigt. Deshalb kann eine „manuelle Umplanung und vergleichende Bewertung hilfreich sein“ (Klinkel 2004, S. 78).

3.2.1.9 Verfahren zur durchgehenden dezentralen Planung in Werkstattstrukturen nach PRIESE

PRIESE entwickelt 2007 einen in die Produktionsplanung und die Feinplanung unterteilten Planungsansatz in Werkstattstrukturen (Priese 2007). Die Produktionsplanung erzeugt terminlich und kapazitiv machbare Produktionspläne, auf deren Basis die Feinplanung Belegungspläne erzeugt und auf Störungen reagiert. Planungsgrundlage des Kapazitätsbedarfs stellen feature-basierte Arbeitspläne dar, die Informationen über die Gestalt, das Material, die Toleranzen sowie die Produktionsprozesse des Artikels enthalten. Das Kapazitätsangebot wird über fiktive Kapazitätstöpfe abgebildet, die die Fähigkeiten von Ressourcen widerspiegeln. Die Kapazitätstöpfe sind in der Regel mehrstufig aufgebaut, da bei Mehrfachqualifikation einer Ressource und einstufigem Fähigkeitsmodell ansonsten eine kapazitive Überplanung der Ressource möglich ist. Zur Feinplanung entwickelt PRIESE ein Multiagentensystem, das auf Basis der vorliegenden Aufträge und Datengrundlagen eine Belegungs(um)planung und -optimierung durchführt.

Der Planungsansatz nach PRIESE konzentriert sich auf die Produktion in Werkstattstrukturen, bei der eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten gelingt. Allerdings ist ein hohes Maß an Planungsvoraussetzungen zu erfüllen. Zum einen ist das Fähigkeitstopfmodell in der Regel mehrstufig aufgebaut, da die Fähigkeitstöpfe der 1. Stufe nicht disjunkt sind. Zum anderen werden komplexe Auftrags- und Materialflüsse über feature-basierte Arbeitspläne abgebildet, die als Ersatz oder Ergänzung zu den klassischen Arbeitsplänen erarbeitet werden müssen. Die Effizienz der Planerstellung und die Praxistauglichkeit des Planungsansatzes bleiben daher fraglich.

3.2.2 Relevante Ansätze aus dem Prozessmanagement

3.2.2.1 Stage-Gate-Prozess™ nach COOPER und KLEINSCHMIDT

Auf Grundlage einer Untersuchung von 252 Entwicklungsprojekten in 123 Unternehmen entwickelten COOPER und KLEINSCHMIDT für den Innovationsprozess in Unternehmen den Stage-Gate-Prozess™ (Cooper et al. 1991). Der Innovationsprozess wird dabei in typischerweise drei bis sieben Phasen (Stages) unterteilt, denen jeweils Aktivitäten zugewiesen sind. Die Phasen sind durch Entscheidungspunkte (Gates) voneinander getrennt. Die Gates umfassen zu erreichende Ziele, eine rückblickende Bewertung der abgelaufenen Phase sowie Projektpriorisierungen und Go/Kill-Entscheidungen. Seit der dritten Generation erlaubt der Stage-Gate-Prozess™ eine Anpassung der Systematik an unterschiedliche Projekttypen, situationsabhängige Entscheidungen und unter Auflagen auch überlappende Phasen an den Gates (Cooper 1994).

COOPER und KLEINSCHMIDT betrachten lediglich Innovationsprozesse in Unternehmen. Dominierend ist die Auftragssicht eines Projektes. Die Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten erfolgt analog zum Multiprojektmanagement. Die in den Phasen zusammenarbeitenden interdisziplinären Teams verringern die Bearbeitungszeit auftretender Turbulenzen. Unschärfe in den Plandaten sowie die Planung und Bearbeitung zwischen den Gates werden durch Projektmanagement-Werkzeuge gelöst. Fokus des Ansatzes ist die Sicherstellung der Effizienz im Innovationsprozess, wobei die Aufgaben für die Planerstellung untergeordnet betrachtet werden.

3.2.2.2 Quick Response Manufacturing nach SURI

Quick Response Manufacturing (QRM) ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Durchlaufzeitreduktion der Prozesse von Anbietern kundenspezifischer Produkte (Suri 1998; Suri 2010). QRM bedient sich dabei bewährter Prinzipien und Methoden aus dem Lean Management. Der Betrachtungsgegenstand von QRM erstreckt sich auf alle am Leistungsprozess beteiligten Organisationseinheiten. Wichtiges Element des Ansatzes ist die Anpassung der Ziele und Organisation auf die Anforderungen einer hohen Produktvielfalt bei kleinen Stückzahlen: ähnliche Teilprozesse werden zu Segmenten (QRM-Zellen) zusammengeführt und die Aufbauorganisation entlang dieser Segmente möglichst so ausgerichtet, dass produktbezogen homogene Prozessketten entstehen. Wesentlich ist die Selbstorganisation der Segmente und die Schaffung einer entsprechenden Kapazitätsflexibilität, um schnell auf Kundenanforderungen reagieren zu können. Der kritische Pfad im Leistungsprozess wird permanent visualisiert und überwacht. Die Steuerung von Aufträgen erfolgt mit Hilfe der POLCA³¹-Steuerung (Suri 1998, S. 223ff.). Dabei autorisieren eine Auftragsfreigabe nach Termin und Karten zwischen jeweils zwei QRM-Zellen die Bearbeitung von Aufträgen, was zu einer dezentralen Bestandsregelung führt (Lödding 2008, S. 415).

QRM adressiert alle Bereiche der Auftragsabwicklung durch die Anwendung der QRM-Prinzipien. Eine explizite übergeordnete Kapazitätsplanung aller Tätigkeiten stellt nicht den Hauptfokus des Ansatzes dar. Die Planung kann auf grober Ebene mit Hilfe des MRPII-Ansatzes durchgeführt werden, der Vorgaben für die POLCA-Steuerung der QRM-Zellen macht. Bei einer unkoordinierten Auftragserzeugung und komplexen Auftrags- bzw. Materialflüssen erzielt eine Freigabe der Aufträge mit Berücksichtigung ressourcenspezifischer Kapazitäten bei vergleichbarem Bestand eine höhere Leistung. Zudem können blockierte Auftragsbestände entstehen (Lödding 2008, S. 412ff.), was zu einem Effizienzverlust führt. Turbulenzen werden größtenteils über die QRM-Zellen und deren Kapazitätsflexibilität aufgefangen. Auswirkungen in der Planung vorhandener Unschärfe werden dezentral gelöst und in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess verringert. QRM erfordert daher ein hohes Maß an organisatorischer Umgestaltung zur Vermeidung funktionaler Organisationsstrukturen.

³¹ Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization

3.2.2.3 Bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit in der kundenspezifischen Produktentwicklung nach WITTENSTEIN

WITTENSTEIN betrachtet in ihrer Arbeit die bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit³² in der kundenspezifischen Anpassungs- und Variantenentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau (Wittenstein 2007). Basis der bedarfssynchronen Leistungsverfügbarkeit stellen hierarchisch angeordnete Leistungseinheiten²⁹ dar, die über prozess- und kapazitätsorientierte Prinzipien gekoppelt sind. Die Kapazitäten zweier Leistungseinheiten werden über ein Kapazitäts-Pull-Verfahren abgestimmt, das basierend auf Prinzipien der *Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung* (Lödding 2008, S. 423ff.) und der POLCA-Steuerung entwickelt wird (Lödding 2008, S. 407ff.). Um Turbulenzen abzufangen wird das Konzept der adaptiven Fokussierung ausgearbeitet. Hierdurch können in Engpasssituationen Entlastungseffekte durch eine Umverteilung der zu erledigenden Arbeit erreicht werden. Die Definition virtueller Leistungseinheiten und die Strukturierung der Aufgaben unterstützen dabei, interne und externe Kapazitätsflexibilität effektiv zu nutzen. Drittes Kernelement der Arbeit stellt die Sicherstellung der Verfügbarkeit kritischer Prozessschritte bzw. Leistungseinheiten mit Hilfe von Risikobetrachtungen und der Ableitung geeigneter Maßnahmen dar.

WITTENSTEIN berücksichtigt die begrenzten Kapazitäten des Betrachtungsbereichs ihrer Arbeit auf der Steuerungsebene. Eine übergeordnete Planung wird vorausgesetzt. Es werden komplexe Auftragsflüsse mit dynamischen Engpasssituationen betrachtet und präventive Maßnahmen zur Sicherung der Verfügbarkeit bereitgestellt. Unschärfe in den Planungsgrundlagen wird nicht diskutiert. Auf der Steuerungsebene sind zwar Vorarbeiten wie z. B. die Definition von virtuellen Leistungseinheiten zu leisten, mit diesen Voraussetzungen ist mit Hilfe des Verfahrens allerdings eine effiziente Steuerung möglich.

³² Leistungsverfügbarkeit wird dabei als ein Zustand definiert, in dem ein Prozess anforderungsgemäß durchgeführt und das geforderte Ergebnis termingereicht fertiggestellt werden kann (Wittenstein 2007, S. 34).

3.2.2.4 Methodik zur Prozesssynchronisierung in der Auftragsabwicklung des industriellen Werkzeugbaus nach RITTSTIEG

RITTSTIEG entwickelt eine Methode zur Synchronisierung von Prozessen in der Auftragsabwicklung des industriellen Werkzeugbaus (Rittstieg 2012). Abhängig von einer Prozess-typisierung werden die direkten Wertschöpfungsprozesse der Auftragsabwicklung modelliert. Dies dient als Grundlage, um verschiedene Alternativen der Synchronisierung abzuleiten und synchrone Prozesse zu gestalten. Wesentliche Elemente sind dabei die Kapselung von Inhalten einzelner Prozessschritte und die Standardisierung der Prozess-schnittstellen. Hinsichtlich der zeitlichen Abstimmung der Prozessschritte wird eine grobe Übersicht über zur Verfügung stehende Möglichkeiten gegeben.

Im Rahmen der Arbeit von RITTSTIEG werden zwar grundsätzlich alle relevanten Wertaktivitäten der Auftragsabwicklung mit dem Ziel der Effizienzerhöhung betrachtet, eine detaillierte Beschreibung der Planung gegen begrenzte Kapazitäten ist allerdings nicht Gegenstand der Arbeit. Die im Werkzeugbau üblichen komplexen Auftrags- und Materialflüsse werden intensiv beleuchtet. Die Methodik von RITTSTIEG setzt die Schaffung der für die Synchronisierung notwendigen Rahmenbedingungen voraus, weshalb Unschärfe und Turbulenzen keinen Eingang in die Arbeit finden. Die Arbeit gibt jedoch wertvolle Impulse für die Definition von abgegrenzten Arbeitspaketen und die Gestaltung von Schnittstellen.

3.2.3 Relevante Ansätze aus dem Multiprojektmanagement

3.2.3.1 Methoden und Verfahren des Multiprojektmanagements (MPM)

Viele Autoren sehen das Multiprojektmanagement als ganzheitliche Unternehmensaufgabe von der strategischen bis in die operative Ebene an (vgl. bspw. Nobeoka et al. 1994, Balzer 1998b, Lomnitz 2001, Hiller 2002, Hirzel et al. 2002, Patzak et al. 2004, Glaschak 2006, Hab et al. 2006). Auf der strategischen Ebene erfolgt in der Regel eine Multiprojekt-Ressourcenbetrachtung zur Auswahl und Priorisierung der Projekte. Die operative Planung und Steuerung zahlreicher paralleler Projekte wird in analoger Form zum Einzel-Projektmanagement (vgl. bspw. Platz et al. 1986, Holzer 2000, Burghardt 2002, Stein 2009) abgedeckt, wobei der Regelkreischarakter des Multiprojektmanagements betont wird.

In diesem Kontext sind zahlreiche wertvolle Konzepte, Methoden und Werkzeuge vorhanden, die für den Betrachtungsbereich der Arbeit genutzt werden können (vgl. Abschnitt 3.1.3). Die Ansätze beziehen sich allerdings nicht auf die durchgängige Planung und Steuerung inklusive produzierender Bereiche. Eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten wird zwar auf allen Ebenen des Multiprojektmanagements diskutiert, durch die vorherrschende Auftragssicht und den erforderlichen Detaillierungsgrad kann gerade für die Produktionsbereiche allerdings keine effiziente kapazitätsgeprüfte Planung und Steuerung durch Multiprojektmanagementansätze realisiert werden.

3.2.3.2 Scrum³³

In der Softwareentwicklung entstanden aufgrund der zunehmenden dynamischen Anforderungen und der Notwendigkeit schlanker und flexibler Vorgehensweisen *agile Konzepte*, die auf das *Agile Manifest* (Beck et al. 2001) zurückgehen. Im Folgenden soll Scrum, das ursprünglich aus der agilen Softwareentwicklung stammt, nicht aber auf diese begrenzt ist, als Methode vorgestellt werden.

Scrum lässt sich als iterativer, inkrementeller Prozessrahmen aus drei Kreisen beschreiben, der sich während der gesamten Projektphase wiederholt (Schwaber 2007). Der erste Kreis stellt eine Iteration von Aktivitäten in der Entwicklung dar. Jede Iteration liefert einen Zuwachs des Produkts bzw. der Funktionalität. Ein zweiter Kreis repräsentiert tägliche Inspektionen der Teammitglieder, um einen gegenseitigen Austausch zu realisieren und entsprechende Anpassungen vorzunehmen (Daily-Scrum). Das gesamte Projekt wird in sogenannten Sprints von in der Regel 30 Kalendertagen abgewickelt. Zu Beginn jedes Sprints legen die Beteiligten fest, welche Aktivitäten im anstehenden Sprint durchgeführt werden. Hierbei erfolgt auch eine Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten. Der Austausch während des Sprints wird über die Daily-Scrums sichergestellt. Das Sprint-Review-Meeting am Ende des Sprints bewertet die erzielten Ergebnisse.

Der Scrum-Ansatz und dessen Erweiterungen durch GLOGER (Gloger 2009) fokussieren auf den Entwicklungsbereich. Eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten erfolgt lediglich

³³ Scrum ist ein englischer Begriff, der aus dem Rugby stammt, und bedeutet übersetzt „Gedränge“.

auf der Steuerungsebene. Auf der Planungsebene wird vorherrschende Unschärfe ausgeblendet und über die Steuerungsebene aufgefangen. In Multiprojektsituationen, in denen die Beteiligten in mehreren Projekten eingebunden sind, ist eine übergreifende Kapazitätsplanung mit einem über den Sprint hinausgehenden Horizont kaum zu ermöglichen. Das hohe Maß an Selbstorganisation und Selbststeuerung, die Einfachheit des Verfahrens und Daily-Scrums ermöglichen eine aufwandsarme Abstimmung und eine effiziente Reaktion auf Unvorhergesehenes.

3.2.4 Taktorientierte Ansätze

Im Folgenden werden Ansätze betrachtet, die das aus dem Lean Management stammende Taktprinzip auf komplexe Rahmenbedingungen mit einer hohen Variantenvielfalt, schwankenden Bedarfen und komplexen Auftrags- und Materialflüssen übertragen.

3.2.4.1 Flexible, zeitfenstergesteuerte Auftragseinplanung in segmentierten Fertigungsstrukturen nach BARRHO

BARRHO erarbeitet 2001 eine Methodik zur zeitfenstergesteuerten Auftragseinplanung in segmentierten Fertigungsstrukturen (Barrho 2001). Die Kernfrage dabei besteht in der geeigneten Dimensionierung der Zeitfenster, so dass dezentrale Optimierungsmöglichkeiten bestehen, aber gleichzeitig auch übergeordnete Unternehmensziele erreicht werden. BARRHO integriert die Zeitfensterbildung in ein Lenkungssystem, das die Organisationsstruktur und Informationsflüsse definiert. Die Methodik sieht vor, Aufträge in Abhängigkeit von wirtschaftlichkeitsorientierten Prioritätsklassen in Zeitfenster dezentraler Fertigungseinheiten einzuordnen. Für jede Fertigungseinheit wird ein Zielsystem aus übergeordneten und für die jeweilige Einheit spezifischen Zielen definiert. Zentrale Bewertungsgröße ist der Zeitfensternutzwert, der sich aus der Summe der gewichteten Zielerreichungsgrade errechnet. In einem Sukzessivplanungsverfahren werden, beginnend mit Aufträgen der höchsten Prioritätsklasse, Aufträge einem Zeitfenster hinzugefügt, die den höchsten Nutzenzuwachs erwarten lassen. Wenn die Kapazität eines Zeitfensters ausgeschöpft ist, wird das Zeitfenster um eine Planperiode erweitert. Das Verfahren bricht bei definierten Kriterien wie bspw. einer Verschlechterung des Zeitfensternutzwertes ab.

Die Methodik ist konzentriert auf die Betrachtung von Produktionsressourcen und deren begrenzte Kapazitäten. Es erfolgt zwar eine Einbettung in ein Lenkungssystem, der Umgang mit Unsicherheiten wird aber nicht im Detail definiert. Ausführungen hinsichtlich Planungsrelevanz und dem geeigneten Detaillierungsgrad sind nicht Bestandteile der Arbeit. Durch das Verfahren ist zwar die Effizienz des errechneten Plans garantiert, in komplexen Strukturen wird aber ein hoher Aufwand zur Planerstellung und Umplanung verursacht. Die Ansätze zur Berücksichtigung konkurrierender Ziele und zur Planung gegen begrenzte Kapazitäten mit Hilfe von Zeitfenstern sind hilfreich für die vorliegende Arbeit.

3.2.4.2 PIT - Produzieren im Takt®

Das Konzept *Produzieren im Takt®* (PIT) wurde im Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung von FÄRBER und LÖLLMANN entworfen und als LF Consult GmbH weiterentwickelt (Färber et al. 2002; Bornhäuser 2007; Baecke-Heger 2008). PIT® ist auf Unternehmen der Einzel- und Auftragsfertigung mit einer großen Variantenvielfalt, schwankenden Arbeitsinhalten und komplexen Materialflüssen ausgerichtet. Zielsetzung von PIT® ist die Bereitstellung einer einfachen und transparenten Möglichkeit der PPS, die trotz vorliegender komplexer Strukturen mit Hilfe einer Trennung zwischen Grob- und Feinplanung eine Erfüllung der logistischen Ziele sicherstellt. Die Grobplanung nimmt eine Terminierung in festen Zeitrastern, sogenannten Plantöpfen, unter Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitäten vor. Ein wesentliches Kernelement ist die Bildung geeigneter Plantöpfe durch sinnvolle Aggregation der Ressourcen für die Grobplanung. Aus Ressourcensicht ermittelt die Terminierung mit Hilfe der Arbeitsschritte der Aufträge die Belegung der Plantöpfe. Für jeden Plantopf entsteht somit ein hinsichtlich Kapazität geprüfter Arbeitsvorrat. Der sukzessive Ablauf der Plantopfintervalle mit ressourcenspezifisch fixen Dauern führt zum Begriff *Takt*. Innerhalb des Takts erfolgt die Detailplanung des für den Takt zugeordneten Arbeitsvorrats dezentral durch die Mitarbeiter. BORNHÄUSER nutzt das PIT®-Konzept und erarbeitet eine umfassende Lösung zur reifegradbasierten Werkstattsteuerung (Bornhäuser et al. 2005; Bornhäuser 2009; Schatz et al. 2009). Er entwickelt ein Werkstattsteuerungsverfahren, in dem ein gleichmäßiger Auftragsfluss durch die reifegradorientierte Ausgestaltung der Funktionen Auftragserzeugung, Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung auch in funktionsorientierten Strukturen erreicht werden kann.

Das Konzept PIT[®] stellt einen Ansatz dar, mit dem auch bei komplexen Auftrags- und Materialflüssen eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten realisiert werden kann. Durch die Trennung in eine aggregierte Grobplanung und eine dezentrale Feinplanung können einerseits Turbulenzen aufgefangen werden, andererseits gewährleistet dies auch ein hohes Maß an Effizienz in der Planerstellung und -ausführung. Eine konsequente Anwendung auf andere Unternehmensbereiche besteht derzeit lediglich in geringem Umfang auf die Produktentwicklung bezogen (Mühlbauer et al. 2014; Rehder et al. 2014). Eine durchgängige Betrachtung der gesamten Auftragsabwicklung sowie der dafür notwendige Umgang mit unscharfen Daten existiert bisher nicht.

3.2.4.3 Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen nach ANSORGE

ANSORGE entwickelt 2007 ein auf dem Multi-Agenten-Modell basierendes Konzept zur wandlungsfähigen Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen (Ansorge 2008). Die PPS zu steuernder Produktionsbereiche erfolgt durch einen Koordinator mit dem Ziel, die Produktion gesamtheitlich zu optimieren. Die Abstimmung unterschiedlicher Bereiche wird mit Hilfe von Planungsfreiräumen umgesetzt. Die Planungsfreiräume werden auftragsspezifisch unter Berücksichtigung der Fähigkeiten der Produktionsbereiche, Auftragspezifika und logistischen Zielen definiert. Ein Verhandlungsmechanismus mit den Elementen *Ausschreibung*, *Angebot*, *Zuschlag* und *Ablehnung* realisiert die Abstimmung zwischen dem Koordinator und den Produktionsbereichen.

Grundsätzlich ist die Anwendung des Ansatzes auf die gesamte Auftragsabwicklung möglich. Eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten wird allerdings nur für Produktionsbereiche durchgeführt. Es handelt sich um ein Modell, das beliebige weitere Agenten integrieren und komplexe Auftrags- und Materialflüsse abdecken kann. Unsicherheiten werden durch den Verhandlungsmechanismus abgedeckt, allerdings bleibt die Beschreibung hierzu grob. Die auftragsspezifische Festlegung der Planungsfreiräume für die Bereiche und die durchzuführenden Verhandlungen lassen bei einer großen Auftragsmenge auf einen hohen Aufwand schließen. ANSORGE liefert wesentliche Kriterien zur Definition von Planungsfreiräumen und der Koordination unterschiedlicher Bereiche, die Ergebnisse sind jedoch an für die Zielstellung dieser Arbeit wesentlichen Stellen nicht ausreichend.

3.2.4.4 Schlanke Unikatfertigung nach GRUß

GRUß stellt 2010 ein zweistufiges Taktphasenmodell für die Unikatfertigung vor (Gruß 2010), um eine kontinuierlich getaktete Fertigungslinie zu gestalten. Hierzu wird zunächst eine Standardisierung der Produkte durch Baukästen mit Standardkomponenten sowie eine Produktionssegmentierung vorgeschlagen. Ergänzend dienen *Prozess Performance Center* dazu, geometrisch nicht standardisierbare Komponenten planerisch zu vereinfachen. Um Vertauschungen in der Bearbeitungsreihenfolge zu vermeiden, werden Bedingungen an den Ablauf gestellt. Grundlage der Planung und Steuerung ist die Unterteilung des klassischen Takts in einen Makro- und einen Mikrotakt, wobei unter Umständen eine unterschiedliche Anzahl von Mikrotakten den Makrotakt bildet. Ungefähr sechs bis acht Makrotakte definieren die übergeordnete Ablaufstruktur des Auftrags. Die Länge der Makrotakte wird auftragsspezifisch definiert und richtet sich nach der längsten Bearbeitungszeit eines einzelnen, nicht mehr sinnvoll unterteilbaren Prozessschritts innerhalb der *Prozess Performance Center*, wobei auch die Zusammenfassung mehrerer *Prozess Performance Center* zu einem Makrotakt möglich ist. Die Dauern der Mikrotakte sind dagegen fix und richten sich nach den Prozesszeiten. GRUß führt eine weitere Unterteilung der Mikrotakte in Taktphasen ein, denen einzelne Tätigkeiten und Kapazitätsbedarfe zugeordnet werden. Die Mikrotakte bilden sich aus einer oder mehrerer Taktphasen, wobei Taktphasen auch parallel ablaufen können.

GRUß realisiert ein Taktungskonzept aus Auftragssicht, das grundsätzlich für die gesamte Auftragsabwicklung anwendbar ist. Fokus der Ausarbeitung ist die Produktion. Ausführungen zur Kapazitätsplanung finden sich im Zuge der Beschreibung der Mikrotakte und Taktphasen. Eine detaillierte Vorgehensweise zur Einplanung der Aufträge unter Kapazitätsgesichtspunkten ist allerdings nicht vorhanden. Es bleibt zudem unklar, ob alle Einzelkomponenten bei einer hohen Materialflusskomplexität wirklich getaktet werden können, da hohe Voraussetzungen an das Verfahren bestehen und zahlreiche Regeln zum Ablauf definiert werden. Die Definition von Takten auf drei Ebenen macht das Verfahren und dessen Ablauf darüber hinaus unübersichtlich. Die erläuterten Vorteile des Taktgedankens wie Transparenz und Effizienzsteigerung werden daher nicht erreicht.

3.2.4.5 Taktung der Unikatfertigung nach ZWANZIG

ZWANZIG entwickelt sein Konzept zur Taktung der Unikatfertigung am Beispiel des Werkzeugbaus (Zwanzig 2010). Das Taktungsmodell weist große Ähnlichkeiten mit dem Modell von GRUß (Gruß 2010) auf. Es ist ebenso zweistufig aufgebaut und zielt auf die Erzeugung eines Fertigungsflusses durch eine Segmentierung in Arbeitsstationen³⁴ sowie eine Standardisierung der Produkte und Prozesse ab. Die von ZWANZIG aus Auftragssicht definierte Grobtaktung besitzt eine konstante Taktzeit, die sich an der maximalen Bearbeitungsdauer am Engpass orientiert. Die Taktzeit wird jeweils für den Hauptmaterialfluss innerhalb eines produktgruppenspezifischen Segments definiert. Die Grobtaktung dient der groben Einplanung der Aufträge und dem Kapazitätsabgleich. Dabei werden Unsicherheiten akzeptiert, die sukzessive verringert und im Rahmen der Feintaktung ausgeglichen werden können. Im Rahmen der Feinplanung werden die einzelnen dem Takt zugeordneten Aufträge detailliert auf die Ressourcenkapazitäten eingeplant.

Grundsätzlich ist das Taktungskonzept nach ZWANZIG auf die gesamte Auftragsabwicklung anwendbar. Er legt einen Initialprozess fest, bei dem mit der Taktung begonnen werden sollte. Eine Einführung in produktionsvorgelagerte Bereiche und damit die Realisierung einer kapazitätsgeprüften PPS ist nicht Bestandteil der Arbeit von ZWANZIG. Die Dimensionierung der Taktzeiten und Definition der Arbeitsstationen erfolgt anhand pragmatischer Festlegungen. Eine differenziertere Dimensionierung von Taktzeiten und Puffern bleibt aus. Es zeigt sich in den dargelegten Fallbeispielen, dass nicht alle Bearbeitungsschritte und Komponenten auf diese Weise getaktet werden können. Gerade bei einer sehr hohen Variantenvielfalt mit hoher Auftrags- und Materialflusskomplexität stößt das Verfahren an Grenzen. Unschärfe wird im Rahmen der Planung zwar berücksichtigt, ein detaillierter Umgang mit auftretenden Turbulenzen und deren Einfluss auf die Taktung wird aber nicht im Detail definiert. Die aus Auftragssicht vorgenommene Grobtaktung strukturiert die Aufträge und vereinfacht die Kapazitätsplanung. Die Vorteile des zweistufigen Taktungsmodells gegenüber dem Stage-Gate-ProzessTM werden nicht erläutert und bleiben daher offen.

³⁴ Die Arbeitsstationen entsprechen in den Grundzügen den von Gruß definierten *Prozess Performance Centern*.

3.2.4.6 Synchronisation von Entwicklungsprozessen durch Taktung nach RAUHUT

RAUHUT überträgt Prinzipien der Taktorientierung aus dem Lean Management auf den Bereich der Produktentwicklung (Rauhut 2011). Dazu entwirft er sowohl ein kybernetisches Lenkungsmodell als auch ein Gestaltungsmodell zur Taktung für Entwicklungsprozesse. Auf Basis einer Modularisierung der Prozessschritte eines Entwicklungsprojektes wird eine Prozess- und Aufgabenplanung in drei Phasen durchgeführt. Der Takt stellt im Modell von RAUHUT eine projektspezifische, konstante Zeitdauer dar, für die er auf qualitative Weise Einflussfaktoren definiert (Taktungskompetenz des Projektteams, Dauer der Projektphase, Multiprojektsituation, Anzahl der Teams je Projektleiter). Die Takt- und Aufgabenplanung richtet sich an der Verhandlungstheorie aus. Dabei erfolgt auch eine Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten auf grober Ebene analog zu den Methoden des Projektmanagements. Im Allgemeinen weist der Ansatz von RAUHUT ein hohes Maß an Ähnlichkeit zur Scrum-Methode auf.

Eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten ist nicht Hauptfokus der Arbeit von RAUHUT und wird lediglich im Rahmen der Taktplanung analog zum Multiprojektmanagement adressiert. Die Taktung erfolgt aus Auftragsicht auf Basis projektspezifischer Taktlängen. Ein höheres Maß an Effizienz in der Planung durch eine ressourcenzentrierte Sicht wird damit nicht erreicht. Das hohe Maß an Selbstorganisation und Selbststeuerung deckt komplexe Auftragsflüsse ab. Die Arbeit enthält eine ausführliche Beschreibung der Rollen im Taktungsprozess auf Basis des kybernetischen Lenkungsmodells. Hierüber ist der Umgang mit Turbulenzen in der Planung und Steuerung abgedeckt. Unschärfe in den Planungsgrundlagen wird lediglich sehr oberflächlich und qualitativ, bspw. im Rahmen der Bestimmung der Taktzeit, behandelt. Dies wäre als Ergänzung wichtig, da der Planungshorizont der Takte größer als bei der Scrum-Methode ist.

3.2.4.7 Gestaltung und Auftragseinplanung einer getakteten Fertigung nach ZISKOVEN

ZISKOVEN entwirft 2013 eine Methodik zur Gestaltung und Auftragseinplanung einer getakteten Fertigung im Werkzeugbau (Ziskoven 2013). Das Taktungskonzept geht von einer Grobplanung mit Meilensteinen sowie einer Taktung in der Feinplanung aus und gewährleistet damit eine Bearbeitung mehrerer Werkstücke pro Takt. Die Werkstücke pro Takt werden auf einer Taktpalette zusammengefasst, die beim Durchlauf durch eine feste Prozessfolge nicht verändert wird. Im Zuge der Methodik werden die im Werkzeugbau anzutreffenden funktionalen Strukturen berücksichtigt. So werden im Rahmen des Modells für die Gestaltung der getakteten Fertigung die Planungsbereiche Taktfertigung und Werkstattfertigung definiert und mit den Kriterien *homogener Prozessfluss*, *unscharfe Plandaten* und *auf tretende Unsicherheiten* Einflussfaktoren für die Ausgestaltung angegeben. ZISKOVEN definiert mit dem Taktungspotential, der Anzahl der Taktlinien, der Gestaltung der Taktstationen, der Taktabfolge/-struktur und der Taktpalettenskalierung Parameter für die Gestaltung der Taktfertigung im Werkzeugbau. Auf Basis der gestalteten Taktung können Fertigungsaufträge eingeplant werden. ZISKOVEN liefert Lösungen für die taktlinienspezifische Aufbereitung von Auftrags- und Kapazitätsdaten, die Auftragseinplanung mit Hilfe eines Algorithmus und die Einplanung von Planungsbereich-übergreifenden Komponenten.

Der Vorteil des Ansatzes von ZISKOVEN besteht in der hohen Transparenz über Kapazitäten und der konstanten Durchlaufzeit durch die Fertigung. Das Konzept ist prinzipiell auf alle Abteilungen anwendbar. Der Autor sieht das größte Potential in der Fertigung und beschränkt daher die Methodik auf diesen Bereich. Schnittstellen zu anderen Bereichen werden kurz thematisiert. Der entwickelte Algorithmus berücksichtigt die begrenzten Kapazitäten eines Taktes. Die Ausführungen hinsichtlich der Festlegung der Gestaltungsparameter sind qualitativ gehalten. Die Segmentierung in Taktfertigung und Werkstattfertigung deckt grundsätzlich komplexe Materialflüsse ab, die Betrachtung der funktionalen Strukturen besitzt in der Arbeit allerdings eine untergeordnete Bedeutung. Aufträge mit Unschärfe in den Daten und auftretende Turbulenzen werden nicht getaktet und durch die klassische Werkstattfertigung bearbeitet. Die Aufträge aus dem Bereich *Werkstattfertigung* werden bei gemeinsam genutzten Ressourcen durch den Algorithmus zwar geplant, die Planung der Werkstattstrukturen steht jedoch nicht im Fokus. Damit entsteht ein komplizierter Ablauf in

der Taktabfolge und -struktur. Gerade in stark funktionalen Strukturen mit nur geringer Möglichkeit der Bildung von Taktlinien geht der Vorteil des Taktprinzips hinsichtlich Transparenz und Effizienz verloren.

3.3 Zusammenfassender Vergleich bestehender Ansätze

Zum Abschluss des Kapitels werden die bestehenden Ansätze zusammenfassend verglichen und bewertet. Aus dem hieraus resultierenden Handlungsbedarf aus der Theorie kann der Forschungsbedarf für die vorliegende Arbeit abgeleitet werden. Tabelle 3-1 stellt die in Kapitel 2 abgeleiteten Anforderungen den bestehenden Ansätzen gegenüber.

	Durchgängige Betrachtung aller relevanten Wertaktivitäten der Auftragsabwickl.	Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten	Umgang mit komplexen Auftrags- und Materialflüssen	Geeignete Berücksichtigung von Turbulenzen und Unschärfe	Sicherstellung von Effizienz bei Planerstellung und Planausführung
PPS-Ansätze					
GROSS (1990)					
KATH (1994)					
BISCHOFF (1999)/ULLMANN (2001)					
KOLISCH (2001)					
TRACHT (2001)					
HELLMICH (2003)					
LOHSE (2002)					
KLINKEL (2004)					
PRIESE (2007)					

3 Ansätze der PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

Ansätze Prozessmanagement					
COOPER/KLEINSCHMIDT (1991)					
QRM (1993)					
WITTENSTEIN (2007)					
RITTSTIEG (2012)					
Ansätze Multiprojektmanagement					
Methoden und Verfahren des MPM					
SCRUM					
Taktororientierte Ansätze					
BARRHO (2001)					
PIT® (2002)					
ANSORGE (2008)					
GRUB (2010)					
ZWANZIG (2010)					
RAUHUT (2011)					
ZISKOVEN (2013)					
Legende Erfüllungsgrad:					
= vollständig = überwiegend = teilweise = in Ansätzen = gar nicht					

Tabelle 3-1: Erfüllung der definierten Anforderungen durch die bewerteten Ansätze

PPS-Ansätze realisieren in der Regel eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten und betrachten teilweise auch die gesamte Auftragsabwicklung. Prinzipien der Selbstorganisation und Selbststeuerung ermöglichen die Bewältigung komplexer Auftrags- und Materialflüsse. Der Umgang mit Unschärfe in der Planung und auftretenden Turbulenzen ist in den

bestehenden Ansätzen allerdings untergeordnet und führt im komplexen Unternehmensumfeld zu einem hohen Aufwand zur Planerstellung oder einer verringerten Leistung bezüglich Termintreue, Durchlaufzeit, Beständen und Auslastung.

Ansätze des Prozessmanagements sind in der Regel auftragsorientiert und zielen auf eine hohe Effizienz in den Prozessen auch bei komplexen Auftragsflüssen ab. Eine ressourcenorientierte Kapazitätsplanung erfolgt nur am Rande. Unschärfe und Turbulenzen werden oftmals als Störfaktoren angesehen, die mit einer entsprechenden Prozessstandardisierung und kontinuierlicher Verbesserung abgebaut werden können.

Ansätze des Multiprojektmanagements fokussieren auf klassische Projekte. Hinsichtlich einer Planung gegen begrenzte Kapazitäten bleiben die Ansätze generisch, was zu einer verringerten Effizienz führen kann oder den Planungshorizont stark verkürzt. Es sind jedoch hilfreiche Methoden und Werkzeuge zum Umgang mit Unsicherheiten enthalten.

Die dargestellten *taktorientierten Verfahren* versuchen das aus dem Lean Management bekannte Taktprinzip auf komplexe Rahmenbedingungen zu übertragen. Die Vorteile des Taktgedankens werden nur teilweise erreicht. Es zeigt sich, dass auch bei komplexen Auftrags- und Materialflüssen eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten möglich ist. Während der Umgang mit auftretenden Turbulenzen teilweise schon gut gelöst ist, fehlt die differenzierte Berücksichtigung von Unschärfe. Eine Ausweitung des Taktprinzips auf die gesamte Auftragsabwicklung ist zwar in einigen Ansätzen angedacht, aber noch nicht durchgeführt worden.

Die Untersuchung bestehender Ansätze zeigt, dass bisher kein Ansatz zur Verfügung steht, der die Herausforderungen einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter vollständig erfüllt. Daher soll für den relevanten Betrachtungsbereich ein Gestaltungsmodell entwickelt werden, das alle definierten Anforderungen erfüllt.

4 Konzeption des Gestaltungsmodells

In diesem Kapitel wird entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit ein Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter konzipiert. Die Konzeption beginnt mit einer system- und modelltheoretischen Einordnung. Im Rahmen der Vorstellung des Gestaltungsmodells werden zunächst die Grundobjekte und das dem Gestaltungsmodell zugrundeliegende Grundprinzip erläutert. Das Wirkmodell zeigt wesentliche Ursache-Wirkungs-Beziehungen auf. Darauf aufbauend kann das Modell in seine Modellelemente strukturiert werden.

4.1 System- und modelltheoretische Einordnung

Gegenstand der Systemtheorie ist die Erforschung des Zusammenwirkens der Elemente eines Systems untereinander und mit der Außenwelt sowie der Beziehungen der gekoppelten Systeme (Forrester 1972, S. 13). In der Systemtheorie finden sich Ansätze und Vorgehensweisen, die die Bearbeitung komplexer Problemstellungen von Systemen wie bspw. Unternehmen erlauben (Ulrich 2001, S. 42ff.). Ein System stellt eine Gesamtheit von Elementen dar, zwischen denen eine beeinflussbare, wechselseitige und zeitlich variable Beziehung besteht (Bruns 1991, S. 31). Dabei kann ein System sowohl weitere Teilsysteme enthalten als auch in einem übergeordneten System integriert sein (Ulrich 1970, S. 107ff.).

Die zielgerichtete Entwicklung von Systemen zur Lösung komplexer Problemstellungen wird im Rahmen der Systemtheorie von den vier Grundprinzipien *Variantenbildung*, *vom Groben ins Detail*, *Phasengliederung* und *Problemlösungsprozess* unterstützt (Daenzer et al. 2002, S. 29ff.). Die Systemtheorie bietet mit Hilfe dieser Prinzipien eine Grundlage für die Lösung interdisziplinärer Probleme (Bruns 1991, S. 1). Die Ausführungen in Kapitel 2 haben die im Betrachtungsbereich der Arbeit auftretende Komplexität aufgezeigt. Das kybernetische Grundprinzip der Selbstorganisation und Ashbys Gesetz lassen den Schluss zu, dass ein vollkommen deterministisches und zentralisiertes Modell zur Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter der dort auftretenden Komplexität nicht gerecht wird. Nur mit Prinzipien der Selbstorganisation und Selbststeuerung ist es möglich, den Aufwand für die Planung und Steuerung in begrenztem Umfang zu halten. Aus

kybernetischer Sicht ist damit ein geeigneter Grad an Selbstorganisation und Selbststeuerung festzulegen.

Ein weiteres Grundprinzip der Kybernetik, das Prinzip des Regelkreises, besitzt ebenso eine hohe Bedeutung für das zu erarbeitende Gestaltungsmodell. In einem Regelkreis wird der Istwert einer Größe erfasst und mit einer Führungsgröße verglichen. Der Regler berechnet auf Basis der Abweichungen die Stellgröße, die wiederum die Regelstrecke korrigierend beeinflussen kann. Damit ist der Regler lediglich mit Hilfe der Beobachtung in der Lage, ohne Kenntnis der exakten Abläufe innerhalb der Regelstrecke das Systemverhalten innerhalb steuerbarer Grenzen zu halten (Thiem 1998, S. 15ff.).

WIENDAHL wendet dieses Prinzip auf die PPS an (vgl. Abbildung 4-1, Wiendahl 1997b, S. 258ff.). Auf Basis einer Zielvereinbarung legt die PPS Soll-Produktionsprogramme fest, die ausgeführt werden. Die Betriebsdatenerfassung ermittelt die Istwerte des Produktionsprogramms, das aufgrund von Störungen vom Soll-Produktionsprogramm abweichen kann. Das Produktionscontrolling identifiziert Abweichungen und führt diese in enger Abstimmung in die PPS zurück.

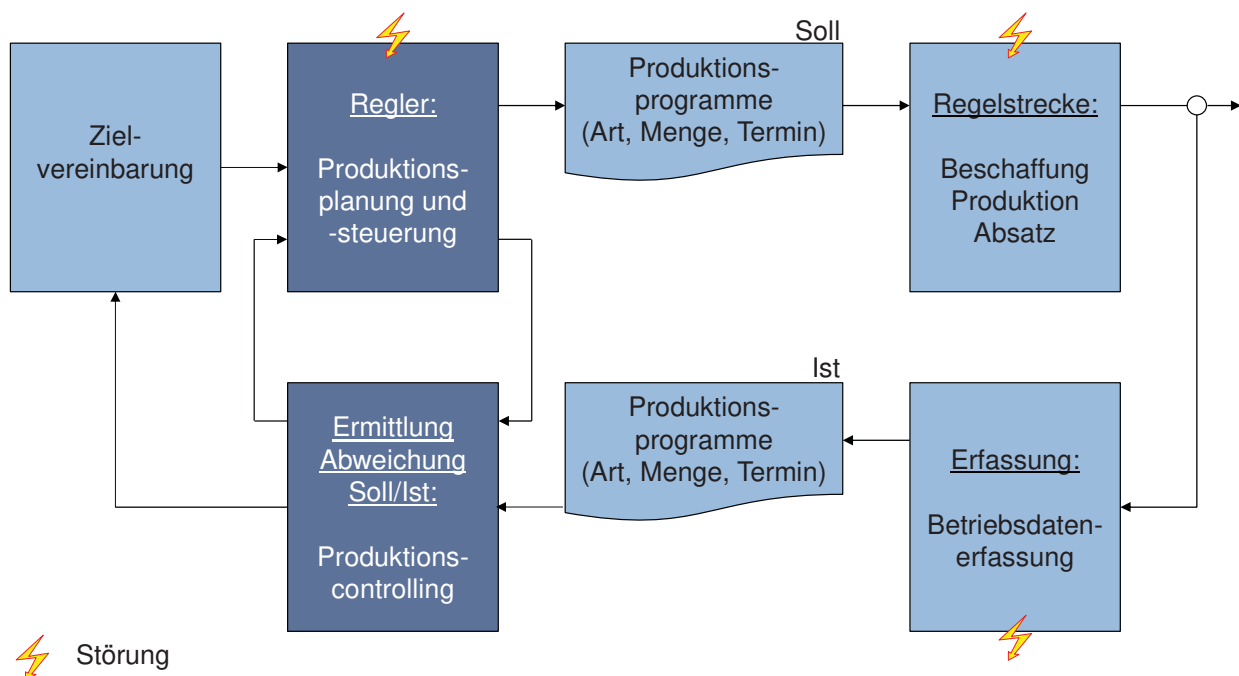


Abbildung 4-1: Regelkreis der PPS (i. A. an Wiendahl 1997b, S. 258)

Ergänzend zu diesem Prinzip der Regelung zur Störungsbeseitigung dient das kybernetische Prinzip der (Vor-)Steuerung dazu, Störungen zu erfassen, bevor ein Einfluss auf das System stattfindet. Der Wert der Stellgröße wird dabei auf der Grundlage erwarteter Abweichungen ermittelt. Dies impliziert, dass durch die Steuerung nur bekannte Störungen berücksichtigt und abgefangen werden können. Das Zusammenspiel von Regelung und Steuerung wird in der Kybernetik als Lenkung bezeichnet (Schwaninger 2000, S. 11). Die Prinzipien der Regelung und Steuerung dienen damit der Lenkung im Rahmen der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter, so dass auch ohne genaues Verständnis der dortigen komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen eine Einhaltung vorgegebener Ziele möglich ist.

Gegenstand der Modelltheorie ist die Generierung, Pflege und Deutung von Modellen. Ein Modell stellt dabei eine vereinfachte Abbildung eines realen Systems dar und dient dem Erkenntnisgewinn über Zusammenhänge der Realität (Kosiol 1961, S. 321). In der Literatur finden sich zahlreiche Klassifikationsformen von Modellen (vgl. bspw. Stachowiak 1973, S. 157ff., Patzak 1982, S. 313ff., Rieper 1992, S. 29ff., Wiendahl 2010, S. 26ff., Nyhuis et al. 2012, S. 6ff.). Zweck von Gestaltungsmodellen ist die Veränderung der Realität, indem sie Ansatzpunkte für einen zielgerichteten Einsatz von Einflusskenngößen geben. Neben Entscheidungsmodellen fallen darunter auch (vgl. Lehner et al. 2008, S. 31ff.)

- Planungsmodelle, die bei der Planung unterstützen,
- normative Modelle, die eine Leitbildfunktion besitzen und einordnen, in welchem normativen Rahmen gehandelt werden sollte und
- präskriptive Modelle, die Vorgehensweisen beschreiben und eine Vorbild-, Beispiel- oder Musterfunktion ausfüllen.

Die vorliegende Arbeit kann daher als Gestaltungsmodell eingestuft werden. Die Ausarbeitung des Modells erfolgt anhand der sechs Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung Relevanz, Richtigkeit, Wirtschaftlichkeit, Vergleichbarkeit, Klarheit und systematischer Aufbau (Schütte 1997, S. 113ff.).

4.2 Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter

4.2.1 Grundobjekte des Gestaltungsmodells

Abbildung 4-2 fasst die in Kapitel 2.3 definierten Grundobjekte zusammen und verknüpft diese in Anlehnung an (Wiendahl 2010, S. 78).

Artikel

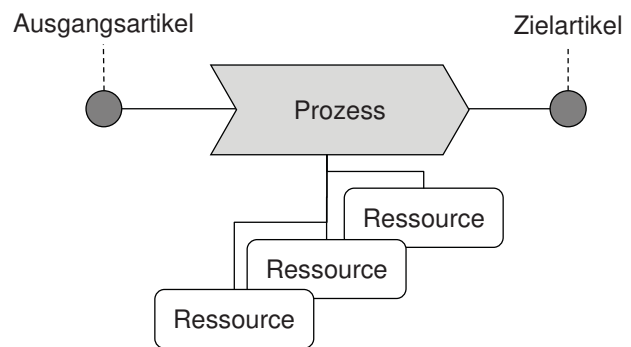
Gut, das während der Beschaffung, der Produktion, der Lieferung und der Entsorgung identifiziert oder behandelt werden kann oder muss.

Prozess

Zielt darauf ab, unter Einsatz von Ressourcen immateriellen und/oder materiellen Input in einen prozessspezifischen Output zu verwandeln.

Ressource

Leistungserbringer zur Ausführung der zur Herstellung von Gütern erforderlichen Prozesse.



a.) Grundobjekte des Gestaltungsmodells

b.) Verknüpfung der Grundobjekte

Abbildung 4-2: Grundobjekte des Gestaltungsmodells und deren Verknüpfung (i. A. an Wiendahl 2010, S. 78)

Die Grundobjekte können in unterschiedlichem Detaillierungsgrad modelliert werden. Demnach schließt der Begriff *Artikel* die Artikelarten *Endprodukt*, *Baugruppe*, *Kaufteil* und *Rohmaterial* ein (siehe Abbildung 4-3). Ein Endprodukt fließt in kein anderes Produkt als Komponente ein. Eine Baugruppe besteht aus mindestens zwei Komponenten. Ein Teil zeichnet sich dadurch aus, dass es als Eigenteil produziert oder als Kaufteil zugekauft wird. Rohmaterial ist das Ausgangsgut für die Produktion (Schönsleben 2011, S. 21).

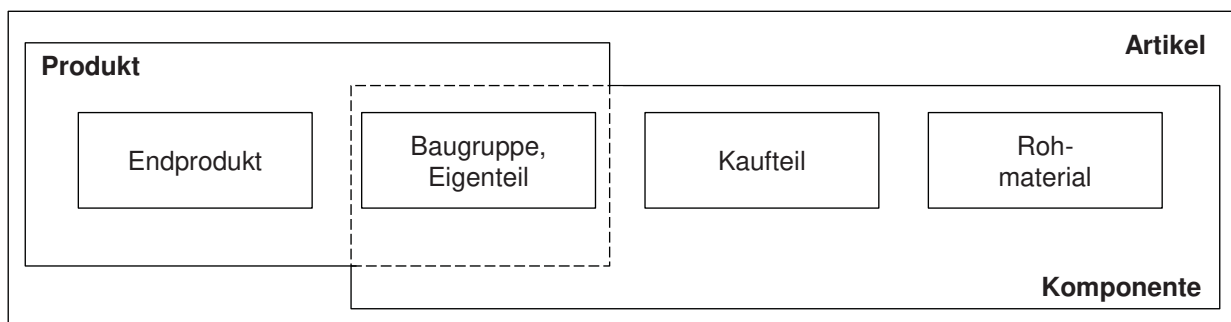


Abbildung 4-3: Grundobjekt Artikel (Wiendahl 2010, S. 80 nach Schönsleben 2011, S. 21)

In ähnlicher Weise lässt sich das Grundobjekt *Prozess* beschreiben. Als kleinste Modellierungseinheit dient der Prozessschritt, der in der Produktion auch als Arbeitsvorgang bezeichnet wird. Mehrere aufeinanderfolgende Prozessschritte bilden eine Prozessequenz. Prozessschritte und Prozessequenzen können zu Prozessen wie dem Teilefertigungs- oder Montageprozess aggregiert werden (Wiendahl 2010, S. 80–81). Im Arbeitsplan eines Produktes wird die Liste von Prozessschritten definiert, durch die das Produkt ausgehend von seinen Komponenten produziert wird (Schönsleben 2011, S. 25).

Eine Ressource führt die zur Herstellung von Produkten erforderlichen Prozesse aus und liefert Leistung³⁵ ab. Ressourcen lassen sich, wie Abbildung 4-4 aufzeigt, in Fertigungshilfsmittel, Maschine und den Menschen unterteilen. Ressourcen sind prinzipiell aggregierbar, so dass aus Einzelressourcen Ressourcengruppen entstehen. Die neben der Leistung zweite zentrale Eigenschaft der Ressourcen, die Kapazität, stellt das Leistungsvermögen³⁶ dar und ist mit der Ressource aggregierbar (Wiendahl 2010, S. 82).

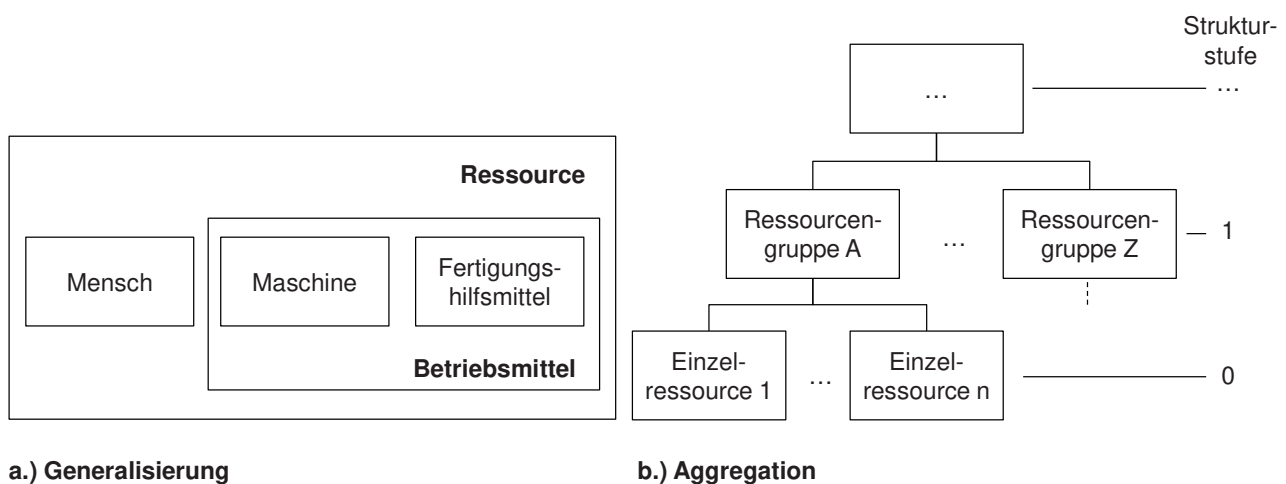


Abbildung 4-4: Grundobjekt Ressource (Wiendahl 2010, S. 82)

Um die Komplexität in der Planung und Steuerung zu reduzieren, ist eine gedankliche Zusammenfassung unterschiedlicher Ressourcen sinnvoll. Deshalb wird ergänzend zum Begriff *Ressource* der Begriff der Kapazitätseinheit eingeführt, die dieselben planungsrelevanten Attribute besitzt. Eine Kapazitätseinheit ist eine organisatorische Einheit, die

³⁵ Unter Leistung wird in diesem Zusammenhang das Arbeitsergebnis gemessen in Arbeit pro Zeiteinheit verstanden.

³⁶ Das Leistungsvermögen stellt das Potential zum Ausstoß von Leistungen, gemessen in Zeit- oder Mengeneinheit pro Zeiteinheit, dar.

Prozesse ausführt und dazu temporär über Ressourcen verfügt. Die Kapazitätseinheit enthält einen Zusammenschluss von Menschen und Betriebsmitteln, die im Rahmen einer übergreifenden Planung und Steuerung nicht mehr unterteilt werden (Wiendahl 2010, S. 82–83). Abbildung 4-5 zeigt die Generalisierung von Arbeitsplatz, Arbeitsplatzgruppe, Produktionsbereich und Werk. Kennzeichen von Leistungseinheiten gegenüber Arbeitssystemen ist, dass sie über eigene Ziele und eine gewisse Autonomie verfügen. Eine Arbeitsplatzgruppe kann sowohl der Leistungseinheit als auch dem Arbeitssystem zugeordnet werden, da in der betrieblichen Praxis unterschiedliche Ausprägungen auftreten (Wiendahl 2010, S. 83–84).

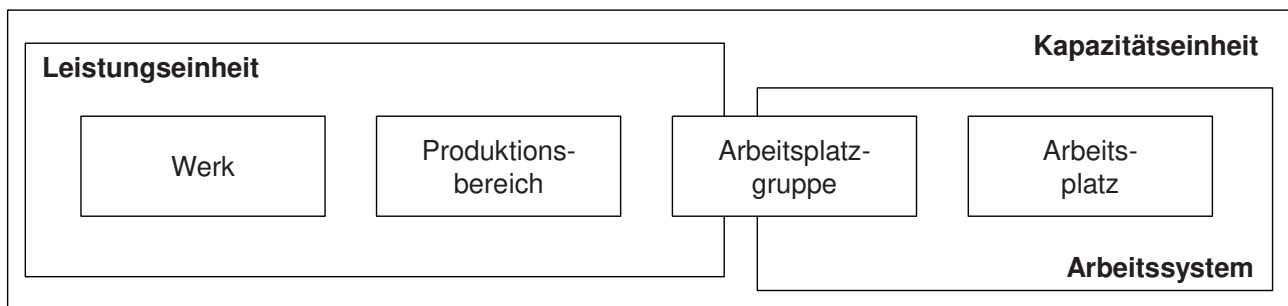


Abbildung 4-5: Generalisiertes Grundobjekt Kapazitätseinheit (Wiendahl 2010, S. 83)

Die Aggregation von Kapazitätseinheiten im Rahmen der Planung und Steuerung wird stark von den Prozessschritten beeinflusst (Wiendahl 2002, S. 111). Bei einer funktionsorientierten Aggregation muss eine Addition der Kapazitäten und Belastungen der in der Kapazitätseinheit enthaltenen Arbeitsplätze stattfinden. Hingegen muss bei der prozessorientierten Aggregation gemäß der Engpasscharakteristik die höchste Belastung eines Arbeitsplatzes herangezogen werden, da die Arbeitsplätze in Reihe angeordnet sind (Bornhäuser 2009, S. 81).

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 2.3.3.3 beinhaltet ein Auftrag ein oder mehrere Prozessschritte und verknüpft damit aus externer Sicht die Grundobjekte mit dem vom Kunden geforderten Marktbedarf über Mengen und Termine. Im Rahmen dieser Arbeit werden Aufträge externer Kunden und Aufträge interner Kunden wie bspw. Entwicklungsprojekte unter dem Begriff Auftrag zusammengefasst, da sie aus Ressourcensicht gleichermaßen Kapazitätsbedarfe darstellen. Die interne Sicht beinhaltet alle zur Erfüllung dieser Bedarfe notwendigen Prozessschritte, die unterschiedlichen (Teil-)Aufträgen und Auftragsarten zugeordnet werden (Wiendahl 2010, S. 84–85).

Kapazitätseinheiten können mit Hilfe des Trichtermodells als Objekte veranschaulicht werden, denen Aufträge zugehen (siehe Abbildung 4-6a). Die Aufträge bilden nach dem Zugang bis dem Bearbeitungsende (Abgang) den Umlaufbestand der Kapazitätseinheit. Die Öffnung des Trichters gibt die aktuelle Leistung wieder, die bis zu einer maximalen Leistung vergrößert werden kann (Nyhuis et al. 2012, S. 25).

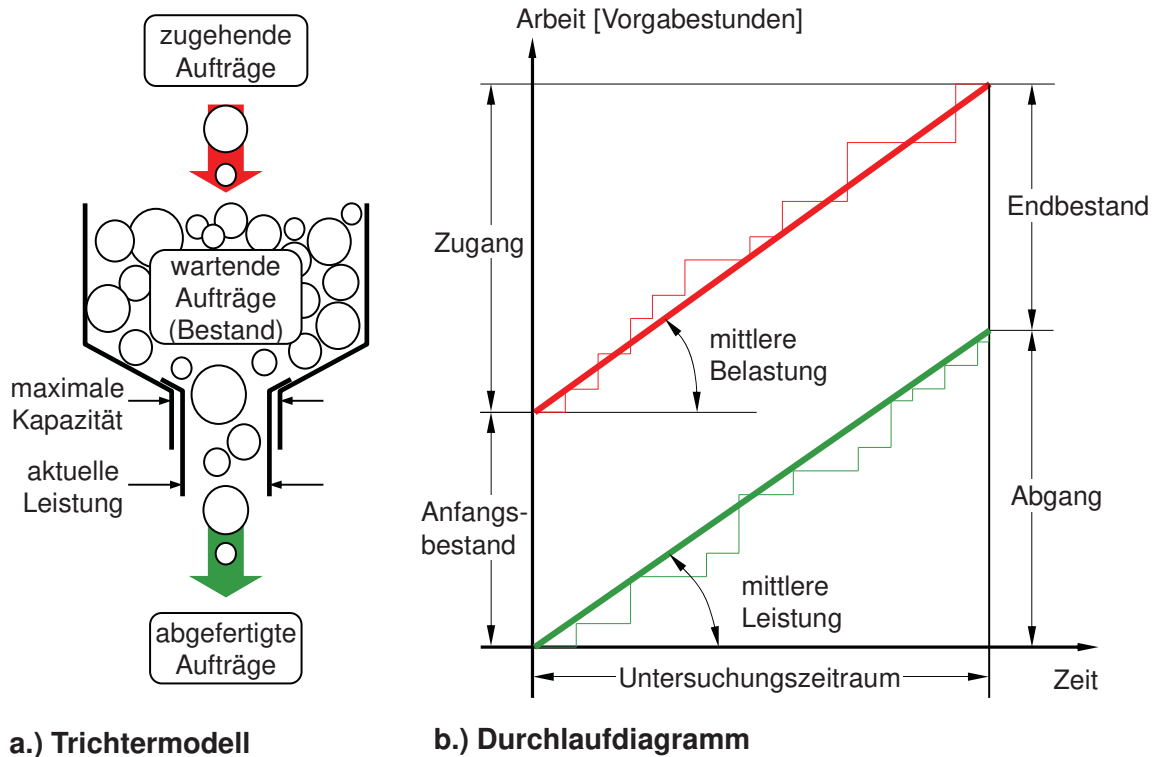


Abbildung 4-6: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm einer Kapazitätseinheit
(Nyhuis et al. 2012, S. 25 nach BECHTE)

Das Durchlaufdiagramm visualisiert den Fortgang an Zugängen und Abgängen einer Kapazitätseinheit durch kumulatives Auftragen der zu- und abgehenden Aufträge mit ihren Arbeitsinhalten. Wie aus Abbildung 4-6b zu erkennen ist, lassen sich die mittlere Belastung und die mittlere Leistung als Steigung der Kurven für einen Betrachtungszeitraum errechnen (Nyhuis et al. 2012, S. 25ff.).

Analog zu BARRHO (Barrho 2001, S. 45ff.) und BORNHÄUSER (Bornhäuser 2009, S. 94ff.) werden in dieser Arbeit die aus der Terminierung resultierenden, einer Kapazitätseinheit zugeordneten Arbeitsvorgänge zusammengefasst. BORNHÄUSER führt hierzu den Begriff Arbeitspaket ein, das „aus Ressourcensicht eine in sich geschlossene Aufgabenstellung

darstellt, die in einem definierten Zeitraum vollbracht wird“ (Bornhäuser 2009, S. 95). Für die Kapazitätseinheiten sind die Arbeitspakete damit eine terminlich vereinbarte Arbeitsleistung und unterscheiden sich von den im Projektmanagement üblichen Arbeitspaketen. Durch die Zusammenfassung von Arbeitsvorgängen zu Arbeitspaketen wird die Terminüberwachung aufgrund der verringerten Anzahl von Einzelobjekten erleichtert.

4.2.2 Grundprinzip der taktororientierten PPS

Dem Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter liegt ein Taktprinzip zugrunde, das im Folgenden als taktororientierte PPS bezeichnet wird. Die taktororientierte PPS stellt den zentralen Lösungsansatz zur Erfüllung der in Kapitel 2.4 abgeleiteten Anforderungen dar, auf den sich die weiteren Modellelemente des Gestaltungsmodells beziehen. Das Grundprinzip ist in Abbildung 4-7 dargestellt und folgt dem Ansatz PIT – Produzieren im Takt®. In einer übergeordneten Planung, im Folgenden als Grobplanung bezeichnet, wird eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten der Kapazitätseinheiten vorgenommen.

Basis der Grobplanung ist ein für jede planungsrelevante Kapazitätseinheit vorgegebenes konstantes Intervall, das sich permanent wiederholt. Aus diesem Grund wird von einem Takt gesprochen, der im Gegensatz zum aus dem Lean Management stammenden Kundentakt ressourcenzentriert definiert ist. Die Dauer dieses Intervalls ist für die jeweilige Kapazitätseinheit im Rahmen der operativen Planung als konstant anzusehen und wird als Taktbreite bezeichnet. Der Takt wird darüber hinaus durch ein zur Verfügung stehendes Kapazitätsangebot charakterisiert. Die übergeordnete Grobplanung plant die zu bearbeitenden Aufträge gemäß ihrer Prozessabfolge in die Takte der Kapazitätseinheiten unter Berücksichtigung der Kapazität ein, wodurch auch komplexe Auftrags- und Materialflüsse abgedeckt und dynamische Engpasssituationen beachtet werden. Das Ende jeden Taktes stellt für die Kapazitätseinheit einen Ecktermin dar, zu dem alle für den Takt eingeplanten Aufträge abgeschlossen sein müssen.

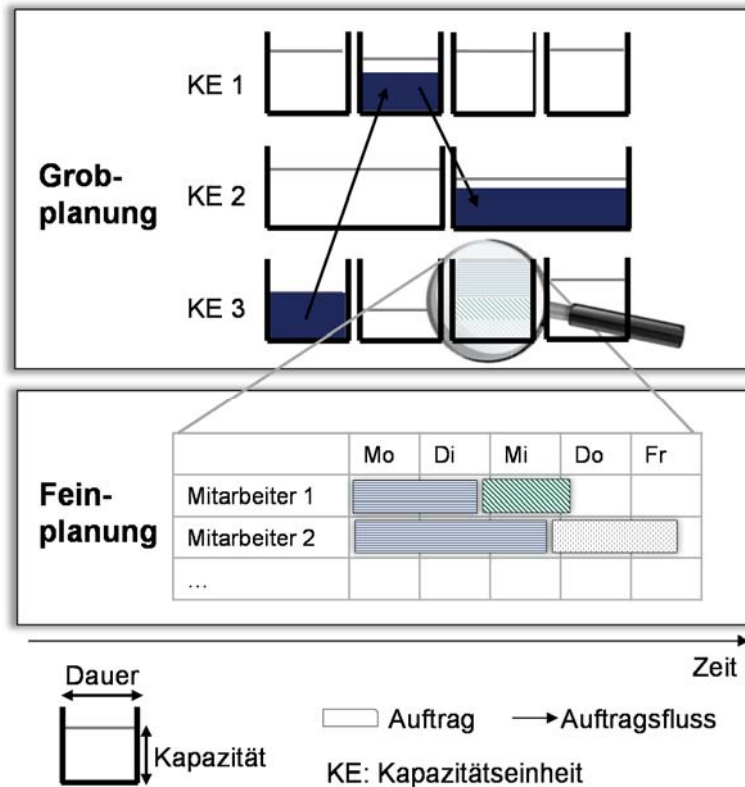


Abbildung 4-7: Grundprinzip der taktorientierten PPS

Im Rahmen der Feinplanung führen die Kapazitätseinheiten unter Umständen eine Detaillierung der durchzuführenden Aufgaben in Prozessschritte sowie eine Zuordnung der Prozessschritte zu den Arbeitsplätzen der Kapazitätseinheit durch. Die Reihenfolgeplanung und Zuordnung zu den Arbeitsplätzen ermöglicht es den Kapazitätseinheiten, die Abarbeitung der vorgegebenen Arbeitspakete für einen Takt eigenverantwortlich innerhalb des Taktes zu optimieren und auf auftretende Störungen zu reagieren. Ziel ist dabei die vollständige Abarbeitung des Arbeitspakets bis zum Taktende und damit die Einhaltung des Taktes. Dies wird im Folgenden als Taktziel bezeichnet.

Abbildung 4-8 veranschaulicht zusammenfassend die Wirkungsweise der taktorientierten PPS bei mehreren Aufträgen mit unterschiedlichem Auftragsfluss. Der Takt gibt die Weitergabefrequenz der Aufträge vor und legt damit die Durchlaufzeit und das Bestandsniveau in der Auftragsabwicklung fest.

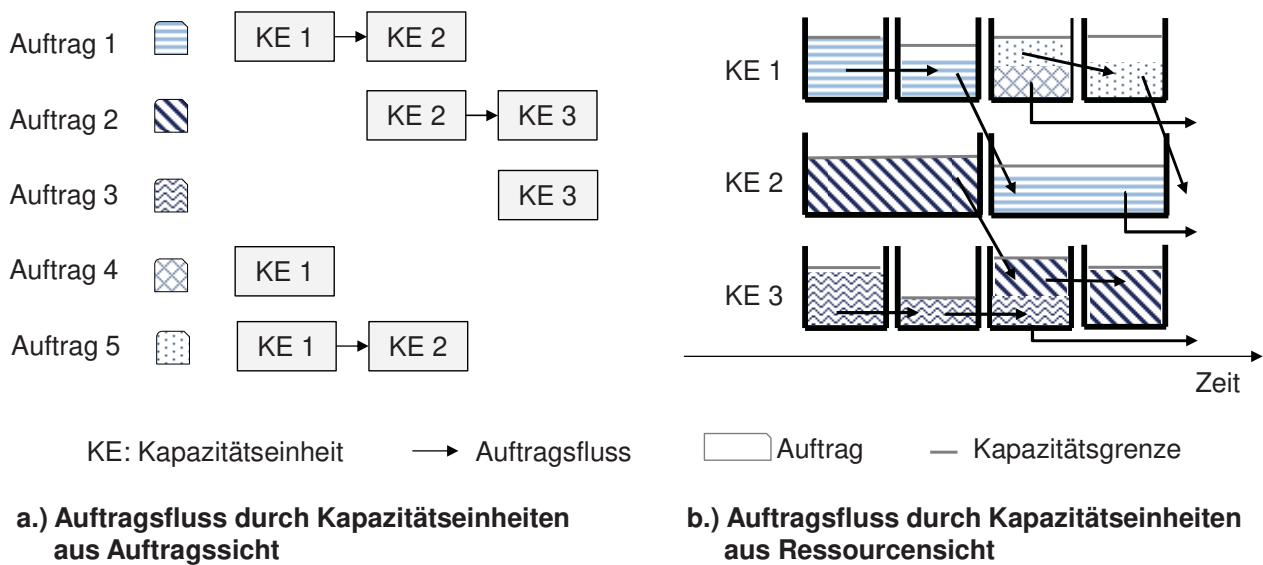


Abbildung 4-8: Auftragsdurchlauf durch die Kapazitätseinheiten der taktororientierten PPS

Die Aufträge verursachen bei den Kapazitätseinheiten schwankende Auslastungen und dynamische Engpässe. Eine geeignete Planung und Steuerung der Kapazitäten ermöglicht die Reaktion auf diese Schwankungen. Mit Hilfe des festgelegten Auftragsdurchflusses für die Aufträge, den in Takten abgebildeten Kapazitätseinheiten und den Angaben zum verfügbaren Kapazitätsangebot ist es möglich, frühzeitig Engpässe zu identifizieren und geeignete Maßnahmen einzuleiten.

Zusammenfassend ist durch das Grundprinzip der taktororientierten PPS eine Reduktion der Planungs- und Steuerungskomplexität erreichbar, indem

- durch die Zusammenfassung von Vorgängen zu Arbeitspaketen in der übergeordneten Grobplanung weniger Termine zu koordinieren sind,
- verlässliche Terminaussagen durch eine kapazitätsgeprüfte Planung ermöglicht werden,
- die Takte klare Orientierung zur Sicherung der Termintreue bei angemessenem Bestandsniveau und transparenter Durchlaufzeit geben und
- der Handlungsspielraum für die Kapazitätseinheiten genutzt wird, um dezentrale Reihenfolgeoptimierungen durchzuführen und bei eintretenden Störungen schnell und eigenverantwortlich innerhalb der vorgegebenen Ecktermine zu reagieren.

4.2.3 Wirkmodell der taktororientierten PPS

Im Folgenden wird das Wirkmodell der taktororientierten PPS dargelegt, das die Funktionen der PPS mit den logistischen Zielgrößen in Zusammenhang bringt. Die Basis stellt das Modell der Fertigungssteuerung nach LÖDDING dar, in dem die vier Funktionen Auftrags-erzeugung, Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung unterschieden werden (Lödding 2008, S. 7). Um die Wirkzusammenhänge der gesamten Auftragsabwicklung aufzeigen zu können, werden die Wirkbeziehungen im Wirkmodell der taktororientierten PPS differenziert und die Funktion der Auftragserzeugung detailliert. Neben den Funktionen gibt es mit Stell-, Regel- und Zielgrößen weitere Elemente, die miteinander verbunden sind. Die Funktionen legen dabei die Stellgrößen fest. Regelgrößen resultieren aus der Abweichung zweier Stellgrößen. Die Zielgrößen wiederum werden durch die Regelgrößen bestimmt.

Abbildung 4-9 veranschaulicht das Wirkmodell der taktororientierten PPS. Kunden- oder Projektanfragen beinhalten die Forderung eines Wunsch-Abgangs sowie eines Abliefertermins. Aus diesem ergibt sich aus der Einordnung der Anfrage in die Gesamtheit aller Anfragen, Aufträge und Projekte eine Reihenfolge (Wunsch-Reihenfolge). Die Anfrage löst die Angebotsbearbeitung aus, bei der ermittelt wird, ob der Wunsch-Abgang und die Wunsch-Reihenfolge realisierbar sind. Die Ermittlung erfolgt dabei in enger Abstimmung mit der Mengen-, Termin-, und Kapazitätsplanung (vgl. 2.3.4.2). Ergebnis ist ein Angebot an den Kunden mit einem zugesicherten Soll-Abgang (bestätigter Abgang) zu einem bestimmten Termin, der sich an der Soll-Reihenfolge (bestätigte Reihenfolge) bemerkbar macht (vgl. auch Kapitel 2.3.4.1).

Die Stellgrößen Wunsch-Abgang und Soll-Abgang ergeben die Regelgröße *Kundenwunscherfüllungsgrad Menge*. Die Größe gibt an, inwiefern die Auftragsabwicklung in der Lage ist, den vom Markt geforderten Wunsch-Abgang bestätigen zu können. Analog lässt sich durch die Regelgröße *Kundenwunscherfüllungsgrad Reihenfolge* ableiten, zu welchem Grad eine Zusage der vom Markt geforderten Wunsch-Reihenfolge getätigt werden kann. Beide erläuterten Regelgrößen wirken auf die Zielgröße *Kundenwunscherfüllungsgrad* ein. Eine stetige Prüfung der genannten Regel- und Zielgrößen ermöglicht die Identifikation von kapazitiven Handlungsbedarfen.

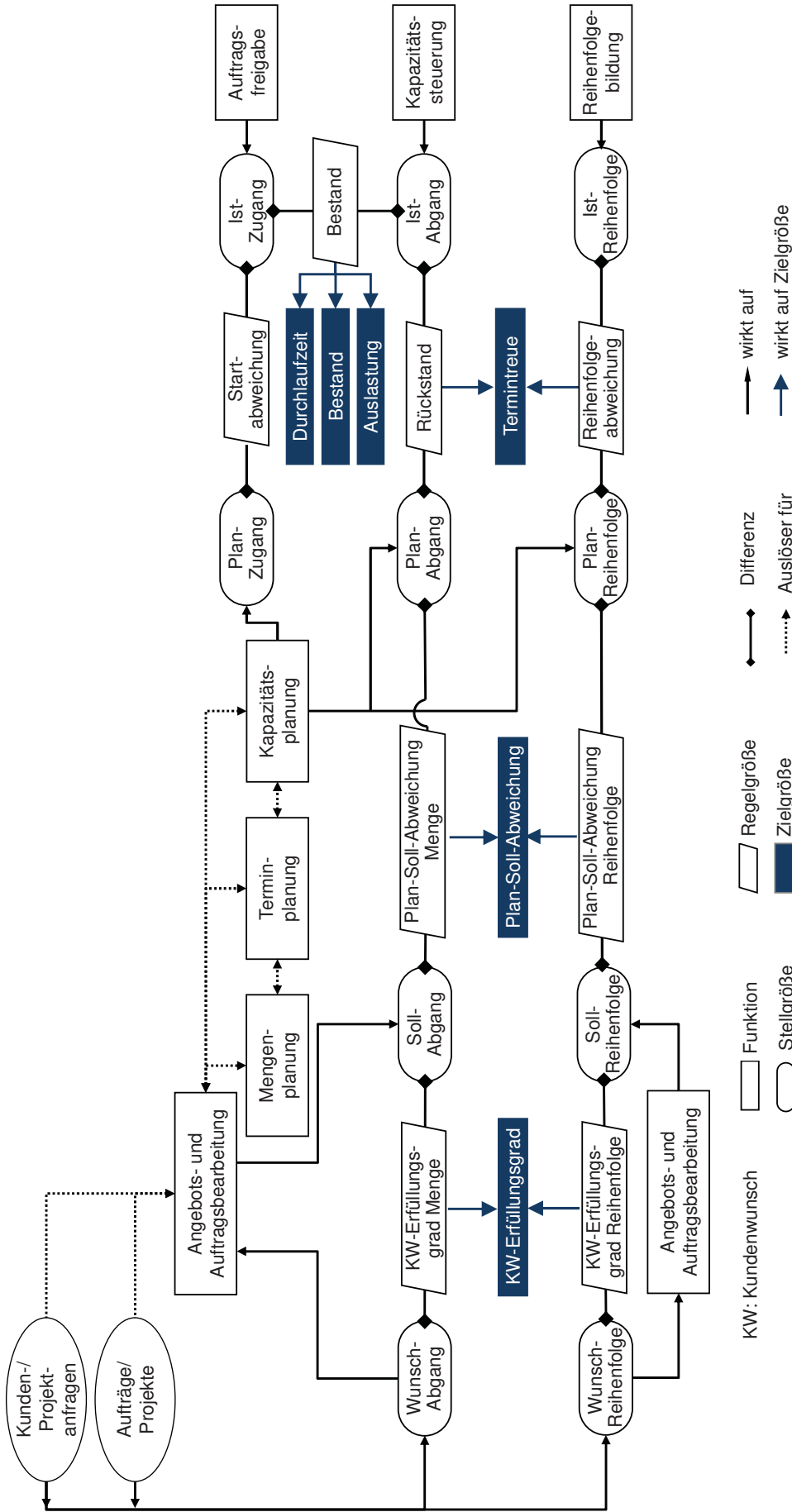


Abbildung 4-9: Wirkmodell der taktorientierten PPS

Auftragseingänge und Projektaufträge beinhalten ebenso einen Wunsch-Abgang und eine Wunsch-Reihenfolge. Diese sind in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter trotz einer langen Zeitspanne zwischen Angebot und Beauftragung oftmals identisch mit den zunächst zugesagten Werten. Die Auftragsbearbeitung wird durch die Auftragsklärung, die Mengenplanung, die Termin- und Kapazitätsplanung umfassender und detaillierter durchgeführt als im Angebotsstadium. Ergebnis der Auftragsbearbeitung ist ein zugesagter Abgang (Soll-Abgang) und eine bestätigte Reihenfolge (Soll-Reihenfolge), die sich idealerweise nicht von den in der Angebotsphase ermittelten Stellgrößen unterscheidet.

Das enge Zusammenspiel von Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung legt den Plan-Zugang, den Plan-Abgang und die Plan-Reihenfolge für die Ressourcen fest. Die Ermittlung dieser Werte erfolgt kontinuierlich durch die Planung und stellt damit den aktuellen Stand der Vorausschau dar. Die Differenz zwischen den Stellgrößen Plan-Abgang und Soll-Abgang ergibt die Regelgröße *Plan-Soll-Abweichung Menge*, welche den Unterschied zwischen den gegenüber den Kunden bestätigten Mengen und den geplanten Mengen aufzeigt. In analoger Art und Weise resultiert die Regelgröße *Plan-Soll-Abweichung Reihenfolge*. Die beiden Regelgrößen wirken auf die Zielgröße *Plan-Soll-Abweichung* ein. Diese ist - unter den vorhandenen Rahmenbedingungen und Restriktionen - zu minimieren, so dass zwischen den gegenüber Kunden bestätigten und den geplanten Leistungen und Terminen eine möglichst geringe Differenz auftritt. Ist dies nicht der Fall, leidet die Akzeptanz der Planung mit weitreichenden Folgen hinsichtlich der Beachtung der Planung in der operativen Durchführung.

Im Gegensatz zum Modell von LÖDDING beziehen sich die Funktionen der Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgeplanung nicht nur auf die Fertigung, sondern auf alle Ressourcen der Auftragsabwicklung. Die Auftragsfreigabe bestimmt den Zeitpunkt und die Reihenfolge, in der die Aufträge freigegeben werden, und beeinflusst damit den Ist-Zugang. Die Kapazitätssteuerung legt die Höhe der Kapazitäten und damit den Ist-Abgang fest. Die Reihenfolgeplanung ordnet die Abarbeitungsreihenfolge an. Die vier Regelgrößen Startabweichung, Rückstand, Reihenfolgeabweichung und Umlaufbestand resultieren aus den durch diese Funktionen festgelegten Stellgrößen und bestimmen die logistischen Zielgrößen.

Das Wirkmodell der taktorientierten PPS bildet die für das Erreichen der Zielsetzung dieser Arbeit wesentlichen Wirkbeziehungen ab. Die Modellierung dient dazu, alle Funktionen der PPS und deren Ausgestaltung mit den vorherrschenden Zielen abzustimmen. Zudem wird das Wirkmodell dazu genutzt, die Funktionen aufbauorganisatorisch so zu verankern, dass den Rollen der PPS eine geeignete Ziel- und Aufgabenverantwortung zugeordnet wird. So können inkonsistente Ziel- und Aufgabenverantwortlichkeiten vermieden werden (Wiendahl et al. 2005, S. 641–642).

Auf Basis des erweiterten Systemverständnisses ist darüber hinaus die Ableitung der Wirksamkeit bestimmter Funktionen für die Zielerreichung möglich. Während die Mengenplanung durch die auf dem MRP-Prinzip basierenden Verfahren abgedeckt werden kann, stellen die Terminplanung und Kapazitätsplanung zentrale Funktionen der taktorientierten PPS dar. Die Grobplanung plant Anfragen und Aufträge gegen das Kapazitätsangebot der Ressourcen und zeigt Handlungsbedarfe hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Kapazität auf (vorausschauende Kapazitätsplanung). Der *Kundenwunscherfüllungsgrad* zeigt die Erfüllbarkeit der vom Markt geforderten Leistungen. Die Zielgröße *Plan-Soll-Abweichung* verdeutlicht Differenzen zwischen der Planung und den gegenüber den Kunden bestätigten Zusagen.

Der Taktanfang jeder Kapazitätseinheit stellt die Auftragsfreigabe für das Arbeitspaket des Taktes dar. Um auch bei auftretenden Unsicherheiten das Taktziel zu erreichen, ist eine Steuerung der Kapazitäten während des Taktes erforderlich. Die Reihenfolgebildung innerhalb des Taktes unterstützt dabei, Rückstand zu vermeiden oder abzubauen. Durch die Auftragseinplanung, die vorausschauende Kapazitätsplanung, die Kapazitätssteuerung und die Reihenfolgebildung kann Rückstand somit systematisch vorausschauend vermieden und gezielt abgebaut werden.

4.2.4 Struktur des Gestaltungsmodells

Auf Grundlage des erläuterten Grundprinzips und des erarbeiteten Wirkmodells wird im Folgenden die Struktur des Gestaltungsmodells festgelegt. Das in Kapitel 4.2.3 beschriebene Wirkmodell beeinflusst alle weiteren Modellelemente und stellt die Basis des Gestaltungsmodells dar. Wie Abbildung 4-10 aufzeigt, sind die in der taktorientierten PPS zu verfolgenden Ziele ein zweites zentrales Element mit Einfluss auf die weiteren Modellelemente. Die Ausgestaltung der Bausteine *Planungsmodell*, *PPS-Parameter* und *Organisationsstruktur* basiert demnach auf den modellierten Ursache-Wirkbeziehungen und richtet sich an den festgelegten Zielen aus. Mit Hilfe der Bestandteile des Planungsmodells, der PPS-Parameter und der Organisationsstruktur ist es möglich, den Planungs- und Steuerungsablauf mit seinen Funktionen, Beteiligten sowie den verwendeten Werkzeugen und Hilfsmitteln darzulegen.

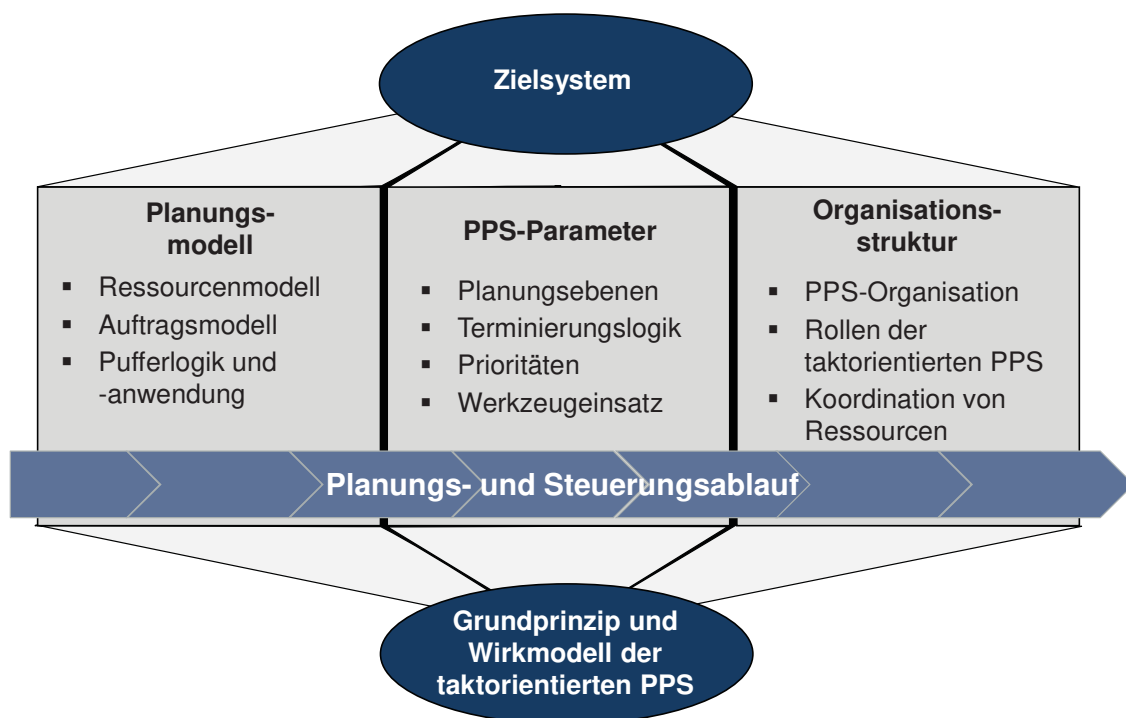


Abbildung 4-10: Grundaufbau und Modellelemente des Gestaltungsmodells

Das Zielsystem des Gestaltungsmodells ist zunächst in das Unternehmenszielsystem einzubetten. Insbesondere sich im Auftrags- und Projektverlauf verändernde Steuerungs- und

Kontrollgrößen erfordern eine eindeutige Festlegung der Ziele im Rahmen eines Zielsystems. Das Zielsystem umfasst aus diesem Grund Methoden zur geeigneten Priorisierung und Festlegung von Zielen.

Das Planungsmodell adressiert die für die taktororientierte PPS notwendigen Objekte *Ressourcenmodell* und *Auftragsmodell*, in die die *Pufferlogik und -anwendung* einfließt. Das Ressourcenmodell beschäftigt sich zunächst mit der Frage der Planungsrelevanz von Ressourcen. Für die für die PPS relevanten Ressourcen werden unter Berücksichtigung von Prinzipien des Lean Managements Kapazitätseinheiten gebildet. Entscheidend ist hierbei die Festlegung eines geeigneten Detaillierungsgrades der Kapazitätseinheiten, um einerseits eine geringe Plan-Soll-Abweichung und eine hohe logistische Zielerreichung zu erreichen, andererseits aber den Aufwand zur Planung und Steuerung in Grenzen zu halten. Für die Kapazitätseinheiten ist die Festlegung der Taktbreite vonnöten, was gleichzeitig die Auslegung der Durchlaufzeit, des Bestands und des Handlungsspielraums der jeweiligen Kapazitätseinheit bedeutet.

In ähnlicher Weise schließt das Auftragsmodell die Frage der Planungsrelevanz von Aufträgen und Prozessschritten ein. Zentraler Bestandteil des Auftragsmodells ist die Ermittlung von Auftrags- und Durchlaufzeiten für die planungsrelevanten Aktivitäten. Diese stellen die Grundlage für die durchgängige Termin- und Kapazitätsplanung dar. Unschärfe kann allerdings gerade zu Beginn eines Auftrags kaum vermieden werden. Im Rahmen der Pufferanwendung sind diese Unschärfe sowie auftretende Turbulenzen deshalb geeignet zu berücksichtigen. Dazu werden verschiedene Arten von Puffern definiert und deren Einsatzzweck im Ressourcen- und Auftragsmodell beschrieben. Leitlinien für die Nutzung und Dimensionierung von Puffern schließen den Baustein Planungsmodell ab.

Die PPS-Parameter beziehen alle operativen Planungsebenen und deren Ausprägungen ein. Die Terminierungslogik zeigt die Ausgestaltungsmöglichkeiten der Vorwärts- und Rückwärtsterminierung in verschiedenen Ausprägungen. Im Betrachtungsgegenstand der Arbeit ist ebenso ein geeigneter Umgang mit Meilensteinen in der Terminierung erforderlich. Der Einsatz von Prioritäten ist in Engpasssituationen zur bestmöglichen Erfüllung der festgelegten Ziele vonnöten. Deshalb werden gängige Prioritätsregeln vorgestellt und in das Gestaltungsmodell integriert. Je komplexer die Planungsaufgabe z. B. aufgrund der Anzahl an Kapazitätseinheiten, Aufträgen oder Prioritätsregeln ist, desto mehr stellt sich die Frage

nach einer automatischen Unterstützung der Planung und Steuerung. Das Modellelement PPS-Parameter nimmt deshalb abschließend eine Einordnung der taktorientierten PPS in Bezug auf den Werkzeugeinsatz vor.

Die Organisationsstruktur zeigt die Planungsorganisation der taktorientierten PPS auf und geht auf die Rollen, deren Aufgaben und Verantwortlichkeiten ein. Entscheidend ist im Rahmen dieses Bausteins darüber hinaus die Festlegung der geeigneten Koordinationsform von Kapazitätseinheiten. Um das Taktprinzip ideal zu unterstützen, werden daher Kunden-Lieferanten-Beziehungen mit eindeutigen Verantwortlichkeiten während der Leistungserstellung und -übergabe definiert.

Die Ausgestaltung von Planungsmodell, PPS-Parameter und Organisationsstruktur erlaubt die Modellierung des Planungs- und Steuerungsablaufs. Die Ausführungen fokussieren dabei auf die einsetzbaren Hilfsmittel und Werkzeuge, die den Prozessablauf in den einzelnen Phasen unterstützen. Da das Planungsmodell für die Planung eine vergrößerte Abbildung der Ressourcen in Form von Kapazitätseinheiten vornimmt, sind die Rückmeldung und die Fortschrittskontrolle aus Auftrags- und Ressourcensicht wesentliche Bestandteile dieses Modellbausteins.

Die für die weitere Detaillierung der Modellelemente notwendigen und hilfreichen Methoden werden in Anhang A dargestellt. Diese können zur Analyse vorliegender Rahmenbedingungen, zur Festlegung von Parametern des Gestaltungsmodells und im operativen Planungs- und Steuerungsablauf genutzt werden, wie das folgende Kapitel 5 aufzeigt.

4.3 Zwischenfazit

Kapitel 2 und 3 der vorliegenden Arbeit haben den Handlungsbedarf aus Sicht der Praxis und der Theorie nach einem Gestaltungsmodell für die PPS in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter hergeleitet. In Kapitel 4 wurden das Grundprinzip der taktorientierten PPS erläutert, die relevanten Ursache-Wirkungs-Beziehungen in einem Wirkmodell abgebildet und das Gestaltungsmodell konzipiert. Das auf dem Wirkmodell basierende Gestaltungsmodell beinhaltet als zentrales Element das Zielsystem. Die Modellelemente Planungsmodell, PPS-Parameter und Organisationsstruktur erlauben die

Beschreibung des Planungs- und Steuerungsablaufs. Methodische Grundlagen zur weiteren Ausgestaltung der Modellelemente ergänzen das Gestaltungsmodell. Auf Basis dieser Konzeption werden im folgenden Kapitel 5 die einzelnen Modellelemente detailliert beschrieben.

5 Detaillierung des Gestaltungsmodells

Im vorherigen Kapitel wurde das Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter entwickelt. Die erfolgreiche Anwendung erfordert eine Detaillierung der definierten Modellelemente. Die Berücksichtigung der in Kapitel 2.4 abgeleiteten Anforderungen während der Detaillierung stellt die Praxistauglichkeit sicher. Abbildung 5-1 gibt einen Überblick über den Fortgang der Untersuchung.

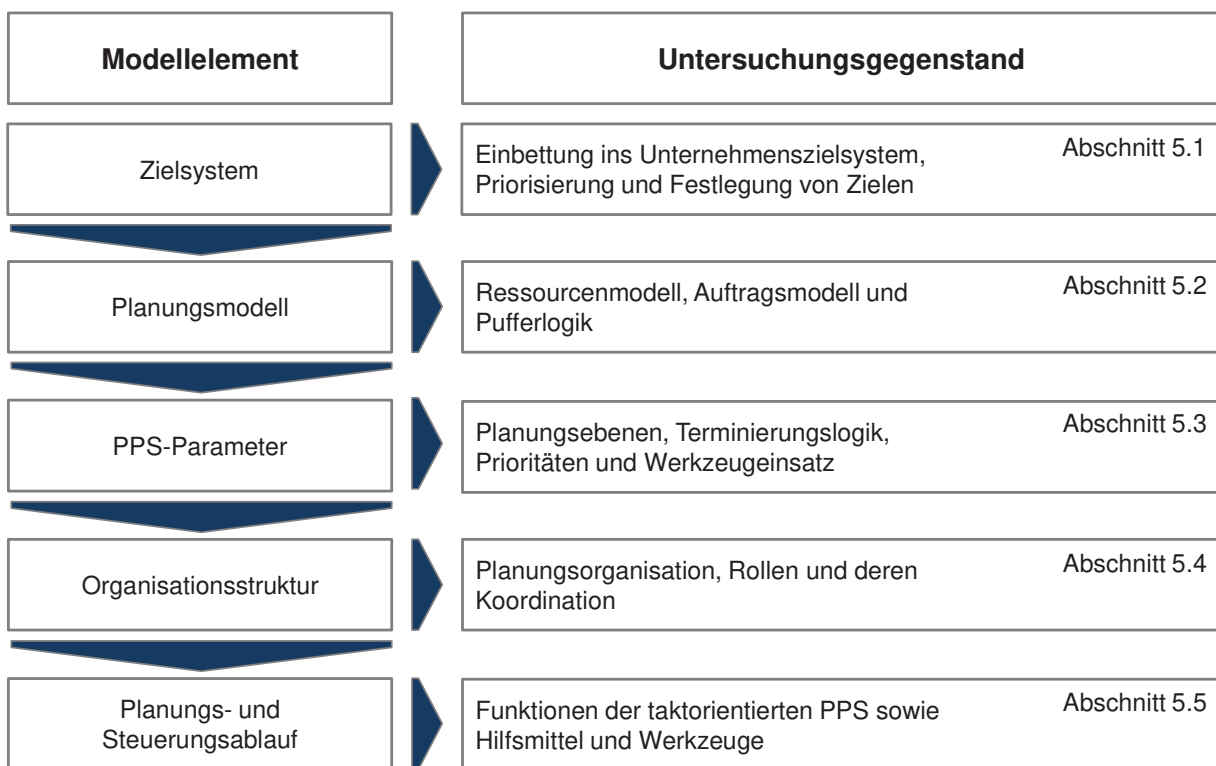


Abbildung 5-1: Aufbau des fünften Kapitels

5.1 Zielsystem

Das Zielsystem des Gestaltungsmodells wird vom entwickelten Wirkmodell geprägt und beeinflusst gleichzeitig die weiteren Modellelemente *Planungsmodell*, *PPS-Parameter*, *Organisationsstruktur* sowie den *Planungs- und Steuerungsablauf*. Dabei sind grundsätzlich folgende Zielgrößen zu berücksichtigen:

- Unternehmensziele wie Kundenzufriedenheit, Termintreue oder Entwicklungskosten,
- Auftragsziele wie das Ergebnis, die Zeit oder der Aufwand für einen Auftrag,
- Artikelziele wie bspw. Anforderungen an die Funktion, die Geometrie, das Gewicht oder die Leistung sowie
- Ziele für die Kapazitätseinheiten wie Auslastungsziele oder Mitarbeiterbedürfnisse.

Aus diesem Grund ist für die Planung und Steuerung ein Zielsystem notwendig, das die vorhandenen Ziele und sich verändernden Messgrößen auf allen Managementebenen berücksichtigt. Die Einbettung des Zielsystems in das St. Galler Management-Konzept ist in Abbildung 5-2 dargestellt. Das normative Management legt die generellen Ziele des Unternehmens wie die Unternehmenspolitik, Leitlinien, Grundsätze und Unternehmensstandards fest. Auf dieser Grundlage definiert das strategische Management die Unternehmensziele. Die Auftragsziele externer und interner Aufträge werden gemeinsam vom strategischen und operativen Management festgelegt. Artikelziele und Ziele der Kapazitätseinheiten werden vom operativen Management bestimmt und kontrolliert, um die übergeordneten Ziele zu erfüllen.

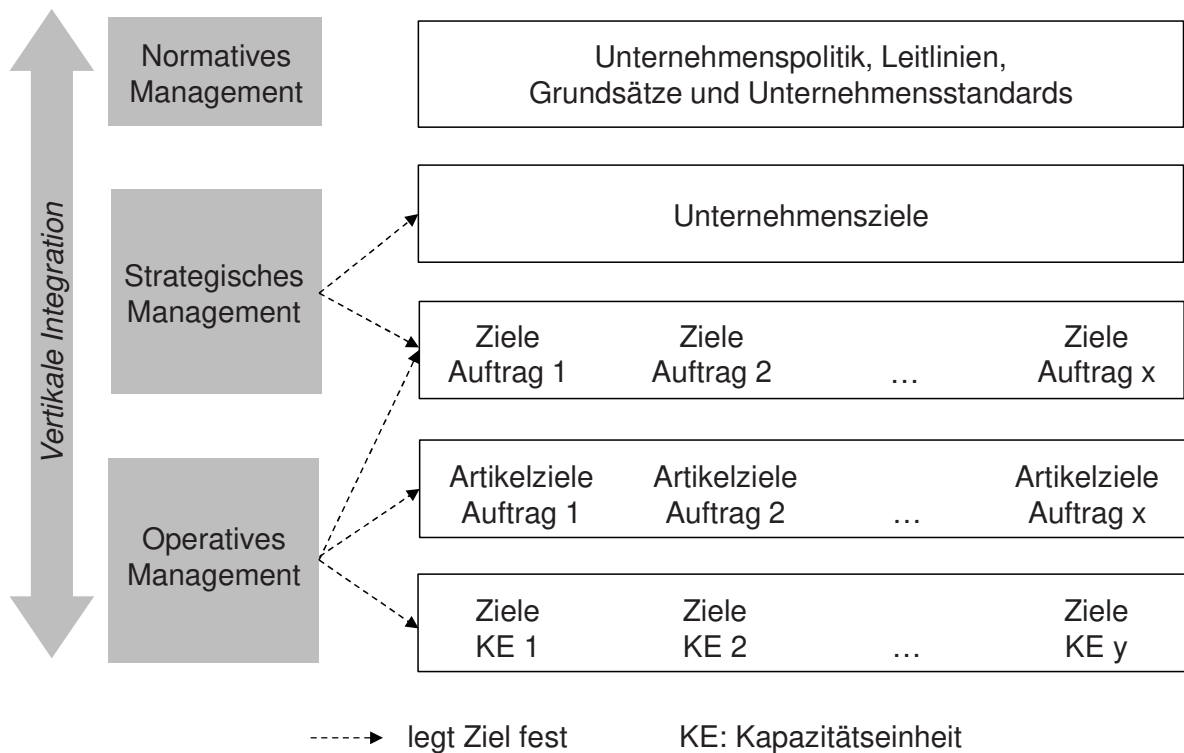
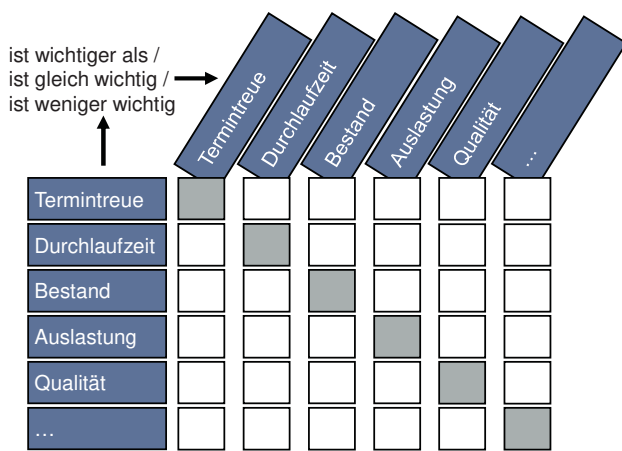


Abbildung 5-2: Einordnung des Zielsystems des Gestaltungsmodells in das St. Galler Management-Konzept

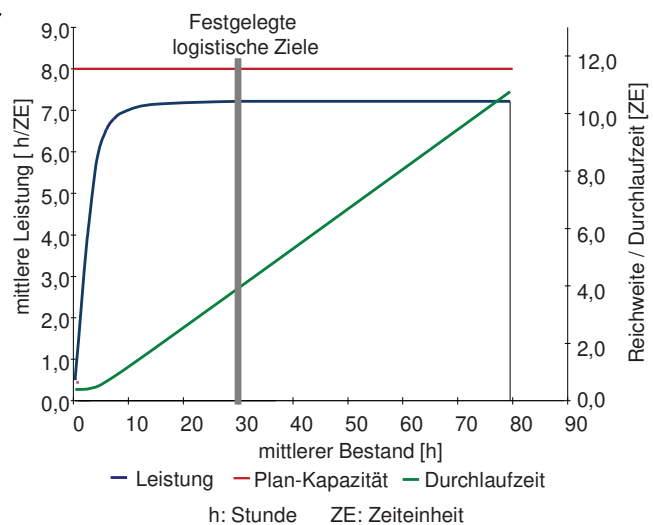
Die Artikelziele sind dabei spezifisch vom jeweiligen Auftrag abhängig. Auf der Ebene des operativen Managements stehen sich die in Kapitel 2.3.4.1 aufgezeigten Wirtschaftlichkeitsziele mit Markt- bzw. Betriebszielen konkurrierend gegenüber. Deshalb ist ausgehend vom Unternehmenszielsystem eine Festlegung der Zielgrößen erforderlich, die sich in den untergeordneten Ebenen widerspiegelt und ein durchgängiges Zielsystem ergibt. Das Zielsystem macht damit eine eindeutige Vorgabe für die PPS.

Um eine Priorisierung der Ziele vorzunehmen, existieren verschiedene Methoden und Werkzeuge wie die Paretoanalyse, die Nutzwertanalyse oder der paarweise Vergleich. Anhand einer Paretoanalyse mit den Faktoren Kosten und Wichtigkeit können die Ziele in Prioritätsklassen eingeteilt werden. Die Nutzwertanalyse ist ein einfaches qualitatives Verfahren, das anhand spezifischer Gewichtungsfaktoren eine Messung und Bewertung von Handlungsalternativen anhand eines Gesamtnutzenwerts vornimmt (vgl. bspw. Schönsleben 2011, S. 139–140). Der paarweise Vergleich verschiedener Zielgrößen ist in Abbildung 5-3a abgebildet.



2: ist wichtiger als 1: ist gleich wichtig 0: ist weniger wichtig

a.) Zielgewichtung durch paarweisen Vergleich



b.) Zieldefinition anhand logistischer Kennlinien

Abbildung 5-3: Gewichtung von Zielgrößen und logistische Positionierung

Dabei werden die zu priorisierenden Zielgrößen in einer Matrix gegenübergestellt. Die Gewichtung erfolgt auf Basis einer paarweisen vergleichenden Bewertung mit Hilfe der Bewertungsgrößen 2 (ist wichtiger als), 1 (ist gleich wichtig) und 0 (ist weniger wichtig). Wenn in der Matrix alle Felder bewertet sind, stellen die Zeilensummen das Gewicht des

jeweiligen Zieles dar. Die absteigende Sortierung der Summenwerte ergibt die Priorisierung der bewerteten Ziele.

Eine Positionierung der Zielgrößen Termintreue, Durchlaufzeit, Bestand und Auslastung kann mit Hilfe der logistischen Kennlinien durchgeführt werden (Nyhuis et al. 2012, S. 81ff.). Wie Abbildung 5-3b aufzeigt definiert eine logistische Zielvorgabe den Soll-Bestand, die Soll-Durchlaufzeit und die Soll-Leistung. Die Vorgabe ist für jede Kapazitätseinheit spezifisch zu treffen und mit den übergeordneten Zielen abzustimmen.

Die taktorientierte PPS zielt auf eine hohe Termintreue bei angemessenem Maß an Durchlaufzeiten, Beständen und Auslastung ab. Das Planungsmodell definiert mit Hilfe einer aggregierten Abbildung von Kapazitätseinheiten ein geeignetes Bestandsniveau. Auf diese Weise kann gleichermaßen eine angemessene Auslastung für die jeweiligen Kapazitätseinheiten gewährleistet werden. Durch die Ressourcentakte sind die Durchlaufzeiten an den jeweiligen Kapazitätseinheiten festgelegt und ergeben summiert die Auftragsdurchlaufzeit. Zur Erreichung einer hohen Termintreue werden im gesamten Planungs- und Steuerungsprozess dynamische Engpasssituationen identifiziert und versucht, Rückstand an Kapazitätseinheiten durch eine vorausschauende Kapazitätsplanung zu vermeiden. Entstandener Rückstand wird durch eine systematische Kapazitätsplanung und -steuerung abgebaut.

5.2 Planungsmodell

Das Planungsmodell beinhaltet die für die Planung und Steuerung notwendigen Objekte. Zunächst ist ein Modell der zu planenden und zu steuernden Kapazitätseinheiten zu definieren. Im zweiten Schritt wird ein Auftragsmodell erarbeitet, das die Kapazitätsbedarfe repräsentiert. Die Pufferlogik und -anwendung dienen der geeigneten Berücksichtigung von Unschärfe und Turbulenzen im Planungsmodell.

5.2.1 Ressourcenmodell

Das Ressourcenmodell bildet die Ressourcen zur Planung und Steuerung in Form von Kapazitätseinheiten ab. Die Kapazitätseinheiten in der taktorientierten PPS sind dabei durch die Taktbreite und das Kapazitätsangebot pro Takt bestimmt. Der Aufwand und die Pflege der für die taktorientierte PPS benötigten Planungsobjekte wird stark vom Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheiten im Ressourcenmodell und den Prozessen im Auftragsmodell beeinflusst. Für die Erstellung eines Ressourcenmodells sind folgende Merkmale auszuarbeiten, die im Weiteren detailliert beschrieben werden:

1. Planungsrelevanz von Ressourcen
2. Ressourcen-Segmentierung und Bildung von Kapazitätseinheiten
3. Taktbreitenbestimmung
4. Kapazitätsgrenzen
5. Spezifika von Kapazitätseinheiten

5.2.1.1 Planungsrelevanz von Ressourcen

Grundsätzlich sind alle Ressourcen, die potentiell statischer, dynamischer oder ereignisdiskreter Engpass sein können, planungsrelevant und damit Bestandteil des Ressourcenmodells. Aufgrund der Vielzahl an vorhandenen potentiellen Engpässen und dem daraus resultierenden PPS-Aufwand sind die zu planenden Ressourcen in geeigneter Form zu Kapazitätseinheiten zu aggregieren oder im Zuge eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses im Sinne von GOLDRATT (vgl. 2.3.3.2) zu reduzieren. Abbildung 5-4 visualisiert

das Prinzip des Ressourcenmodells über die gesamte Auftragsabwicklung auf den unterschiedlichen Detaillierungsebenen. Zunächst sind *planungsrelevante* von *nicht planungsrelevanten* Ressourcen (z. B. R 2) zu differenzieren. Die planungsrelevanten Ressourcen lassen sich in *weiter zu unterteilende Ressourcen* und *Kapazitätseinheiten* klassifizieren.

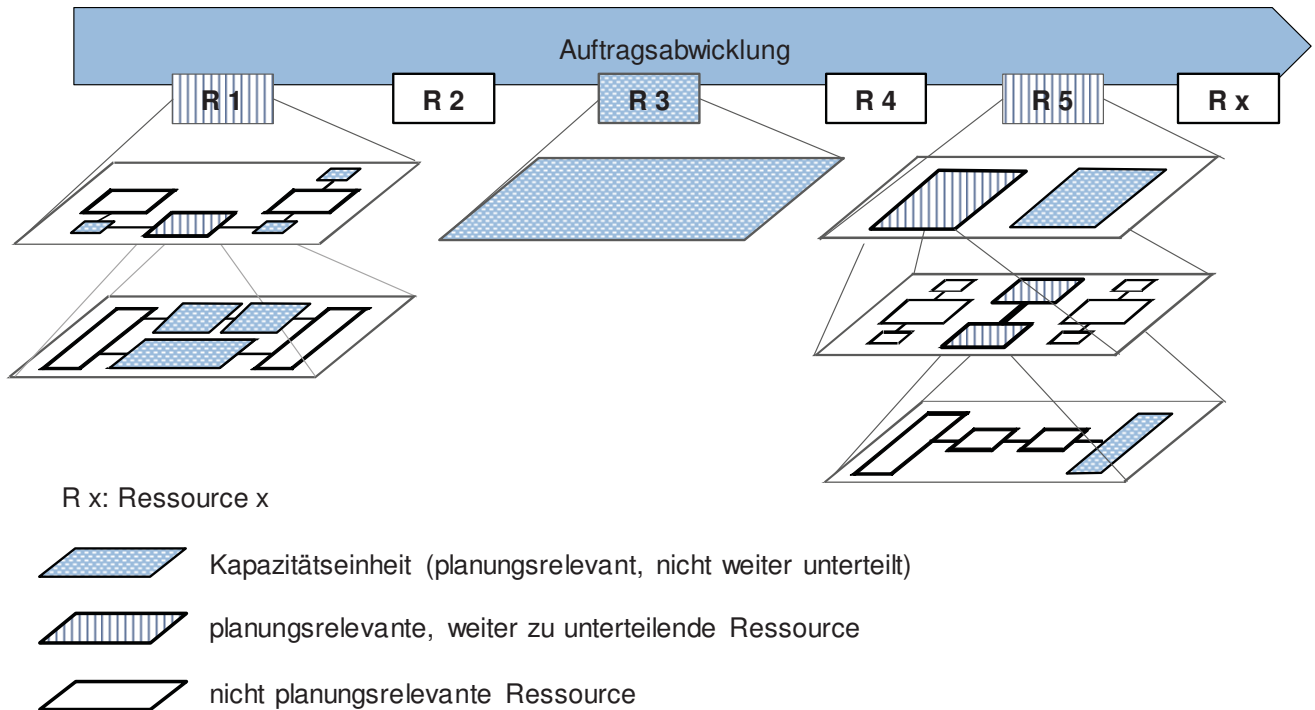


Abbildung 5-4: Prinzip des Ressourcenmodells

Im Hinblick auf die Abbildung von Kapazitätseinheiten im Ressourcenmodell sind zum einen Kapazitätseinheiten zu berücksichtigen, die kapazitiv mit Auftragszeiten geplant werden. Zum anderen existieren Kapazitätseinheiten, die mit Plan-Durchlaufzeiten geplant werden. Dies kann darin begründet sein, dass kein potentieller statischer oder dynamischer Engpass vorliegt, die Streuung der Durchlaufzeiten sehr gering oder die Angabe einer Auftragszeit nicht möglich bzw. sinnvoll ist. Darüber hinaus können auch Transportmittel, die für den Transport zwischen Stationen oder Unternehmensstandorten eingesetzt werden, als Ressourcen angesehen werden. Falls diese zu einer Engpassressource werden können, sind sie ebenso im Ressourcenmodell abzubilden. Um die Zielsetzung der Arbeit - eine kapazitätsgeprüfte durchgängige PPS - zu erreichen, müssen alle potentiellen Engpässe der gesamten Auftragsabwicklungskette berücksichtigt werden. Deshalb sind zunächst die Ressourcen-Segmentierung und die geeignete Bildung von Kapazitätseinheiten zu klären.

5.2.1.2 Ressourcen-Segmentierung und Bildung von Kapazitätseinheiten

Der Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheiten wird durch das Ablaufprinzip sowie planungs- und steuerungsrelevante Prozessschritte bestimmt (Wiendahl 2002, S. 111). Die taktororientierte PPS ist fokussiert auf funktionsorientierte Strukturen, bezieht jedoch ebenso produkt- und prozessorientierte Strukturen ein. Eine Prozess- und Ressourcenanalyse unterstützt bei der geeigneten Ressourcen-Segmentierung und Zusammenfassung von Ressourcen zu Kapazitätseinheiten. Analog zum Vorgehen im Wertstromdesign (Erlach 2010, S. 114ff.) sind dabei folgende Schritte zu durchlaufen:

- a.) Prüfung der Segmentierung und Zusammenfassung ähnlicher Funktionen,
- b.) Analyse einer produktfamilien- bzw. auftragstypenorientierten Segmentierung,
- c.) Analyse von Marktkriterien wie Menge, Nachfrageverlauf und Wettbewerbssituation.

Mit der ergänzten Kundensicht ist es möglich, den aus Kundensicht differenzierten Produktfamilien bzw. Auftragstypen Ressourcen zuzuordnen und diese zusammenzufassen. Falls auf diese Weise eine (teilweise) Auflösung der funktionsorientierten Struktur realisierbar ist, ist eine Reduktion der Planungs- und Steuerungskomplexität durch diese prozess- und merkmalsorientierte Zusammenfassung sinnvoll (siehe Kapitel 3.1.1). Folgende Leitlinien sind dabei zu beachten (vgl. auch Bornhäuser 2009, S. 127ff.):

- Tendenziell sind Kapazitätseinheiten eher vergrößert abzubilden, um dezentralen Handlungsspielraum zu ermöglichen und den Planungsaufwand zu begrenzen.
- Der Grad an Substituierbarkeit hat direkten Einfluss auf die Abbildung der Kapazitätseinheiten. Falls eine Ressource einfach zu substituieren ist, ist eine grobe Abbildung in einer Kapazitätseinheit sinnvoll. Wenn keine oder eine geringe Substituierbarkeit vorliegt, ist die Ressource detailliert abzubilden.
- Der Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheiten ist zu prüfen und unter Umständen zu verfeinern, falls der Kapazitätsbedarf nicht gleichmäßig auf die der Kapazitätseinheit zugeordneten Ressourcen verteilt ist.
- Im Fall einer prozess- und merkmalsorientierten Aggregation zu Kapazitätseinheiten ist zu beachten, dass die in der Kapazitätseinheit zu bearbeitenden Aufträge denselben Ablauf besitzen. Falls Aufträge auftreten, die lediglich eine Teilmenge der Ressourcen der Kapazitätseinheit benötigen, ist der Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheit gegebenenfalls zu erhöhen.

5.2.1.3 Taktbreitenbestimmung

Die Taktbreite stellt ein wesentliches Merkmal der taktorientierten PPS dar und wird für jede Kapazitätseinheit individuell festgelegt. Mit der Festlegung der Taktbreite werden die logistischen Zielgrößen mittlere Durchlaufzeit, mittlerer Bestand und mittlere Leistung einer Kapazitätseinheit bestimmt. Die Taktbreiten werden deshalb sowohl von unternehmensinternen Faktoren, wie dem notwendigen Bestand und der erforderlichen Auslastung als auch von externen Faktoren wie den vom Markt geforderten Lieferzeiten, beeinflusst.

Aufgrund der auftretenden Komplexität in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter besteht die Gefahr, dass durch eine zu kurz gewählte Taktbreite der Handlungsspielraum der Kapazitätseinheiten begrenzt wird, dezentrale Optimierungspotentiale verloren gehen und der Aufwand für die Grobplanung durch zahlreiche von Turbulenzen verursachte Umplanungen hoch ist. Abbildung 5-5 legt das Zeitintervall für die Taktbreite dar. Für Kapazitätseinheiten in der Produktion, deren Auftragszeiten im Minuten- oder Stundenbereich liegen, ist die Taktbreite einer Schicht oder eines Arbeitstags angebracht. Kapazitätseinheiten wie Entwicklungs- oder Konstruktions-

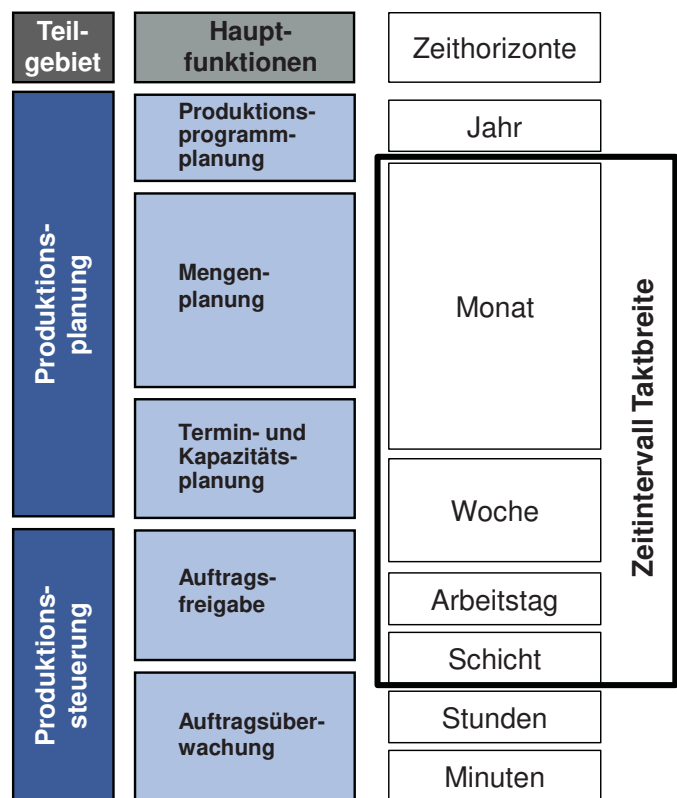


Abbildung 5-5: Eingrenzung der Zeitintervalle für die Taktbreiten (erweitert zu Hackstein 1989, Bornhäuser 2009)

ressourcengruppen, die Prozessschritte mit längeren mittleren Auftragszeiten durchführen, werden mit tendenziell längeren Taktbreiten im Ressourcenmodell abgebildet. Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Taktbreite sind in Abbildung 5-6 dokumentiert.

Des Weiteren können durch ungleichmäßige Taktbreiten zusätzliche Wartezeiten entstehen (Bornhäuser 2009, S. 138). In Abbildung 5-7a besitzt *Kapazitätseinheit 1* eine Taktbreite von 1 Zeiteinheit, *Kapazitätseinheit 2* die doppelte Taktbreite.

Kriterium	Ausprägung untere Grenze		Ausprägung obere Grenze
Mittlere Auftragszeit der KE	gering		hoch
Streuung der Auftragszeiten der KE	gering		hoch
Sinnvoller Arbeitsvorrat zur dezentralen Optimierung innerhalb der KE	gering		hoch
Auftreten von Unsicherheiten (Turbulenzen, Unschärfe) in der KE	gering		hoch
Reaktionszeit für Kapazitätsflexibilitätsmaßnahmen der KE	gering		hoch
Lieferzeit-, Durchlaufzeit- und Bestandsanforderungen der KE	hoch		gering
Liefertoleranzanforderungen der KE	hoch		gering

KE: Kapazitätseinheit

Abbildung 5-6: Wesentliche Einflussgrößen auf die Taktbreite

Bei Beendigung eines Auftrages, der von *Kapazitätseinheit 2* weiterbearbeitet wird, resultiert zum Zeitpunkt 4 eine Wartezeit, da der nächste Takt für *Kapazitätseinheit 2* erst zum Zeitpunkt 5 startet. Gleichermäßen entsteht eine Wartezeit bei einem Übergang von einem langen zu einem kurzen Takt, wenn diese Taktenden nicht auf den gleichen Zeitpunkt fallen (Abbildung 5-7b). Bei komplexen Auftrags- und Materialflüssen ist die Taktbreite deshalb möglichst gleichmäßig festzulegen.

Aufgrund der Vielfältigkeit der Einflussgrößen sowie deren teilweise nicht vollkommen quantitativ beschreibbaren Ausprägungen und Abhängigkeiten ist eine vollständige quantitative Ermittlung der Taktbreiten aus Aufwandgründen nicht praxistauglich. Möglich ist ebenso eine Positionierung mit Unterstützung der logistischen Kennlinien. Diese stellt allerdings hohe Anforderungen an den erforderlichen Dateninput (Auftragszu- und -abgänge sowie Auftragszeiten) und bildet nicht alle Anforderungen aus Abbildung 5-6, bspw. die Lieferzeitanforderungen, ab. Vor allem in den produktionsvorgelagerten Bereichen treten hohe Streuungen und Strukturänderungen der Auftragszeiten, Reihenfolgevertauschungen sowie eine hohe Materialflusskomplexität auf. Deshalb wird im Folgenden ein Näherungsverfahren vorgeschlagen, das auf quantitativen Analysen basiert, aber subjektive Erfahrungswerte einfließen lässt und vom Markt geforderte Lieferzeiten berücksichtigt.

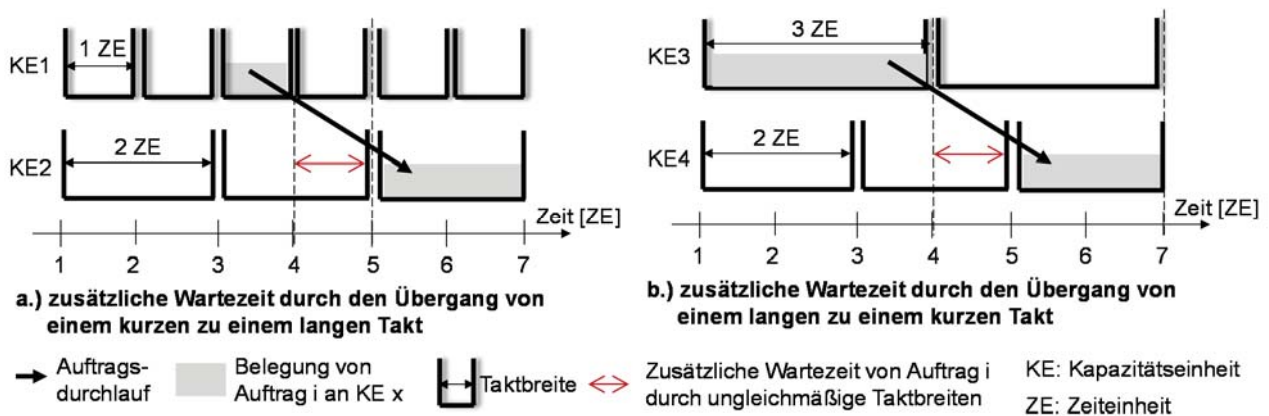


Abbildung 5-7: Entstehende Wartezeiten durch ungleichmäßige Taktbreiten
(i. A. an Bornhäuser 2009, S. 138)

Das Vorgehen zur Taktbreitenbestimmung kann auf Basis historischer Auftragsdaten oder mit Hilfe von Auftrags-Repräsentanten, die einen bedeutsamen Kapazitätsbedarf an den Kapazitätseinheiten verursachen, erfolgen. Zunächst wird im Rahmen des Näherungsverfahrens eine Untergrenze der Taktbreite (Taktbreitenminimum TB^{\min}) errechnet. Im zweiten Schritt setzt eine Berechnung auf Basis der mittleren Durchlaufzeiten in den Prozessen (interne Sicht) und der Lieferzeit (externe Sicht) die Obergrenze der Taktbreite (Taktbreitenmaximum TB^{\max}) fest. Der Vergleich von TB^{\min} und TB^{\max} ermöglicht schließlich die Bestimmung der Taktbreite TB .

Bestimmung des Taktbreitenminimums TB^{\min}

Zu Beginn liefert eine statistische Analyse der an der jeweiligen Kapazitätseinheit vorliegenden Auftragszeiten Klarheit über die an der Kapazitätseinheit zu bearbeitenden Aufträge. Der Mittelwert, die Streuung, die Spannweite, das Maximum und das 0,75-Quantil der Auftragszeiten sind wichtige Kenngrößen, um Ausreißer zu identifizieren und eine repräsentative Stichprobe zu erzeugen. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass alle Vorgänge einer Kapazitätseinheit innerhalb eines Taktes fertiggestellt werden können und demnach keine taktübergreifende Bearbeitung erfolgt.

Zunächst erfolgt eine Betrachtung der idealen Produktionskennlinie (Nyhuis et al. 2012, S. 62ff.). Unter der Voraussetzung, dass keine überlappte Bearbeitung zugelassen ist, lässt sich Gleichung 9-1 aus Anhang A folgendermaßen vereinfachen und für die Bestimmung

des Taktbreitenminimums zunächst die minimale Reichweite einer Kapazitätseinheit berechnen:

$$R_i^{TBmin} = ZDF_i^m \cdot (1 + (ZDF_i^v)^2) + \frac{ZTR_i^m}{L_i^{max}} \quad \text{Gleichung 5-1}$$

- mit R_i^{TBmin} : minimale Reichweite für die Bestimmung des Taktbreitenminimums an Kapazitätseinheit i [BKT]
 ZDF_i^m : mittlere Durchführungszeit an Kapazitätseinheit i [BKT]
 ZDF_i^v : Variationskoeffizient der Durchführungszeit an Kapazitätseinheit i [-]
 ZTR_i^m : mittlere Transportzeit an Kapazitätseinheit i [Stunden]
 L_i^{max} : maximal mögliche Leistung an Kapazitätseinheit i [Stunden/BKT]

Hieraus resultiert für die minimale Durchlaufzeit an der Kapazitätseinheit die Summe aus der mittleren Durchführungszeit und ggf. anfallenden Transportzeiten:

$$ZDL_i^{min} = ZDF_i^m + \frac{ZTR_i^m}{L_i^{max}} \quad \text{Gleichung 5-2}$$

- mit ZDL_i^{min} : minimale Durchlaufzeit für die Bestimmung des Taktbreitenminimums an Kapazitätseinheit i [BKT]
 ZDF_i^m : mittlere Durchführungszeit an Kapazitätseinheit i [BKT]
 ZTR_i^m : mittlere Transportzeit an Kapazitätseinheit i [Stunden]
 L_i^{max} : maximal mögliche Leistung an Kapazitätseinheit i [Stunden/BKT]

Als weiterer Richtwert wird die über die mittlere Reichweite, den Mittelwert und den Variationskoeffizienten der Durchführungszeit berechenbare Durchlaufzeit herangezogen (vgl. Nyhuis et al. 2012, S. 85):

$$ZDL_i^m = R_i^m - ZDF_i^m \cdot (ZDF_i^v)^2 \quad \text{Gleichung 5-3}$$

- mit ZDL_i^m : mittlere Durchlaufzeit an Kapazitätseinheit i [BKT]
 R_i^m : mittlere Reichweite an Kapazitätseinheit i [BKT]

ZDF_i^m : mittlere Durchführungszeit an Kapazitätseinheit i [BKT]

ZDF_i^v : Variationskoeffizient der Durchführungszeit an Kapazitätseinheit i [-]

Darüber hinaus ist die Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren aus Abbildung 5-6 durch Expertenbefragungen möglich und sinnvoll. Auf diese Weise lassen sich die noch vertretbare Auslastung, der sinnvolle Arbeitsvorrat oder die theoretisch minimale Durchlaufzeit einer Kapazitätseinheit anhand von Einfach- oder Mehrfachschätzungen überschlagen und zu einem durch Experten geschätzten Taktbreitenminimum $TB_i^{\min,Exp}$ kombinieren. Hier sind unter Umständen durch die Experten implizit zugeschlagene Sicherheitsfaktoren durch Abschläge zu verringern.

Das Taktbreitenminimum einer Kapazitätseinheit ergibt sich aus dem Maximum der zuvor errechneten Kenngrößen:

$$TB_i^{\min} = \max\{ZDL_i^{\min}; ZDL_i^m; TB_i^{\min,Exp}\} \quad \text{Gleichung 5-4}$$

mit TB_i^{\min} : Taktbreitenminimum einer Kapazitätseinheit i [BKT]

ZDL_i^{\min} : minimale Durchlaufzeit für die Bestimmung des Taktbreitenminimums an Kapazitätseinheit i [BKT]

ZDL_i^m : mittlere Durchlaufzeit an Kapazitätseinheit i [BKT]

$TB_i^{\min,Exp}$: durch Experten geschätzten Taktbreitenminimum [BKT]

Bestimmung des Taktbreitenmaximums TB_i^{\max}

Die Bestimmung des Taktbreitenmaximums erfolgt vornehmlich aus Auftragssicht. Deshalb sind entweder Aufträge mit ähnlicher Prozessabfolge zu Ablauftypen zu gruppieren (siehe auch Kapitel 5.2.1.2) oder geeignete Auftrags-Repräsentanten für bestimmte Auftragsdurchläufe zu definieren³⁷.

³⁷ Alternativ ist es auch möglich, die in Kapitel 5.2.2.3 erläuterten Auftragsstypen zu nutzen. Vornehmliches Klassifizierungskriterium sind dort allerdings die *Höhe des Aufwands* und die *Streuung des Aufwands*, weniger die unterschiedlichen Prozessabfolgen.

Die externe Sicht stellt die aus den Istdaten hervorgehenden Lieferzeiten und damit ein Maß für die vom Markt geforderten Durchlaufzeiten dar. Die interne Sicht beschreibt die durch die internen Prozesse benötigten Durchlaufzeiten.

Der erste Schritt besteht in der Berechnung der mittleren Gesamtdurchführungszeit aller Aufträge eines Ablauftyps.

$$ZDF_k^m \approx \frac{\frac{1}{v} \sum_{j=1}^v ZAU_{j,k}}{L_k^m} \quad \text{Gleichung 5-5}$$

mit: ZDF_k^m : mittlere Durchführungszeit des Ablauftyps k [BKT]
 $ZAU_{j,k}$: Auftragszeit von Auftrag j des Ablauftyps k [Stunden]
 L_k^m : mittlere Leistung der an Ablauftyp k beteiligten Kapazitätseinheiten³⁸ [Stunden/BKT]

Je definiertem Ablauftyp wird im nächsten Schritt die durchschnittliche Durchlaufzeit berechnet. Die Differenz der mittleren Durchlaufzeit und der mittleren Durchführungszeit eines Ablauftyps ergibt die durchschnittliche Gesamtübergangszeit eines Ablauftyps.

$$ZUE_k^{ges} = ZDL_k^m - ZDF_k^m \quad \text{Gleichung 5-6}$$

mit: ZUE_k^{ges} : mittlere Gesamtübergangszeit des Ablauftyps k [BKT]
 ZDL_k^m : mittlere Gesamtdurchlaufzeit des Ablauftyps k [BKT]
 ZDF_k^m : mittlere Durchführungszeit des Ablauftyps k [BKT]

Die interne Sicht gliedert die Ablauftypen in ihre Prozesse und bestimmt die mittleren Auftragszeiten der Prozesse eines Ablauftyps. Bedeutend für die weiteren Berechnungen ist der Anteil der Auftragszeit eines Prozessschritts an der mittleren Gesamtauftragszeit, da dieser Anteil im Anschluss dazu verwendet wird, um die Verteilung der mittleren Gesamtübergangszeit auf die einzelnen Prozessschritte vorzunehmen.

³⁸ Im Gegensatz zur Berechnung des Taktbreitenminimums wird hier die mittlere Leistung herangezogen, da die Taktobergrenze auch Unsicherheiten berücksichtigen sollte, die sich in einer Abweichung der mittleren Leistung von der maximalen Leistung zeigen. Durch die Verwendung der mittleren Leistung in Gleichung 5-5 steigt der Wert des Taktbreitenmaximums.

$$\rho_{k,l}^{ZAU} = \frac{ZAU_{k,l}^m}{\sum_{l=1}^w ZAU_{k,l}^m} \quad \text{Gleichung 5-7}$$

mit: $\rho_{k,l}^{ZAU}$: Anteil der Auftragszeit von Prozessschritt l an der Gesamtauftragszeit des Ablauftyps k [-]
 $ZAU_{k,l}^m$: mittlere Auftragszeit von Prozessschritt l des Ablauftyps k [Stunden]

Mit dem Anteil $\rho_{k,l}^{ZAU}$ kann nun für jeden Prozessschritt der Anteil der mittleren Gesamtübergangszeit berechnet und zur mittleren Durchführungszeit des Prozessschrittes addiert werden. Der Anteil $\rho_{k,l}^{ZAU}$ wird im Zuge der Verteilung der Puffer auf die Prozessschritte dazu genutzt, die Puffer für die jeweiligen Prozessschritte einzustellen (vgl. Kapitel 5.2.3.3) Resultat ist eine aus Durchführungszeit und anteiliger Übergangszeit bestehende Durchlaufzeit des Prozessschrittes:

$$ZDL_{k,l}^{ang} = ZDF_{k,l}^m + \rho_{k,l}^{ZAU} \cdot ZUE_k^{ges} \quad \text{Gleichung 5-8}$$

mit: $ZDL_{k,l}^{ang}$: angenommene Durchlaufzeit von Prozessschritt l in Ablauftyp k [BKT]
 $ZDF_{k,l}^m$: mittlere Durchführungszeit von Prozessschritt l des Ablauftyps k [BKT]
 $\rho_{k,l}^{ZAU}$: Anteil der Auftragszeit von Prozessschritt l an der Gesamtauftragszeit des Ablauftyps k [-]
 ZUE_k^{ges} : mittlere Gesamtübergangszeit des Ablauftyps k [BKT]

Für die Ermittlung des errechneten Taktbreitenmaximums an Kapazitätseinheit i werden alle für eine Kapazitätseinheit relevanten Prozessschritte und Prozesse der definierten Ablauftypen herangezogen und das Minimum der angenommenen Durchlaufzeit bestimmt:

$$TB_i^{max} = \min_k \left\{ \min_l \{ ZDL_{i,k,l}^{ang} \} \right\} \quad \text{Gleichung 5-9}$$

mit: TB_i^{max} : errechnetes Taktbreitenmaximum an Kapazitätseinheit i [BKT]
 $ZDL_{k,l}^{ang}$: angenommene Durchlaufzeit von Prozessschritt l in Ablauftyp k [BKT]

Auch hier sind der Mittelwert, die Standardabweichung, die Spannweite, das Minimum und das 0,25-Quantil hilfreiche Kennwerte, um Ausreißer zu identifizieren und eine repräsentative Menge zu erzeugen. Unterstützend können statistische Analysen der Durchlaufzeiten

der Kapazitätseinheit herangezogen werden, um einen Vergleich zwischen den in Gleichung 5-8 errechneten angenommenen und den tatsächlichen Durchlaufzeiten vorzunehmen. Ähnlich wie bei der Bestimmung des Taktbreitenminimums ist es auch beim Taktbreitenmaximum sinnvoll, weitere Einflussfaktoren aus Abbildung 5-6 durch Expertenbefragungen zu integrieren. Auf diese Weise lassen sich bspw. Liefertoleranzanforderungen berücksichtigen oder Vorgänge identifizieren, die sich über mehrere Takte erstrecken sollten. Die ergänzenden Durchlaufzeitanalysen und Expertenbefragungen validieren die über Gleichung 5-8 errechnete Lösungsmenge.

Bestimmung der Taktbreite TB

Aus dem Vergleich des jeweiligen Taktbreitenminimums und Taktbreitenmaximums resultiert die geeignete Taktbreite für eine Kapazitätseinheit. Aus Gründen der Verständlichkeit, Einfachheit in der Handhabung und der Verringerung des Problems ungleichmäßiger Taktbreiten ist eine Rundung auf einen ganzzahligen Wert sinnvoll (siehe Abbildung 5-5). Abbildung 5-8 visualisiert den Vergleich anhand der logistischen Kennlinien. Mit der Taktbreite TB werden die Durchlaufzeit der Kapazitätseinheit, die Höhe der Arbeitspakete (Bestand) sowie deren Leistung festgelegt.

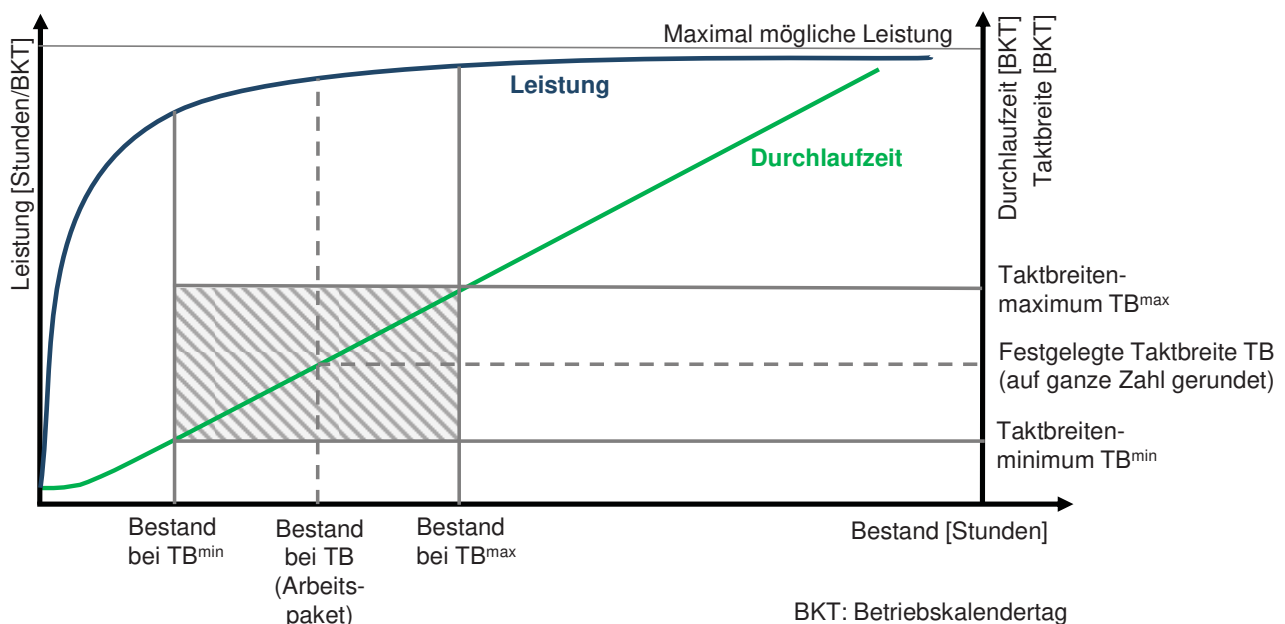


Abbildung 5-8: Vergleich von Taktbreitenminimum und -maximum zur Bestimmung der Taktbreite TB

Drei unterschiedliche Fälle resultieren aus dem Vergleich von Taktbreitenminimum und Taktbreitenmaximum:

- $TB^{\min} < TB^{\max}$: Festlegung eines ganzzahligen Wertes zwischen TB^{\min} und TB^{\max}
- $TB^{\min} = TB^{\max}$: Festlegung des nächstgelegenen ganzzahligen Wertes
- $TB^{\min} > TB^{\max}$: Kritische Überprüfung der ermittelten Grenzen mit Experten; im Zweifelsfall Festlegung auf den Mittelwert oder den Wert TB^{\max} ; Durchführung von Optimierungen oder Investitionen

5.2.1.4 Kapazitätsgrenzen

Die Festlegung der Kapazitätsgrenzen der Kapazitätseinheiten sind Grundlage für die Kapazitätsplanung und -steuerung. Die Kapazitätsgrenzen können je Kapazitätseinheit und je Takt differieren. Wie Abbildung 5-9 darstellt, sind dabei drei verschiedene Grenzen zu unterscheiden. Die Normalbetriebsgrenze zeigt an, wie viele Aufträge eingeplant werden können, ohne dass zusätzliche Kapazitätsflexibilitätsmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Die Überlastgrenze legt fest, wie viele Aufträge maximal - unter Einsatz der vollen Kapazitätsflexibilität - eingelastet werden können. Die Unterlastgrenze stellt das Pendant der Überlastgrenze als Untergrenze dar.

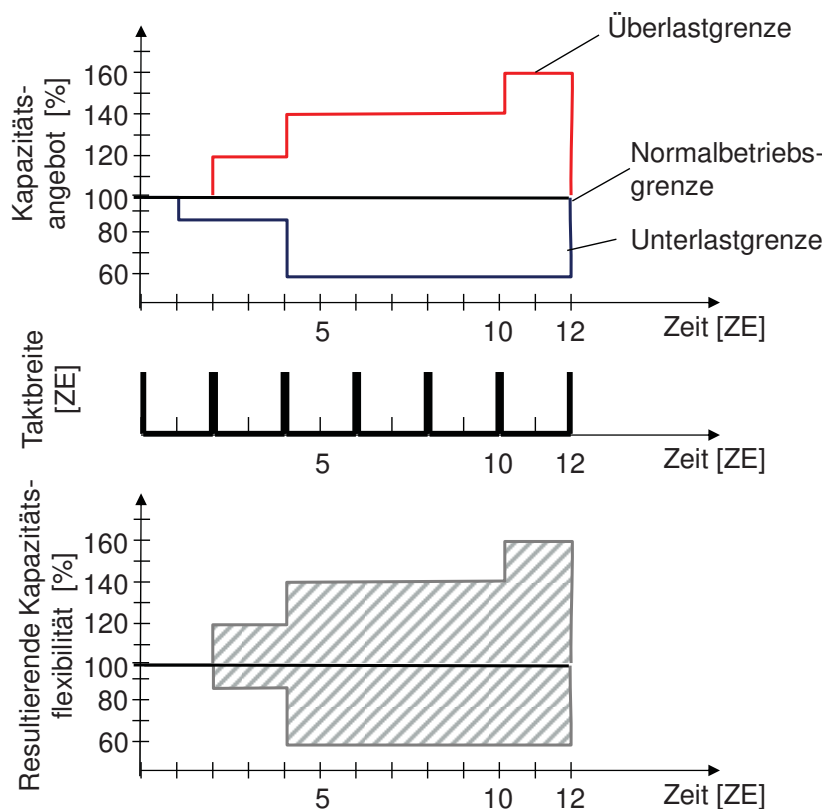


Abbildung 5-9: Kapazitätsgrenzen und Kapazitätsflexibilität der Kapazitätseinheit

Die aus den Kapazitätsgrenzen resultierende quantitative Kapazitätsflexibilität ist in Abbildung 5-9 unten dargestellt. Das flexible Potential ist über die Aggregation von Ressourcen

im Ressourcenmodell und die Anpassung der Kapazitätsgrenzen abgebildet: wenn ein Mitarbeiter einer Kapazitätseinheit x mit einer bestimmten Qualifikation in einer anderen Kapazitätseinheit y eingesetzt wird, ist das zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot in der Kapazitätseinheit x zu senken.

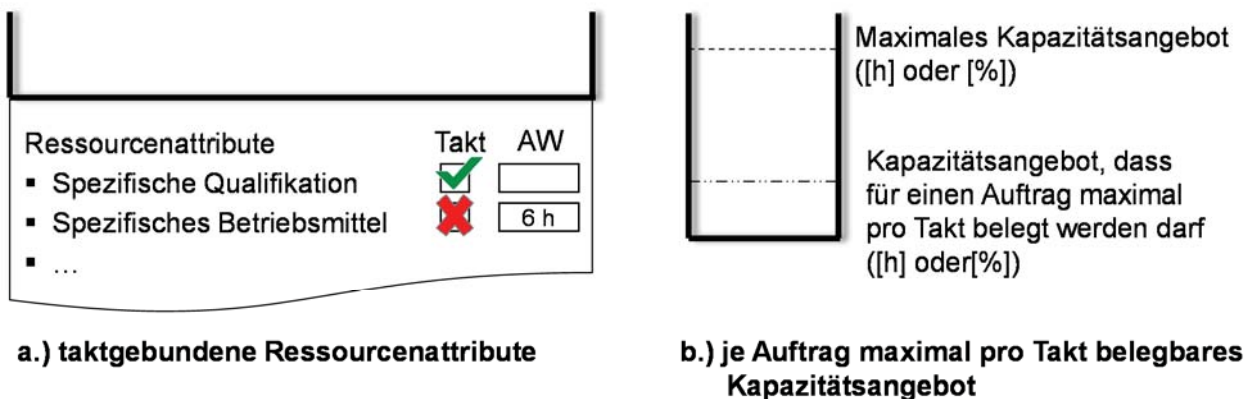
Das Über- bzw. Unterschreiten einer der Grenzen im Rahmen der Einplanung von Aufträgen löst einen Handlungsbedarf in der Kapazitätsplanung aus. Falls die Normalbetriebsgrenze überschritten wird, sind die zur Verfügung stehenden Maßnahmen der Kapazitätsflexibilität vorausschauend einzuleiten (vgl. 2.3.3.2). Eine Verletzung der Überlastgrenze erfordert die Umplanung von Aufträgen. Die Grenzen der Kapazitätseinheiten hängen von mehreren Faktoren ab: eine geringe Reaktionszeit, ein hohes Maß an Turbulenzen und eine geringe Belastungsflexibilität erfordern ein höheres Maß an Kapazitätsflexibilität (siehe Abschnitt 2.3.3.2 und 2.3.3.3).

Im Rahmen der Kapazitätssteuerung passen die Kapazitätseinheiten ihr Kapazitätsangebot während des Taktes an. Für die Kapazitätssteuerung ist die Differenz zwischen der Überlastgrenze und dem eingelasteten Kapazitätsbedarf relevant, um auf Unsicherheiten zu reagieren zu können. Eine größere Taktbreite ermöglicht dabei mehr Handlungsspielraum durch die größere Reaktionszeit innerhalb des Taktes. Die Höhe der für die Kapazitätssteuerung zur Verfügung stehenden Kapazitätsflexibilität richtet sich nach dem Ausmaß der auftretenden Unsicherheiten sowie der Position im Auftragsfluss. Da der Einfluss von Terminabweichungen auf die Liefertermintreue durch die abnehmende Wirkung dezentraler Optimierungen und Absprachen in Richtung des Auftragsflusses zunimmt, ist es sinnvoll, in Richtung des Auftragsflusses zunehmende Flexibilität für die Kapazitätssteuerung bereitzustellen (Bornhäuser 2009, S. 142).

5.2.1.5 Spezifika von Kapazitätseinheiten

Das Ressourcenmodell verfolgt die Leitlinie, Ressourcen möglichst grob abzubilden. Um auf spezielle temporäre Eigenschaften von Ressourcen sowie dynamische Veränderungen ohne eine Anpassung des Ressourcenmodells reagieren zu können, besteht die Möglichkeit, Kapazitätseinheiten mit erweiterten Eigenschaften zu versehen, die je Takt und Kapazitätseinheit variieren können (taktgebundene Ressourcenattribute).

Wie Abbildung 5-10a veranschaulicht ist es möglich, eine spezifische Qualifikation oder ein spezifisches Betriebsmittel als *vorhanden* oder *nicht vorhanden* zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung gilt entweder für den gesamten Takt oder für einen gewissen Zeitaufwand. Im Prozessmodell sind die für die Ausführung eines Prozessschrittes notwendigen spezifischen Qualifikationen oder Betriebsmittel gleichermaßen angegeben. Wenn die spezifische Qualifikation in dem Takt nicht vorhanden ist, ist eine Einplanung des Prozessschritts nicht möglich. Auf diese Weise kann z. B. ein Spezialist für eine bestimmte Tätigkeit abgebildet werden, ohne ihn im Ressourcenmodell als separate Kapazitätseinheit abzubilden. Gleichermaßen können Rüstreihenfolgen definiert werden, indem die Attribute gemäß der Rüstreihenfolge gepflegt werden und eine zwingende Einplanung in der vorgeschriebenen Sequenz erfolgt.



- vorhanden
- Takt: Gültigkeit für gesamten Takt
- AW: Aufwand [h]: Gültigkeit für x Stunden
- nicht vorhanden
- h: Stunden
- positiver Wert: vorhanden
- negativer Wert: nicht vorhanden

Abbildung 5-10: Spezifika von Kapazitätseinheiten

Um zu vermeiden, dass durch einen Auftrag mit hohem Aufwandsvolumen die gesamte im Takt zur Verfügung stehende Kapazität belegt wird, wird für jeden Takt ein für einen Auftrag maximal pro Takt belegbares Kapazitätsangebot verwendet (Abbildung 5-10b). Auf diese Weise wird sichergestellt, dass trotz Vergrößerung der Ressourcen zu Kapazitätseinheiten eine angemessene Anzahl an Aufträgen für die dezentrale Feinplanung und Optimierung pro Takt zur Verfügung steht.

5.2.2 Auftragsmodell

Im Auftragsmodell werden die durchzuführenden Prozesse mit ihren Auftrags- und Durchlaufzeiten abgebildet. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Aufträge beinhaltet das Auftragsmodell verschiedene Untermodelle in Form von Auftragsstypen. Auftragspläne für die PPS entstehen durch die Bildung von Instanzen der Auftragsstypen für anstehende und vorliegende Aufträge. Im Zuge dieses Abschnitts sind für die Gestaltung des Auftragsmodells deshalb folgende Merkmale zu definieren:

1. Planungsrelevanz von Aufträgen
2. Planungsrelevanz von Prozessschritten
3. Auftragsstypen-Klassifizierung
4. Auftrags- und Durchlaufzeiten
5. Spezifika von Prozessschritten

5.2.2.1 Planungsrelevanz von Aufträgen

Um die Anforderungen einer geringen Plan-Soll-Abweichung und einer hohen logistischen Zielerreichung in der PPS zu erfüllen, sind grundsätzlich alle kapazitätsrelevanten Bedarfe zu berücksichtigen. Diese können Kundenaufträge, Entwicklungsaufträge, aber auch Kundenanfragen und sonstige interne Projekte einschließen. Eine Paretoanalyse der kapazitätsrelevanten Bedarfe liefert Aufschluss über die Klassifizierung und Planungsrelevanz von Aufträgen. Die Analyse gruppiert *A-Aufträge* mit ca. 70-80%, *B-Aufträge* mit ca. 15-25% und *C-Aufträge* mit ca. 5-10% des Gesamtkapazitätsbedarfs. Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die Planungsrelevanz von Aufträgen ziehen:

- *A-Aufträge* und ein Teil der *B-Aufträge* stellen planungsrelevante Aufträge dar, die mit Hilfe von Auftragsplänen in der Planung abgebildet werden.
- Eine Auswahl von *B- und C-Aufträgen* sind zwar für die PPS relevant und werden entsprechend berücksichtigt, allerdings nicht in Form von Auftragsplänen.
- Bestimmte *C-Aufträge* finden keine Beachtung in der PPS. Dieser Teil der Aufträge sollte zur Erreichung einer geringen Plan-Soll-Abweichung stark begrenzt sein.

5.2.2.2 Planungsrelevanz von Prozessschritten

Bezüglich der Planungsrelevanz von Prozessschritten ist nach dem Grundsatz zu verfahren, dass alle kapazitäts- und durchlaufzeitrelevanten Prozessschritte im Auftragsmodell zu beachten sind. Die Durchlaufzeitrelevanz bezieht sich auf die Theorien des kritischen Pfads und der kritischen Kette.

Prozessschritte können grundsätzlich in interne und externe Vorgänge unterteilt werden. Externe Vorgänge können Prozessschritte bei anderen Unternehmen oder auch Transportvorgänge zwischen Standorten sein. Bei Prozessschritten, die in anderen Unternehmen ablaufen, kann eine Planung gegen begrenzte Kapazitäten in der Regel nicht erfolgen. Für Transporte, die spezielle Transportmittel erfordern, ist eine Planung der begrenzten Transportkapazitäten möglich und kann in einigen Fällen sinnvoll sein. Bei externen Prozessschritten sollten im Auftragsmodell alle Wiederbeschaffungszeiten, die durchlaufzeitrelevant sind oder zu Turbulenzen führen können, abgebildet sein. Die internen Prozessschritte, die einer Kapazitätsplanung unterliegen, werden mit Auftragszeiten im Auftragsmodell hinterlegt.

Eine Durchlaufzeitplanung bildet die internen und externen Prozessschritte lediglich mit einer Plan-Durchlaufzeit im Auftragsmodell ab. Um das Ziel einer kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung zu erreichen, ist die Durchlaufzeitplanung bei potentiellen Engpässen zu vermeiden. Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess durch Anwendung von planerischen Aggregationen und Prinzipien des Wertstromdesigns wie die Einführung von Fließstrecken, FIFO-Prinzipien und Schrittmacherprozessen die Anzahl der kapazitiv zu planenden Prozessschritte sukzessiv reduziert werden sollte.

5.2.2.3 Auftragstypen-Klassifizierung

Abbildung 5-11 visualisiert die Auftragstypen des Gestaltungsmodells anhand der Dimensionen *Größe des Aufwands* und *Streuung des Aufwands*. Standardaufträge besitzen einen vergleichsweise geringen Aufwand und eine geringe Streuung des Aufwands. Großaufträge unterscheiden sich davon in der Anzahl der Komponenten und dem damit verbundenen

Aufwand. Im Gegensatz dazu sind bei Anpassungsaufträgen die Aufwände für die durchzuführenden Tätigkeiten heterogener. Hier wird zwischen Anpassungsaufträgen mit kleinen und großen Anpassungen unterschieden. Entwicklungsaufträge mit einer Vielzahl an Entwicklungs-, Konstruktions- und Arbeitsvorbereitungsaufgaben weisen sowohl einen hohen Aufwand als auch eine große Streuung des Aufwandes auf.

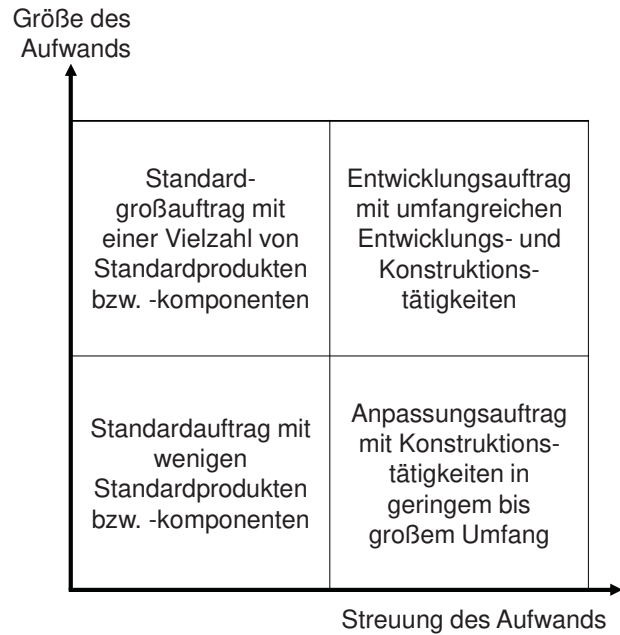


Abbildung 5-11: Auftragstypen des Gestaltungsmodells

Die Auftragstypen unterscheiden sich neben dem Aufwand und der Streuung des Aufwands in der Wiederholhäufigkeit, den

Lieferzeitanforderungen sowie der Anzahl der in der Auftragsabwicklung zu durchlaufenden Ressourcen und zu erledigenden Prozessschritte. Des Weiteren ist der Grad an Unschärfe sowie das Ausmaß an auftretenden Turbulenzen bei Anpassungs- und Entwicklungsaufträgen höher, was sich in der durch die Aufträge verursachten Komplexität in der PPS niederschlägt. Eine detaillierte Zuordnung der Merkmalsausprägungen zu den definierten Auftragstypen findet sich in Anhang B.

Die Bildung von Auftragstypen und die Zuordnung von Aufträgen zu einer Gruppe werden durch die Clusteranalyse unterstützt. Die aufgezeigten Merkmale können dabei zur Berechnung des Distanzmaßes herangezogen werden.

5.2.2.4 Auftrags- und Durchlaufzeiten

Tabelle 5-1 nimmt eine Einordnung der betrachteten Verfahren zur Ermittlung von Sollwerten für Auftrags- und Durchlaufzeiten (siehe Kapitel 2.3.4.4 sowie die ausführliche Darstellung in Anhang A (9.1.4)) anhand unterschiedlicher Bewertungsmerkmale vor. Das notwendige Methodenwissen bezeichnet das für die geeignete Anwendung des Verfahrens notwendige Wissen. Zudem ist die Güte des Ergebnisses abhängig von der Erfahrung des Durchführenden. Gerade bei den Schätzverfahren ist der Grad der notwendigen Erfahrung

als hoch einzustufen. Demgegenüber stellen Schätzverfahren nur geringe Anforderungen an die Datengrundlage. Der Aufwand zur Erzeugung einer angemessenen Datenbasis ist für die Planzeitermittlung, die Simulation und die Berechnung als hoch einzuordnen. Die Dauer der Zeitermittlung beschreibt die Zeit für die operative Ermittlung der Zeiten und richtet sich an den bis zu diesem Zeitpunkt getätigten Vorarbeiten aus. Während bei der Simulation und den Berechnungsverfahren der Aufwand in der Erzeugung einer entsprechenden Datengrundlage und nicht in der Ermittlung der Zeiten besteht, ist bei den Mess- und Beurteilungsverfahren mit einer höheren Zeitdauer zu rechnen. Bei den Schätzverfahren kann der Aufwand und die Dauer für die Zeitermittlung stark variieren – von der Schätzung durch eine Person bis hin zu einer aufwendigen Mehrfachschätzung. Demzufolge ist auch der Grad an Subjektivität bei den Schätz- und Messverfahren höher. Bei der Modellierung von Einflussfaktoren (Planzeitermittlung, Simulation, Berechnen) herrschen ebenso subjektive Einflüsse vor, diese werden allerdings bei den aufgezeigten Verfahren mit der erzeugten Datengrundlage validiert.

	Messen und Beurteilen	Planzeitermittlung	Simulation	Schätzen	Berechnen
Notwendiges Methodenwissen					
Erforderliche Erfahrung					
Anforderung an Datengrundlage					
Dauer der Zeitermittlung					
Grad der Subjektivität					
Genauigkeit der Zeiten					
Legende Erfüllungsgrad: = hoch = mittel = gering					

Tabelle 5-1: Merkmale der Sollzeit-Ermittlungsverfahren

Gerade der Aufwand zur Schaffung einer geeigneten Datenbasis und das erforderliche Methodenwissen bei einigen der Verfahren führen dazu, dass in der Praxis Schätzverfahren am weitesten verbreitet sind.

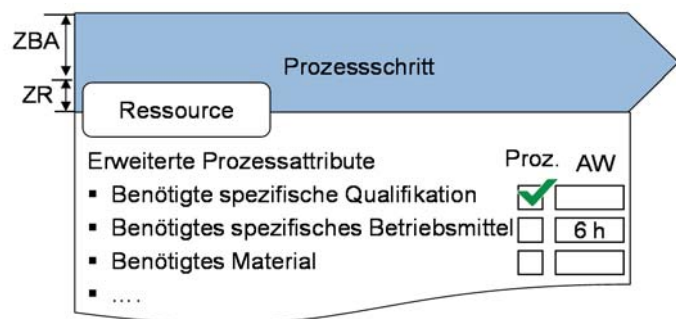
5.2.2.5 Spezifika von Prozessschritten

In der Regel sind die für einen Prozessschritt notwendigen Ressourcen über die Zuordnung der Grundobjekte Kapazitätseinheit (im Ressourcenmodell) und Prozessschritt (im Auftragsmodell) abgedeckt. Wenn allerdings besondere oder dynamische Voraussetzungen bestehen, die nicht über das Auftrags- und Ressourcenmodell abgedeckt werden können oder sollen, ist es möglich, erweiterte Prozessattribute zu definieren. Dies ermöglicht einerseits eine vergrößerte Abbildung von Prozessschritten und Kapazitätseinheiten, andererseits aber auch die Berücksichtigung einer hohen Dynamik sowie der Verfügbarkeit von spezifischen Qualifikationen, Betriebsmitteln oder Material.

Wie Abbildung 5-12a darstellt können für den Prozessschritt benötigte spezifische Attribute definiert werden, die zur Bearbeitung erforderlich sind. Dabei kann angegeben werden, ob die spezifischen Ressourcen für den gesamten Prozessschritt erforderlich sind oder einen bestimmten Aufwand erfordern. Eine Abstimmung bezüglich des genauen Verfügbarkeitszeitpunkts obliegt in diesem Fall der Feinplanung.

Bei großen Auftragszeiten und langen Auftragsdurchlaufzeiten bei einer Kapazitätseinheit können mehrere Takte belegt werden. Die zu erledigenden Arbeiten werden auf mehrere Takte verteilt und der als letztes

belegte Takt gilt als Abschlusstakt. Weitere Spezifika sind daher die Vorgabe einer nicht zu großen Auftragsdehnung (der Auftrag bzw. Prozessschritt darf bspw. aufgrund einer begrenzten Haltbarkeit des Materials nicht zu lange gedehnt werden, Abbildung 5-12b) und der Verzicht auf eine Unterbrechung eines Auftrags.

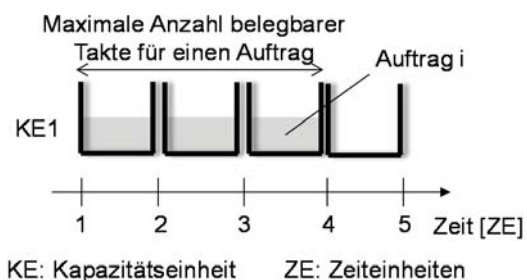


ZBA: Bearbeitungszeit ZR: Rüstzeit h: Stunden

Proz.: für gesamten Prozess benötigt

AW: Aufwand [h]: für x Stunden benötigt

a.) erweiterte Prozessattribute



b.) maximale Anzahl belegbarer Takte eines Prozesses

Abbildung 5-12: Spezifika von Prozessschritten

Zur Erfüllung einiger Prozessschritte ist es erforderlich, dass mehrere Kapazitätseinheiten parallel an einem Prozessschritt arbeiten. Für die Abbildung im Auftragsmodell bestehen hierfür mehrere Möglichkeiten:

- weitere Zusammenfassung der Ressourcen zu Kapazitätseinheiten (Vergrößerung), siehe Kapitel 5.2.1.2,
- Zuordnung des Prozessschritts an der Kapazitätseinheit, bei der der Haupt-Kapazitätsbedarf anfällt (die andere Kapazitätseinheit bildet den Prozessschritt entsprechend über einen Puffer, den Takt-Kapazitätspuffer, ab),
- Unterteilung des Prozessschritts in mehrere Schritte, um eine planerische Trennung in der Grobplanung zu erreichen,
- Abbildung des Vorgangs in beiden Kapazitätseinheiten und Verknüpfung der Vorgänge im Auftragsmodell als zwingende Parallelität.

Der Einsatz von Parallelitäten ist sinnvoll zur Vergrößerung der Planung. Bei Kapazitätseinheiten mit vielen Turbulenzen und notwendigen Reihenfolgevertauschungen ermöglichen parallele Prozessschritte Freiheitsgrade und dezentrale Abstimmungen. Wenn eine geringe Belastungsflexibilität vorliegt oder die Lieferzeit größer als die geplante Durchlaufzeit ist, helfen Parallelitäten bei großen Taktbreiten, die Durchlaufzeiten zu verkürzen.

5.2.2.6 Ablauf zur Erzeugung eines Auftragsplans

Zusammenfassend stellt Abbildung 5-13 den Ablauf zur Erzeugung eines Auftragsplans dar. Kundenanforderungen, die erforderlichen Artikel und Komponenten, die Ablauf- und Aufbauorganisation und das Turbulenzprofil beeinflussen die Bildung eines Auftragsplans. Die Angebots- und Auftragsbearbeitung instanziiert bei Vorliegen einer Anfrage oder eines Auftrags in Abhängigkeit der notwendigen Prozesse, Abhängigkeiten und Spezifika einen ersten Auftragsplan. Auf dieser Grundlage werden gemäß den vorliegenden Anforderungen weitere Anpassungen durchgeführt und die Auftrags- und Durchlaufzeiten ermittelt. Hier kommen die in Kapitel 5.2.2.4 erläuterten Verfahren zum Einsatz. Am Ende des Ablaufs steht ein Auftragsplan, der im Laufe des Auftrags sukzessive konkretisiert wird.

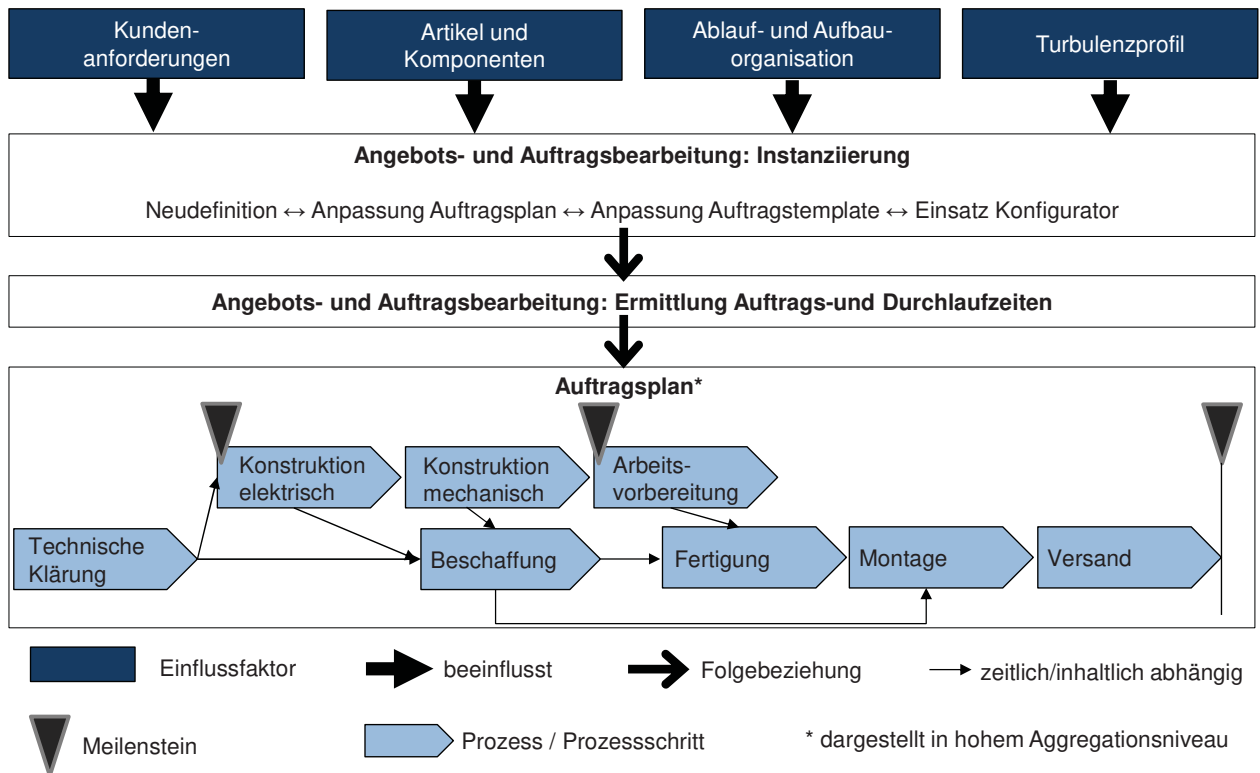


Abbildung 5-13: Ablauf zur Erzeugung eines Auftragsplans

Im Rahmen der Instanziierung existieren mehrere Möglichkeiten zur Definition und Erzeugung eines Auftragsplans, die Tabelle 5-2 aufzeigt.

	Neudefinition eines Auftragsplans	Anpassung eines bestehenden Auftragsplans	Anpassung eines bestehenden Auftrags-templates	Erzeugung mit Unterstützung eines Konfigurators
Vorbereitungsaufwand	●	●	◐	●
Aufwand zur Erstellung des Auftragsplans	●	◐ / ●	◐	● / ◐
Durchführungszeit bei der Erstellung des Auftragsplans	●	◐ / ●	◐	● / ◐
Legende Erfüllungsgrad:	● = hoch ◐ = mittel ● = gering			

Tabelle 5-2: Möglichkeiten zur Erzeugung und Definition eines Auftragsplans

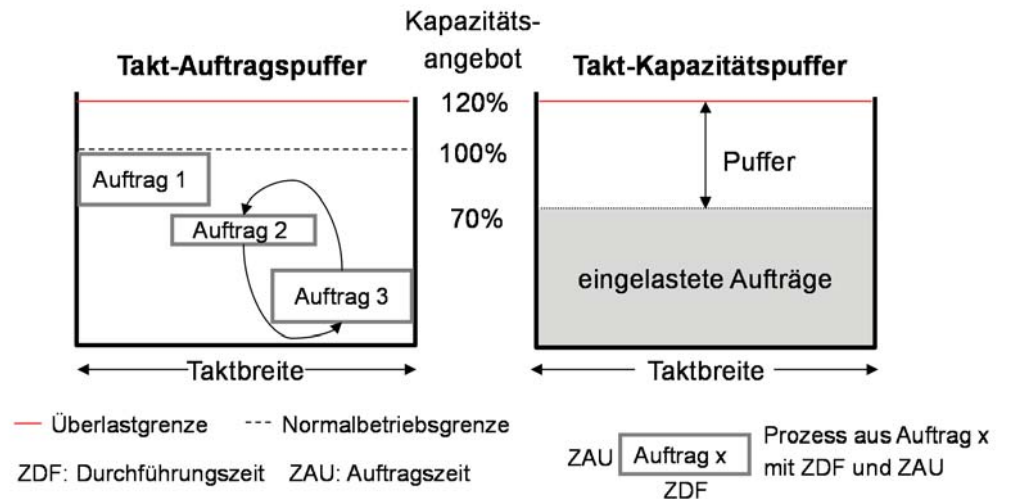
Die Nutzung einer Konfigurationslogik, die auf Basis von Merkmalen und einem Regelwerk einen Auftragsplan erzeugt, erfordert zwar einen hohen Aufwand zur Definition von Merkmalen, Merkmalsausprägungen und Regeln, erstellt im Bedarfsfall allerdings mit geringem Aufwand in kurzer Zeit einen Auftragsplan. Alternativ können auch Standardauftragstemplates - bspw. in Form der Auftragstypen aus Kapitel 5.2.2.3 - definiert und im Bedarfsfall angepasst werden. In der Praxis häufig anzutreffen ist die Anlage eines Auftragsplans unter Zuhilfenahme vergangener Aufträge. In diesem Fall sind alle Prozessschritte und Abhängigkeiten zu prüfen und zu aktualisieren. Die Extremausprägung, bspw. bei komplett neuen Vorhaben, ist die vollständige Neudefinition eines Auftragsplans.

5.2.3 Pufferlogik und -anwendung

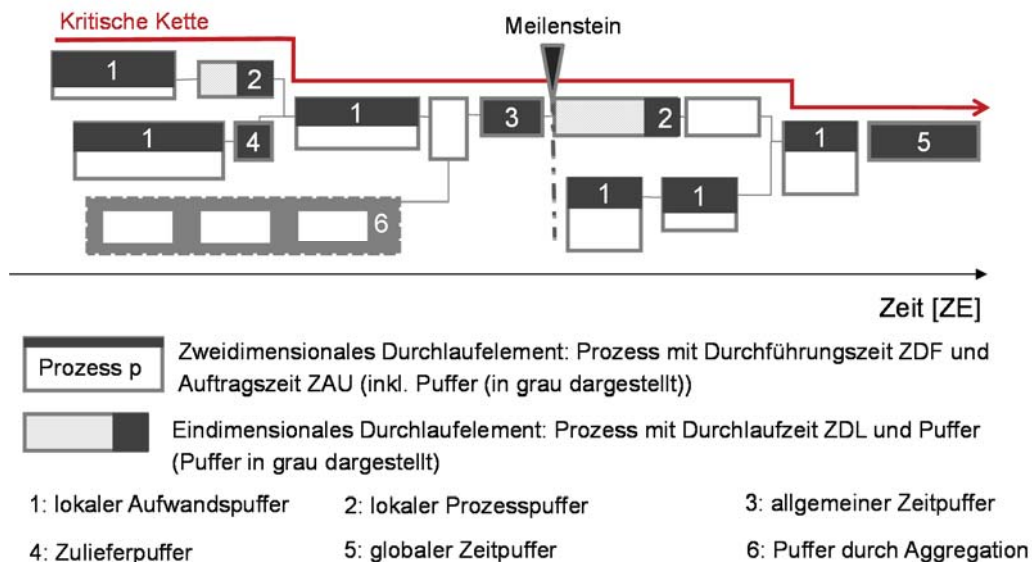
Im komplexen Umfeld der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter dienen Puffer der vorausschauenden Berücksichtigung von Unschärfe und Turbulenzen. Puffer erlauben bei Auftreten einer Unsicherheit, auf diese geeignet reagieren zu können, ohne die Termintreue zu verschlechtern. Im ersten Schritt werden zunächst die im Gestaltungsmodell vorhandenen Pufferarten definiert. Leitlinien zu deren Anwendung und Dimensionierung beschreiben den zweckmäßigen Umfang. Schließlich wird das Zusammenspiel mit dem Ressourcen- und Auftragsmodell aufgezeigt.

5.2.3.1 Pufferarten

Abbildung 5-14 veranschaulicht mit Puffern aus Ressourcensicht und Puffern aus Auftrags-sicht zwei grundlegende Kategorien von Puffern. Der Takt-Auftragspuffer beschreibt die Möglichkeit einer Kapazitätseinheit, sich innerhalb des Taktes zu optimieren. Durch die Wahl einer optimierten Abarbeitungsreihenfolge können bspw. fehlende Eingangsinformationen kompensiert oder Rüstaufwände verringert werden. Der Takt-Kapazitätspuffer ist charakterisiert durch die Differenz zwischen der Überlastgrenze und dem eingelasteten Kapazitätsbedarf. Je größer diese Differenz ist, umso größer sind die Kapazitätsreserven, um auf Unsicherheiten reagieren zu können. Die auftragsmodellbezogenen Puffer lassen sich in sechs Pufferarten unterteilen. Für Prozesse, die gegen begrenzte Kapazitäten geplant werden, wird der lokale Auftragspuffer eingesetzt, um Unsicherheiten wie einen notwendigen Mehraufwand bei einem Prozessschritt direkt über den Prozess abzubilden.



a.) Ressourcenmodellbezogene Puffer



b.) Auftragsmodellbezogene Puffer

Abbildung 5-14: Pufferarten des Gestaltungsmodells (erweitert zu Gaupp 2011, S. 43ff.)

Der entsprechende Puffer bei einer Durchlaufzeitplanung wird als lokaler Prozesspuffer bezeichnet. Der allgemeine Zeitpuffer, der Zulieferpuffer und der globale Zeitpuffer sind die aus dem *Critical-Chain-Projektmanagement* bekannten Puffer zur Absicherung von Meilensteinen, der kritischen Kette und des Gesamtauftrags (vgl. Abschnitt 3.1.3.3). Durch die Aggregation von Prozessschritten und Prozessen im Rahmen der Definition des Auftragsmodells kann ein weiterer Puffereffekt erzielt werden (*Puffer durch Aggregation*³⁹).

³⁹ Unsicherheiten innerhalb der einzelnen Prozessschritte können sich durch die Vergrößerung ausgleichen, ohne dass beim aggregierten Prozess ein Verzug entsteht.

5.2.3.2 Leitlinien zur Anwendung der Pufferarten

Die im Folgenden beschriebenen Leitlinien gewährleisten eine geeignete Anwendung der Pufferarten. Dabei werden das Verhältnis zwischen der Anzahl der Aufträge pro Takt und den vorhandenen Ressourcen, das Verhältnis zwischen der mittleren Auftragszeit und der Taktbreite, das Turbulenzprofil, Unschärfe und das Maß an zur Verfügung stehender Kapazitätsflexibilität als Kriterien herangezogen.

Takt-Auftragspuffer

Beim Takt-Auftragspuffer ist die Anzahl der Aufträge in einem Takt tendenziell hoch gegenüber der Anzahl der Ressourcen der Kapazitätseinheit. Wenn die mittlere Auftragszeit größer als die Taktbreite ist und jedem Mitarbeiter nur ein Auftrag zugeordnet ist, ist eine Vergrößerung der Planung mit vergrößertem Handlungsspielraum sinnvoll. Vorteile bietet der Takt-Auftragspuffer bei auftretenden Turbulenzen gemäß dem Turbulenzprofil. Die durch den Takt-Auftragspuffer möglichen Reihenfolgevertauschungen verhelfen der Kapazitätseinheit, das Ziel des Taktes zu erreichen, wenn ausreichend flexibles Potential vorhanden ist. Sinnvoll ist ein Takt-Auftragspuffer außerdem, wenn Unschärfe in den Zeitgrößen auftritt. Diese müssen allerdings näherungsweise normalverteilt sein, damit sich die Unschärfe in den auftretenden Fällen ausgleichen kann.

Takt-Kapazitätspuffer

Über den Takt-Kapazitätspuffer wird eine Grundlast an Tätigkeiten abgebildet, die nicht über ein Auftragsmodell in der PPS integriert sind. Wenn ein hoher Prozentsatz des Kapazitätsangebots einer Kapazitätseinheit nicht über Auftragspläne abgedeckt wird, ist eine Paretoanalyse der auftretenden Kapazitätsbedarfe hilfreich, um weitere explizite Kapazitätsbedarfe zu bilden. Der Takt-Kapazitätspuffer ist für das Abfangen von Turbulenzen sinnvoll, die einen Mehraufwand an der Kapazitätseinheit verursachen (bspw. Kundenänderungen oder Nacharbeiten in der Produktion). Deshalb ist der Takt-Kapazitätspuffer auch geeignet, wenn Unschärfe in den Auftragszeiten oftmals Mehraufwand für die Kapazitätseinheit verursacht. Das für die Einplanung der Aufträge zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot wird durch den Takt-Kapazitätspuffer verringert, um trotz auftretender Unsicherheiten das

Ziel des Takts zu erreichen. Deshalb ist der Takt-Auftragspuffer zudem wertvoll, wenn bei einer Kapazitätseinheit eine eher geringe Kapazitätsflexibilität (quantitativ und flexibles Potential) vorliegt.

Lokaler Aufwandspuffer

Der lokale Auftragspuffer ist nützlich bei einem Turbulenzprofil mit Turbulenzen, die in einem Prozessschritt Mehraufwand verursachen. Der durch die Turbulenz verursachte Mehraufwand sollte sich allerdings noch im selben Takt abarbeiten lassen können. Darüber hinaus dient der lokale Auftragspuffer zur Abbildung von erheblicher Unschärfe bei der Auftragszeit eines Prozessschritts (bspw. Prüfarbeitsschritte), die nicht in ressourcenmodellbezogenen Puffern abgebildet werden sollen, da ansonsten ein zu hoher standardisierter Puffer in die Planung eingebracht wird. Um die Abarbeitung am Ende des Taktes sicherzustellen, eignet sich der lokale Aufwandspuffer auch für Prozesse bei Kapazitätseinheiten, die eine eher geringe Kapazitätsflexibilität aufweisen.

Lokale Prozesspuffer

Lokale Prozesspuffer sind bei Turbulenzen dienlich, die typischerweise in einem Prozessschritt (wie z. B. Transportvorgängen) Verzögerungen verursachen. Auch mit lokalen Prozesspuffern kann Unschärfe eines Prozessschrittes vorsorglich bedacht werden, ohne dass dies aufgrund der Abbildung im Ressourcenmodell Relevanz für andere Aufträge besitzt. Der lokale Prozesspuffer ist allerdings kritisch, wenn Folgeaufträge während der Laufzeit des Puffers ähnliche Ressourcen belegen wie der aktuelle Auftrag.

Allgemeiner Zeitpuffer

Ein allgemeiner Zeitpuffer ist erforderlich, wenn der Abliefertermin zu einem Meilenstein unbedingt eingehalten werden muss. Er schützt einen Auftrag vor auftretenden Störungen gemäß dem Turbulenzprofil und Unschärfe. Auch beim allgemeinen Zeitpuffer können Engpässe entstehen, wenn Folgeaufträge dieselben Ressourcen benötigen. Der allgemeine Zeitpuffer erfordert demnach - wie die anderen auftragsmodellbezogenen Puffer - ein gewisses Maß an Kapazitätsflexibilität.

Zulieferpuffer

Der Zulieferpuffer ist eine Spezialisierung des allgemeinen Zeitpuffers zum Schutz der kritischen Kette und des Auftrags vor auftretenden Turbulenzen und Unschärfe. Er ist erforderlich, wenn der Abliefertermin zur kritischen Kette unbedingt eingehalten werden muss. Die Eigenschaften des allgemeinen Zeitpuffers sind dem Zulieferpuffer vererbt.

Globaler Zeitpuffer

Der globale Zeitpuffer schützt den Gesamtauftrag vor auftretenden Unsicherheiten im Sinne der kritischen Kette. Er ist bei geringer Termintoleranz des Kunden unverzichtbar. Durch seine einfache Anwendbarkeit ist er im komplexen Umfeld ein wertvolles Hilfsmittel. Auch hier besteht die Gefahr, dass bei Auftreten von Verzögerungen Ressourcenengpässe entstehen. Um Verzögerungen bei Folgeaufträgen zu verhindern, sind die Ressourcenengpässe durch Kapazitätssteuerungsmaßnahmen zu lösen.

Puffer durch Aggregation

Puffer durch Aggregation sind in eigenständigen Organisationseinheiten sinnvoll. Sie entsprechen der im Rahmen der Ressourcen- und Auftragsmodells beschriebenen Aggregation von Ressourcen zu Kapazitätseinheiten und der damit einhergehenden Zusammenfassung von Prozessschritten zu Prozessen. Voraussetzung für diese Pufferart sind Ressourcen mit einer hohen oder gut aufeinander abgestimmten Kapazitätsflexibilität.

5.2.3.3 Ablauf der Pufferdimensionierung

Neben der richtigen Auswahl der sinnvollen Pufferart sind die Puffer geeignet zu dimensionieren. Auf der kritischen Kette sollten jegliche Puffer vermieden werden und ein globaler Projektpuffer definiert werden. Es existieren einige Verfahren aus dem Projektmanagement zur Dimensionierung von Puffern. Eine Übersicht gibt GAUPP (Gaupp 2011, S. 37). Die Verfahren nutzen Erfahrungswissen von Mitarbeitern sowie teilweise Daten aus vergangenen Projekten. Daher werden zum Teil hohe Anforderungen an die zugrundeliegenden Daten sowie das erforderliche Statistikwissen gestellt. Da darüber hinaus nicht alle Pufferarten des Gestaltungsmodells einbezogen werden, werden im Rahmen dieser Arbeit nachfolgend ergänzende Leitlinien definiert, um je nach Rahmenbedingung sowohl die Analyse historischer Daten als auch die Integration von Erfahrungswissen zu ermöglichen.

Die erste Möglichkeit besteht in der Analyse historischer Auftragsdaten, idealerweise hinterlegt mit Auftragsmerkmalen, um die Vergleichbarkeit zu verbessern. In diesem Fall sind die statistischen Kenngrößen Mittelwert, Streuung, Spannweite, Maximum, Minimum und ausgewählte Quantile wertvoll, um einen geeigneten Wert für einen Puffer festzulegen. Das Verfahren ist für das Gestaltungsmodell allerdings nur sinnvoll, wenn ein repräsentativer Datenbestand vorliegt. Ist dies nicht der Fall, ist über die Nutzung von Erfahrungswissen und die geeignete Historisierung der PPS-Daten kontinuierlich eine Datenbasis aufzubauen.

Im Zuge der Nutzung von Erfahrungswissen kann zwischen der direkten und indirekten Nutzung unterschieden werden. Bei der Integration direkten Erfahrungswissens wird eine Mehrpunktschätzung durchgeführt und der Wert der Puffer damit bestimmt. Entscheidend ist dabei die Rückführung der aus der Auftragsabwicklung gewonnenen Erkenntnisse in die Prozesse der Pufferdimensionierung, um die Güte der Schätzungen zu verbessern. Im indirekten Fall werden Einflussfaktoren auf die Puffer anhand von Katalogen bewertet und deren Auswirkung auf die Zeiten im Auftragsdurchlauf abgeschätzt. Hier eignet sich das Turbulenzprofil für eine Bewertung der Einflussfaktoren. Die komplexen Ursache-Wirkungsbeziehungen sind allerdings nicht oder nur mit sehr großem Aufwand vollständig zu modellieren. Es bietet sich deshalb eine grobe Abbildung der wesentlichen Wirkungen der Einflussfaktoren auf die Zeitgrößen an.

Zur Dimensionierung der Puffer werden historische Auftrags- und Ressourcendaten sowie Erfahrungen und Einschätzungen von Mitarbeitern ausgewertet und in Prozess- und

Ressourcenkenngrößen zusammengefasst. Anhand der aufgezeigten Leitlinien zur Festlegung der ressourcenmodellbezogenen Puffer werden die Taktbreite und der Takt-Ressourcenpuffer dimensioniert. Die festgelegten Puffer im Ressourcenmodell sind gleichermaßen Basis für die Auswahl und Verortung der auftragsmodellbezogenen Puffer. Die Leitlinien zur Anwendung der Puffer unterstützen bei der Festlegung der auftragsmodellbezogenen Puffer sowie bei der Anpassung der ressourcenmodellbezogenen Puffer.

Dies zeigt gleichermaßen, dass die Erstellung des Planungsmodells kein einmaliger Vorgang ist. Die Definition des Planungsmodells kann als iterativer Prozess mit den Schritten Ressourcenmodell, Auftragsmodell und Pufferdimensionierung verstanden werden (Abbildung 5-15). In der Einführungsphase der taktorientierten PPS ist eine enge Iteration und Abstimmung der drei Schritte erforderlich. Die Zykluszeit wird sukzessive vergrößert. Im eingeschwungenen Zustand stellt das Ressourcenmodell eine Konstante dar, die nur bei

großen Veränderungen und im Zuge des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses verändert wird. Ebenso erfahren die unter Umständen definierten Auftragsemplates bzw. die Konfigurationslogik in der Regel nur kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen (vgl. 5.2.2.5). Bei jeder Instanziierung eines Auftragsplans sind jedoch die Schritte der Festlegung des Auftragsplans sowie der Dimensionierung der darin enthaltenen Puffer zu durchlaufen.

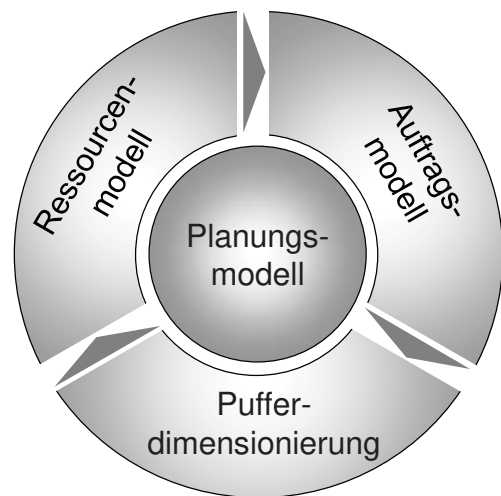


Abbildung 5-15: Iteration zur Erzeugung des Planungsmodells

5.3 PPS-Parameter

Die Ausgestaltung der PPS-Parameter beginnt mit der Definition der Planungsebenen des Gestaltungsmodells. Die darauf aufbauende Terminierungslogik zeigt verschiedene Ausprägungen der Vorwärts-, Rückwärts- und Meilensteinterminierung. Relevante Prioritätsregeln und eine Einordnung in Bezug auf den Werkzeugeinsatz in der PPS schließen die Betrachtung der PPS-Parameter ab.

5.3.1 Planungsebenen

Wie in Abbildung 5-16 zu erkennen ist, sind im Rahmen der taktorientierten PPS mit der Mittel- und Langfristplanung, der Grobplanung sowie der Feinplanung und -steuerung drei operative Planungsebenen relevant.

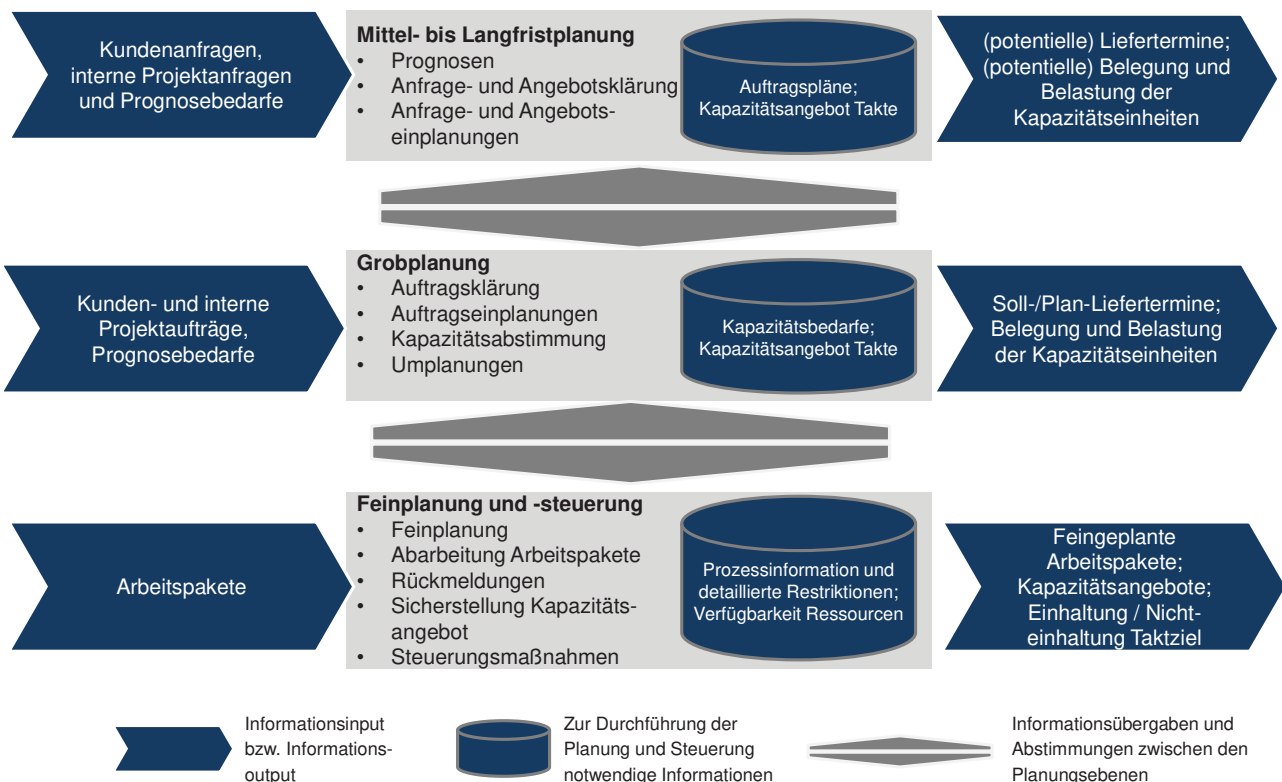


Abbildung 5-16: Planungsebenen des Gestaltungsmodells

Betrachtungsgegenstand der Mittel- und Langfristplanung sind Anfragen von Kunden, interne Anfragen für Projekte sowie Prognosebedarfe. Mit Hilfe definierter Auftragspläne

und dem angegebenen Kapazitätsangebot der Takte werden auf dieser Ebene Prognosebedarfe eingelastet, Anfragen geklärt und entsprechend eingeplant sowie zukünftige Belastungssituationen geprüft. Ergebnis sind potentielle Liefertermine sowie die potentielle Belegung und Belastung der Kapazitätseinheiten. Entscheidungsbedarf auf dieser Ebene besteht hinsichtlich der voraussichtlichen Liefertermine für die Anfragen sowie der Durchführung notwendiger Maßnahmen hinsichtlich Kapazitätsflexibilität. Die resultierenden Maßnahmen hängen von der Zielsetzung des Kundenwunscherfüllungsgrads ab.

Auf der Ebene der Grobplanung sind die vorhandenen Aufträge im Detail zu klären und einzuplanen. Zur Erreichung der logistischen Ziele und beim Auftreten von Unsicherheiten sind Entscheidungen in Form von Kapazitätsabstimmungen und Umplanungen zu treffen. Basis hierfür sind die Kapazitätsangebote der Takte sowie die aus den Auftragsplänen resultierenden Kapazitätsbedarfe. Die Belegung und Belastung der Kapazitätseinheiten, die Soll-Liefertermine und die Plan-Liefertermine sind Ergebnis der Grobplanungsebene.

Die Feinplanung nimmt die in der Grobplanung erzeugten Arbeitspakete für die Takte auf und plant deren Prozessschritte auf die in der Kapazitätseinheit vorhandenen Ressourcen. Jede Kapazitätseinheit besitzt einen Feinplanungshorizont, der eine Vorausschau auf die in den nächsten Takten zu erfüllenden Arbeitspakete gibt. Betrachtungsgegenstand ist die operative Bereitstellung des Kapazitätsangebots, die Abarbeitung der Arbeitspakete und deren Rückmeldung sowie Steuerungsmaßnahmen zur Einhaltung des Taktziels. In der Verantwortung der Kapazitätseinheit liegen demnach die Belegung der Ressourcen, Kapazitätsflexibilitätsmaßnahmen zur Erreichung des Taktziels und die Einleitung geeigneter Maßnahmen bei Nichteinhaltung des Taktziels.

Das Zusammenspiel der Auftragsabwicklung mit der Beschaffung auf den jeweiligen Planungsebenen ist in Abbildung 5-17 beispielhaft dargestellt. Sowohl die Auftragsabwicklung eines Auftrags als auch die Beschaffung besitzen spezifische Zeithorizonte, die über die Planungshorizonte und Planungsfrequenzen der Planungsebenen aufeinander abgestimmt werden. Die Auftragsabwicklung konkretisiert bei Kundenaufträgen und internen Projektaufträgen sukzessive die Produktspezifikation. Die Produktspezifikation löst Aktivitäten auf den Planungsebenen aus. Im Beispiel aus Abbildung 5-17 werden Prognosebedarfe an die Lieferanten weitergegeben oder Komponenten mit langen Wiederbeschaffungszeiten auftragsbezogen beschafft. Die

zunehmende Erstellung von Stücklisten löst Beschaffungsvorgänge bei den Lieferanten aus. Informationen vom Lieferanten wie bspw. Liefertermine werden verarbeitet und in Form einer Fortschrittsmeldung oder eines Liefertermins an den Kunden weitergegeben. Ebenso werden Turbulenzen wie eine Änderung der Kundenspezifikation über die Planungsebenen verarbeitet. Die möglichen Reaktionsmaßnahmen hängen stark von der Art und dem Zeitpunkt des Auftretens der Turbulenz ab.

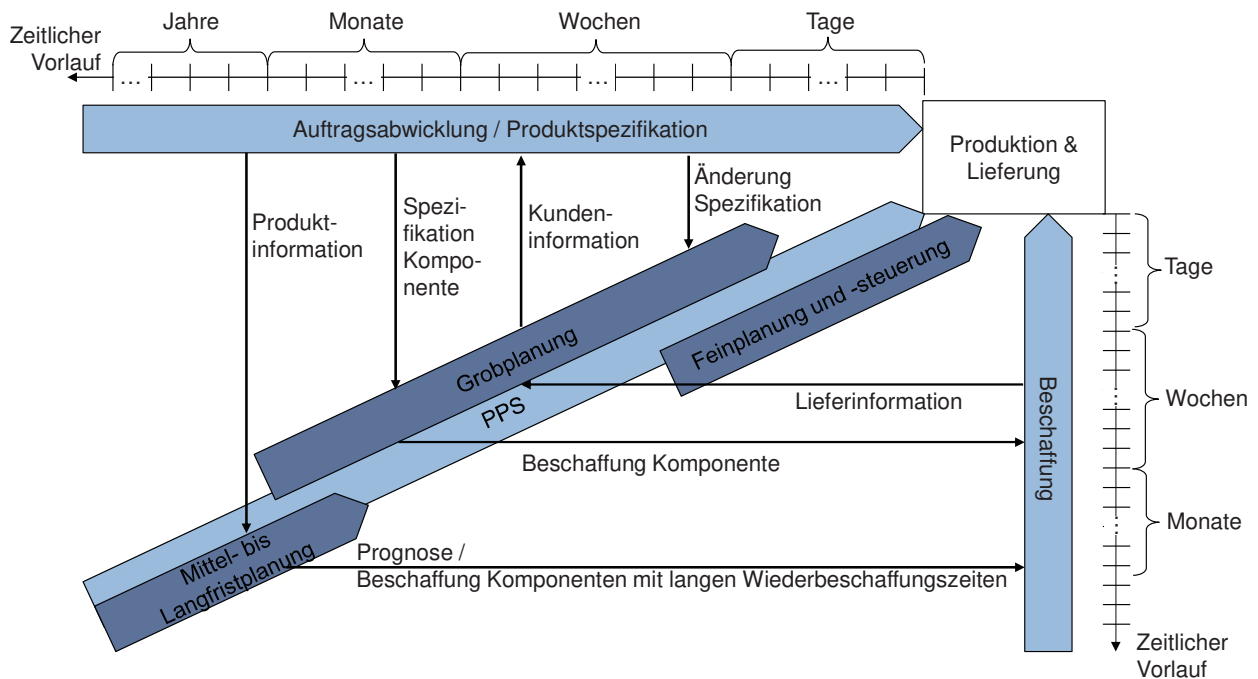


Abbildung 5-17: Zusammenspiel von Auftragsabwicklung, Beschaffung und Planungsebenen

5.3.2 Terminierungslogik

Die Terminierung plant die Prozessschritte eines Auftrags gemäß den vorgegebenen Restriktionen in die zur Abarbeitung vorgesehenen Takte der Kapazitätseinheiten. Datengrundlage sind die Informationen aus den Auftragsplänen und dem Ressourcenmodell. Ergebnis der Terminierung sind die Arbeitspakete der Kapazitätseinheiten in den Takten. Im Rahmen der Terminierungslogik wird festgelegt, in welcher Form die Terminierung eines Auftrags erfolgt. Dabei sind zum einen Regeln für die Terminierung zu beachten, andererseits die Terminierungsrichtung zu definieren. Folgende grundlegende Regeln sind bei der Terminierung zu erfüllen:

- Die belegte Kapazität des Taktes einer Kapazitätseinheit darf die Überlastgrenze nicht übersteigen. Wenn lediglich die Normalbetriebsgrenze überschritten wird, kann entweder eine Einplanung mit einer Meldung zu einem aufgetretenen Handlungsbedarf erfolgen oder eine Einplanung erst nach Zustimmung mit der betroffenen Kapazitätseinheit vorgenommen werden.
- Die durch einen Auftrag belegte Kapazität darf pro Takt einer Kapazitätseinheit einen bestimmten Prozentsatz der zur Verfügung stehenden Gesamtkapazität nicht übersteigen (vgl. Abschnitt 5.2.1.5).
- Ein Prozessschritt darf nicht zu lange gedehnt werden und wird ununterbrochen eingeplant (vgl. Abschnitt 5.2.2.5).
- Wenn ein bestimmtes Prozessattribut für die Abarbeitung bei einer Kapazitätseinheit notwendig ist, im entsprechenden Ressourcenattribut im Takt t allerdings eine Nichtverfügbarkeit für dieses Attribut besteht, wird auf den nächstmöglichen verfügbaren Takt terminiert, an dem das Attribut vorhanden ist.

Bezüglich der Terminierungsrichtung werden im Folgenden die grundsätzlichen Möglichkeiten Vorwärtsterminierung und Rückwärtsterminierung mit ihren relevanten Ausprägungen konkretisiert. Dabei kann zwischen der *Terminierung mit Standarddurchlaufzeiten*, der *Berücksichtigung von Kapazitäten* und der *Berücksichtigung von Kapazitätsgrenzen* unterschieden werden. Eine *Terminierung unter Verwendung von Standarddurchlaufzeiten* ist unter Umständen notwendig (vgl. Abschnitt 5.2.2), ist aber im Sinne der Zielsetzung der Arbeit möglichst zu vermeiden. Während *die Berücksichtigung von Kapazitäten* Engpässe aufzeigt, indem Aufträge dem Kapazitätsangebot der Takte gegenübergestellt werden, verschiebt *die Terminierung bei Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen* die Belegung der Takte und damit die Auftragstermine. Hierdurch können Terminverletzungen in Form von Startterminen in der Vergangenheit oder Überschreitungen des Liefertermins zum Kunden entstehen. Dies zeigt die Handlungsbedarfe in der PPS auf.

Abbildung 5-18 illustriert die Ausgestaltungsmöglichkeiten der Rückwärtsterminierung mit dem dazugehörigen Ablauf, der Wirkungsweise und den jeweiligen Voraussetzungen beispielhaft an den an einem Auftrag beteiligten Takten.

verschiebbar. Da die Meilensteine demnach von der Terminierung als Fixtermine berücksichtigt werden müssen, ist die in Abbildung 5-19 dargestellte Logik erforderlich.

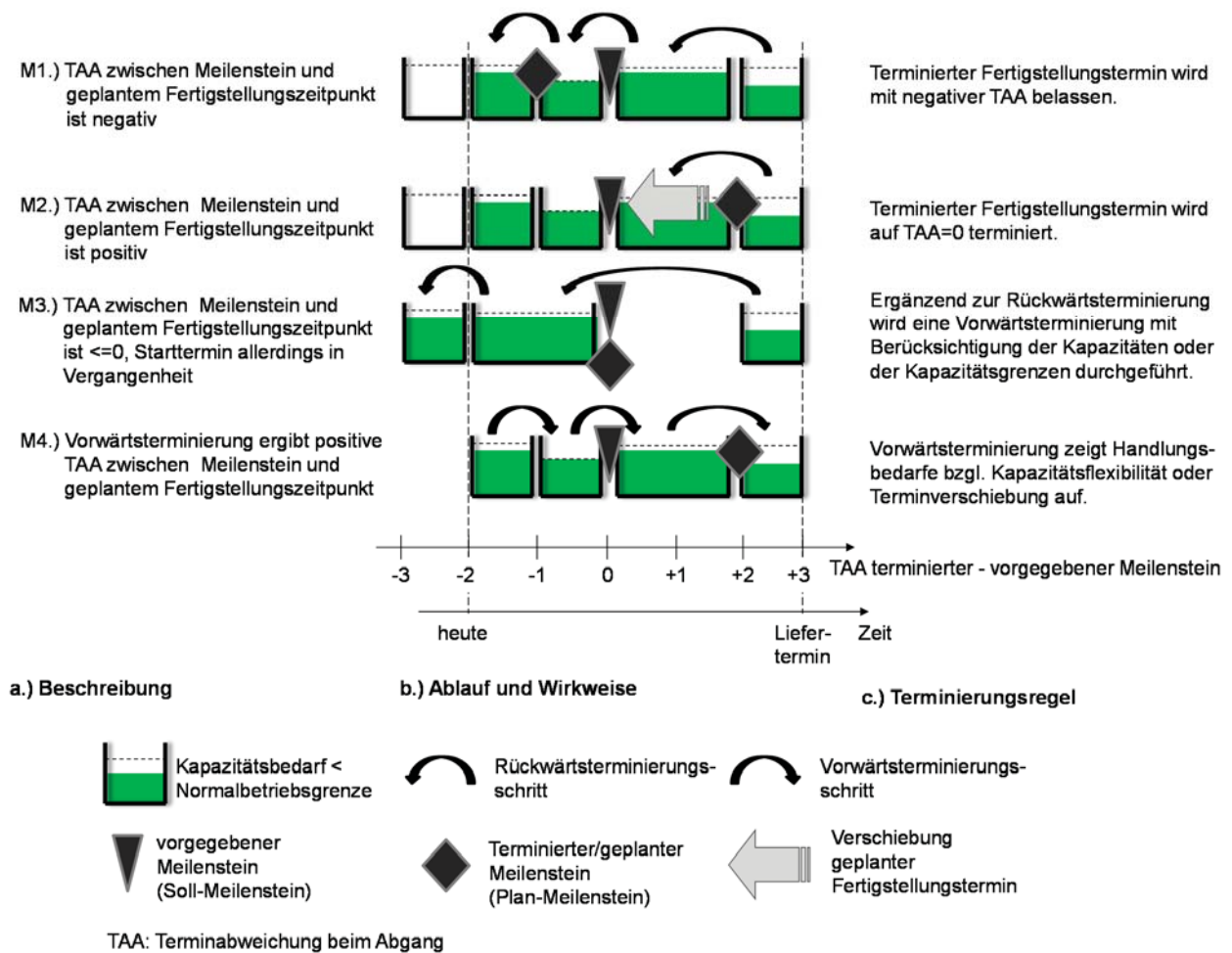


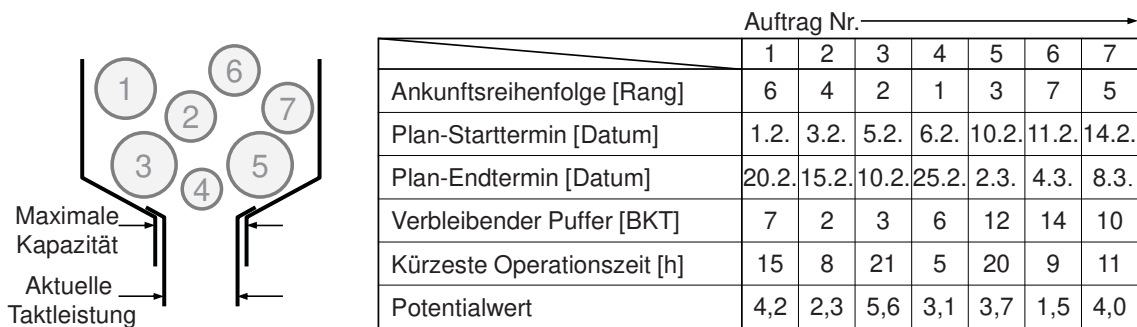
Abbildung 5-19: Meilensteinterminierungslogik

Im ersten Schritt wird eine Rückwärtsterminierung ausgehend vom Liefertermin durchgeführt. Im Idealfall liegt der terminierte Meilenstein zeitgleich mit oder vor dem vorgegebenen Meilenstein (Terminabweichung beim Abgang $TAA \leq 0$). In diesem Fall ist keine Änderung der Terminierung notwendig. Wenn der terminierte Meilenstein zeitlich nach dem vorgegebenen Meilenstein liegt ($TAA > 0$), wird der betroffene geplante Meilenstein auf den vorgegebenen Meilenstein terminiert (Fall M2). Dies kann bei einer Terminierung mit Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen zu einem Auftragsstarttermin in der Vergangenheit führen (Fall M3). Die daran anschließende Vorwärtsterminierung zeigt Handlungsbedarfe hinsichtlich Kapazitätsflexibilität und Umplanungen auf.

5.3.3 Prioritäten

Um durch die aus der Terminierung hervorgehende Reihenfolge der Aufträge eine möglichst hohe Zielerreichung hinsichtlich Termintreue, Durchlaufzeit, Bestand und Auslastung zu erreichen, sind bei einem Auftragsvorrat mit mehr als einem Auftrag die Prioritäten der Aufträge zu definieren. Die Priorität bestimmt in jedem Terminierungsschritt, welcher Auftrag eine höhere Priorität hat und plant den Auftrag mit der höheren Wichtigkeit vorrangig ein. Es existieren zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 2.3.4.2), wovon im Folgenden auf die für die taktororientierte PPS wesentlichen eingegangen wird. In der Grundausprägung der taktororientierten PPS kann die Ankunftsreihenfolge (FIFO) als prioritätsbestimmendes Element herangezogen werden. Die zuvor eingeplanten Aufträge bleiben dabei unverändert, so dass für den zusätzlichen Auftrag ein verfügbares Kapazitätsangebot gefunden werden muss, um die Auftragsterminziele zu erfüllen.

Weitere Gestaltungsmöglichkeiten und deren Wirkungsweise zeigt Abbildung 5-20 .



a.) Zur Bearbeitung (planerisch) anstehende Aufträge an einer Kapazitätseinheit und deren Merkmale

Ankunftsreihenfolge	4 3 5 2 7 1 6	Verbleibender Puffer	2 3 4 1 7 5 6
Frühester Plan-Starttermin	1 2 3 4 5 6 7	Kürzeste Operationszeit	4 2 6 7 1 5 3
Frühester Plan-Endtermin	3 2 1 4 5 6 7	Potentialwert	3 1 7 5 4 2 6

b.) Plan-Abarbeitungsreihenfolge bei Anwendung der Prioritäten

⊗ Auftrag x BKT: Betriebskalendertag h: Stunden

Der Potentialwert ist eine reelle Zahl größer Null. Je höher der Potentialwert, desto höher das Potential.

Abbildung 5-20: Mögliche Auslegungen von Prioritäten und deren Auswirkungen

Die Einplanung nach frühestem Plan-Starttermin sortiert die Aufträge nach der Reihenfolge des geplanten Auftragsstarttermins. Entsprechend ergibt sich eine veränderte Reihenfolge bei Anwendung des geplanten Auftragsendtermins. Die Berücksichtigung des verbleibenden Puffers entspricht der Logik der kritischen Kette und ordnet die Aufträge gemäß dem restlichen Gesamtpuffer auf der kritischen Kette. Die Anforderungen an dieses Verfahren sind höher, da zu jedem Zeitpunkt der verbleibende Puffer eines Auftrages verfügbar sein muss. Die kürzeste Operationszeit nutzt die für den Prozessschritt verfügbaren Auftragszeiten zur Priorisierung. Dabei kann die Auftragszeit für nur einen Prozessschritt, aber auch die Summe der Auftragszeiten der für den Auftrag noch ausstehenden Prozesse herangezogen werden. Ein Potentialwert ist ein errechneter gewichteter Wert aus mehreren Einflussfaktoren. Beispiele finden sich in (Barrho 2001, S. 50ff.), (Klinkel 2004, S. 64ff.) oder (Rauhut 2011, S. 142ff.).

Die Nichteinhaltung von Terminen und das Auftreten von Engpasssituationen im Rahmen der Terminierung zeigen die Handlungsbedarfe in der PPS auf. Die detaillierten Abläufe und Mechanismen in diesem Fall sind Bestandteil des Planungs- und Steuerungsablaufs, auf den detailliert in Kapitel 5.5 eingegangen wird.

5.3.4 Werkzeugeinsatz in der PPS

Der Werkzeugeinsatz im Rahmen der taktorientierten PPS richtet sich zunächst nach der Komplexitätsdimension Vielzahl. Je höher die Anzahl an Kapazitätseinheiten, die Anzahl der Aufträge, die Anzahl an Anfragen und die Häufigkeit von auftretenden Turbulenzen ist, desto sinnvoller ist eine automatische Unterstützung durch IT-Werkzeuge. Weitere beeinflussende Faktoren stellen die Kompliziertheit der Planungsrestriktionen und der Prioritätsregeln dar. Umfassende Planungsrestriktionen wie Spezifika bei Prozessschritten oder Ressourcen fördern den Grad der Automatisierung. Wenn komplizierte Prioritätsregeln mit aufwendigen Berechnungen im Einsatz sind, ist ebenso ein höherer Grad an Automatisierung sinnvoll. In der Regel beschleunigt eine automatische Planung und Steuerung die Erzeugung eines neuen Planungsergebnisses. Wenn die erforderliche Reaktionsgeschwindigkeit bei auftretenden Turbulenzen hoch ist, begünstigt ein IT-Werkzeug eine zügige Umplanung. Mit steigendem Grad an Automatisierung verringert sich allerdings die Verständlichkeit des Planungsergebnisses, da die vielfältigen Restriktionen und Ursache-

Wirkungsbeziehungen, die durch das IT-Werkzeug in der Ergebnisberechnung genutzt werden, durch den Bediener nicht nachvollzogen werden können.

In der Mittel- bis Langfristplanung der taktorientierten PPS ist bei einer Vielzahl von Anfragen und möglichen Einplanungsszenarien die Unterstützung eines IT-Werkzeuges sinnvoll. Eine manuelle Durchführung ist aber nicht ausgeschlossen. Die Grobplanung kann durch die Vergrößerung im Ressourcen- und Auftragsmodell in der Regel auf manuelle Art durchgeführt werden. Bei komplizierten Prioritätsregeln, zahlreichen Spezifika in den Auftragsplänen und im Ressourcenmodell sowie häufig auftretenden Turbulenzen bietet sich aus Effizienzgründen ein verstärkter Werkzeugeinsatz an. Die Feinplanung und -steuerung in den Kapazitätseinheiten kann in den meisten Fällen ohne IT-Werkzeuge durchgeführt werden. Hier unterstützen manuelle und visuelle Hilfsmittel die PPS-Aufgaben.

5.4 Organisationsstruktur

Der folgende Abschnitt beschreibt einerseits die Struktur der Organisation in der taktorientierten PPS mitsamt den darin enthaltenen Rollen. Andererseits werden zur Sicherstellung einer effizienten dezentralen Planung und Steuerung die Beziehungen zwischen den Kapazitätseinheiten geregelt.

5.4.1 Planungsorganisation und Rollen des Gestaltungsmodells

Die Organisationsstruktur des Gestaltungsmodells mit ihren bestimmenden Elementen und deren wesentlichen Abstimmungsbeziehungen sind in Abbildung 5-21 verdeutlicht. Der Vertrieb und unter Umständen die Geschäftsführung sind zunächst in direktem Kundenkontakt. Nach Erteilung eines Auftrags übernimmt das Projektmanagement in Form eines Projektleiters das Management des Auftrages und die Abstimmung mit dem Kunden. Die Geschäftsführung legt die logistischen Zielgrößen und grundlegende Prioritätsregelung fest. Zentrale Instanz stellt der Planungsleitstand dar, der als Informationsdrehscheibe in allen Fragen der Planung und Steuerung fungiert und zahlreiche Schnittstellen zu anderen Bereichen besitzt. Haupttätigkeit des Planungsleitstandes ist die Grobplanung. Dies erfordert eine intensive Abstimmung mit den Kapazitätseinheiten. Für jede Kapazitätseinheit gibt es einen Verantwortlichen (Kapazitätseinheitsverantwortlicher), der für die Feinplanung und Einhaltung des

Taktziels verantwortlich ist. Die Mitarbeiter sind für die Abarbeitung der Aufträge an den Arbeitsplätzen zuständig.

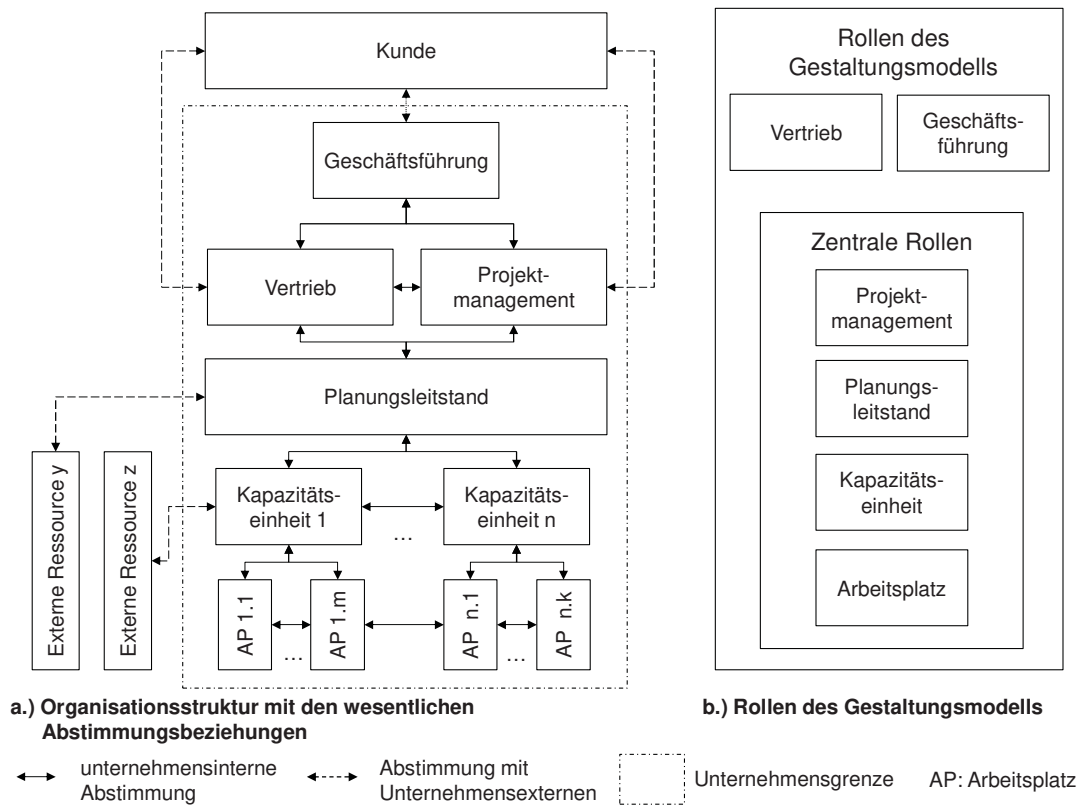


Abbildung 5-21: Organisationsstruktur und Rollen des Gestaltungsmodells

Der Planungsleitstand ist gegenüber den Kapazitätseinheiten weisungsbefugt, um die logistische Zielfestlegung durchzusetzen. Zwischen Vertrieb, Projektmanagement und Planungsleitstand gibt es hinsichtlich der Aufteilung der Befugnisse mehrere Ausgestaltungsoptionen. Zum einen existiert die Möglichkeit, dass der Vertrieb bzw. das Projektmanagement bei Engpässen oder drohenden Terminverschiebungen Entscheidungen über Prioritäten treffen, die dann vom Planungsleitstand umgesetzt werden. Zum anderen kann auch der Planungsleitstand die Befugnis besitzen, Prioritäten festzulegen.

Die Zusammenarbeit mit externen Ressourcen (wie bspw. Dienstleistern) wird über den Planungsleitstand oder die Kapazitätseinheiten abgestimmt. Prozessschritte, die innerhalb einer Kapazitätseinheit abgewickelt und nach außen vergeben werden, werden in der Regel vom Kapazitätseinheitsverantwortlichen mit den externen Ressourcen direkt geplant und gesteuert. Standortübergreifende Transportvorgänge werden vom Planungsleitstand koordiniert.

5.4.2 Koordination zwischen dezentralen Kapazitätseinheiten

Um eine effiziente Feinplanung und -steuerung sowie eine Entlastung der Grobplanung zu erreichen, ist die Definition von Kunden-Lieferanten-Beziehungen zwischen den Kapazitätseinheiten mit eindeutigen Verantwortlichkeiten während der Leistungserstellung und -übergabe erforderlich. Die Leistung ist dabei festgelegt als ein Teil oder die Gesamtheit des Arbeitspakets eines Taktes, das an einen bestimmten Nachfolger (Kunden) zur Weiterbearbeitung oder -verwendung geht.

Wie in Abbildung 5-22 dargestellt repräsentiert jede Kapazitätseinheit sowohl einen Kunden als auch einen Lieferanten. Die liefernde Kapazitätseinheit ist für die Leistungserstellung, die Einhaltung des Liefertermins, die Kosten und die Qualität der Leistung verantwortlich. Der Kunde nimmt die Leistung nach Anlieferung ab und prüft diese auf Vollständigkeit und Einhaltung der Spezifikationen. Bei Abweichung von definierten Spezifikationen gewährt der Lieferant eine Garantie auf Service/Nacharbeit oder Rücknahme.

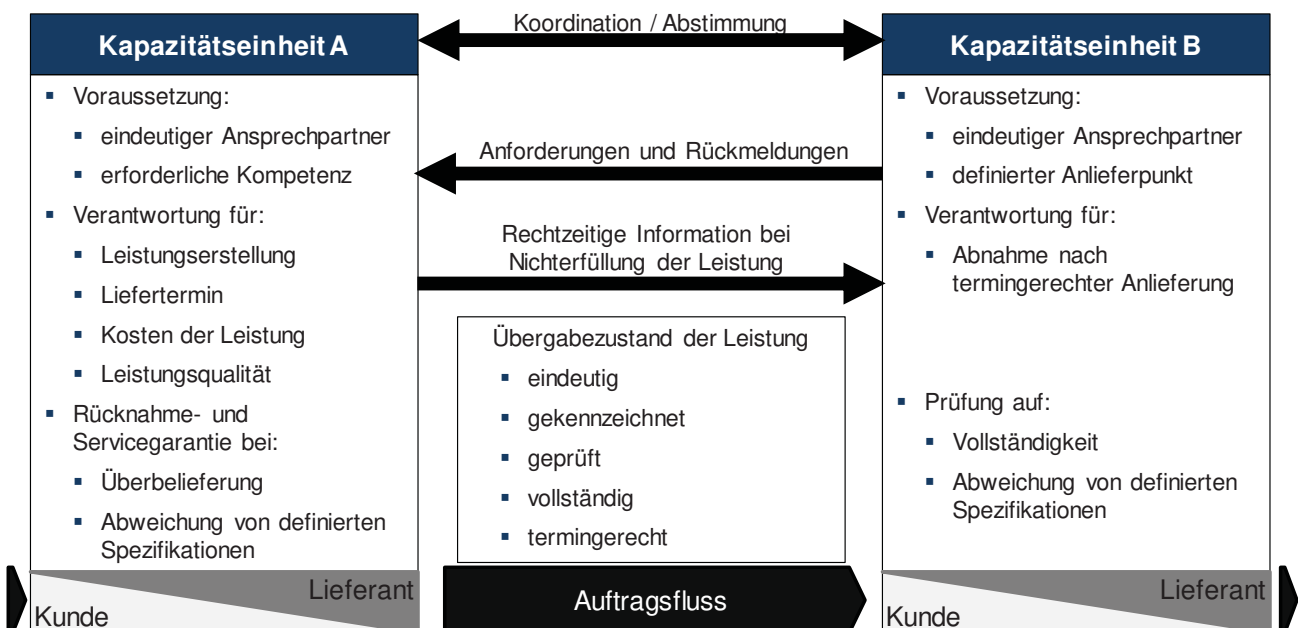


Abbildung 5-22: Kunden-Lieferanten-Beziehungen zwischen Kapazitätseinheiten
(erweitert zu Lohse 2002, S. 99)

Für einen reibungslosen Auftragsfluss ist eine intensive Abstimmung zwischen Kunde und Lieferant notwendig. Der Kunde stellt - ergänzend zu den durch die Takt-Arbeitspakete beschriebenen Kriterien - Anforderungen an den Lieferanten und gibt Rückmeldungen nach

Ablieferung oder bei Auftreten von Turbulenzen. Der Lieferant ist dazu verpflichtet, bei Nichterfüllung der Leistung seinen Kunden rechtzeitig zu informieren.

5.5 Planungs- und Steuerungsablauf

Mit der Beschreibung von Planungsmodell, PPS-Parameter und Organisationsstruktur ist die Modellierung des Planungs- und Steuerungsablaufs möglich. Abbildung 5-23 visualisiert diesen auf den definierten Planungsebenen.

Kunden- oder Projektanfragen lösen die Anfrageplanung aus. In diese fließen auch Prognosen über zukünftige Kapazitätsbedarfe ein. Im Zuge der Anfrageplanung wird die Anfrage konkretisiert und geklärt, eine Mengen- und Kapazitätsplanung durchgeführt sowie ein Angebot mit Liefertermin erstellt. Bereits auf dieser Ebene zeigen sich kapazitive Handlungsbedarfe, um den angestrebten Kundenwunscherfüllungsgrad zu erfüllen.

Ein Auftrag geht in die rollierende taktorientierte Grobplanung ein. Diese plant die Auftragspläne in die mit den verfügbaren Kapazitäten gepflegten Takte der Kapazitätseinheiten ein. Wenn ein Takt in den Feinplanungshorizont einer Kapazitätseinheit fällt, kann diese mit der Verfügbarkeitsprüfung, Reihenfolgebildung innerhalb des Taktes, Arbeitsplatzzuordnung und Kapazitätssteuerung beginnen. Die Auftragsfreigabe erfolgt im Regelfall zu Taktbeginn und löst den Zugang und die Abarbeitung des Arbeitspakets aus. Wenn keine Turbulenz bei der Abarbeitung auftritt, erfolgen spätestens bei Taktende die Rückmeldung der Aufträge des Arbeitspakets und der Transport zur nachfolgenden Kapazitätseinheit. Die Kontrolle des Auftragsfortschritts sowie das Controlling von Aufträgen und Ressourcen erstrecken sich über alle Planungsebenen mit den entsprechenden Kennzahlen und Auswertungen. Die Erkenntnisse aus der Fortschrittskontrolle und dem Controlling fließen im Sinne eines Regelkreises der kontinuierlichen Verbesserung in die Funktionen der taktorientierten PPS zurück. Bei Auftreten und Erkennen einer Turbulenz tritt ein Turbulenz-Handling in Kraft, das verschiedene Ausprägungen besitzen kann.

Die folgenden Abschnitte detaillieren die vorgestellten Funktionen und zeigen relevante Werkzeuge und Hilfsmittel auf.

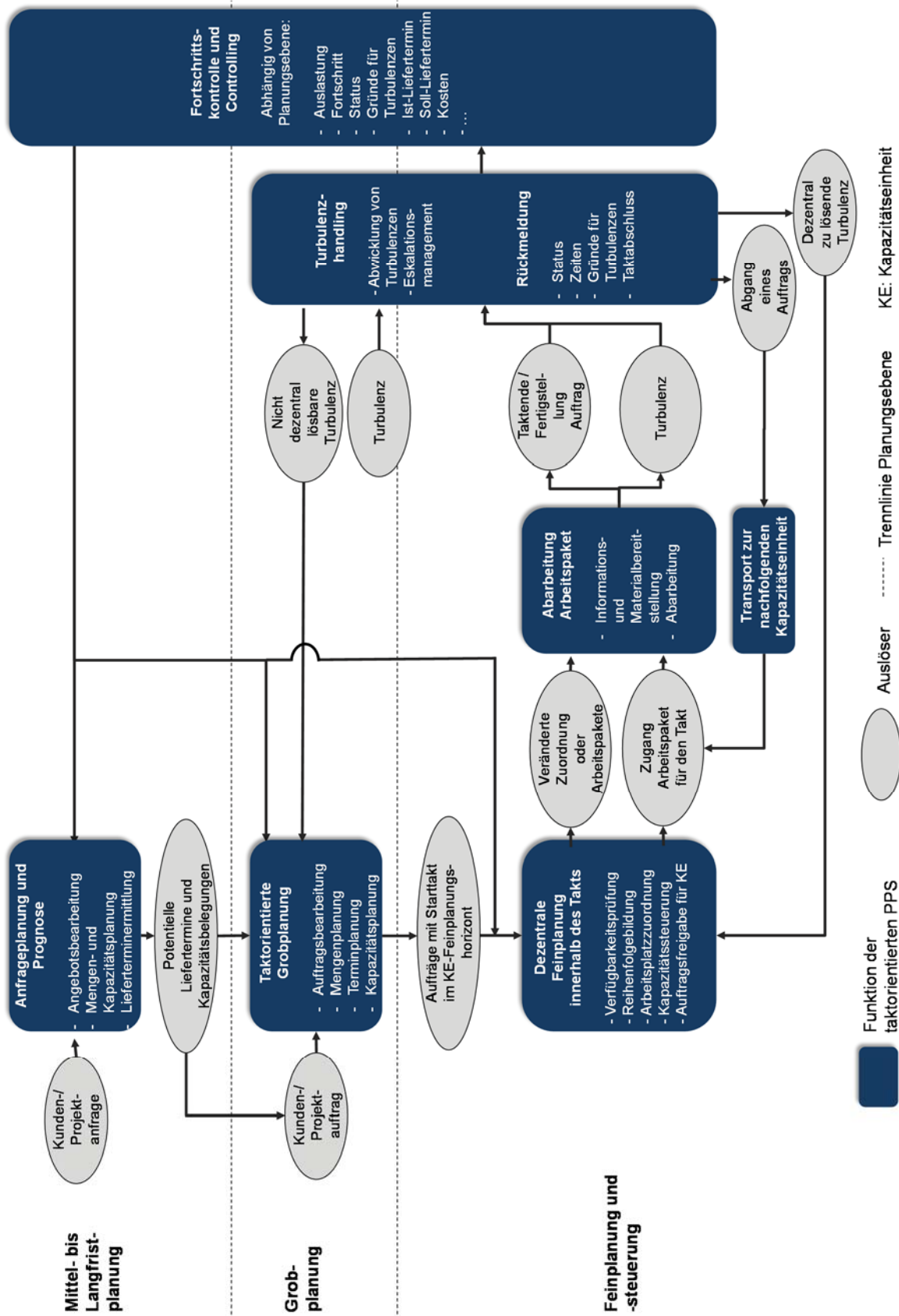


Abbildung 5-23: Planungs- und Steuerungsablauf

5.5.1 Anfrageplanung

Um für eine Anfrage einen potentiellen Liefertermin zu ermitteln, können der Auftragstyp, die Güte der Kundenspezifikation, Wiederbeschaffungszeiten, Transportzeiten, Meilensteine, Kundenabnahmen sowie erforderliche Prüfungen und Tests als Einflussfaktoren herangezogen werden. Die Gestaltungsoptionen der Anfrageplanung sind in Tabelle 5-3 dargestellt. Die Ermittlung des Liefertermins erfolgt mit Hilfe einer Vorwärtsterminierung ausgehend vom heutigen Datum oder einer Rückwärtsterminierung ausgehend vom Kundenwunschtermin. Ergebnis ist ein potentieller Liefertermin, der mit einer Angebotsbindefrist versehen werden kann.

Merkmal	Merkmalsausprägungen			
Art der Lieferterminermittlung	erfahrungsbasiert	mit Standard-Lieferzeiten pro Auftragstyp	kapazitätsgeprüft gegen statische Engpässe	kapazitätsgeprüft gegen dynamische Engpässe
Berücksichtigung von Materialverfügbarkeit	keine Berücksichtigung der Materialverfügbarkeit	Berücksichtigung von ausgewählten Materialverfügbarkeiten	umfassende Prüfung und Berücksichtigung der Materialverfügbarkeit	
Hilfsmittel zur Erzeugung des Auftragsplans	nicht formalisiert / nicht standardisiert	Checkliste mit relevanten Kriterien	Einsatz von Auftragstemplates	Auftragsplan-Konfigurator
Verwendung von Bindefristen	keine Verwendung von Angebotsbindefristen	Verwendung von Angebotsbindefristen		

Tabelle 5-3: Ausgestaltungsmerkmale der Anfrageplanung

Für lange Wiederbeschaffungszeiten ist bereits im Anfragestadium eine Bestellung notwendig, um den vom Kunden geforderten Liefertermin zu erreichen. In ähnlicher Weise kann es unter Umständen notwendig sein, schon mit ausgewählten Prozessen der Auftragsabwicklung ohne das Vorliegen einer schriftlichen Beauftragung zu beginnen, um die Lieferzeit einzuhalten.

5.5.2 Taktorientierte Grobplanung

Die rollierende Grobplanung ist eine kontinuierliche Aufgabe im Sinne des definierten Regelkreisprinzips. Für die Grobplanung relevante Turbulenzen werden im Planungsleitstand aufgenommen und durch Kapazitätsanpassungen, Umplanungen auf andere Kapazitätseinheiten oder Verschieben von Aufträgen verarbeitet. Maßgeblich für die Ermittlung des Liefertermins und die Grobplanung sind die vorgegebenen Ziele des Kundenwunscherfüllungsgrads, der Plan-Soll-Abweichung sowie die Einhaltung der Zielgrößen Termintreue, Durchlaufzeit, Auslastung und Termintreue. Deshalb werden in der Grobplanung der Kundenwunschtermin, der Soll-Liefertermin, der Plan-Liefertermin und der tatsächliche Liefertermin unterschieden und überwacht⁴⁰.

Abbildung 5-24 zeigt ein Hilfsmittel für die Kapazitätsplanung und -steuerung der Takte einer Kapazitätseinheit. Die Aufträge aus dem für die Kapazitätseinheit vorliegenden Arbeitsvorrat werden gemäß der Prioritätsfestlegung und dem zur Verfügung stehenden Kapazitätsangebot in die Takte eingeplant. Der vertikale Abstand zwischen der Oberkante des Auftrags und dem darunter abgebildeten Auftrag stellt den Kapazitätsbedarf dar.

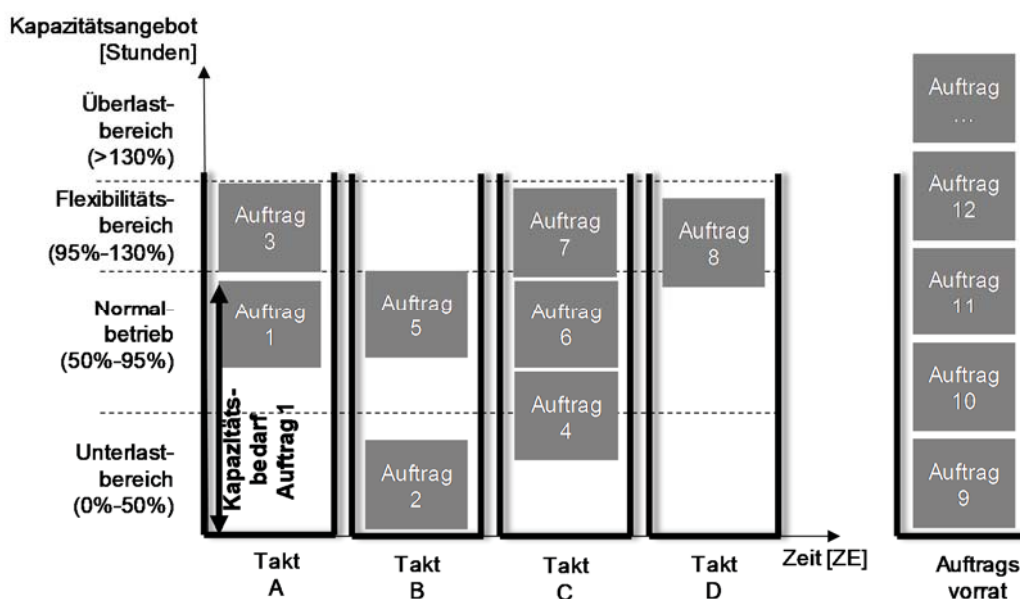


Abbildung 5-24: Plantafel für die Kapazitätsplanung und -steuerung
(i. A. an Bornhäuser 2009, S. 116)

⁴⁰ Der Kundenwunschtermin ist der vom Kunden gewünschte Liefertermin; der Liefertermin stellt den tatsächlichen Liefertermin dar; der Soll-Liefertermin beschreibt den gegenüber dem Kunden bestätigten Liefertermin; der Plan-Liefertermin ist der durch die PPS festgelegte Termin (siehe 2.3.4.1).

5.5.3 Dezentrale Feinplanung innerhalb des Takts

Die dezentrale Feinplanung innerhalb des Taktes kann aufgrund der Einflussfaktoren Rüstaufwand, Rüstreihenfolge, Größe und Breite der Qualifikation des Teams, Länge des Taktes und der Arbeitsweise des Kapazitätseinheitsverantwortlichen unterschiedlich ausgestaltet sein. Ein Werkzeug zur Unterstützung bei der Materialverfügbarkeitsprüfung, Reihenfolgeplanung, Arbeitsplatzzuordnung und Auftragsfreigabe ist in Abbildung 5-25 dargestellt.

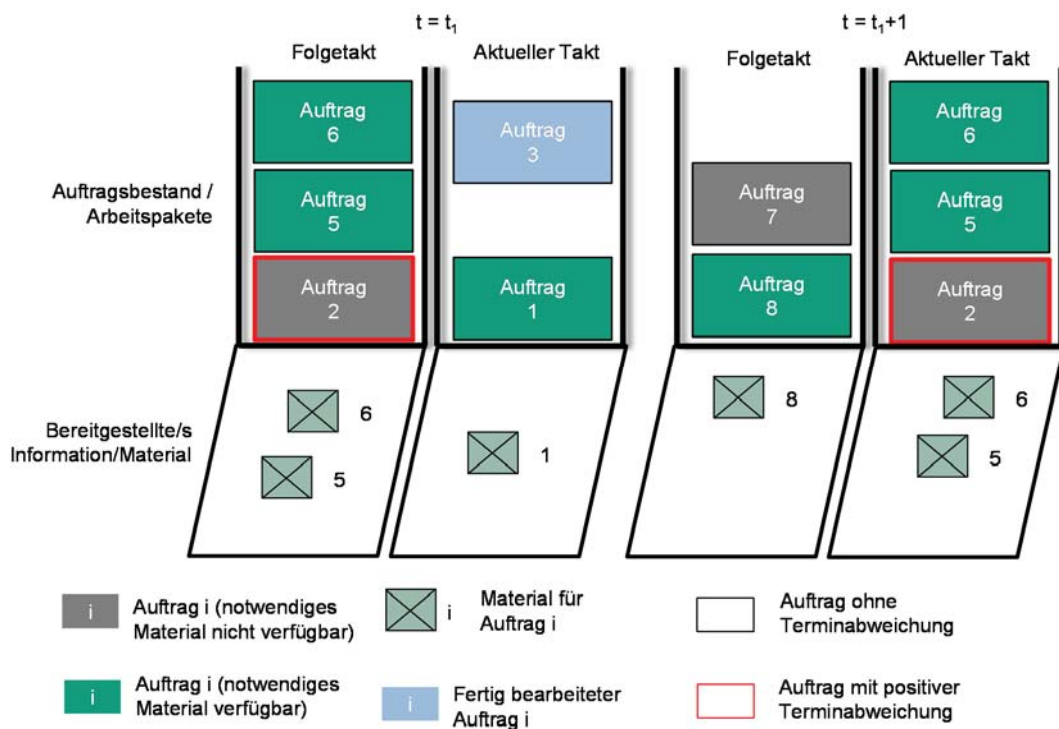


Abbildung 5-25: Unterstützung der Feinplanung durch Visualisierung
(erweitert zu Bornhäuser 2009, S. 122)

Die Sicht des Feinplaners beinhaltet dabei die im aktuellen und im nachfolgenden Takt zu erfüllenden Aufträge sowie das dazu notwendige Material bzw. die dafür erforderlichen Informationen. Der Bearbeitungsstatus des Auftrags (fertig bearbeitet, in Bearbeitung, noch nicht begonnen), die terminliche Situation (mit oder ohne Rückstand) sowie die Material- und Informationsverfügbarkeit sind wesentliche Einflussfaktoren für die Feinplanung. Der in Abbildung 5-25 sichtbare untere Bereich fungiert als Bereitstellungsfläche für Material, das vom Vorgänger bereits fertig bearbeitet ist. Die Aufträge werden der Kapazitätseinheit für den Folgetakt zwar bereitgestellt, ein Vorziehen ist allerdings erst möglich, wenn alle Aufträge aus dem aktuellen Takt fertig bearbeitet sind.

Im Beispiel ist der Auftrag 3 zum Zeitpunkt t bereits abgeschlossen und Auftrag 1 kann bearbeitet werden, da das dafür notwendige Material verfügbar ist. Auftrag 2 für den Folgetakt weist bereits eine Terminabweichung auf. Zum Zeitpunkt t+1 besitzt der Auftrag 2 nach wie vor eine Differenz zwischen Ist- und Plan-Termin. Da hierfür noch kein Material vorliegt, muss mit der Bearbeitung von Auftrag 5 oder Auftrag 6 begonnen werden. Für die im Folgetakt zu bearbeitenden Aufträge 7 und 8 kann die Fläche des Folgetaktes als Bereitstellungsplatz genutzt werden.

5.5.4 Abarbeitung von Arbeitspaketen

Die Abarbeitung der Arbeitspakete wird durch Prinzipien des Lean Managements in Form eines Shopfloor-Managements unterstützt. Hilfsmittel sind Shopfloor-Boards, deren Aufteilung und Inhalte Abbildung 5-26 beispielhaft aufzeigt.

Team: 0815		Termin und Dauer: täglich, 08:00, 10 Minuten		
Bereichs- und Teamziele		Standard-Agenda	Spielregeln	Prozess-Controlling
Ressourcen Kapazität Qualifikation(smatrix)	Kennzahlen An was wird der Bereich gemessen? An was kann erkannt werden, dass die Situation / Problemstellung sich verbessert?			Verbesserungsvorschläge/ Problemstellungen Sammlung von Ideen / Problemstellungen, die regelmäßig aufgegriffen werden.
Feinplanung Logistische Fragestellung: wie wird erreicht, dass alle Aufträge termingerecht abgeliefert werden? Aufträge in Bearbeitung Eingeplante Aufträge	Problem-lösung Störungen im Prozess Top-Abweichungen ...	Prozess Rückfragequote Anzahl falsch ausgelieferter Aufträge ...	Kunde Auftrags-Durchlaufzeit Reklamationen ...	Aktuelle KVP-Maßnahmen/ Problemlösung PDCA-Zyklus; aktueller Bearbeitungsstand / Fortschritt

PDCA = Plan-Do-Check-Act

KVP = kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Abbildung 5-26: Unterstützung der Abarbeitung und kontinuierliche Verbesserung

In regelmäßigen Besprechungen werden die aktuell zur Verfügung stehenden Ressourcen mit den anstehenden Aufträgen abgestimmt und der Fortschritt sowie aufgetretene Probleme bei der Abarbeitung besprochen. Kennzahlen und visuelles Management unterstützen die Zielerreichung, die Ursachenfindung bei Turbulenzen und die Problemlösung. Zentraler Bestandteil ist die Aufnahme und Diskussion von Verbesserungsvorschlägen, die in einen Maßnahmenplan überführt werden. Die regelmäßige Fortschrittskontrolle und Definition geeigneter Maßnahmen sichert die kontinuierliche Verbesserung.

5.5.5 Rückmeldung

Die Ausgestaltungsmöglichkeiten der Rückmeldung veranschaulicht Tabelle 5-4.

Kategorie	Merkmal	Ausprägung			
Zeitpunkt	Intervall	täglich	wöchentlich	monatlich	taktbezogen
	Ereignis	Beginn Prozessschritt	Abschluss Prozessschritt	aufgetretene Turbulenz	Meilenstein
Rückmeldeinformation	Termin	Anfang des Prozesses	Ende des Prozesses	Terminstatus	Terminrend
	Aufwand / Kosten	Ist-Aufwand	Restaufwand	angefallene Kosten	
	Leistung / Fortschritt	Fortschritt	Nutzen		
Verantwortlichkeit	Mitarbeiter	Bearbeiter	Kapazitäts-einheits-verantwortlicher	Projektmanager	Mitarbeiter Planungsleitstand

Tabelle 5-4: Ausgestaltungsmöglichkeiten der Rückmeldung

Grundsätzlich ist zwischen einer Rückmeldung in einem festen Intervall und einer ereignisbezogenen Rückmeldung zu differenzieren. Ebenso unterscheiden sich die Rückmeldeinformationen. Einerseits können der Start und das Ende eines Prozesses gemeldet werden, andererseits kann eine Angabe bzgl. der Einhaltung des Liefertermins (Terminstatus) oder eine Prognose für den voraussichtlichen Liefertermin (Terminrend) angegeben werden. Aufwandsrückmeldungen lassen sich in eine Mitteilung des angefallenen Aufwandes, des noch zu erledigen Restaufwandes und der angefallenen Kosten differenzieren. Darüber

hinaus kann der Auftragsfortschritt oder der Nutzen für den Kunden prozentual rückgemeldet werden. Die Rückmeldung kann vom Bearbeiter, dem Kapazitätseinheitsverantwortlichen, dem Projektmanager oder einem Mitarbeiter aus dem Planungsleitstand durchgeführt werden.

5.5.6 Fortschritt Kontrolle und Controlling

Für die Fortschritt Kontrolle und das Controlling aus Auftragsicht können die in Anhang A dargestellten Werkzeuge verwendet werden. Wesentlich sind die Kennzahlen Termintreue und Durchlaufzeit, die angefallenen Kosten sowie die Budgeteinhaltung. Aus Ressourcensicht werden zur Überwachung Takt Darstellungen wie in Abbildung 5-18 herangezogen. Entscheidende Kennzahlen sind die Takteinhaltung, der Rückstand, die Auslastung und das Bestandsniveau der Kapazitätseinheit.

Für die taktororientierte Fortschritt Kontrolle bieten sich zur Unterstützung der operativen Abwicklung zwei erweiterte Werkzeuge an. Zum einen das in Abbildung 5-27 abgebildete erweiterte Burndown-Diagramm. Darin werden alle in einem Takt zu bearbeitenden Aufträge kumuliert aufgetragen. Im Laufe des Takt es wird nach Fertigstellung eines Auftrags der für den Takt verbleibende Arbeitsvorrat an der Plantafel reduziert.

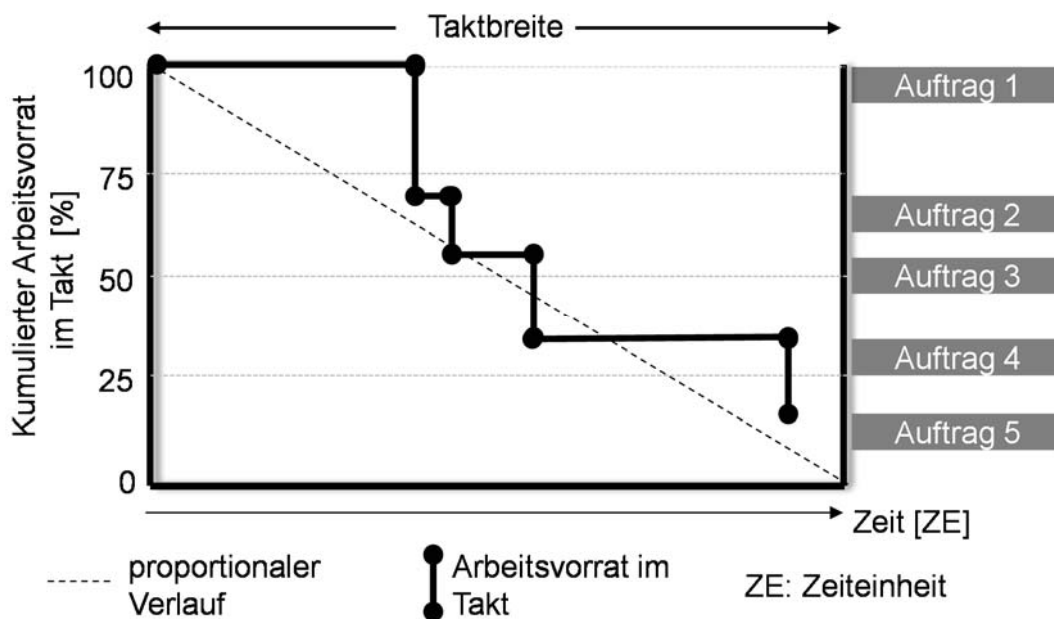


Abbildung 5-27: Burndown-Diagramm zur Visualisierung des Restarbeitsvorrats

Als weiteres Hilfsmittel dient das um den Endpufferverbrauch erweiterte Durchlaufdiagramm. In Ergänzung zu den aufgezeigten Größen Zugang, Abgang, Bestand, Soll-Abgang und dem daraus resultierenden Rückstand kann der Endpufferverbrauch einer Ressource in kumulierter Form aufgetragen und überwacht werden. Der kumulierte Endpufferverbrauch einer Ressource erhöht sich, wenn die Ressource bei einem Auftrag einen Teil des Endpuffers auf dem kritischen Pfad verbraucht. Demgegenüber reduziert sich der kumulierte Endpufferverbrauch, wenn sich durch die Bearbeitung einer Ressource der Endpuffer auf dem kritischen Pfad vergrößert. In funktionsorientierten Strukturen erlaubt eine Analyse des kumulierten Endpufferverbrauchs eine Bewertung der Engpasscharakteristik, um gezielt wiederkehrende Engpässe zu identifizieren und diese durch Investitionen zu reduzieren.

5.5.7 Turbulenzhandling

Das Reaktionsprinzip bei Auftreten einer Turbulenz ist in Abbildung 5-28 visualisiert. Wenn eine Turbulenz von einem Mitarbeiter erkannt wird, sollte diese, wenn möglich, sofort behoben werden. Andernfalls ist der Kapazitätseinheitsverantwortliche zu informieren.






Rolle	Verantwortungsbereich	Eskalation falls:
 Mitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> Abarbeitung des Arbeitspakets und Erkennung von Turbulenzen Sofortige Behebung der Turbulenz Eskalation zum Kapazitätseinheitsverantwortlichen 	Die Erreichung des Taktziels ist gefährdet.
 Kapazitätseinheitsverantwortlicher	<ul style="list-style-type: none"> Pflege des Kapazitätsangebots Anordnung von Überstunden und Überstundenabbau Nutzung der Takt-Kapazitätsflexibilität inkl. Auswärtsvergabe Abstimmung mit direktem Nachfolger: dieser akzeptiert eine verspätete Anlieferung und kann sein Ziel für den Folgetakt erreichen 	Das Taktziel kann trotz Ausschöpfung aller verfügbarer Möglichkeiten nicht erreicht werden.
 Planungsleitstand	<ul style="list-style-type: none"> Umplanung des betroffenen Auftrags Taktorientierte Grobplanung aller in der Folge betroffener Aufträge und Kapazitätseinheiten unter Nutzung von Kapazitätsflexibilität und Puffern 	Die Einhaltung des Liefertermins eines Auftrags ist nicht möglich.
 Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> Interne Abstimmung von Verschiebungen und gegebenenfalls Priorisierung von Aufträgen Abstimmung und Kommunikation von Verschiebungen zum Kunden 	Lieferterminverschiebungen können nicht mit dem Kunden vereinbart werden.
 Geschäftsführung	<ul style="list-style-type: none"> Priorisierung von Aufträgen Gegebenenfalls: Abstimmung mit Kunden 	



Abbildung 5-28: Ablauf des Turbulenzhandlings

Der Kapazitätseinheitsverantwortliche versucht durch Nutzung der vorhandenen Puffer alle für den Takt eingeplanten Aufträge trotz der aufgetretenen Turbulenz bis zum Taktende fertigzustellen. Zudem besteht die Möglichkeit, eine Abstimmung mit den betroffenen nachfolgenden Kapazitätseinheiten durchzuführen. Eine verspätete Anlieferung des Auftrags ist möglich, wenn die nachfolgende Kapazitätseinheit ihr Taktziel für den Folgetakt trotz der Verschiebung erreichen kann. Ist dies nicht der Fall, muss der Planungsleitstand informiert werden, der wiederum eine Umplanung vornimmt. Die Umplanung kann viele Aufträge umfassen, da durch die Turbulenz die Einhaltung der Termine von anderen Aufträgen nicht gewährleistet sein kann. Falls hierdurch allerdings die Einhaltung eines Liefertermins zum Kunden nicht möglich ist, muss das Projektmanagement informiert werden. Das Projektmanagement kann seinerseits die Priorisierung von Aufträgen aktualisieren und auf diese Weise eine Umplanung anstoßen. Andernfalls besitzt das Projektmanagement die Aufgabe, die veränderten Termine mit dem Kunden abzustimmen. In letzter Instanz besitzt die Geschäftsführung die Verantwortung, eine Priorisierung der Aufträge vorzunehmen.

6 Anwendung und kritische Reflexion

Zweck dieses Kapitels ist es, das entwickelte Gestaltungsmodell in der Anwendung an einem Beispiel aus der betrieblichen Praxis darzulegen und zu validieren. Dieses Vorgehen stimmt mit dem von ULRICH definierten Schritt der Validierung im Forschungsprozess überein (Ulrich et al. 1984, S. 192). Dazu wird ein konkreter Anwendungsfall in der Auftragsabwicklung eines Herstellers kundenspezifischer Komponenten für die Raumfahrt diskutiert. Im ersten Teil des Kapitels werden zunächst die Ausgangssituation und der Unternehmenskontext vorgestellt. Der Folgeschritt besteht in der Ausgestaltung des Prinzips der taktorientierten PPS für die Auftragsabwicklung unter Anwendung der in Kapitel 4 und 5 entwickelten Modellelemente. Den Abschluss des Kapitels bildet die kritische Reflexion der Ergebnisse der Praxisanwendung.

6.1 Ausgangssituation

Das Unternehmen entwickelt, fertigt und montiert Komponenten für Anwendungen in der Raumfahrt. Das Produktspektrum gliedert sich in mehrere Produktlinien, die durch ein heterogenes Produktionsprogramm mit einer hohen Variantenvielfalt und einem hohen kundenspezifischen Anteil gekennzeichnet sind. Das Endprodukt besteht aus mehreren eigengefertigten Hauptbaugruppen und zwei extern beschafften Hauptkomponenten, die im Laufe des Produktionsprozesses sukzessive montiert werden. Die Stücklistentiefe ist mit bis zu acht Dispositionsstufen als hoch einzustufen. Dabei werden viele Bauteile selbst gefertigt: angefangen vom Wickeln der für die elektronischen Komponenten benötigten Spulen und dem Bestücken von Leiterplatten über die Fertigung und Qualitätssicherung von Artikeln bis hin zur Montage der Baugruppen und deren Prüfung. Darüber hinaus bestehen neben hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen auch umfangreiche Pflichten zur Dokumentation der Produktionsprozesse und zur Rückverfolgbarkeit von Komponenten.

Wie die betriebstypologische Einordnung in Abbildung 6-1 zeigt, kann das Ablaufprinzip als eine Mischung aus Werkstatt-, Insel- und Linienstrukturen beschrieben werden. Dies ist dadurch bedingt, dass es durch Anstrengungen im Bereich *Lean Production* gelungen ist, für einige Prozesssequenzen Linien im Flussprinzip zu bilden. Aus Auslastungsgründen war

eine Linienbildung allerdings nur in begrenztem Umfang möglich, so dass in der Produktion Inselstrukturen und hauptsächlich klassische Werkstattstrukturen vorherrschen. So sind bspw. die Fertigung von Leiterplatten, die Teilgalvanik, Prüfeinrichtungen wie elektromagnetische Kompatibilitätstests und Qualitätssicherungsbereiche funktional organisiert. Auch die produktionsvorgelagerten Bereiche sind funktional segmentiert.

Merkmale		Ausprägungen			
Artikel	Endproduktart	Investitionsgut	Konsumgut		
	Kundenbezug des Endproduktes	kundenspezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt (mit Varianten)	Standardprodukt
	Stücklistentiefe / Dispositionsstufen	viele	wenige	einstufig	Handel (inkl. externe Produktion)
Res- source	Ablaufprinzip	Baustelle	Werkstatt	Insel	Linie / Fließprinzip
	Material- und Auftragsflusskomplexität	komplex mit Rückflüssen	komplex	überschaubar	einfach
	Engpasscharakteristik	kein	stabil	dynamisch	ereignisdiskret
	Kapazitätsflexibilität	in der Zeitachse flexibel	in der Zeitachse wenig flexibel	in der Zeitachse nicht flexibel	
Auftrag	Bevorratungsstrategie	engineer-to-order	make-to-order	assemble-to-order	make-to-stock
	Auftragsauslösungsart	Nachfrage, Kundenauftrag	Prognose, Vorhersageauftrag	Verbrauch, Lager-nachfüllauftrag	
	Auftragstyp	Einzelstück	Kleinserie	Serie	Großserie, Massenfertigung
	Kundenänderungseinfluss nach Fertigungsstart	größerer Umfang (>25% d. Aufträge)	gelegentlich (5... 25% d. Aufträge)	unbedeutend (<5% d. Aufträge)	

■ Merkmalsausprägungen im Anwendungsfall

Abbildung 6-1: Betriebstypologische Einordnung des Anwendungsbeispiels

Aus den funktionsorientierten Strukturen in Kombination mit notwendigen intensiven bereichsübergreifenden Abstimmungen ergeben sich komplexe Material- und Auftragsflüsse. Absprachen zwischen der Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und der Produktion, Abgleiche der Parameter unterschiedlicher Baugruppen und den Produktionsschritten nachgelagerte Tests, die die Einhaltung von Spezifikationen prüfen, verursachen ein hohes Maß an Verflechtungen und Rückflüssen zwischen den Bereichen. Hieraus entstehen zahlreiche dynamische und ereignisdiskrete Engpässe entlang der Auftragsabwicklungskette. Die an vielen Ressourcen durch eine breite Qualifikation vorhandene Kapazitätsflexibilität wird

eingesetzt, um auftretende Engpasssituationen zu überwinden. An einigen Ressourcen ist, unter anderem durch das starke Umsatzwachstum in den letzten Jahren, die Flexibilität der Kapazitäten allerdings stark begrenzt.

Hinsichtlich der Aufträge ist zwischen internen Entwicklungsprojekten, bezahlten Entwicklungen für Kunden und Kundenaufträgen mit Lieferung von Endprodukten in unterschiedlichsten Ausprägungen zu unterscheiden. Der Auftragsstyp lässt sich als *Einzelstück* einordnen, wobei auch Losgrößen bis zu einer Menge von ca. 40 Stück auftreten können. Die in der Losgröße enthaltenen Endprodukte sind in der Regel technisch nicht identisch und werden über einen Zeitraum von mehreren Wochen sukzessive ausgeliefert. Die Durchlaufzeiten von Kundenaufträgen betragen im Ausgangszustand acht bis vierzehn Monate, wobei auf die Entwicklungs- und Konstruktionsphase mindestens zwei bis sechs Monate entfielen. Die Wiederbeschaffungszeiten von extern beschafften Komponenten schwanken stark und können deshalb auch den kritischen Pfad bilden. Die Tests am Ende des Produktionsprozesses nehmen vier bis acht Wochen Zeit in Anspruch. Die Abwicklung des Auftrags wird erst bei Vorliegen der Auftragsbestätigung begonnen. Allerdings sind bereits in der Angebots- und Verhandlungsphase umfangreiche Klärungen zu Spezifikationen, Lieferterminen und Finanzierungen erforderlich, was Aufwände bei den für die Auftragsabwicklung zuständigen Ressourcen verursacht. Darüber hinaus kann es notwendig sein, Rohmaterial und Zukaufteile für den Auftrag bereits vor dem endgültigem Auftragseingang zu beschaffen. Trotz der umfangreichen Klärung der Spezifikation im Vorfeld des Auftrags sind größere Änderungen der Spezifikation während der Auftragsabwicklung häufig vorhanden, da sich die Anforderungen beim Kunden im Laufe des Projektes ändern.

Im Zuge der Planung und Steuerung wurden im Ausgangszustand nach Auftragseingang basierend auf Erfahrungswerten Meilensteine für die produktionsvorgelagerten Bereiche und für die Fertigstellung von Baugruppen in der Produktion festgelegt. Auf dieser Grundlage führten die einzelnen Bereiche Feinplanungen durch. Die Einhaltung der Meilensteine wurde durch das Projektmanagement überwacht und vom Planungsleitstand koordiniert. Mit dem Kunden vereinbarte Meilensteine wie das *Critical Design Review* oder den Abschluss eines Baugruppentests werden vom Kunden zur Auftragsüberwachung genutzt.

Das Turbulenzprofil spiegelt die vorliegenden Herausforderungen in der Planung und Steuerung wider (Abbildung 6-2). Auf der etwas weniger stark ausgeprägten Planungsseite

stellen heterogene Lieferanforderungen, die in den Planungsdaten vorhandene Unschärfe, der heterogene Auftragsdurchlauf und heterogene Wiederbeschaffungszeiten bei Zukaufkomponenten die größten Turbulenzkeime dar. Auf der Steuerungsseite treten häufig Änderungen der technischen Spezifikation auf. Zudem entstehen durch die technologische Komplexität und die strikten Spezifikations- und Qualitätsanforderungen nicht vorhergesehene Mehraufwände in einem Prozessschritt sowie Nacharbeiten und Reparaturen⁴¹. Auf der Beschaffungsseite erschweren durch Lieferanten verursachte Terminabweichungen die Planung und Steuerung und machen Umplanungen der betroffenen Aufträge erforderlich.

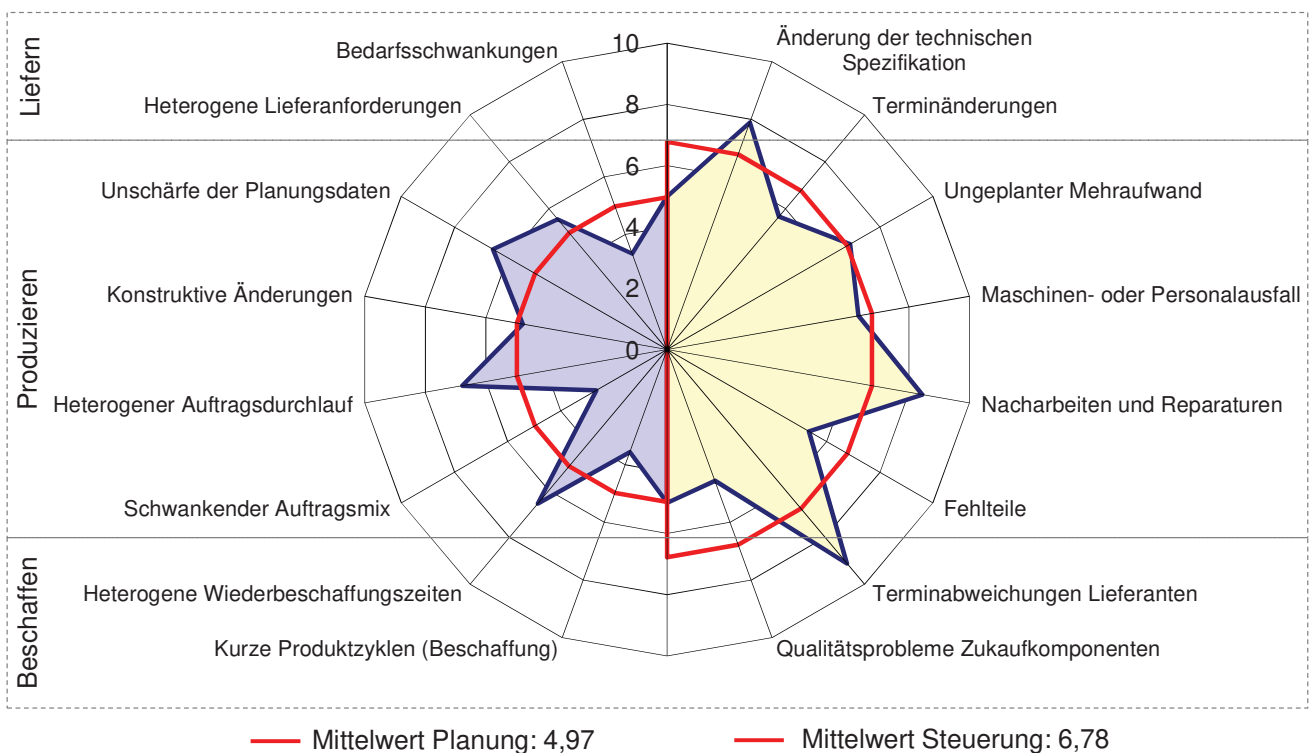


Abbildung 6-2: Turbulenzprofil im Anwendungsfall

Hinsichtlich der eingesetzten Werkzeuge war die Planung und Steuerung im Auftragsabwicklungsprozess durch vielfältige IT-Werkzeuge (ERP-System, Projektplanungswerkzeug, Dokumentationssystem, zahlreiche dezentrale Feinplanungslösungen) gekennzeichnet, die eine strukturierte Datenhaltung und durchgängige Informationsflüsse kaum

⁴¹ Während Nacharbeiten die Spezifikationsabweichung in dem Bereich, in der diese entdeckt wurde, beheben, erfordern Reparaturen die Formulierung eines Prüfbefundes, das Einbeziehen mehrerer Bereiche, die Definition und Dokumentation eines detaillierten Reparaturplanes sowie unter Umständen die Information des Kunden.

ermöglichten. Die etablierten Strukturen und Abläufe waren aufgrund des starken Unternehmenswachstums zunehmend nicht mehr in der Lage, aktuelle und vollständige Entscheidungsgrundlagen zu liefern. Das Zusammenspiel dieser Faktoren führte zu einem hohen Planungs- und Steuerungsaufwand, um die den Kunden bestätigten Liefertermine zu halten.

6.2 Anwendung des Gestaltungsmodells

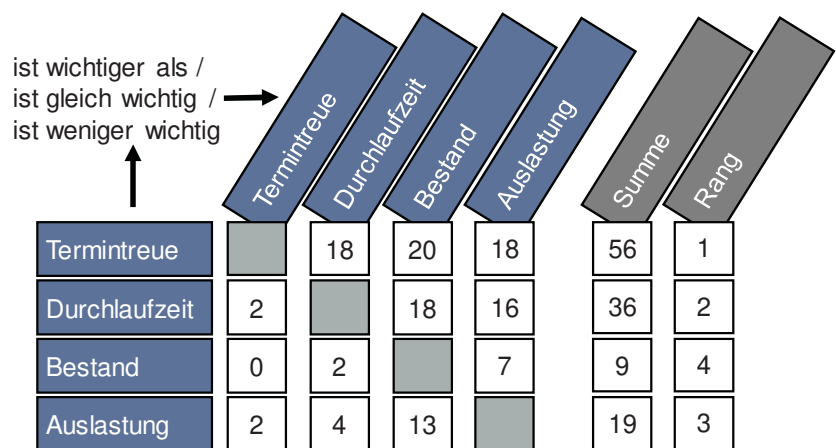
Die Darlegung der Anwendung der entwickelten Modellelemente beginnt mit der Betrachtung der logistischen Zielgewichtung. Im Anschluss wird das für den Anwendungsfall abgeleitete Planungsmodell beschrieben. Die im Unternehmen angewendeten Planungsparameter stellen den dritten Abschnitt dar. Die Vorstellung des Planungs- und Steuerungsablaufs mit den Rollen- und Verantwortlichkeiten schließt das Unterkapitel ab.

6.2.1 Logistische Zielgewichtung

Abbildung 6-3 stellt das Ergebnis der Gewichtung der logistischen Zielgrößen Termintreue, Durchlaufzeit, Bestand und Auslastung im Anwendungsfall dar. Die Termintreue wird dabei von den Verantwortlichen des Unternehmens als wichtigstes logistisches Ziel angesehen.

Auf dem zweiten Rang ist die Durchlaufzeit eingestuft, um die vom Markt geforderten Lieferzeiten zu erfüllen. Die Auslastung von Ressourcen ist vor einem niedrigen Bestandsniveau einzuordnen.

Das Ziel einer hohen Qualität ist nicht Gegenstand der Analyse, da dieses als Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Agieren am Markt angesehen wird.



2: ist wichtiger als 1: ist gleich wichtig 0: ist weniger wichtig

Anzahl Teilnehmer: 10

Abbildung 6-3: Logistische Zielgewichtung im Anwendungsfall

6.2.2 Planungsmodell

Auftragsmodell

Zur Ableitung der Planungsrelevanz von Aufträgen lieferte eine Paretoanalyse von Aufträgen an repräsentativen Ressourcen eine Klassifizierung der Aufträge anhand des Kapazitätsbedarfs. Interne Entwicklungsprojekte, bezahlte Entwicklungen und Kundenaufträge sind als A-Typen eingestuft und werden explizit geplant und gesteuert. Sonstige permanente Tätigkeiten wie bspw. die Unterstützung bei der Erstellung von Angeboten im Konstruktionsbereich werden wie Wartungs-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten nicht über Auftragspläne, sondern über einen Taktkapazitätspuffer abgebildet.

Die planungsrelevanten Aufträge können in die fünf in Tabelle 6-1 dargestellten Auftrags-typen klassifiziert werden. Die internen Entwicklungsaufträge und bezahlten Entwicklungen sind dabei Auftragstyp V zuzuordnen.

Auftrags- typ	Bezeichnung	Merkmal
I	Standardauftrag	Nachbau eines bereits produzierten Produkts mit unveränderten Materialnummern, bei dem alle Komponenten ohne Stücklisten-änderung verfügbar sind.
II	Standardauftrag mit geringen Modifikationen	Nachbau eines in der Vergangenheit bereits produzierten Produkts mit veränderten Baugruppen, da bestimmte Komponenten oder Rohmaterialien geändert werden müssen oder nicht mehr verfügbar sind.
III	Anpassungs-auftrag mit mittleren bis großen Anpassungen	Die Grundstruktur des Endprodukts ist vorhanden, es können auch einige existierende Komponenten verwendet werden. Allerdings sind bei zahlreichen Stücklisten Anpassungen aufgrund der Kundenspezifikation notwendig.
IV	Anpassungs-auftrag mit großen Anpassungen und Prototyp	In Ergänzung zu Auftragstyp III sind zusätzlich die Produktion eines Prototyps und dessen Test erforderlich.
V	Entwicklungs-auftrag	Komplette Neuentwicklung mit zahlreichen zu entwickelnden und zu konstruierenden Komponenten. Integriert ist auch eine Prototypenphase inklusive eines Prototypentests.

Tabelle 6-1: Auftragstypen im Anwendungsfall

Für die fünf Auftragsstypen wurden Auftragstemplates mit entsprechenden Auftrags-, Durchlauf- und Pufferzeiten gebildet. Die für die Abarbeitung eines Auftrags erforderlichen Prozessschritte sind planungsrelevant, wenn sie eine signifikante Durchlaufzeit benötigen. Deshalb wurde in enger Abstimmung mit dem Ressourcenmodell eine Zusammenfassung geeigneter Vorgänge vorgenommen. So konnten z. B. Testschritte, die im Arbeitsplan sehr detailliert abgebildet sind, für die Planung gruppiert werden. Prozessschritte, die in einer Kapazitätseinheit durchgeführt werden, werden mit den für die Tätigkeiten benötigten Auftragszeiten geplant. Prozessschritte, die zwar durchlaufzeitrelevant sind, aber nicht gegen die Kapazitätsgrenzen einer Kapazitätseinheit geplant werden, werden mit Hilfe von Durchlaufzeiten im Auftragsmodell abgebildet. Auf diese Weise sind prozessbedingte Liegezeiten (bspw. nach dem Vergießen), Vorbereitungstätigkeiten vor der automatischen Bestückung oder der einem Testplatz folgende Prozessschritt, der selbst an einem Nicht-engpass-Arbeitsplatz (z. B. Re-Montage) durchgeführt wird, im Auftragsmodell abgebildet. Gleichmaßen sind externe Vorgänge, die den kritischen Pfad bilden können sowie verlängerte Werkbankprozesse mit Standardzeiten hinterlegt.

Im Rahmen der Einführung der taktorientierten PPS wurde für die Ermittlung geeigneter Auftrags- und Durchlaufzeiten eine Mehrfachschätzung auf Basis einer Datenanalyse durchgeführt. Dabei wurden die Schätzwerte für die Prozessschritte pauschal von mehreren Experten wie den Kapazitätseinheitsverantwortlichen, den Produktionssteuerern und den Projektleitern geschätzt.

Abbildung 6-4 zeigt die Gegenüberstellung der Plan- und Ist-Auftragszeiten vergangener Aufträge auf einer Bestückungsan-

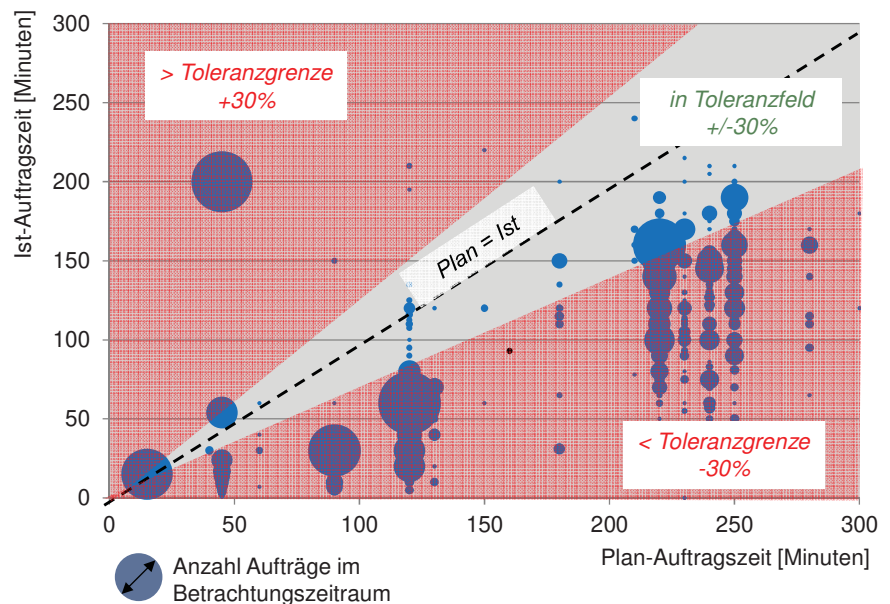


Abbildung 6-4: Gegenüberstellung der Plan- und Ist-Auftragszeiten an einer Bestückungsanlage

lage. Dabei ist zu erkennen, dass die Plan-Auftragszeiten für die Auftragstemplates an dieser Kapazitätseinheit oftmals verringert werden konnten.

Ressourcenmodell

Die funktionalen Strukturen führen bei variierendem Auftragsmix und schwankender Auftragsmenge oftmals zu dynamischen Engpässen. Hieraus resultieren zahlreiche Ressourcen, die gegen begrenzte Kapazitäten geplant werden müssen. Diese wurden im Rahmen der Einführung der taktororientierten PPS zu ungefähr 80 Kapazitätseinheiten aggregiert. Bei den meisten Kapazitätseinheiten zeigt sich das Personal als engpassbestimmend. In den produktionsvorgelagerten Bereichen ist der Anteil an planungsrelevanten Ressourcen hoch. Vor Einführung der taktororientierten PPS wurden die Ressourcen der produktionsvorgelagerten Bereiche in der Planung sehr detailliert abgebildet. Im Zuge der Bildung der Kapazitätseinheiten war bei einigen Kapazitätseinheiten der Kapazitätsbedarf nicht gleichmäßig auf die Teammitglieder verteilt. Deshalb war z. B. eine komponentenbezogene Aufgliederung und eine etwas detailliertere Abbildung der Kapazitätseinheiten *thermische Simulation* und *Anpassentwicklung* notwendig. In der Planung der Produktion konnten die einer Linie zugeordneten Ressourcen entweder in aggregierter Form als Kapazitätseinheit oder als eine planungsrelevante Kapazitätseinheit mit davon abhängigen Ressourcen abgebildet werden. Engpassbestimmend sind bei Kapazitätseinheiten der Produktion das Personal (z. B. im Montagebereich), Maschinen (z. B. automatische Bestückung) oder Personal und Maschinen (z. B. einige der Testplätze). Bei wenigen Qualitätssicherungsarbeitsplätzen war eine direkte Zuordnung zu den fertigenden bzw. montierenden Kapazitätseinheiten möglich. Die Mehrheit an Qualitätssicherungsarbeitsplätzen ist aus Auslastungsgründen weiterhin zentralisiert und als Kapazitätseinheit abgebildet.

Das Ergebnis des in Kapitel 5.2.1 dargestellten Verfahrens zur Taktbreitenbestimmung ist in Tabelle 6-2 abgebildet. In einigen Kapazitätseinheiten war eine quantitative Analyse aufgrund einer unzureichenden Datengrundlage nicht möglich. Hier wurde auf Schätzungen von Fachexperten zurückgegriffen. Einige Kapazitätseinheiten werden nicht gegen begrenzte Kapazitäten, sondern lediglich mit hinterlegten Durchlaufzeiten geplant. Aufgrund ungleichmäßiger Taktbreiten wurde die Taktbreite der Bauteilreparatur auf 2,5 Tage verlängert. Die Kapazitätseinheiten der Qualitätssicherung werden parallel zu Kapazitätseinheiten

der Fertigung geplant, so dass hier eine identische Taktbreite sinnvoll ist. Ein Beispiel für eine Kapazitätseinheit, in der taktübergreifende Vorgänge ablaufen, stellt der Vakuumtemperaturtest dar. Die Taktdauer von sieben Arbeitstagen wurde nicht auf die Prozessdauer von ca. 12-16 Arbeitstagen verlängert, um nach Ablauf des ersten Taktes eine taktbezogene Fortschrittskontrolle durchzuführen.

	Taktbreiten- minimum [BKT]	Taktbreiten- maximum [BKT]	Taktbreite TB [BKT]	Kapazitätsplanung (Kapazitätspl.) / Durchlaufzeitplanung (DLZ-Pl.)	Engpass	Normal- betriebs- grenze [%]	Überlast- grenze [%]
Produktionsvorgelagerte Bereiche							
Anpassentwicklung Baugruppe 1	-	-	5	DLZ-Pl.	Mitarbeiter		
Anpassentwicklung Baugruppe 2	4	7	5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	80%	120%
Anpassentwicklung Baugruppe 3	3,2	6	5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	70%	110%
Leiterkartendefinition	-	-	10	DLZ-Pl.	Mitarbeiter		
Konstruktion mechanisch	5	4,8	5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	80%	110%
Konstruktion elektrisch	-	-	5	DLZ-Pl.	Mitarbeiter		
...							
Fertigung							
Bauteilkommissionierung	-	-	5	DLZ-Pl.	Mitarbeiter		
Automatische Bestückung	2,7	5	5	Kapazitätspl.	Maschine	90%	125%
Manuelle Bestückung	1	3,2	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	80%	125%
Bauteilreparatur	0,7	1	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	70%	125%
Vergießen	0,5	3	1	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	90%	125%
Herstellung Spulen 1	1,4	3	2,5	Kapazitätspl.	Maschine	100%	125%
Herstellung Spulen 2	0,5	1	1	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	100%	125%
...							
Qualitätssicherung Fertigung							
QS1	1	2	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	75%	110%
QS2	1,3	2	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	75%	110%
QS3	1	2	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	75%	110%
Montage							
Montage Baugruppe 1	2	2	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	100%	130%
...							
Endmontage	1	1,4	2	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	100%	130%
Prüfung und Abnahme							
Baugruppe 1 Prüfung 1	1	1	1	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	80%	100%
Baugruppe 1 Prüfung 2	2	2,9	2,5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	80%	100%
Baugruppe 2 Prüfung 1	1	5	5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	90%	130%
Baugruppe 2 Prüfung 2	2,5	5	5	Kapazitätspl.	Mitarbeiter	90%	125%
Elektromagnetische Prüfung	2	5	5	Kapazitätspl.	Testplatz	80%	125%
Vibrationstest	3,5	5	7	Kapazitätspl.	Testplatz	80%	125%
...							
Vakuum-Temperaturtest	8,3	15	7	Kapazitätspl.	Testplatz	80%	90%

Tabelle 6-2: Ergebnis der Taktbreitenbestimmung und Festlegung der Kapazitätsgrenzen

Lokale Aufwandspuffer und lokale Prozesspuffer sind über das Ressourcenmodell, die Puffer durch Aggregation im Auftragsmodell definiert. Expertenbefragungen ergaben einen globalen Prozesspuffer, Pufferzeiten vor Kundenmeilensteinen sowie diverse Zuliefererpuffer, um die Prozesse abzusichern, die am häufigsten als kritisch anzusehen sind.

Die aufgezeigten Normal- und Überlastgrenzen repräsentieren die quantitative Kapazitätsflexibilität. Die Kapazitätseinheitsverantwortlichen pflegen für den Planungshorizont das Kapazitätsangebot der Kapazitätseinheit. Das flexible Potential ist über das Ressourcenmodell und die Auftragspläne abgedeckt. Falls die durch die Kapazitätsgrenzen abgebildete Kapazitätsflexibilität nicht ausreichend ist, können erweiterte Maßnahmen wie Verlagerungen zu externen Dienstleistern diskutiert und festgelegt werden.

6.2.3 PPS-Parameter

Planungsebenen

Die Planungsebenen mit ihren für die im Anwendungsfall geltenden Parametern sind in Tabelle 6-3 visualisiert. Die maßgeblichen Objekte, die die Kapazitätsbedarfe widerspiegeln, sind interne und externe Anfragen, Aufträge sowie Wartungen und Instandhaltungen. Je tiefer die Planungsebene dabei ist, umso detaillierter erfolgt die Betrachtung. Demnach werden bis zur Grobplanung lediglich die definierten Kapazitätseinheiten des Ressourcenmodells einbezogen. Die Feinplanung berücksichtigt die einzelnen Ressourcen innerhalb der Kapazitätseinheit. Der Planungshorizont hängt stark von den Lieferzeiten, den Angebotsklärungszeiten, den Wiederbeschaffungszeiten sowie der Laufzeit interner Projekte ab. In der Historie hat sich in der Mittel- und Langfristplanung sowie der Grobplanung ein Horizont von 24 Monaten bewährt, so dass dieser beibehalten wird. Die Feinplanung richtet sich an dem für die jeweilige Kapazitätseinheit festgelegten Feinplanungshorizont aus. Dieser beträgt abhängig von der Kapazitätshüllkurve im Anwendungsfall ein bis sechs Wochen. Die Genauigkeit der Planung in der Feinplanung und -steuerung ist von der Takt-dauer beeinflusst: je nach Länge des Taktes wird in Stunden, Schichten, Tagen oder auf Taktbreite geplant. Die durch das Planungsintervall beschriebene Häufigkeit der Planung beträgt auf der Feinplanungsebene pro Takt mindestens ein Mal. In der Praxis ergibt sich in der Regel ein tägliches Raster oder eine Aktualisierung in einem noch kürzeren Intervall. Der Fixierungshorizont wird aufgrund der hohen Dynamik (vgl. Abbildung 6-2) auf den Ebenen der Mittelfrist- und Langfristplanung sowie der Grobplanung eingesetzt. Die vorherrschende Komplexität macht allerdings des Öfteren einen Eingriff gerade in die Takte, die in den Feinplanungshorizont der Kapazitätseinheiten fallen, notwendig. In der Feinplanung gilt die Regel, dass bereits begonnene Aufträge immer die höchste Priorität besitzen.

	Kapazitätsbedarfe	Kapazitätsangebot	Planungshorizont	Genauigkeit der Planung	Planungsintervall	Fixierungshorizont
Mittel- und Langfristplanung	Kundenanfragen, interne Projektanfragen, Prognosebedarfe, bereits eingeplante Aufträge/ Projekte, Takt-Kapazitätspuffer	Kapazitätseinheiten	24 Monate	Taktbreite	wöchentl. bis monatl.; bei Anfragen	aktueller Takt und Takte im KE-FPL-Horizont
Grobplanung	Kundenaufträge, interne Projektaufträge, Prognosebedarfe, größere Wartungen und Instandhaltungen, Takt-Kapazitätspuffer	Kapazitätseinheiten	24 Monate	Taktbreite	täglich oder kürzeres Intervall	aktueller Takt und Takte im KE-FPL-Horizont
Feinplanung	Arbeitspakete und deren Arbeitsvorgänge, Wartungen und Instandhaltungen	Ressourcen innerhalb der KE	aktueller Takt und Takte im KE-FPL-Horizont	Stunden, Schichten, Tage	mindestens 1 Mal pro Takt	-
Feinsteuerung	Arbeitspakete und deren Arbeitsvorgänge, Wartungen und Instandhaltungen, Zusatzvorgänge wie Nacharbeiten und Reparaturen, Mehraufwand,...	Ressourcen innerhalb der KE	aktueller Takt und Takte im KE-FPL-Horizont	Stunden, Schichten, Tage	täglich oder kürzeres Intervall	-

FPL: Feinplanung KE: Kapazitätseinheit

Tabelle 6-3: Planungsebenen und deren PPS-Parameter im Anwendungsfall

Terminierungslogik

Hinsichtlich der Terminierungslogik werden im Rahmen der Lieferterminermittlung bzw. Angebotsplanung mit Hilfe einer Vorwärtsterminierung mit Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen mögliche Liefertermine ermittelt. Optional zeigt eine Vorwärtsterminierung mit Berücksichtigung von Kapazitäten durch die potentiellen Aufträge entstehende Engpässe und Handlungsbedarfe auf. Durch die zum Teil langen Vorlaufzeiten bis zu den Startterminen in der Produktion bestehen zu diesem Zeitpunkt noch Handlungsmöglichkeiten für Kapazitätserweiterungen. Auf dieser Basis werden die Verhandlungen mit den Kunden bezüglich den erreichbaren Lieferterminen geführt. Durch die entstandene Transparenz ist

es möglich, eine geeignete Balance zwischen Plan-Soll-Abweichung und Kundenwunscherfüllungsgrad zu erzielen. Im Zuge der Grobplanung wird bei der ersten Einplanung eines Auftrages eine Rückwärtsterminierung ausgehend vom vereinbarten Liefertermin mit Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen durchgeführt. Dabei werden die Meilensteine des Auftragsplans wie das *Preliminary Design Review*, das *Critical Design Review* oder diverse Testmeilensteine gemäß der Meilensteinterminierungslogik (vgl. 5.3.2) eingeplant.

An einigen Stellen werden spezielle Prozess- und Ressourcenattribute eingesetzt. Um einheitliche Testergebnisse zu erzielen, sind sowohl ein Ressourcen- als auch ein Prozessattribut hinterlegt.

Die Terminierung plant den Prozessschritt erst ein, wenn die entsprechende Verfügbarkeit sichergestellt ist. Aufgrund des Auftretens von Aufträgen mit höheren Stückzahlen war es notwendig, für die Kapazitätseinheiten das pro Takt und pro Auftrag zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot zu definieren. Diese schwankt von Kapazitätseinheit zu Kapazitätseinheit zwischen 100% (automatische Bestückung) und 40% (Qualitätssicherung). Die maximale Anzahl belegbarer Takte eines Prozessschritts wird in den entwickelnden und konstruierenden Bereichen eingesetzt, um ein zu hohes Maß an Multitasking zu vermeiden.

Prioritäten und Werkzeugeinsatz

Die Ankunftsreihenfolge dient als Standardprioritätsvorgabe bei der Lieferterminermittlung und Auftragseinplanung. Umplanungen in der Grobplanung bei Notwendigkeit einer Planveränderung erfolgen mit dem Kriterium des frühesten Liefertermins manuell. Bei gravierenden Planabweichungen (wie bspw. der tagelange Ausfall eines Testplatzes oder die Verschiebung eines großen Auftrags) ist es ebenso möglich, eine automatisierte Umplanung aller Aufträge vorzunehmen. Hierbei wird gleichermaßen der früheste Liefertermin als Prioritätsvorgabe eingesetzt. Die Feinplanung erfolgt in der Regel ohne Einsatz einer Software. Häufig ist eine direkte Planung durch die Meister oder der Einsatz einer Plantafel. Bei schwierigeren Feinplanungsaufgaben wird auf eine Software zurückgegriffen, um z. B. eine Testplatzbelegung feinzuplanen.

6.2.4 Organisationsstruktur

Die Planungsorganisation und Rollen entsprechen weitestgehend den Beschreibungen aus Abschnitt 5.4.1. Zu ergänzen ist für den Anwendungsfall lediglich die Produktionssteuerung, die als Teil des Planungsleitstandes für die Feinplanung und -steuerung innerhalb eines Produktionsbereiches zuständig ist. Bei auftretenden Turbulenzen sind die Produktionssteuerer Ansprechpartner für die Kapazitätseinheitsverantwortlichen, um schnell und dezentral eine Lösung zur Bewältigung der Turbulenz innerhalb des Bereichs zu finden.

Zwischen den Kapazitätseinheiten wurden Kunden-Lieferanten-Beziehungen mit den in Abschnitt 5.4.2 beschriebenen Pflichten und Regeln eingeführt. Auch die nichtplanungsrelevanten Ressourcen besitzen Verantwortliche, die für die Einhaltung der Kunden-Lieferanten-Beziehungen verantwortlich sind. Standardisierte Auftragspapiere, definierte Materialbereitstellplätze für jede Ressource sowie Visualisierungen am Arbeitsplatz unterstützen das fehlerfreie, vollständige und termingerechte Erbringen der Leistung.

6.2.5 Planungs- und Steuerungsablauf

Mitarbeiter des Planungsleitstands führen im Rahmen der Anfrageplanung eine gegen dynamische Engpässe kapazitätsgeprüfte Lieferterminermittlung durch. Mit Hilfe der erarbeiteten fünf Auftragstemplates, die gemäß der Anfrage angepasst werden, sind die Ermittlung eines gegen Kapazitäten geprüften Liefertermins und die Identifikation von kapazitiven Handlungsbedarfen möglich. Im Auftragsfall werden die im ERP-System angelegten Aufträge im Rahmen der Grobplanung in die Takte eingeplant und auftretende Kapazitätsengpässe mit den Kapazitätseinheitsverantwortlichen und der Produktionssteuerung abgestimmt. Nach erfolgten Ein- und Umplanungen werden die Termine der Aufträge ins ERP-System zur Synchronisierung mit der dort ansässigen Materialwirtschaft zurückgespielt.

Die Kapazitätseinheitsverantwortlichen führen die Feinplanung der Takte durch. Es hat sich etabliert, dass die Abarbeitung in der Produktion durch tägliche Teammeetings (bei mehreren Schichten auch pro Schicht) und in den vorgelagerten Bereichen durch ein Team-Meeting einmal pro Woche unterstützt wird. Die Grobplanung wird durch dezentrale Abstimmungen zwischen den Kapazitätseinheitsverantwortlichen entlastet. Im Rahmen eines wöchentlichen Treffens der Kapazitätseinheitsverantwortlichen (Meisterbörse) werden die

Kapazitätssituation diskutiert, der zeitweise Austausch von Mitarbeitern festgelegt oder parallel geplante Takte von Montage und Qualitätssicherung abgestimmt.

Bei Auftreten einer Turbulenz läuft - je nach Art und Ausprägung - ein Teil oder der gesamte Prozess des Turbulenz-Handlings ab, der in Abbildung 6-5 visualisiert ist.

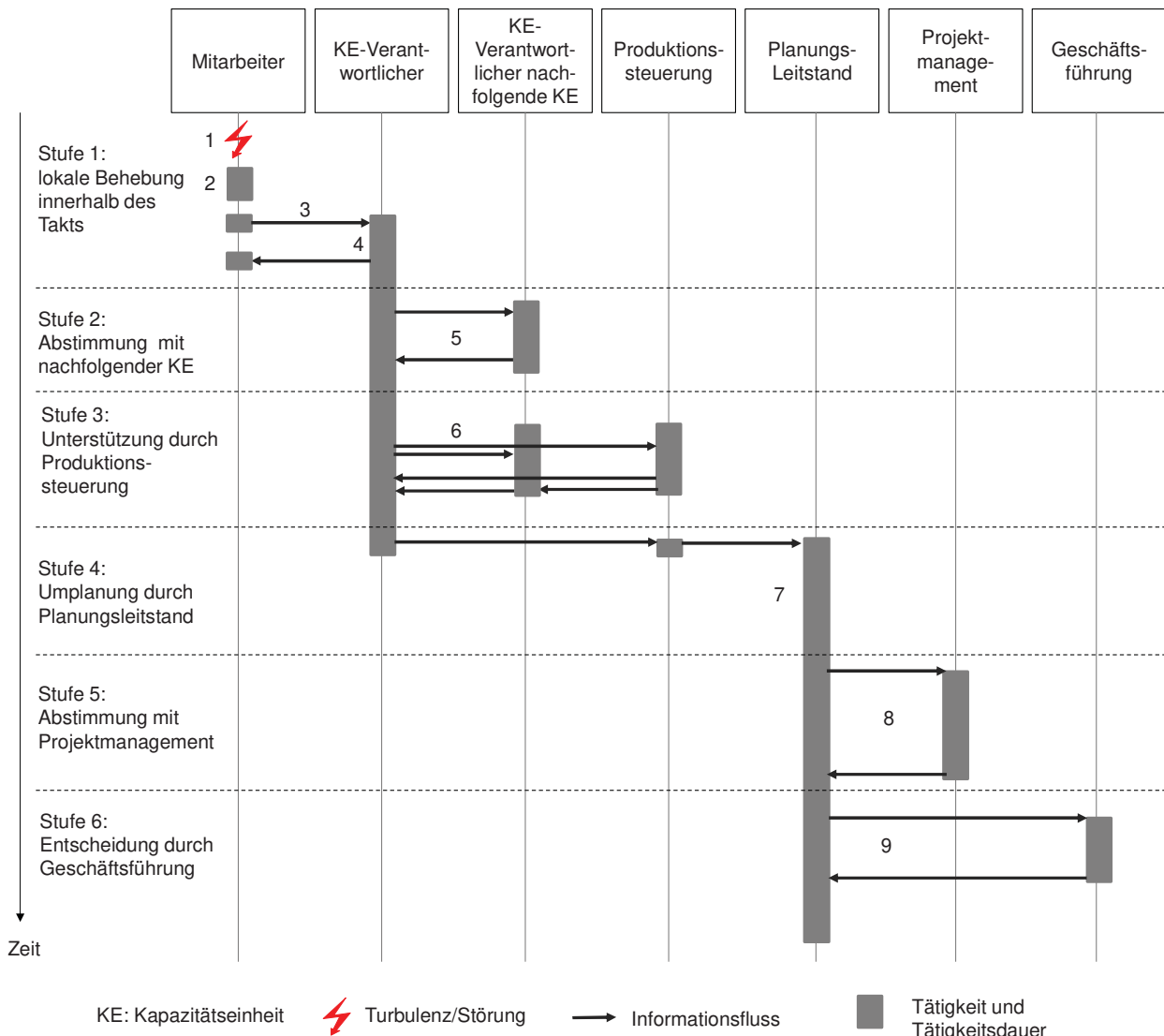


Abbildung 6-5: Turbulenzhandling bei Auftreten einer Turbulenz

Wenn eine Turbulenz auftritt und vom Mitarbeiter erkannt wird (1), versucht der Mitarbeiter, die Turbulenz selbstständig zu lösen (2). Falls die Turbulenz nicht behoben werden kann, muss der Kapazitätseinheitsverantwortliche informiert werden (3). Dieser versucht, durch Maßnahmen wie die Ausnutzung der Puffer und die Nutzung von Kapazitätsflexibilität die Takteinhaltung zu gewährleisten (4). Wenn der Takt nicht gehalten werden kann, erfolgt

eine Absprache mit dem Verantwortlichen der nachfolgenden Kapazitätseinheit, ob die nachfolgende Kapazitätseinheit alle Aufträge innerhalb des Folgetaktes abarbeiten kann, wenn der Arbeitsvorrat zu Beginn des Taktes nicht vollständig verfügbar ist (5). Bei umfangreicheren lokalen Umplanungen kann es sinnvoll sein, die Produktionssteuerung in die Eskalation miteinzubeziehen (6). Kann die Turbulenz nicht dezentral gelöst werden, wird durch den Verantwortlichen der Kapazitätseinheit oder die Produktionssteuerung eine Umplanung durch den Planungsleitstand angestoßen. Hier wird versucht, durch Nutzung von Kapazitätsflexibilität und Puffern die eingeplanten Termine zu halten (7). Für den Fall, dass nicht alle Termine der Aufträge gehalten werden können, ist eine Abstimmung mit dem Projektmanagement erforderlich, welche der betroffenen Termine und Meilensteine verschoben werden können (8). Wenn in der Abstimmung zwischen Projektmanagement und Planungsleitstand keine Entscheidung zu erzielen ist, ist eine Entscheidung durch die Geschäftsführung zur Priorisierung von Aufträgen notwendig (9).

6.3 Ergebnisse der Anwendung

Mit der verfolgten Planungslogik und der zur Verfügung stehenden Software ist es möglich, die gesamte Auftragsabwicklungskette tagesaktuell transparent darzustellen. Die Planung gegen die tatsächlich verfügbaren Kapazitäten erzeugt realistische Auftragstermine. Damit kann eine permanente Fortschrittskontrolle im gesamten Auftragsdurchlauf von der Entwicklung bis hin zur Auslieferung durchgeführt und auf Planabweichungen schnell und vorausschauend reagiert werden.

Die Bewertung der Ergebnisse der Anwendung des Gestaltungsmodells kann nur bedingt quantitativ durchgeführt werden, da ein stetig wachsender Umsatz, lange Auftragsdurchlaufzeiten und eine sukzessive Erweiterung der Kapazitäten eine direkte Vergleichbarkeit der logistischen Zielgrößen nicht zulassen. Nach der Einführung der taktorientierten PPS und dem Erreichen eines eingeschwungenen Zustandes waren ein reduzierter Bestand und verringerte Durchlaufzeiten an vielen Kapazitätseinheiten spürbar (teilweise um bis zu 40%). Die höhere Transparenz wurde von den Fachexperten bestätigt (Projektmanagement, Kapazitätseinheitsverantwortliche, Produktionssteuerung, Planungsleitstand). Der bestehende Rückstand konnte deutlich abgebaut werden. Aufgrund der stark angestiegenen Kundennachfrage war nach eineinhalb Jahren bei zahlreichen Ressourcen allerdings

immer noch ein gewisses Maß an Rückstand vorhanden. Die Termintreue stieg – gemessen am erstbestätigtem Liefertermin⁴² – von ca. 60% auf über 80%.

Trotz der größeren Auftragsmenge kann die PPS ohne zusätzliche Planungskapazitäten durchgeführt werden. Die höhere Effizienz ist hauptsächlich durch den Wegfall von zahlreichen Terminbesprechungen und unkoordinierten Eskalationsgesprächen spürbar. So ist bspw. der Zeitaufwand für die Erstellung eines Kundenreports von mehreren Stunden auf wenige Minuten gesunken.

Deutliche Einsparungen konnten demnach beim Planungsleitstand, der Produktionssteuerung, dem Projektmanagement und den Kapazitätseinheitsverantwortlichen in der täglichen Arbeit durch den Wegfall von Such- und Informationsbeschaffungszeiten sowie der Vermeidung von Mehrfacheingaben verzeichnet werden. Darüber

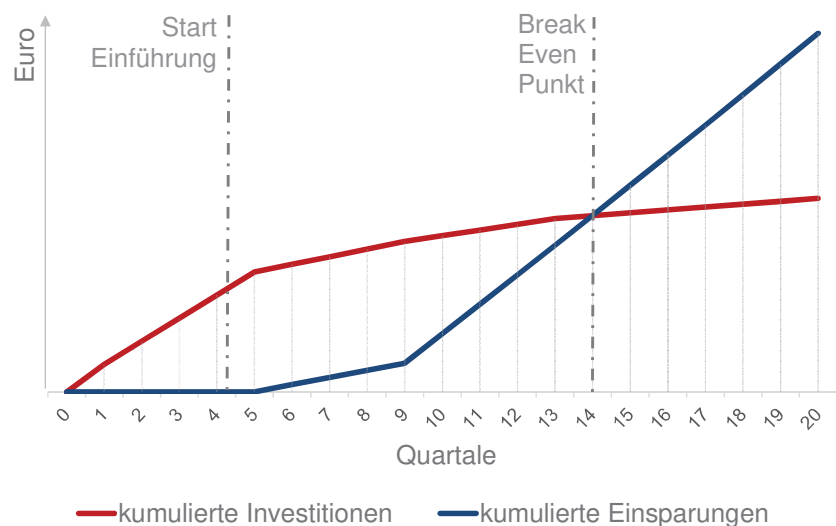


Abbildung 6-6: Kapitalwertentwicklung vor und während der Einführung der taktorientierten PPS

hinaus haben sich dauerhafte quantifizierbare Ersparnisse durch die Reduktion des Bestandsniveaus, die Verringerung von Fehlern, die Einsparung von Überstunden und vor allem die Verbesserung der Termintreue in Verbindung mit damit vermiedenen Pönalen eingestellt. Demgegenüber stehen Investitionen in die Ausrüstung der Arbeitsplätze sowie die Gesamtheit der entstehenden einmaligen und laufenden Sachkosten unter Berücksichtigung von Lizenz-, Beratungs-, Betriebs- und Wartungskosten.

⁴² Nur durch Kunden verursachte und aus diesem Grund mit dem Kunden abgestimmte Verschiebungen führen zu einer Anpassung des erstbestätigten Liefertermins.

Die Entwicklung des daraus resultierenden Kapitalwerts zeigt Abbildung 6-6. Die ersten vier bis fünf Quartale dienten der Konzeption und Vorbereitung der Einführung. Schon kurz nach der Einführung stellten sich erste Einsparungen ein, die mit der schrittweisen Ausweitung der taktorientierten PPS auf die gesamte Auftragsabwicklung erhöht werden konnten. Mit Berücksichtigung der erläuterten Faktoren konnte der Break Even Point nach ca. dreieinhalb Jahren erreicht werden.

6.4 Kritische Reflexion

Das Beispiel zeigt, dass die taktororientierte PPS zielführend und erfolgreich in der Planung und Steuerung der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter angewendet werden kann. Neben dem Nachweis der Anwendbarkeit und des Nutzens des Gestaltungsmodells wurden auch Erkenntnisse über die Grenzen und Hinweise zur Sicherstellung der Anwendbarkeit abgeleitet. Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse und gewonnenen Erfahrungen anhand der in Kapitel 2 abgeleiteten Anforderungen diskutiert.

Durchgängige Betrachtung aller relevanten Wertaktivitäten der Auftragsabwicklung

Das Ressourcenmodell gewährleistet mit den definierten Taktbreiten eine geeignete Positionierung hinsichtlich der logistischen Zielgrößen für alle relevanten Wertaktivitäten der Auftragsabwicklung. Sowohl im Ressourcenmodell als auch in den Auftragsplänen ist die gesamte Auftragsabwicklungskette abgebildet, was eine integrierte Planung und Steuerung ermöglicht. Es zeigte sich, dass die Einführung des Prinzips der Taktororientierung in der Organisation allerdings einige Zeit benötigt. Die erhöhte Verlässlichkeit der Termine und Qualität fördert die geeignete Zusammenarbeit entlang der gesamten Auftragsabwicklung. Alle Beteiligten arbeiten mit denselben Plandaten in einer gemeinsamen Planung, die vom Planungsleitstand koordiniert wird. Die entstandene Transparenz bietet die Möglichkeit, gezielt Kapazitäten bereitzustellen, mittelfristig anzupassen sowie die Anzahl der zu planenden Kapazitätseinheiten zu verringern.

Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten

Mit Hilfe des Gestaltungsmodells können alle kapazitätsrelevanten Bedarfe in Form von Auftragsplänen oder als ressourcenmodellbezogene Puffer berücksichtigt werden. Auch in funktionalen Strukturen werden Engpässe unter Berücksichtigung des kritischen Pfades frühzeitig erkannt und geeignete Maßnahmen abgeleitet. Eine durchgängige Planung und Steuerung ist möglich, die Erfahrungen in der Praxis zeigen aber gerade in den produktionsvorgelagerten Bereichen eine hohe Notwendigkeit von Überzeugungsarbeit bezüglich der Planung gegen begrenzte Kapazitäten mit Hilfe von Auftragszeiten. Die vorhandene Unschärfe in den Auftragsspezifikationen, auftretende Turbulenzen und das bisher übliche

Denken in Durchlaufzeiten führen dazu, dass eine Planung anhand von Durchlaufzeiten bevorzugt wird. Insofern ist die Planung und Steuerung im Anwendungsfall in wenigen Bereichen auf eine Planung mit Durchlaufzeiten beschränkt, was dennoch eine konsistente Terminalsicht sicherstellt. Es ist zudem bereits eine sukzessive Ausweitung der Kapazitätseinheiten erfolgt, die mit Hilfe von Auftragszeiten geplant werden.

Umgang mit komplexen Auftrags- und Materialflüssen

Komplexe Auftrags- und Materialflüsse sind grundsätzlich mit Hilfe von Auftragsplänen abbildbar. Die definierten Auftragstemplates führen zu einem geringen Aufwand bei der Auftragsplanerstellung, sind aber keine Voraussetzung für die PPS. Die Rollen und Verantwortlichkeiten sind klar abgegrenzt, wobei die umfassenderen Entscheidungshoheiten des Planungsleitstands eine Neuerung darstellten.

Der Grad an Selbstorganisation und Selbststeuerung ist durch das Ressourcenmodell festgelegt, wobei auch dieses stetig weiterentwickelt wird. Taktübergreifend fließen die Aufträge kontinuierlich, da durch Nutzung von Kapazitätsflexibilität Rückstände vermieden bzw. schnell abgebaut werden können. Das Maß an Kapazitätsflexibilität ist allerdings für eine noch bessere Anpassung an Marktschwankungen und Turbulenzen in einigen Bereichen weiter auszubauen. Die Anwendung zeigt, dass für eine hohe logistische Zielerreichung hinsichtlich Termintreue, Durchlaufzeit, Beständen und Auslastung eine geeignete Einstellung der Puffer und die Bereitstellung eines angemessenen Maßes an Kapazitätsflexibilität entscheidend sind.

Geeignete Berücksichtigung von Turbulenzen und Unschärfe

Auftretende Unschärfe und Turbulenzen können über das Gestaltungsmodell in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen berücksichtigt werden: in der Planung über die geeignete Abschätzung von Puffern, in der Steuerung durch das Turbulenzhandling, das die Lenkungs- und Ausführungsebene eng miteinander koppelt. Die entstandene Transparenz durch systematische Rückmeldungen und Fortschrittskontrollen helfen, Kernursachen von Unsicherheiten zu identifizieren und diese zu reduzieren.

Der Anwendungsfall zeigt gleichermaßen notwendige Verbesserungen auf. Zum einen ist eine systematische Meldung von Turbulenzen und Störgründen sinnvoll, um gezielter an deren Verringerung arbeiten zu können. Zum anderen wäre ein praxisnahes Verfahren zur Ermittlung von Sollzeiten in Abhängigkeit von vorliegenden Kriterien wie Auftragsstyp, Grad an Unsicherheit sowie Erfahrungen aus der Vergangenheit wertvoll. Darüber hinaus würde ein erweitertes Verfahren zur (Um-)Verteilung der Pufferzeiten den Planungs- und Steuerungsaufwand weiter verringern, da mehr Unsicherheiten dezentral gelöst werden könnten.

Sicherstellung von Effizienz bei Planerstellung und Planausführung

In Bezug auf die Planerstellung ist ein Mehrbedarf an bereitzustellenden Informationen direkt nach Auftragseingang festzustellen. Die Aggregation aus Planungssicht und die zentrale Datenhaltung reduzieren den Aufwand für Umplanungen allerdings spürbar, so dass ein durchgängiges Verständnis für diese Informationspflege vorherrscht. Eine Umstellung für viele Mitarbeiter stellten die taktbezogenen, nicht mehr wöchentlichen oder monatlichen, Steuerungsmaßnahmen dar. Die Möglichkeit, Spezifika von Ressourcen und Prozessschritten in der Planung einzusetzen, sollte nur in begrenztem Umfang erfolgen, da ansonsten der Planungs- und Steuerungsaufwand stark ansteigt und die Vorteile der taktorientierten Aggregation teilweise verloren gehen. Die Abbildung der taktorientierten PPS ist in den bestehenden Softwarewerkzeugen grundsätzlich möglich. Ab einer gewissen Komplexität - gemessen z. B. in Anzahl der Aufträge und Kapazitätseinheiten oder der Anzahl an eingesetzten Spezifika - ist der Einsatz einer speziellen Software sinnvoll.

Die konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien sichert die Abarbeitung der Arbeitspakete in den Takten. Das Projektmanagement nutzt die vorliegenden Informationen zur aufwandsarmen Projektüberwachung. Ein Umdenken war hauptsächlich in bisher stark auslastungsorientierten Bereichen erforderlich, da die Takteinhaltung mit dem Ziel der Liefertermintreue oberste Priorität genießt und Auslastungsoptimierungen lediglich innerhalb des Taktes möglich sind. Es zeigte sich allerdings, dass Bedenken hinsichtlich eines eventuell erhöhten Rüstaufwandes durch die stabilere Planung und die Verringerung von Eilaufträgen nicht berechtigt waren.

Insgesamt ermöglicht die taktororientierte PPS in funktionsorientierten Strukturen eine Verbesserung der Erreichung der logistischen Ziele über die gesamte Auftragsabwicklung. Das Gestaltungsmodell unterstützt bei der spezifischen Ausgestaltung der taktororientierten PPS in Abhängigkeit der Ausgangssituation und der vorliegenden Rahmenbedingungen. Die erhöhte Transparenz bildet darüber hinaus die Basis für eine weitergehende kontinuierliche Verbesserung.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklungen zu einem höheren Grad an Individualisierung sowie der zunehmende globale Wettbewerb verlangen von Unternehmen ein hohes Maß an Innovations- und Wandlungsfähigkeit bei hoher Leistungsfähigkeit bezüglich Termintreue, Durchlaufzeit, Beständen und Auslastung. In der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter verursachen durch Kunden, Lieferanten oder interne Prozesse bedingte Unsicherheiten wie Spezifikationsänderungen, heterogene Wiederbeschaffungszeiten oder schwer planbare Vorgänge eine hohe Komplexität. Komplexitätsverstärkend wirkt zudem die Knappheit an qualifizierten Arbeitskräften, vor allem in den wissensintensiven Bereichen der Auftragsabwicklung wie der Entwicklung, der Konstruktion oder der Arbeitsvorbereitung. Durch funktionsorientierte Strukturen entlang der gesamten Auftragsabwicklung, heterogene Aufträge sowie auftretende Turbulenzen und Unschärfe entstehen dynamische Engpässe, die zu einem hohen Aufwand in der Planung und Steuerung und einer schlechten Zielerreichung hinsichtlich Termintreue, Durchlaufzeiten und Kosten führen. Als weiteres Differenzierungsmerkmal auf dem Markt stellt sich damit der geeignete Umgang mit der auftretenden Komplexität dar.

Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein Gestaltungsmodell zur kapazitätsgeprüften durchgängigen Planung und Steuerung in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter erarbeitet, das Elemente aus dem Lean Management, dem Projektmanagement sowie der Produktionsplanung und Steuerung kombiniert. Ziele waren die Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten und dynamischer Engpässe über die gesamte Prozesskette, der geeignete Umgang mit Unsicherheiten sowie die Schaffung von Transparenz über Fortschritt und Kosten bei Sicherstellung eines angemessenen Aufwandes zur Planung und Steuerung. Um diese Zielsetzung zu erreichen, wurden Prinzipien dezentraler Organisationsformen mit einem hohen Maß an Selbstorganisation und Selbststeuerung, regelkreisbasierte Grundsätze der Kybernetik zur engen Kopplung von Ausführungs- und Lenkungsebene sowie das aus dem Lean Management bewährte Taktprinzip herangezogen. Das dem Gestaltungsmodell zugrundeliegende Grundprinzip der taktorientierten Planung und Steuerung trennt in eine Grobplanung ressourcenorientierter Takte unter Berücksichtigung von Kapazitätsgrenzen und eine Feinplanung innerhalb der durch die Grobplanung vorgegebenen Takte. Das entwickelte Wirkmodell zeigt die Abhängigkeiten

zwischen den Funktionen, Stell-, Regel- und Zielgrößen auf und hebt die Bedeutung einzelner Funktionen, wie bspw. die gezielte Steuerung von Kapazitäten, hervor.

Die Anwendung der taktororientierten PPS auf die gesamte Auftragsabwicklung erforderte die Entwicklung der Modellelemente *Zielsystem*, *Planungsmodell*, *PPS-Parameter* und *Organisationsstruktur*. Hierbei konnten jeweils unterschiedliche Ausgestaltungsmöglichkeiten erarbeitet werden, die die spezifische Nutzung der taktororientierten PPS unter verschiedenen und sich ändernden Rahmenbedingungen ermöglichen. Das Zielsystem des Gestaltungsmodells ist in das St. Galler Management-Konzept eingebettet und zielt auf eine hohe Termintreue bei angemessenem Maß an Durchlaufzeiten, Beständen und Auslastung ab. Das Planungsmodell beinhaltet mit dem Ressourcen- und Auftragsmodell die benötigten Objekte für die Planung und Steuerung. Im Ressourcenmodell werden mit Hilfe einer aggregierten Abbildung von Kapazitätseinheiten ein geeignetes Bestandsniveau definiert und Spezifika der jeweiligen Kapazitätseinheiten berücksichtigt. Ergänzend bildet das Auftragsmodell die durchzuführenden Prozesse inklusive der Auftrags- und Durchlaufzeiten ab. Zur Bewältigung von Unsicherheiten wurde ein Ablauf zur Anwendung der definierten Pufferarten und deren Dimensionierung entworfen. Auf diese Weise kann eine geeignete Verankerung von Puffern im Ressourcen- und Auftragsmodell sichergestellt werden. Die PPS-Parameter zeigen Ausgestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich der Terminierungslogik, den Prioritätsregeln und dem Werkzeugeinsatz der PPS auf. Auf Grundlage der Definition der Planungsorganisation und den Rollen der taktororientierten PPS war es möglich, den Planungs- und Steuerungsablauf mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln und Werkzeugen zu modellieren.

In der Anwendung des Gestaltungsmodells bei einem Hersteller kundenspezifischer Komponenten für die Raumfahrt konnte zum einen die Funktionsfähigkeit des Gestaltungsmodells gezeigt und verifiziert werden. Darüber hinaus ergaben sich durch diese Anwendung und im Zuge des Forschungsprozesses sowohl Bedarfe zur Weiterentwicklung als auch Ansätze für weitere Forschungsarbeiten.

Zunächst kann festgehalten werden, dass die Ausweitung der taktororientierten PPS über die Unternehmensgrenzen hinweg mit Hilfe des entwickelten Gestaltungsmodells möglich ist. Eine Integration externer Dienstleister oder eine Ausweitung auf relevante Zulieferer sind

hauptsächlich abhängig von unternehmenspolitischen, organisatorischen und sicherheitstechnischen Fragestellungen.

Weiterhin kann die Entwicklung eines praxisnahen Verfahrens zur Ermittlung von Sollzeiten in Abhängigkeit von vorliegenden Kriterien wie dem Auftragsstyp, dem Grad an Unsicherheit oder Erfahrungen aus der Vergangenheit als weitergehender Forschungsbedarf genannt werden. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der Breite des Anwendungsgebiets nicht im Detail untersucht werden. Darüber hinaus besteht weiterer Konkretisierungsbedarf bei der (Um-)Verteilung von Pufferzeiten. Die grundsätzlichen Pufferarten und Leitlinien zu deren Anwendung sind zwar definiert und im Anwendungsfall validiert, dennoch sind die Berücksichtigung von relevanten Einflussfaktoren auf die Puffer sowie die Wechselwirkungen zwischen den Puffern unter Einbeziehung von historischen Daten und subjektiven Einschätzungen methodisch zu fundieren. In diesem Zuge ist die Erzeugung von automatisch generierten Vorschlägen zur Anpassung von Sollzeiten und Puffern basierend auf historischen Daten und aufgetretenen Ereignissen ein Feld für aufbauende Forschungsarbeiten. Hieraus ergibt sich ebenso die Möglichkeit, durch den Einsatz von Logiken der Auftragskonfiguration mit entsprechenden Auftragsmerkmalen, Abhängigkeiten und Regeln die eingesetzten Auftragspläne auf effiziente Art und Weise zu erzeugen.

Das Wirkmodell der taktorientierten PPS zeigt die grundlegenden Zusammenhänge, insbesondere zwischen Kundenwunscherfüllungsgrad, Plan-Soll-Abweichung und den logistischen Zielgrößen Bestand, Auslastung, Durchlaufzeit und Termintreue, auf. Eine Quantifizierung der Zusammenhänge würde das Aufzeigen von Handlungsalternativen und Auswirkungen von Entscheidungen ermöglichen, z. B. zwischen den Größen Kundenwunscherfüllungsgrad und Termintreue.

Der Einsatz von Technologien zur systematischen Zustands- und Störungserfassung verspricht die Erschließung von weiteren Potentialen. Entscheidend hierbei werden die geeignete Verarbeitung, Auswertung und Lenkung der gesammelten Daten und generierten Informationen sein, so dass benutzerspezifische Informationen für verschiedenste Adressaten aufwandsarm bereitgestellt werden. Auf diese Weise kann die Effizienz der taktorientierten PPS weiter gesteigert werden.

8 Summary and Outlook

Increasing individualization and global competition are developments which demand from companies a high degree of innovative and transformability in combination with high performance with regard to adherence to delivery dates, lead times, inventory and utilized capacity. Within the scope of the order management of customized capital goods, uncertainties like modifications of specifications, heterogeneous replenishment times or hardly projectable processes, that are generated by customers, suppliers or internal processes, cause high complexity. The shortage of qualified workers reinforce the complexity, especially within skill-intensive sectors of order processing such as engineering, design or process planning. Dynamic capacity bottlenecks occur from functional structures in the course of the whole order processing, heterogeneous orders as well as occurring turbulences and fuzziness. They entail a high effort in planning and control as well as a low target achievement concerning adherence to delivery dates, lead times and costs. The appropriate handling of arising complexity turns out to be a further competitive differentiator on the highly competitive market.

Thus, a model for designing a capacity-checked, integrated planning and control in the context of the order management of customized capital goods was elaborated which combines components originated from lean management, project management as well as the production planning and control. The thesis' objectives comprised the consideration of limited capacities and dynamic capacity bottlenecks along the whole process flow, the suitable management of uncertainties and the establishment of a high degree of transparency concerning progress and costs with simultaneous securing of an adequate effort in planning and control. Principles of decentralized organizational forms with a high rate of self-organization, a close interlinking of operations and management level, based on cybernetic feedback control systems and the well-proven principle of takts that descends from Lean Management, are used to achieve these objectives. The takt-oriented planning and control is the underlying basic principle of the developed design model. It separates the rough planning of resource-oriented takts taking into account capacity limits from the detailed planning within the takts that are given by the rough planning level. A model comprising cause and effect dependencies illustrates the interconnection of functions, actuating variables, controlled variables and

command variables and emphasizes the importance of specific functions like the systematic steering of capacities.

The takt-oriented planning and control's application on the whole order processing required the development of the model units *target system*, *planning model*, *planning and control parameters* and *organizational structure*. In this respect, several scopes of configuration could be elaborated which guarantee the specific utilization of the takt-oriented planning and control with regard to different and changing surrounding conditions. The structure of objectives is imbedded into the St. Gallen Management Model and aims at a high adherence to delivery dates with an appropriate level of lead times, inventory and utilized capacity. The planning model contains in the form of the resource model and the order model the objects that are necessary for planning and control. Within the resource model a suitable level of inventory is defined by means of the aggregated representation of resources. Furthermore, resources' specific characteristics are taken into consideration. In addition, the order model pictures the processes including the work order times and lead times. In order to cope with uncertainties a sequence for the application and dimensioning of the defined kinds of buffers is composed. Thus, an appropriate anchoring of buffers within the resource model and order model can be assured. The planning and control parameters illustrate the configuration options in terms of logic in scheduling, priority rules and the utilization of software in planning and control. The definition of the planning organization and the responsibilities allowed to shape the course of planning and control together with the available devices and methods.

By application of the developed design model at a manufacturer which produces customized components for aerospace applications, the operational capability could be illustrated and verified. On the other hand, the utilization revealed - in addition to the scientific course of the thesis – possibilities for enhancements as well as approaches for further research.

Firstly, it can be stated that the utilization of the takt-oriented planning and control across companies, e. g. in cooperation with suppliers, is possible with the aid of the developed design model. The integration of external service providers or the extension to relevant suppliers is primarily dependent on issues such as corporate-policy, organization and security.

Furthermore, the development of a simple, practical procedure to determine the target times as a function of existing criteria such as order category, degree of uncertainty or available experience can be pointed out. In the course of this thesis, a detailed investigation related

to this issue wasn't possible due to the broad field of application. Need for concretion persists with regard to the (re)allocation of buffers. The most relevant kinds of buffers are defined and validated in the application case. Nevertheless, the consideration of relevant influencing factors on the buffers and interdependencies between buffers allowing for historical data and subjective evaluations have to be founded methodically. In this context, the generation of automatically triggered recommendations for the adaptation of target times and buffers based on historical data is a sector for consecutive research work. Therefrom results the possibility to generate order plans in an efficient way by the use of configuration principles with correspondent order characteristics, dependencies and configuration rules.

The developed model comprising cause and effect dependencies shows fundamental correlations, especially between the degree of fulfilment of customer demands, deviations from planned and target dates, adherence to delivery dates, lead times, inventory and utilized capacity. A quantification of these interrelations would permit the identification of action alternatives as well as effects of decisions, e. g. between the fulfilment of customer demands and the adherence to delivery dates.

The utilization of technologies to systematically record status and disturbances of resources and orders promises the exploitation of further potential. Thereby, the appropriate processing, analysis and navigation of recorded data and generated information will be crucial, so that user-specific information can be provided with little effort. Thus, the takt-oriented planning and control's efficiency can be further enhanced.

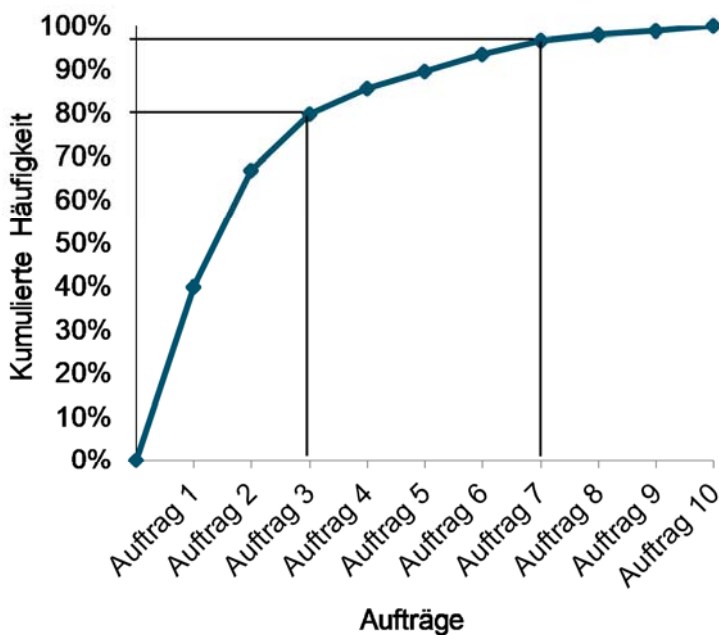
9 Anhang

9.1 Anhang A: Methodische Grundlagen

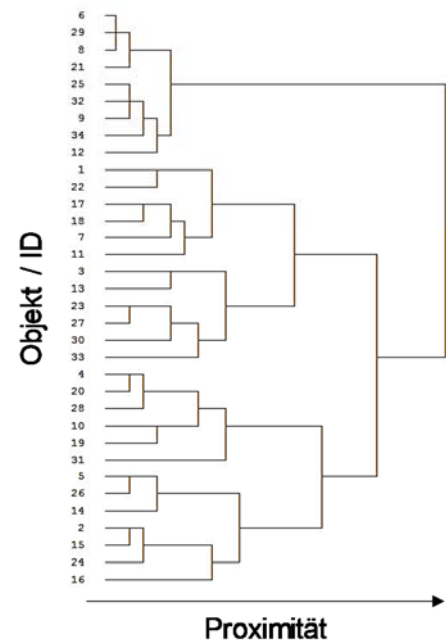
Im folgenden Abschnitt werden die für die Anwendung der Modellelemente notwendigen und hilfreichen Methoden vorgestellt.

9.1.1 Pareto- und Clusteranalyse

Die Methode der Paretoanalyse (auch ABC-Klassifikation genannt) ermöglicht die Eingrenzung des geeigneten Betrachtungsbereichs und die Fokussierung auf die wesentlichen Objekte. Die Methode basiert auf dem Paretoprinzip, das besagt, dass die meisten Auswirkungen eines Problems häufig nur auf eine kleine Anzahl von Ursachen zurückzuführen sind (Wiendahl 1997a, S. 283–284). Zur Visualisierung dient das Paretodiagramm, bei dem die Objekte nach ihrer Größe in kumulierter Form dargestellt sind (siehe Abbildung 9-1a).



a.) Paretoanalyse



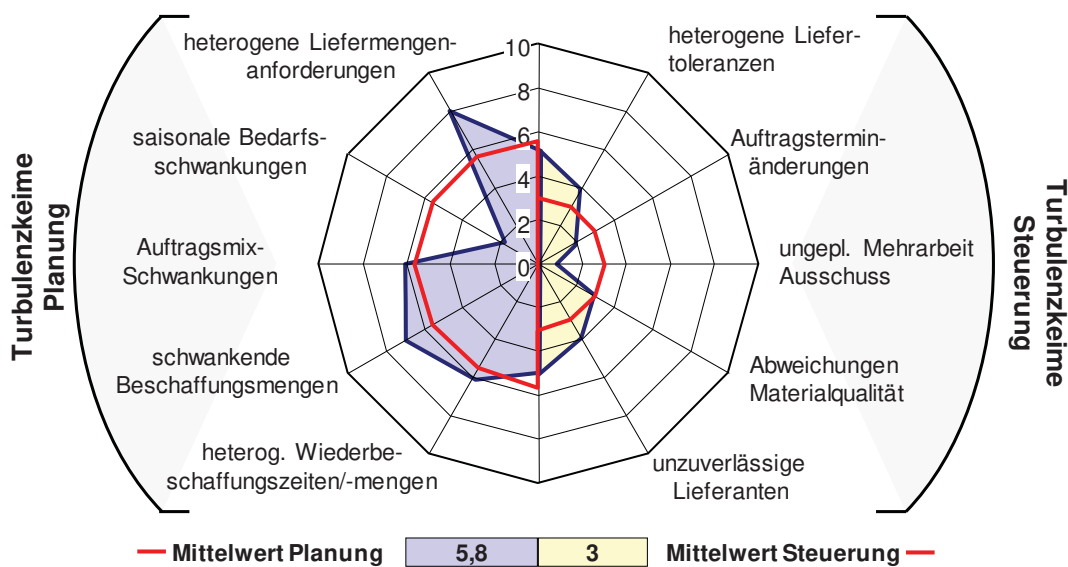
b.) Clusteranalyse

Abbildung 9-1: Pareto- und Clusteranalyse

Die Clusteranalyse ist ein multivariates Verfahren zur Komplexitätsreduzierung eines Datensatzes, bei dem Objekte zu Gruppen zusammengefasst werden. Das Ziel der Clusteranalyse ist es, die Objekte anhand von Merkmalen derart in Gruppen aufzuteilen, dass sich die Objekte innerhalb einer Gruppe möglichst ähnlich, die Gruppen untereinander aber möglichst unterschiedlich sind. Um die Unterschiedlichkeit (Proximität) zwischen zwei Objekten bzw. zwischen zwei Mengen von Objekten zu bestimmen, werden Ähnlichkeits- und Distanzmaße (Proximitätsmaße) verwendet (Bacher et al. 2010, S. 15ff; Backhaus et al. 2016, S. 453ff.). Abbildung 9-1b zeigt das Ergebnis einer Clusteranalyse, bei der als Proximitätsmaß des metrisch skalierten Merkmals die Minkowski-Metrik L_q mit $q=2$ (euklidische Distanz) (Bacher et al. 2010, S. 219) angewendet wurde.

9.1.2 Turbulenzprofil

WIENDAHL entwickelt mit dem Turbulenzprofil eine Visualisierung der in der PPS auftretenden Turbulenzkeime (Wiendahl 2006b, S. 327). Das Diagramm ist, wie das Beispiel in Abbildung 9-2 zeigt, strukturiert in eine Planungs- und eine Steuerungsseite. Die Auftragsfreigabe markiert den Übergang von der Planung zur Steuerung. Darüber hinaus ist eine Unterteilung in vertikaler Richtung in die Bereiche Liefern, Produzieren und Beschaffen sinnvoll.



Werte: Subjektive Einschätzung der Fachexperten in Unternehmen

Abbildung 9-2: Turbulenzprofil (eigene Darstellung nach H.-H. WIENDAHL)

Die Bewertung der Turbulenzkeime erfolgt auf einer Skala zwischen 1 (nicht relevant) und 10 (sehr relevant) gemäß einer subjektiven Einschätzung von Fachexperten unterschiedlicher Disziplinen im Unternehmen.

Die Bewertung und Diskussion des Turbulenzprofils ermöglicht mit geringem Aufwand die Ableitung von Anforderungen an die Planung und Steuerung. Aus diesen Anforderungen lassen sich die Gestaltungsparameter der PPS festlegen. Aufgrund des überschaubaren Aufwands und der geringen Voraussetzungen, die die Methode an eine erfolgreiche Anwendung stellt, stellt das Turbulenzprofil eine sinnvolle Ergänzung zu quantitativen Analysen dar (Wiendahl 2006a; Wiendahl 2006b).

9.1.3 Logistische Kennlinien

Die auf dem Trichtermodell basierenden logistischen Kennlinien unterstützen bei der Einstellung der logistischen Zielgrößen an Kapazitätseinheiten. Die Kennlinien beschreiben einen stationären Betriebszustand. Mit Hilfe von Arbeitsvorgangsdaten eines längeren Betrachtungszeitraums können die Größen Bestand, Leistung, Auslastung und Reichweite anhand Näherungsformeln berechnet werden (Nyhuis et al. 2012, S. 81ff.).

Abbildung 9-3 zeigt den Verlauf der mittleren Leistung über den mittleren Bestand in einem Betrachtungszeitraum. Die Leistung steigt bei wachsendem Bestand zunächst proportional. Die Kapazitätseinheit ist nur wenig ausgelastet (Unterlastbereich). Bei zunehmendem Bestand steigt die Leistung degressiv und es kommt zu höheren Wartezeiten der Aufträge vor der Bearbeitung (Übergangsbereich). Im Überlastbereich führen weitere Erhöhungen des Bestandes dazu, dass die Reichweite und die Durchlaufzeit steigen, während die mittlere Leistung nur noch unerheblich zunimmt. Dies ist auf die vergrößerten Wartezeiten und dadurch erhöhten Übergangszeiten zurückzuführen.

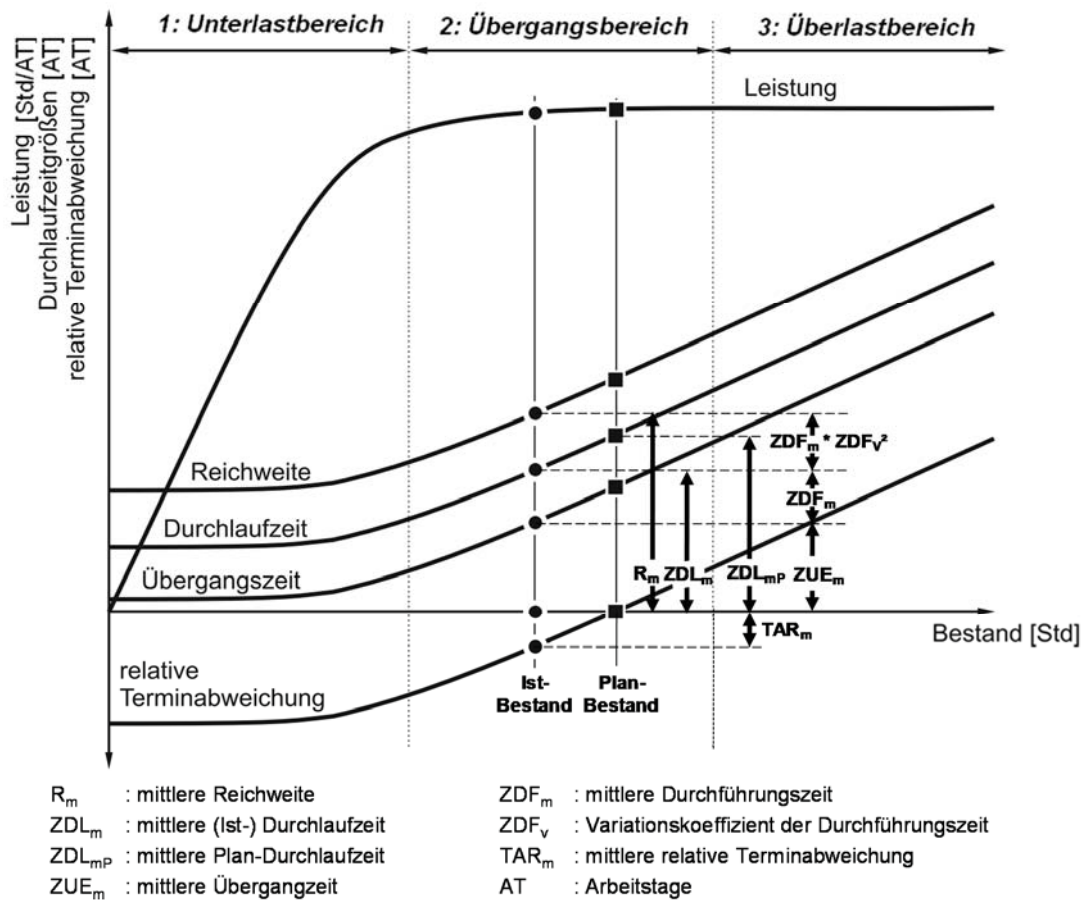


Abbildung 9-3: Logistische Kennlinien (i. A. an Nyhuis et al. 2012, S. 84)

Der Verlauf der Leistungskennlinie hängt dabei vom idealen Mindestbestand⁴³ und logistischen Einflussfaktoren ab. Wie Gleichung 9-1 zeigt bestimmen der Mittelwert und die Streuung der Auftragszeit sowie die Übergangszeit den idealen Mindestbestand (Nyhuis et al. 2012, S. 64):

$$BI_{min} = ZAU_m \cdot (1 + ZAU_v^2) + ZUE_m \quad \text{Gleichung 9-1}$$

- mit BI_{min} : idealer Mindestbestand [Stunden]
 ZAU_m : mittlere Auftragszeit [Stunden]
 ZAU_v : Variationskoeffizient der Auftragszeit [-]
 ZUE_m : mittlere Übergangszeit [Stunden]

⁴³ Der ideale Mindestbestand stellt das Bestandsniveau bzw. den Betriebspunkt dar, bei dem weder die Kapazitätseinheiten auf Aufträge, noch Aufträge auf Kapazitäten warten (Nyhuis et al. 2012, S. 63ff.).

In funktionsorientierten Strukturen mit streuenden Auftragszeiten ist damit von einem höheren idealen Mindestbestand auszugehen. Komplexe Auftrags- und Materialflüsse, Belastungsschwankungen und ein verringertes Maß an Kapazitätsflexibilität sind darüber hinaus Faktoren, die die Steigung der Kennlinie verringern und somit für das Erreichen derselben Leistung ein höheres Bestandsniveau erfordern (Nyhuis et al. 2012, S. 120–121).

Die Kennlinientheorie ermöglicht eine geeignete Positionierung hinsichtlich der konkurrierenden Zielgrößen Bestand und Auslastung. Die für die Taktdimensionierung maßgebliche Größe Durchlaufzeit lässt sich nach der Kennlinientheorie im Mittel mit Hilfe folgender Formel berechnen (Nyhuis et al. 2012, S. 85):

$$ZDL_m = \frac{B_m}{L_m} - ZDF_m \cdot ZDF_v^2 \quad \text{Gleichung 9-2}$$

mit ZDL_m : mittlere Durchlaufzeit [BKT]
 B_m : mittlerer Bestand [Stunden]
 L_m : mittlere Leistung [Stunden/BKT]
 ZDF_m : mittlere Durchführungszeit [BKT]
 ZDF_v : Variationskoeffizient der Durchführungszeit [-]

Mit Gleichung 9-2 ist zum einen eine Analyse der mittleren Ist-Durchlaufzeit möglich, zum anderen erlaubt die Definition eines Zielbestandes die Ableitung der daraus resultierenden Durchlaufzeit.

9.1.4 Ermittlung von Sollwerten für Auftrags- und Durchlaufzeiten

Es existieren zahlreiche Methoden zur Ermittlung von Sollwerten für Auftrags- und Durchlaufzeiten. Allerdings lassen sich nicht alle in der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter sinnvoll einsetzen (Sackermann 2009, S. 46) bzw. haben keine Verbreitung in der Praxis gefunden (Sackermann 2009, S. 58ff.) (vgl. Kapitel 3.1.3.2). REFA unterteilt, wie in Abbildung 9-4 dargestellt, die Methoden zur Sollzeitermittlung grundsätzlich in Ermittlungs- und Vereinbarungsmethoden (REFA 1997, S. 61).

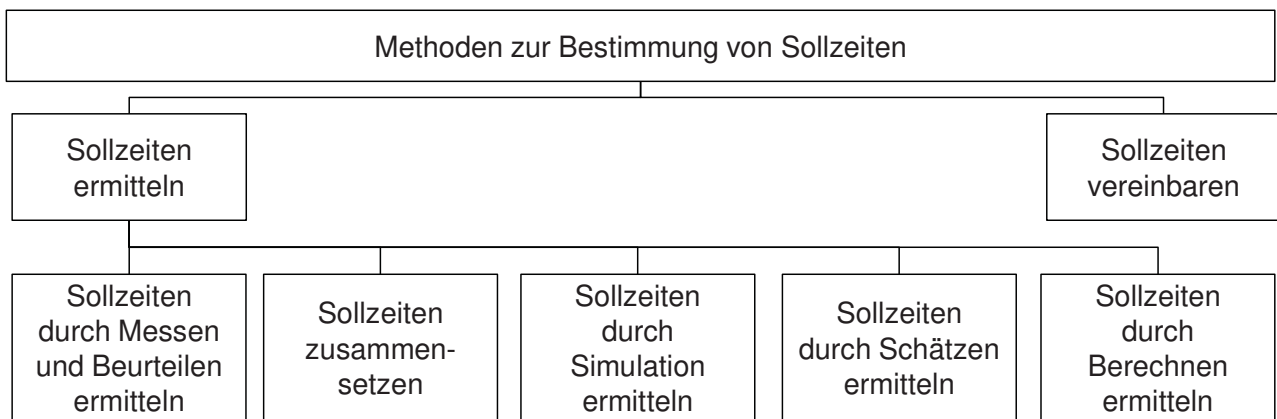


Abbildung 9-4: Methoden zur Bestimmung von Sollzeiten
(REFA 1997, S. 61; Sackermann 2009, S. 36)

Im Rahmen der Vereinbarung von Sollzeiten stimmen die beteiligten Parteien die Sollzeiten miteinander ab. Die komplexen Einflussfaktoren im Betrachtungsbereich der Arbeit erfordern allerdings eine Ermittlung von Sollzeiten, auf deren Basis für das Auftragsmodell eine Sollzeit zwischen den Beteiligten abgestimmt wird. Deshalb soll auf ausgewählte Verfahren eingegangen werden, die in (REFA 1997, S. 61ff.) und (Sackermann 2009, S. 35ff.) detailliert erläutert werden.

Die *Zeitaufnahme mit Leistungsgradbeurteilung* ist ein weit verbreitetes Verfahren im Kontext des Messens und Beurteilens, das den Prozessschritt in einzelne Ablaufschritte unterteilt und eine mehrfache Messung der Ist-Zeit vornimmt. Mit dem Faktor des Leistungsgrads wird eine Korrektur der beobachteten Leistung vorgenommen, um eine repräsentative Sollzeit zu ermitteln. Für das Gestaltungsmodell ist dieses Verfahren im Bereich der Montage relevant.

Systeme vorbestimmter Zeiten und *Zeitbausteinkataloge* sind dem *Zusammenfassen von Sollzeiten* zuzuordnen. Diese lassen sich für den Betrachtungsbereich aufgrund der vorherrschenden Komplexität und auch der Berücksichtigung produktionsvorgelagerter Bereiche nicht oder nur bedingt anwenden. Unter den Verfahren zur Zusammenfassung von Sollzeiten ist deshalb das Planzeitermittlungsverfahren zu nennen. Kern ist dabei die Identifikation von Einflussfaktoren auf die Sollzeit sich in ähnlicher Weise wiederholender Arbeitsabläufe. Mit Hilfe statistischer Verfahren, vornehmlich der Korrelations- und Regressionsanalyse, kann bei Vorliegen einer entsprechenden Datenbasis ein quantitativer Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren und der Sollzeit bestimmt werden.

Mit Hilfe von *Simulationen* können Prozesse in der Auftragsabwicklung virtuell abgebildet und ausgewertet werden. Dabei werden auch Turbulenzen als Einflussfaktoren integriert. Wenn diese mit einer statistischen Verteilung hinterlegt werden, sind die Auswirkungen auf das abgebildete System und die resultierenden Sollzeiten ermittelbar. Falls die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Unsicherheitsfaktoren und Prozess bekannt sind, sind Simulationen – zumindest in gekapselten Bereichen - für die taktororientierte PPS einsetzbar.

Schätzverfahren ermitteln Sollzeiten auf Basis von Erfahrungen befragter Mitarbeiter. Die grundsätzliche Vorgehensweise entspricht den im Projektmanagement üblichen Methoden der Einzelschätzung, der Mehrfachschätzung, der Delphi-Methode und der Schätzklausur (vgl. Kapitel 3.1.3.2). Eine alternative Schätzmethode stellen *Zeitklassen* dar. Dabei werden minimale und maximale Ausprägungen des Merkmals Sollzeit für einen Prozessschritt sowie ein Zeitraum, in dem sich ein bestimmter Fehlerausgleich eingestellt haben soll, bestimmt. Dies ermöglicht die Bildung von Zeitklassen, so dass eine Schätzung für einen ähnlichen Prozessschritt über die Einordnung in eine Zeitklasse erfolgen kann.

Prozesszeitformeln und *Nomogramme* zählen zu den berechnenden Verfahren. Mit Hilfe von Prozesszeitformeln lassen sich Zeiten für automatische Prozessschritte anhand einer mathematischen Beschreibung angeben (bspw. für Testprogramme). Nomogramme sind Netztafeln, die in der Regel auf Prozesszeitformeln basieren und mit denen sich Sollzeiten zeichnerisch ermitteln lassen⁴⁴.

9.1.5 Ausgewählte Methoden aus dem Projektcontrolling

Das Projektcontrolling bezieht sich auf die Verfolgung von Terminen, Kosten und Leistungen und identifiziert Abweichungen zwischen einem Plan- und dem Ist-Stand (Fiedler 2010, S. 7ff.). Relevante Methoden führt Abbildung 9-5 auf. Detaillierte Beschreibungen zu den einzelnen Methoden finden sich unter anderem in (Burghardt 2002, S. 165ff.), (Bea et al. 2008, S. 99ff.), (Seidl 2011, S. 49ff.), (Stelzer et al. 2007, S. 251ff) und (DIN 69901-3, S. 5ff.).

⁴⁴ Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Methoden, die auf Objektorientierung, neuronalen Netzen oder der Fuzzy-Theorie basieren (Sackermann 2009, S. 49). Diese erfordern allerdings tiefgreifendes Methodenwissen und eine gute Datenbasis für die Ermittlung.

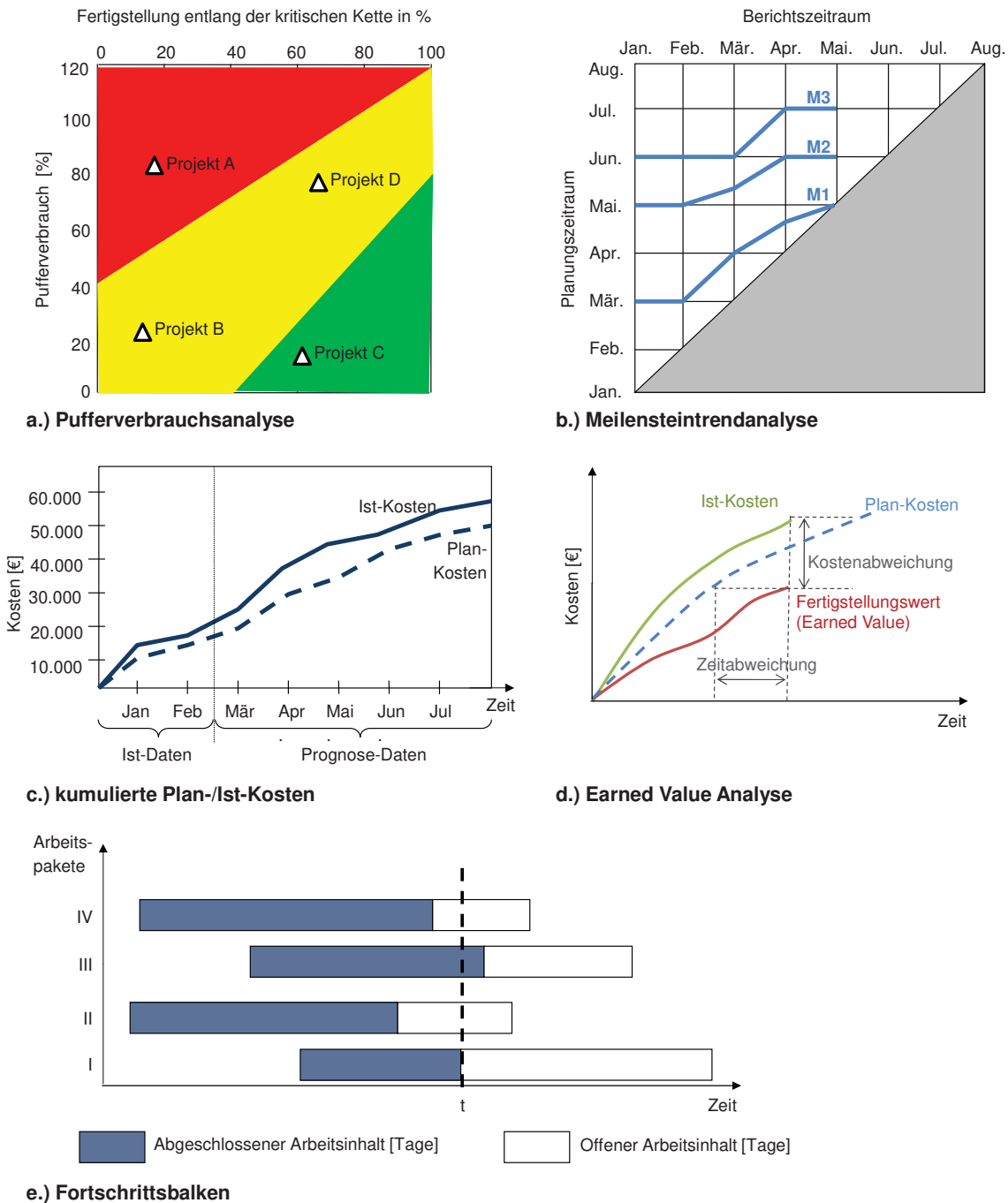


Abbildung 9-5: Methoden aus dem Projektcontrolling

Die Pufferverbrauchsanalyse stellt für Aufträge die prozentuale Fertigstellung entlang der kritischen Kette dem Pufferverbrauch gegenüber. Mit Hilfe der Klassifizierung in einen roten, gelben und grünen Bereich lässt sich der Status und Handlungsbedarfe bei einem oder mehreren Aufträgen ableiten.

Bei der Meilensteintrendanalyse werden in einem festgelegten Berichtsintervall für die definierten Meilensteine jeweils eine Einschätzung über den Fertigstellungstermin abgegeben und visualisiert.

Mit Hilfe der kumulierten Darstellung der Ist- und Plankosten über den Zeitverlauf können Ursachen für Abweichungen in der Historie erkannt und voraussichtliche Entwicklungen abgeschätzt werden.

Die Earned-Value-Analyse betrachtet Kosten, Zeit und Leistung gemeinsam zu einem bestimmten Zeitpunkt. Durch den Vergleich mit den zu einem Zeitpunkt geplanten und angefallenen Kosten können Abweichungen bezüglich Terminen und Kosten identifiziert und analysiert werden. Dabei sind

- Plankosten (Planned Cost (PC): geplante Kosten für ein Projekt, das im Sinne eines Budgets bis zu einem Zeitpunkt t verbraucht sein darf),
- Istkosten (Actual Cost (AC): alle bis zum Zeitpunkt t angefallenen Kosten) und der
- Fertigstellungswert (Earned Value (EV): Wert für die bis zu einem Zeitpunkt t erbrachten Leistungen)

zu unterscheiden. Abbildung 9-5d zeigt die sich aus den drei Kurven ergebenden Kosten-, Plan- und Zeitabweichung.

Der Fortschrittsbalken stellt den Fertigstellungsgrad zu einem Zeitpunkt t dar und ermöglicht auf diese Weise eine einfache Visualisierung des Projektfortschritts.

9.2 Anhang B: Merkmale der Auftragsstypen des Gestaltungsmodells

Die Merkmale der fünf definierten Auftragsstypen sind in Tabelle 9-1 aufgeführt.

	Standard-auftrag	Standard-großauftrag	Anpassungs-auftrag mit kleinen Anpassungen	Anpassungs-auftrag mit großen Anpassungen	Entwicklungs-auftrag
Größe des Aufwands					
Streuung des Aufwands					
Wiederholhäufigkeit					
Anforderung an die Lieferzeit					
Ähnlichkeit zu anderen Aufträgen					
Zu durchlaufende Ressourcen (Anzahl)					
Auszuführende Prozessschritte (Anzahl)					
Grad an Unschärfe					
Ausmaß Turbulenzen					
Komplexität in der PPS					
Legende Erfüllungsgrad: = hoch = mittel = gering					

Tabelle 9-1: Merkmale der Auftragsstypen des Gestaltungsmodells

10 Literatur

- Abegglen 2009** Abegglen Management Consultants, 2009.
Lean Management Studie 2009. Zürich.
Verfügbar unter: http://www.abegglen.com/fileadmin/download/Abegglen_Lean_Management_Studie_2009.pdf
Zugriff am: 24.01.2015
- acatech 2013** acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.; Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft, 2013.
Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0.
Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
Zugriff am: 24.01.2015
- Adam et al. 1995** Adam, Dietrich; Rollberg, Roland, 1995.
Komplexitätskosten.
Die Betriebswirtschaft DBW **55** (5), S. 667–669
- Adrodegari et al. 2015** Adrodegari, Federico; Andrea, Bacchetti; Pinto, Roberto; Pirola, Fabiana; Zanardini, Massimo, 2015.
Engineer-to-order (ETO) production planning and control.
Production Planning & Control **26** (11), S. 910–932
DOI: 10.1080/09537287.2014.1001808
- Airbus 2012** Airbus, 2012.
Navigating the future - Global market forecast 2012-2031.
Verfügbar unter: http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID=dam_frontend_push&docID=25773
Zugriff am: 03.10.2015
- AlixPartners 2012** AlixPartners GmbH, 2012.
German Machinery Industry 2012: Maschinenbau: Der schleichende Niedergang der deutschen Paradedisziplin.
Verfügbar unter: <http://www.alixpartners.de/de/Publikationen.aspx>
Zugriff am: 23.03.2014
- Ansorge 2008** Ansorge, Dirk, 2008.
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen.
München: Herbert Utz.
Forschungsberichte IWB 214.
München, Techn. Univ., Diss., 2007
ISBN 978-3-8316-0785-3
- Ashby 1957** Ashby, William R., 1957.
An Introduction To Cybernetics.
2. Auflage.
London: Chapman & Hall Ltd.
- Ashby 1974** Ashby, William R., 1974.
Einführung in die Kybernetik.
1. Auflage.
Frankfurt am Main: Suhrkamp.
ISBN 3-51807-634-5

- Bacher et al. 2010** Bacher, Johann; Pöge, Andreas; Wenzig, Knut, 2010.
Clusteranalyse: Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren.
3., ergänzte, vollständig überarbeitete und neu gestaltete Auflage.
München: Oldenbourg.
ISBN 978-3-48671-023-6
- Backhaus et al. 2016** Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf, 2016.
Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung.
14., überarbeitete und aktualisierte Auflage.
Berlin, Heidelberg: Springer.
ISBN 9-783-66246-076-4
- Baecke-Heger 2008** Baecke-Heger, Frank, 2008.
Produzieren im Takt.
Markt und Mittelstand (2), S. 49–51
- Balzer 1998a** Balzer, Harald, 1998.
Den Erfolg im Visier.
In: Balzer, Harald (Hrsg.): *Den Erfolg im Visier.*
Stuttgart: LOG_X, S. 23–50
ISBN 3-93229-804-7
- Balzer 1998b** Balzer, Harald, 1998.
Den Erfolg im Visier: Unternehmenserfolg durch Multi-Projekt-Management.
Stuttgart: LOG_X.
ISBN 3-93229-804-7
- Bär 1977** Bär, Wolfrath, 1977.
Produktionsplanung und Auftragsbearbeitung im Industriebetrieb.
Wiesbaden: Gabler.
Göttingen, Univ., Diss., 1976
ISBN 978-3-40934-441-8
- Barrho 2001** Barrho, Thomas, 2001.
Flexible, zeiftenstergesteuerte Auftragseinplanung in segmentierten Fertigungsstrukturen: Ein Beitrag zur Nutzung der Potenziale dezentraler Fertigungsstrukturen in der Auftragsabwicklung.
Karlsruhe: Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik.
Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe 107
Karlsruhe, Univ., Diss., 2001
- Bauernhansl 2012** Bauernhansl, Thomas, 2012.
Fraktal, wandlungsfähig, nachhaltig - auf dem Weg zur ganzheitlichen Fabrik.
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.): *Die Fabrik der Zukunft - wandlungsfähig, digital, lernfähig : Engelbert Westkämpers Beitrag zu einem neuen europäischen Produktionssystem.*
Stuttgart, S. 74–82
- Bauernhansl 2014a** Bauernhansl, Thomas, 2014.
Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschöpfendes Produktionsparadigma.
In: Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik.*
Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 5–36
ISBN 978-3-658-04681-1
- Bauernhansl 2014b** Bauernhansl, Thomas. 2014.
Industrie 4.0: Wie werden sich Geschäftsprozesse verändern?
The Performance Architect (1), S. 14–15

- Bauernhansl 2014c** Bauernhansl, Thomas, 2014.
Komplexitätsbewirtschaftung - die neue Managementdisziplin.
Studie.
Verfügbar unter: http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Leitthemen/Komplexitaetsbewirtschaftung/Studie_Komplexitaetsbewirtschaftung_2014.pdf
Zugriff am: 23.03.2015
- Bauernhansl et al. 2014** Bauernhansl, Thomas; Schatz, Anja; Jäger, Jens, 2014.
Komplexität bewirtschaften - Industrie 4.0 und die Folgen.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **109** (5), S. 347–350
- Bauernhansl 2017** Bauernhansl, Thomas, 2017.
Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma.
In: Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael (Hrsg.):
Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4.
Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 1-31
ISBN 978-3-662-53253-9
- BDLI 2012** Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI) e. V., 2012.
Branchendaten der Luft- und Raumfahrtindustrie.
Verfügbar unter: <http://www.bdli.de/>
Zugriff am: 03.10.2014
- Bea et al. 2008** Bea, Franz X.; Scheurer, Steffen; Hesselmann, Sabine, 2008.
Projektmanagement.
Grundwissen der Ökonomik: Betriebswirtschaftslehre 2388.
Stuttgart: Lucius & Lucius.
ISBN 3-82522-388-4
- Beck et al. 2001** Beck, Kent *et al.*, 2001.
Manifesto for Agile Software Development.
Verfügbar unter: <http://agilemanifesto.org/>
Zugriff am: 05.08.2015
- Beer 1967** Beer, Stafford, 1967.
Kybernetik und Management.
3., erweiterte Auflage.
Frankfurt: S. Fischer.
- Begemann 2005** Begemann, Carsten, 2005.
Terminorientierte Kapazitätssteuerung in der Fertigung.
Garbsen: TEWISS.
Berichte aus dem IFA 02/2005.
Hannover, Univ., Diss., 2005
ISBN 3-93902-601-8
- Benett 1999** Benett, Stefan, 1999.
Komplexitätsmanagement in der Investitionsgüterindustrie.
St. Gallen, Univ., Diss., 1999
- Betge 2006** Betge, David, 2006.
Koordination in Advanced Planning und Scheduling-Systemen.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Gabler Edition Wissenschaft : Produktion und Logistik.
Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2005
ISBN 3-8350-0199-X

- Binder et al. 1996** Binder, Volker; Kantowsky, Jan, 1996.
Technologiepotentiale: Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des strategischen Technologiemanagements.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
ISBN 3-82440-282-3
- Bischoff 1999** Bischoff, Jürgen, 1999.
Ein Verfahren zur zielorientierten Auftragseinplanung für teilautonome Leistungseinheiten.
Berlin: Springer
IPA-IAO-Forschung und -Praxis 292.
Stuttgart, Univ., Diss., 1999
ISBN 3-540-66090-3
- BITKOM et al. 2014** Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM); Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation IAO, 2014.
Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland: Studie.
Verfügbar unter: http://www.bitkom.org/files/documents/Studie_Industrie_4.0.pdf
Zugriff am: 18.01.2015
- Bleicher 2004** Bleicher, Knut, 2004.
Das Konzept integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme.
7., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Frankfurt/Main: Campus.
ISBN 3-59337-634-2
- Bliss 2000** Bliss, Christoph, 2000.
Management von Komplexität: Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion.
Wiesbaden: Gabler.
Schriftenreihe Unternehmensführung und Marketing 35.
Münster (Westfalen), Univ., Diss., 1999
ISBN 3-40911-558-7
- BMBF 2005** Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2005.
Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2005.
Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pubRD/tlf_2005_aussagen_breg.pdf
Zugriff am: 30.04.2015
- Bochtler 1996** Bochtler, Wolfgang, 1996.
Modellbasierte Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung.
Aachen: Shaker.
Berichte aus der Produktionstechnik 96,6.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1996
ISBN 3-82651-421-1
- Born 2018** Born, Hans-Jürgen, 2018.
Geschäftsmodell-Innovation im Zeitalter der vierten industriellen Revolution: Strategisches Management im Maschinenbau.
Wiesbaden: Springer.
ISBN 3-65821-171-7
- Bornhäuser 2007** Bornhäuser, Matthias, 2007.
Taktorientierte Produktion - das Kernelement des Produktionssystems für Werkstattfertiger.
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart:
PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 153, 19. Oktober 2007, Stuttgart: FpF, 2007 (Fraunhofer IPA-Seminar F 153), S.32-43

- Bornhäuser 2009** Bornhäuser, Matthias, 2009.
Reifegradbasierte Werkstattsteuerung.
Heimsheim: Jost-Jetter.
IPA-IAO-Forschung und Praxis 485.
Stuttgart, Univ., Diss., 1999
ISBN 978-3-939890-46-1
- Bornhäuser et al. 2005** Bornhäuser, Matthias; Lickefett, Michael; Westkämper, Engelbert, 2005.
Taktorienteerte Fertigungssteuerung. Ein Verfahren zur Fertigungssteuerung
einer kundenauftragsbezogenen Werkstattfertigung.
wt Werkstattstechnik online **95** (5), S. 396–404
- Böse et al. 2007** Böse, Felix; Philipp, Thorsten; Windt, Katja, 2007.
Der Komplexitätswürfel.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **102** (5), S. 295–298
DOI: 10.3139/104.101141
- Brankamp 1981** Brankamp, Klaus, 1981.
Gesamtauftragssteuerung in Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung.
VDI-Z Integrierte Produktion **123** (1/2), S. 35–40
- Brankamp et al. 1985** Brankamp, Klaus; Schluh, Kurt M., 1985.
Terminsteuerung in Entwicklung und Konstruktion für die Einzelfertigung.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **80** (2), S. 53
- Breithaupt 2001** Breithaupt, Jan-Wilhelm, 2001.
Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen: Grundlagen und Anwendung.
Düsseldorf: VDI Verlag.
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik 571.
Hannover, Univ., Diss., 2001
ISBN 978-3-18-357102-4
- Brockhaus 2005** Brockhaus, 2005.
Der Brockhaus in einem Band.
Jubiläumsedition 2005.
Mannheim: Brockhaus.
ISBN 978-3-76531-681-4
- Bronner 1992** Bronner, Rolf, 1992.
Komplexität.
In: Frese, Erich (Hrsg.): *Handwörterbuch der Organisation*.
3., völlig neu gestaltete Auflage.
Stuttgart: Poeschel, S. 1122–1130
ISBN 978-3-7910-8027-7
- Bruns 1991** Bruns, Michael, 1991.
Systemtechnik: Ingenieurwissenschaftliche Methodik zur interdisziplinären Systementwicklung.
Berlin: Springer.
Aachen, Techn. Hochsch., Habil., 1991
ISBN 3-54053-467-9
- Büchel 1968** Büchel, Alfred, 1968.
Aufbau eines Simulationsmodells der Werkstättenfertigung auf der Basis eines Markov-Prozesses.
Zürich: Juris.
Zürich, ETH, Diss., 1968.
DOI: 10.3929/ethz-a-000093391

- Büdenbender 1991** Büdenbender, Winfried, 1991.
Ganzheitliche Produktionsplanung und -steuerung: Konzepte für Produktionsunternehmen mit kombinierter kundenanonymer und kundenbezogener Auftragsabwicklung.
Berlin: Springer.
FIR + IAW Forschung für die Praxis 33.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1991
ISBN 3-540-53642-6
- Bullinger 1997** Bullinger, Hans-Jörg, 1997.
Forschungs- und Entwicklungsmanagement: Simultaneous engineering, Projektmanagement, Produktplanung, Rapid Product development.
Stuttgart: Teubner.
ISBN 3-51906-370-0
- Burghardt 2002** Burghardt, Manfred, 2002.
Projektmanagement: Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten.
6., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage.
Erlangen: Publicis Corporate Publishing.
ISBN 3-89578-199-1
- Buzacott 2010** Buzacott, John A., 2010.
Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen.
Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre.
München: Oldenbourg.
ISBN 978-3-4865-9215-3
- CECIMO 2011** CECIMO - European Association of the Machine Tool Industries, 2011.
Study on the Competitiveness of the European Machine Tool Industry. Brüssel.
Verfügbar unter: http://www.cecimo.eu/site/fileadmin/Publications/Studies_and_Reports/Study_on_Competitiveness_of_the_European_Machine_Tool_Industry_-_December_2011.pdf
Zugriff am: 15.05.2015
- Cooper 1994** Cooper, Robert G., 1994.
Third-Generation New Product Processes.
Journal of Product Innovation Management **11** (1), S. 3–14
- Cooper et al. 1991** Cooper, Robert G.; Kleinschmidt, Elko J., 1991.
New Product Processes at Leading Industrial Firms.
Industrial Marketing Management **20** (2), S. 137–147
- Corsten 2007** Corsten, Hans, 2007.
Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement.
11., vollständige überarbeitete Auflage.
Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre.
München: Oldenbourg.
ISBN 3-48658-298-4
- Corsten et al. 2005** Corsten, Hans; Gössinger, Ralf, 2005.
Flexibilitätsgestaltung in Dienstleistungsunternehmen auf der Grundlage einer eigenschaftsorientierten Analyse.
In: Kaluza, Bernd; Behrens, Stefan (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Flexibilität.*
Berlin: Schmidt, S. 105–133
ISBN 3-50308-367-7

- Cusumano et al. 2008** Cusumano, Michael A.; Nobeoka, Kentaro, 2008.
Thinking Beyond Lean: How Multi-Project Management Is Transforming Product Development At Toyota And Other Companies.
New York, NY: Free Press.
ISBN 1-43910-177-9
- Daenzer et al. 2002** Daenzer, Walter F.; Haberfellner, Reinhard, 2002.
Systems Engineering: Methodik und Praxis.
11., durchgesehene Auflage.
Zürich: Industrielle Organisation.
ISBN 978-3-8574-3998-8
- Dammer 2008** Dammer, Henning, 2008.
Multiprojektmanagement.
Wiesbaden: Gabler.
Berlin, Techn. Univ., Diss., 2008
ISBN 3-83490-941-6
- Davenport 1993** Davenport, Thomas H., 1993.
Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology.
Boston, Mass: Harvard Business School Press.
ISBN 978-0-8758-4366-7
- Davis 1982** Davis, J. R., 1982.
Physical Distribution Costs: The 1982 Distribution Cost/Service Database.
Proceedings of the 20th annual conference, Vol. 1.
National Council of Physical Distribution Management (NCPDM), Oak Brook, Illinois, S. 53–62
- Decker et al. 1996** Decker, F.; Gallasch, Andreas, 1996.
DV-Systemarchitektur - Information macht Dynamik erst möglich.
Logistik Heute 8, S. 42–44
- Denk et al. 2009** Denk, Robert; Pfneissl, Thomas, 2009.
Komplexitätsmanagement.
Wien: Linde.
ISBN 978-3-7143-0163-2
- Dickmann 2009** Dickmann, Philipp, 2009.
Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen.
2., aktualisierte und erweiterte Auflage.
Berlin, Heidelberg: Springer.
ISBN 3-54079-514-6
- DIN 19226-1** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 1994. DIN 19226-1.
Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Allgemeine Grundbegriffe.
- DIN 69900** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2009. DIN 69900.
Projektmanagement - Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe.
- DIN 69901-1** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2009. DIN 69901-1.
Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 1: Grundlagen.
- DIN 69901-3** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2009. DIN 69901-3.
Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 3: Methoden.
- DIN 69909-1** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2013. DIN 69909-1.
Multiprojektmanagement - Management von Projektportfolios, Programmen und Projekten - Teil 1: Grundlagen.
- DIN 69909-2** Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2013. DIN 69909-2.
Multiprojektmanagement - Management von Projektportfolios, Programmen und Projekten - Teil 2: Prozesse, Prozessmodell.

- Dispan 2018** Dispan, Jürgen; Schwarz-Kocher, Martin, 2018.
Entwicklungstrends, Herausforderungen, Beschäftigungswirkungen, Gestaltungsfelder im Maschinen- und Anlagenbau.
Düsseldorf: Hans Böckler Stiftung.
Reihe Forschungsförderung Working Paper, Nr. 94.
Verfügbar unter: <https://www.boeckler.de/64509.htm?produkt=HBS-006981&chunk=1&jahr=#>
Zugriff am: 12.11.2019
- Dixius 1998** Dixius, Dieter, 1998.
Simultane Projektorganisation: Ein Leitfaden für die Projektarbeit im Simultaneous Engineering.
Berlin, Heidelberg: Springer.
ISBN 3-54064-547-0
- Dörner 2003** Dörner, Dietrich, 2003.
Die Logik des Misslingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen.
15. Auflage, erweiterte Neuauflage.
Reinbek: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.
ISBN 3-49961-578-9
- Drexl et al. 2000** Drexl, Andreas; Kolisch, Rainer, 2000.
Produktionsplanung bei Kundenauftragsfertigung.
Zeitschrift für Betriebswirtschaft **70** (4), S. 433–452
- Drucker 2007** Drucker, Peter F., 2007.
Management: Tasks, Responsibilities, Practices.
New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.
ISBN 978-1-4128-0627-5
- EADS 2012** European Aeronautic Defence and Space Company EADS N.V., 2012.
EADS Annual Review 2012: Deploying Our Talent For a New Era.
Verfügbar unter: www.eads.com
Zugriff am: 03.10.2014
- Ebeling et al. 1998** Ebeling, Werner; Freund, Jan; Schweitzer, Frank, 1998.
Komplexe Strukturen: Entropie und Information.
Stuttgart: Teubner.
ISBN 3-81543-032-1
- ECORYS 2009** ECORYS Research and Consulting, 2009.
FWC Sector Competitiveness Studies -Competitiveness of the EU Aerospace Industry with focus on: Aeronautics Industry.
Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/aerospace/files/aerospace_studies/aerospace_study_en.pdf
Zugriff am: 03.10.2013
- ECORYS et al. 2012** ECORYS Research and Consulting, Ifo Institute & Cambridge Econometrics, Danish Technological Institute, 2012.
An introduction to Mechanical Engineering: Study on the Competitiveness of the EU Mechanical Engineering Industry; Final Report. München.
Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/competitiveness/comp-mech-eng-2012-frep_en.pdf
Zugriff am: 03.10.2014
- Ehrlenspiel 2003** Ehrlenspiel, Klaus, 2003.
Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.
2., überarbeitete Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-446-22119-0

- Ehrlenspiel 2009** Ehrlenspiel, Klaus, 2009.
Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.
4., aktualisierte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44642-013-4
- Ehrlenspiel 2017** Ehrlenspiel, Klaus; Meerkamm, Harald, 2017.
Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.
6., überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44644-908-6
- Eisele et al. 2013** Eisele, Michael; Hermann, Marco; Runge, Simone; Sontow, Karsten, 2013.
Supply Chain Management Software 2013.
2. Auflage.
Aachen: Trovarit.
ISBN 978-3-938102-26-8
- EIMaraghy et al. 2009** EIMaraghy, Hoda; Wiendahl, Hans-Peter, 2009.
Changeability – An Introduction.
In: EIMaraghy, Hoda (Hrsg.): *Changeable and reconfigurable manufacturing systems.*
New York, London: Springer, S. 3–24
ISBN 978-1-84882-067-8
- EIMaraghy et al. 2012** EIMaraghy, Waguih; Elmaraghy, Hoda A.; Tomiyama, Tetsuo; Monostori, Laszlo, 2012.
Complexity in engineering design and manufacturing.
CIRP Annals - Manufacturing Technology **61** (2), S. 793–814
DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.001
- Engelhardt et al. 1981** Engelhardt, Werner H.; Günter, Bernd, 1981.
Investitionsgüter-Marketing: Anlagen, Einzelaggregate, Teile, Roh- und Einsatzstoffe, Energieträger.
Stuttgart: Kohlhammer.
ISBN 3-17011-663-0
- Erlach 2010** Erlach, Klaus, 2010.
Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik.
2., bearbeitete und erweiterte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-540-89866-5
- Espejo et al. 1996** Espejo, Raul; Schuhmann, Werner; Schwaninger, Markus; Bilello, Ubaldo, 1996.
Organizational Transformation and Learning: A Cybernetic Approach to Management.
1. Auflage.
New York: Wiley.
ISBN 978-0-471-96182-6
- Esser 2002** Esser, Manfred, 2002.
Komplexitätsbeherrschung in dynamischen Diskurswelten: Ein Metamodell zur Modellierung betrieblicher Informationssysteme.
Lohmar: Josef Eul.
Reihe: Wirtschaftsinformatik 41.
Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 1999
ISBN 978-3-89936-036-2

- Eversheim 1996a** Eversheim, Walter, 1996.
Grundlagen.
3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage.
Studium und Praxis; 1.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
ISBN 3-54062-314-0
- Eversheim 1996b** Eversheim, Walter, 1996.
Prozessorientierte Unternehmensorganisation: Konzepte und Methoden zur Gestaltung "schlanker" Organisationen.
2. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54061-231-9
- Eversheim 2002** Eversheim, Walter, 2002.
Arbeitsvorbereitung.
4., bearbeitete und korrigierte Auflage.
Organisation in der Produktionstechnik 3.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54042-016-9
- Färber et al. 2002** Färber, Ulrich; Kuppinger, Ralf; Löllmann, Peter-Michael, 2002.
Das 3Liter-PPS® Konzept: Die richtige Dosis PPS für Kundenauftragsfertiger.
wt online **92** (5), S. 242-247
- FhG IPA et al. 2014** Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, 2014.
Strukturstudie "Industrie 4.0 für Baden-Württemberg": Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0.
Verfügbar unter: http://mfw.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mfw/intern/Dateien/Downloads/Industrie_und_Innovation/IPA_Strukturstudie_Industrie_4.0_BW.pdf
Zugriff am: 24.01.2015
- Fiedler 2010** Fiedler, Rudolf, 2010.
Controlling von Projekten: Mit konkreten Beispielen aus der Unternehmenspraxis - alle Aspekte der Projektplanung, Projektsteuerung und Projektkontrolle.
5., erweiterte Auflage.
Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
ISBN 3-83480-889-X
- Fleischmann 1998** Fleischmann, Bernhard, 1998.
Der Unterschied zwischen MRP und Planung.
Industrielle Informationstechnik **35** (2), S. 52–54
- Forrester 1972** Forrester, Jay W., 1972.
Grundzüge einer Systemtheorie: Principles of Systems.
Wiesbaden: Gabler.
ISBN 978-3-4093-1331-5
- Fox 1982a** Fox, B., 1982.
OPT, An Answer for America. MRP, Kanban or OPT. What's best?
Inventories & Production **2** (4), S. 4–11
- Fox 1982b** Fox, B., 1982.
OPT, An Answer for America. Part II.
Inventories & Production **2** (6), S. 10–19

- Franken 1998** Franken, Thomas, 1998.
Modellbasierte Beherrschung von Konstruktionsabläufen.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Konstruktionstechnik/Maschinenelemente Nr. 306.
Hannover, Univ., Diss., 1998
ISBN 3-18330-601-8
- Frese 2005** Frese, Erich, 2005.
Grundlagen der Organisation: Entscheidungsorientiertes Konzept der Organisationsgestaltung.
9., vollständig überarbeitete Auflage.
Wiesbaden: Gabler.
ISBN 3-40912-681-3
- Frieling et al. 2001** Frieling, Ekkehart; Kauffeld, Simone; Grote, Sven; Bernard, Heike, 2001.
Flexibilität und Kompetenz: Schaffen flexible Unternehmen kompetente und flexible Mitarbeiter?
Münster: Waxmann.
ISBN 978-3-8309-1019-0
- Gaitanides 2007** Gaitanides, Michael, 2007.
Prozessorganisation: Entwicklung, Ansätze und Programme des Managements von Geschäftsprozessen.
2., vollständig überarbeitete Auflage.
München: Vahlen.
ISBN 978-3-8006-2372-3
- Gansauge et al. 2007** Gansauge, Ludwig; Riedel, Ralph; Müller, Egon, 2007.
Prozessstandardisierung in der Einzelfertigung - Optimierung der Auftragsabwicklung durch Prozessmanagement und konsequente Standardisierung am Beispiel des Formenbaus.
wt Werkstattstechnik online **97** (4), S. 279–283
- Gaupp 2011** Gaupp, Franz, 2011.
Methoden und Werkzeuge zur taktororientierten Planung, Überwachung und Steuerung eines wandlungsfähigen Produktentwicklungsprozesses.
Stuttgart, Univ., Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Diplomarbeit, 2011.
- Gierth 2009** Gierth, Andreas, 2009.
Beurteilung der Selbststeuerung logistischer Prozesse in der Werkstattfertigung.
Aachen: Shaker.
Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung 95.
Aachen, Tech. Hochsch., Diss., 2009
ISBN 3-83228-414-1
- Gießmann 2010** Giessmann, Marco, 2010.
Komplexitätsmanagement in der Logistik: Kausalanalytische Untersuchung zum Einfluss der Beschaffungskomplexität auf den Logistikerfolg.
1. Auflage.
Lohmar: Josef Eul.
ISBN 978-3-89936-964-9
- Glaschak 2006** Glaschak, Stephan A., 2006.
Strategiebasiertes Multiprojektmanagement: Konzept, Unternehmungsbefragung, Gestaltungsempfehlungen.
München: Hampp.
Schriften zum Management 26.
Hannover, Univ., Diss., 2006
ISBN 3-86618-026-8

- Gloger 2009** Gloger, Boris, 2009.
Scrum: Produkte zuverlässig und schnell entwickeln.
2. Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44641-913-6
- Goedel 1997** Goedel, Hanns, 1997.
Gestaltung der Planung: Konzeptioneller Ansatz und Fallstudien.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, Gabler.
Gabler Edition Wissenschaft: Unternehmensführung & Controlling.
Koblenz, Wiss. Hochsch. für Unternehmensführung, Diss., 1996
ISBN 978-3-8244-6493-7
- Goldratt 1981** Goldratt, Eliyahu M., 1981.
The unbalanced plant.
In: *24th APICS annual international conference*, Boston, Mass., S. 195–199
- Goldratt 1997** Goldratt, Eliyahu M., 1997.
Critical chain.
Great Barrington, Mass.: North River Press.
ISBN 0-88427-153-6
- Goldratt 2002** Goldratt, Eliyahu M., 2002.
Die kritische Kette: Ein Roman über das neue Konzept im Projektmanagement.
Frankfurt, New York: Campus.
ISBN 3-59337-091-3
- Gottschalk et al. 2004** Gottschalk, Lutz; König, Roland, 2004.
Bedarfsunsicherheiten durch flexible Kapazitäten beherrschen.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (12), S. 715–719
- Greiff 2001** Greiff, Malte de, 2001.
Die Prognose von Lernkurven in der manuellen Montage unter besonderer Berücksichtigung der Lernkurven von Grundbewegungen.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
Fortschritt-Berichte VDI / Reihe 2, Fertigungstechnik 592.
Duisburg, Univ., Diss., 2001
ISBN 978-3-18-359202-9
- Groß 1990** Groß, Mathias, 1990.
Planung der Auftragsabwicklung komplexer, variantenreicher Produkte: Konzeption eines EDV-gestützten Hilfsmittels zur integrierten Auftrags- und Produktionsprogrammplanung in der Kleinserienproduktion.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1990
- Grunwald 2002** Grunwald, Stefan, 2002.
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung.
München: Herbert Utz.
Forschungsberichte / IWB 159.
München, Techn. Univ., Diss., 2001
ISBN 978-3-8316-0095-3
- Gruß 2010** Gruß, Renata, 2010.
Schlanke Unikatfertigung: Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production.
Wiesbaden: Gabler.
Gabler Research: Beiträge zur Produktionswirtschaft.
Cottbus, Techn. Univ., Diss., 2010
ISBN 978-3-8349-2506-0

- Guba et al. 1994** Guba, Egon G.; Lincoln, Yvonna S., 1994.
Paradigms - Competing paradigms in qualitative research.
In: Denzin, Norman K.; Lincoln, Yvonna S. (Hrsg.): *Handbook of qualitative research*.
Thousand Oaks: Sage Publications.
ISBN 0-80394-679-1
- Gudehus 2010** Gudehus, Timm, 2010.
Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen.
4., aktualisierte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3540-89388-2
- Gulden 2009** Gulden, Alexander G., 2009.
Wertorientierte Gestaltung kundenindividueller Kleinserienproduktion.
Aachen: Apprimus.
Ergebnisse aus der Produktionstechnik 2009,9.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2009
ISBN 978-3-940565-35-8
- Gutenberg 1951** Gutenberg, Erich, 1951.
Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre.
Band 1, Die Produktion.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
- Gutenberg 1979** Gutenberg, Erich, 1979.
Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre.
Band 1, Die Produktion.
23., unveränderte Auflage.
Berlin: Springer.
- Hab et al. 2006** Hab, Gerhard; Wagner, Reinhard, 2006.
Projektmanagement in der Automobilindustrie: Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette.
2., überarbeitete Auflage.
Wiesbaden: Gabler.
ISBN 3-83499-252-6
- Hackstein 1989** Hackstein, Rolf, 1989.
Produktionsplanung und -steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis.
2., überarbeitete Auflage.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
ISBN 978-3-1840-0924-3
- Hammer et al. 1994** Hammer, Michael; Champy, James, 1994.
Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen.
3. Auflage.
Frankfurt: Campus.
ISBN 978-3-5933-5017-2
- Hankammer 2017** Hankammer, Stephan, Nielsen; Kjeld, Piller, Frank T.; Schuh, Günther; Wang, Ning (Hrsg.): *Customization 4.0: Proceedings of the 9th World Mass Customization & Personalization Conference (MCPC 2017), Aachen, Germany, November 20th-21st, 2017*
Wiesbaden: Springer International Publishing, 2019
ISBN 978-3-030-08479-0

- Hansen 2014** Hansen, Alan, 2014.
Merkmale der Innovationsfähigkeit von kleinen und mittleren Unternehmen: Ein sozialwissenschaftlicher Beitrag zur innovationsförderlichen Personal- und Organisationsentwicklung.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2014.
URN: urn:nbn:de:hbz:82-opus-51140
- Harrington 1991** Harrington, H. James, 1991.
Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness.
New York: McGraw-Hill.
ISBN 978-0-0702-6768-8
- Hayler 2013** Hayler, Andy, 2013.
Data quality essential to master data management.
Verfügbar unter: <https://www.computerweekly.com/feature/Data-quality-essential-to-master-data-management>
Zugriff am: 23.11.2014
- HCOB 2019** Hamburg Commercial Bank, 2019.
Industrie 4.0 im Maschinen- und Anlagenbau.
Branchenstudie.
Hamburg. 2019.
- Heidling 2019** Heidling, Eckhard; Meil, Pamela; Neumer, Judith; Porschen-Hueck; Stephanie, Schmierl, Klaus; Sopp, Peter; Wagner, Alexandra, 2019.
Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0.
IMPULS-Stiftung für den Maschinenbau, den Anlagenbau und die Informationstechnik.
München. 2019.
- Hellmich 2003** Hellmich, Kai P., 2003.
Kundenorientierte Auftragsabwicklung: Engpassorientierte Planung und Steuerung des Ressourceneinsatzes.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Gabler Edition Wissenschaft: Beiträge zur Produktionswirtschaft.
Cottbus, Techn. Univ., Diss., 2002
ISBN 3-82447-815-3
- Hertlein 2010** Hertlein, Markus M., 2010.
Auftragsabwicklungsprozesse - Optimierung durch effizienten und effektiven Methodeneinsatz: Eine theoretische und empirische Untersuchung.
München: TCW Transfer-Centrum.
TCW Wissenschaft und Praxis 55.
München, Techn. Univ., Diss., 2009
ISBN 978-3-9372-3693-3
- Hildebrandt et al. 2011** Hildebrandt, Knut; Otto, Boris; Weisbecker, A., 2011.
Stammdatenmanagement.
1. Auflage.
HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik; 279.
Heidelberg: dpunkt.
ISBN 3-89864-750-1
- Hiller 2002** Hiller, Mark, 2002.
Multiprojektmanagement: Konzept zur Gestaltung, Regelung und Visualisierung einer Projektlandschaft.
Kaiserslautern: Univ., Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation.
FBK Produktionstechnische Berichte Band 43.
Kaiserslautern, Univ., Diss., 2002

- Hirsch 1992** Hirsch, Bernd E., 1992.
CIM in der Unikatfertigung und -montage.
CIM-Fachmann.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-5405-3440-2
- Hirschberg 2000** Hirschberg, Arnd G., 2000.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung.
München: Utz.
Forschungsberichte IWB 137.
München, Techn. Univ., Diss., 2000
ISBN 978-3-8967-5729-6
- Hirsch-Kreinsen et al. 2000** Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Seitz, Beate, 2000.
Der Maschinenbau als Entwickler von Produktions- und Fertigungstechniken.
In: Widmaier, Ulrich (Hrsg.): *Der deutsche Maschinenbau in den neunziger Jahren.*
Frankfurt: Campus, S. 43–65
ISBN 3-59336-507-3
- Hirzel et al. 2002** Hirzel, Matthias; Kühn, Frank; Wollmann, Peter, 2002.
Multiprojektmanagement: Strategische und operative Steuerung von Projektportfolios.
1. Auflage.
Frankfurt: Frankfurter Allg. Buch.
ISBN 3-89843-073-1
- Hofmann et al. 2012** Hofmann, Erik; Hornstein, Jens; Maucher, Daniel; Ouden, Rainer den, 2012.
Investitionsgütereinkauf: Erfolgreiches Beschaffungsmanagement komplexer Leistungen.
Advanced purchasing & SCM 2.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-642-22711-0
- Holzer 2000** Holzer, Achim, 2000.
Prioritätsregelbasierte Ressourcenplanung für Projekte mit komplexer Ablaufstruktur.
Aachen: Shaker
Berichte aus der Betriebswirtschaft
Passau, Univ., Diss., 2000.
ISBN 978-3-8265-7811-3
- Hopp et al. 1996** Hopp, Wallace J.; Spearman, Mark L., 1996.
Factory physics: Foundations of manufacturing management.
Chicago: Irwin.
ISBN 0-25615-464-3
- Hülsmann et al. 2007** Hülsmann, Michael; Wycisk, Christine; Agarwal, Robin; Grapp Jörn, 2007.
Prologue to Autonomous Cooperation - the Idea of Self-Organisation as its Basic Concepts.
In: Hülsmann, Michael; Windt, Katja (Hrsg.): *Understanding autonomous cooperation and control in logistics.*
Berlin: Springer, S. 23–44
ISBN 3-54047-449-8

IHK für München und Oberbayern et al. 2007

Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern; Landeshauptstadt München - Referat für Arbeit und Wirtschaft, 2007.
Luftfahrt, Raumfahrt, Satellitennavigation in der Wirtschaftsregion München. München.
Verfügbar unter: <http://www.muenchen.ihk.de/de/presse/Anhaenge/Studie-Luftfahrt.pdf>
Zugriff am: 06.05.2015

Institut der deutschen Wirtschaft Köln 2014

Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V., 2014.
Fachkräftemangel in Unternehmen: Die Altersstruktur in Engpassberufen.
Verfügbar unter: <http://www.iwkoeln.de/studien/gutachten/beitrag/sebastian-bussmann-susanne-seyda-fachkraefteengpaesse-in-unternehmen-204846?highlight=Fachkr%25C3%25A4fteengp%25C3%25A4sse%2520>
Zugriff am: 23.04.2015

Jäger et al. 2013

Jäger, Jens; Kluth, Andreas; Sauer, Marcus; Schatz, Anja, 2013.
Komplexitätsbewirtschaftung.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **108** (5), S. 341–343
DOI: 10.3139/104.110942

Jakoby 2010

Jakoby, Walter, 2010.
Projektmanagement für Ingenieure: Gestaltung technischer Innovationen als systemische Problemlösung in strukturierten Projekten.
1. Auflage.
Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
ISBN 3-83480-918-7

Johansson 1993

Johansson, Henry J., 1993.
Business Process Reengineering: Breakpoint Strategies for Market Dominance.
Chichester, New York: Wiley.
ISBN 978-0-4719-3883-5

Kath 1994

Kath, Hermann, 1994.
Horizontale Abstimmung dezentraler Leitstandssysteme.
Bochum, Ruhr-Universität, Diss., 1994

Kemmner 1991

Kemmner, Götz-Andreas, 1991.
Anwenderorientierte Dezentralisierung von PPS-Systemen
Berlin: Springer.
FIR + IAW Forschung für die Praxis 39.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1991
ISBN 3-54054-117-2

Kersten et al. 2005

Kersten, Wolfgang; Kern, Eva-Maria, 2005.
Flexibilität in der verteilten Produktentwicklung.
In: Kaluza, Bernd; Behrens, Stefan (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Flexibilität.*
Berlin: Schmidt, S. 229–250
ISBN 3-50308-367-7

Kieser et al. 1992

Kieser, Alfred; Kubicek, Herbert, 1992.
Organisation.
3., völlig neu bearbeitete Auflage.
Berlin: De Gruyter.
ISBN 978-3-1101-3499-5

- Kinkel et al. 2007** Kinkel, Steffen; Som, Oliver, 2007.
Strukturen und Treiber des Innovationserfolgs im deutschen Maschinenbau: Verbreitung und Effekte von innovationsunterstützenden Technik-, Organisations- und Kooperationskonzepten.
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.
Verfügbar unter: www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/i/de/pi-mitteilungen/pi41.pdf
Zugriff am: 03.05.2015
- Kirchhof et al. 2003** Kirchhof, Robert; Specht, Dieter, 2003.
Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen.
1. Auflage.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
ISBN 3-82447-742-4
- Kirchner 2004** Kirchner, Sören, 2004.
Ein Verfahren zur situationsgerechten Gestaltung der Bevorratungsebene in einer variantenreichen Serienproduktion.
Heimsheim: Jost-Jetter Verlag.
IPA-IAO-Forschung und Praxis 396.
Stuttgart, Univ., Diss., 2004
ISBN 978-3-9369-4731-1
- Klinkel 2004** Klinkel, Silja, 2004.
Multi-kriterielle Feinplanung in teilautonomen Produktionsbereichen: Ein Beitrag zur produkt- und prozessorientierten Planung und Steuerung.
Karlsruhe: WBK, Institut für Produktionstechnik.
Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Universität Karlsruhe Band 123.
Karlsruhe, Univ., Diss., 2004
- Köhler 1997** Köhler, Robert, 1997.
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinserienprodukten.
Berlin: Springer.
IWB Forschungsberichte 103.
München, Techn. Univ., Diss., 1997
ISBN 3-54062-024-9
- Kolisch 2001** Kolisch, Rainer, 2001.
Make-to-Order Assembly Management.
Berlin: Springer.
Kiel, Univ., Habil., 2001
ISBN 3-54041-098-8
- Kopshoff 2018** Kopshoff, Florian, 2018.
Organisationale Kundenkompetenz im Projektgeschäft: Konzeptualisierung, Messung, Validierung.
Applied Marketing Science / Angewandte Marketingforschung.
Wiesbaden: Springer.
Dortmund, Univ., Diss., 2018.
ISBN 3-65822-992-6
- Kosiol 1961** Kosiol, Erich, 1961.
Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen.
Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung **13**, S. 318–334

- Kosiol 1968** Kosiol, Erich, 1968.
Einführung in die Betriebswirtschaftslehre: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum.
Wiesbaden: Gabler.
ISBN 978-3-6631-2642-3
- Kosiol 1973** Kosiol, Erich, 1973.
Bausteine der Betriebswirtschaftslehre.
Band 1., Methodologie, Grundlagen u. Organisation.
Berlin: Duncker & Humblot.
ISBN 3-4280-2927-5
- Köster 1998** Köster, Oliver, 1998.
Komplexitätsmanagement in der Industrie: Kundennähe und Effizienz in der Leistungserstellung.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
St. Gallen, Univ., Diss., 1998
ISBN 3-82440-401-X
- KPMG 2014** KPMG International Cooperative, 2014.
Global Manufacturing Outlook: Performance in the crosshairs.
Verfügbar unter: <http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/global-manufacturing-outlook/Pages/performance-in-the-crosshairs.aspx>
Zugriff am: 18.01.2015
- Kromney 1991** Kromney, Helmut, 1991.
Empirische Sozialforschung: Modelle und Methoden der Datenerhebung: Leitprogramm Kurseinheit 1 bis 3; Dreifachkurseinheit.
Fernuniversität Hagen
- Krottmaier 1995** Krottmaier, Johannes, 1995.
Leitfaden Simultaneous Engineering: Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54058-636-9
- Krüger 2004** Krüger, Rolf, 2004.
Das Just-in-Time-Konzept für globale Logistikprozesse.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Gabler Edition Wissenschaft: Supply Chain Management.
Bochum, Ruhr-Universität, Diss., 2003
ISBN 978-3-8244-8150-7
- Kubicek 1977** Kubicek, Herbert, 1977.
Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung.
In: Köhler, Richard (Hrsg.): *Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre.*
Stuttgart: Poeschel, S. 3-36
ISBN 3-79100-214-7
- Kurbel 2005** Kurbel, Karl, 2005.
Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management.
6., völlig überarbeitete Auflage.
München: Oldenbourg.
ISBN 3-48657-578-3

- Kuster et al. 2008** Kuster, Jürg; Huber, Eugen; Lippmann, Robert; Schmid, Alphons; Schneider, Emil; Witschi, Urs; Wüst, Roger, 2008.
Handbuch Projektmanagement.
2., überarbeitete Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-5407-6432-8
- Lakatos 1974** Lakatos, Imre, 1974.
Falsifikation und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme.
In: Lakatos, Imre; Musgrave, Alan (Hrsg.): *Kritik und Erkenntnisfortschritt*.
Braunschweig: Vieweg, S. 89–189
ISBN 3-528-08333-6
- Lammers 2012** Lammers, Thorsten, 2012.
Komplexitätsmanagement für Distributionssysteme: Konzeption eines strategischen Ansatzes zur Komplexitätsbewertung und Ableitung von Gestaltungsempfehlungen.
Lohmar: Josef Eul.
Supply Chain, Logistics and Operations Management 11.
Hamburg, Techn. Univ., Diss., 2012
ISBN 978-3-8441-0191-1
- Lange 1991** Lange, Helmut K. H., 1991.
Allgemeine Musiklehre und musikalische Ornamentik: Ein Lehrbuch für Musikschulen, Konservatorien und Musikhochschulen.
Stuttgart: Franz Steiner.
ISBN 3-51505-678-5
- Langer 2000** Langer, Wolfgang, 2000.
Maschinen- und Anlagenbau: Rollen und Prozesse.
1. Auflage.
Bonn: Galileo Press.
ISBN 3-93435-808-X
- Lassen et al. 2005** Lassen, Svend; Schmidt, Carsten; Sontow, Karsten, 2005.
Projektmanagement in ERP-/PPS-Systemen. Was bietet der Softwaremarkt für die integrierte Planung von Projekten und Produktionsressourcen?
REFA-Nachrichten Industrial Engineering international **58** (4), S. 4–14
- Leach 1999** Leach, Lawrence P., 1999.
Critical Chain Project Management Improves Project Performance.
Project Management Journal (2), S. 39–51
DOI: 10.1177/875697289903000207
- Lechler et al. 2005** Lechler, Thomas G.; Roanen, Boaz; Stohr, Edward A., 2005.
Critical Chain: A New Project Management Paradigm or Old Wine in New Bottles?
Engineering Management Journal **17** (4), S. 45–58
DOI: 10.1080/10429247.2005.11431672
- Leenders 2006** Leenders, Michiel R., 2006.
Purchasing and Supply Management: With 50 Supply Chain Cases.
13. Auflage.
New York: McGraw-Hill.
ISBN 0-07111-738-5
- Lehner et al. 2008** Lehner, Franz; Scholz, Michael; Wildner, Stephan, 2008.
Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung.
2. Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44641-572-6

- Liker 2007** Liker, Jeffrey K., 2007.
Der Toyota-Weg.
1. Auflage.
München: FinanzBuch Verlag.
ISBN 3-89879-258-7
- Lindemann et al. 2006** Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; Zäh, Michael F., 2006.
Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54025-506-0
- Litke 1995** Litke, Hans-Dieter, 1995.
Projektmanagement: Methoden, Techniken, Verhaltensweisen.
3., überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44618-310-8
- Lock 2007** Lock, Dennis, 2007.
Project Management.
9. Auflage.
Aldershot, Hampshire: Gower.
ISBN 0-56608-772-3
- Lödning 2008** Lödning, Hermann, 2008.
Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration.
2., erweiterte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-5407-6859-3
- Löffler 2011** Löffler, Carina, 2011.
Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung.
Heimsheim: Jost-Jetter.
IPA-IAO Forschung und Praxis 519.
Stuttgart, Univ., Diss., 2011
ISBN 978-3-9398-9090-4
- Lohse 2002** Lohse, Armin, 2002.
Auftragsmanagement von komplexen Produkten in agilen Unternehmensstrukturen.
Aachen: Shaker.
Schriftenreihe des IFU 5.
Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2001
ISBN 3-8322-0718-X
- Lomnitz 2001** Lomnitz, Gero, 2001.
Multiprojektmanagement: Projekte planen, vernetzen und steuern.
1. Auflage.
Landsberg/Lech: Moderne Industrie.
ISBN 3-47838-670-5
- Luhmann 1997** Luhmann, Niklas, 1997.
Die Gesellschaft der Gesellschaft.
1. Auflage.
Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft; 1360.
Frankfurt: Suhrkamp.
ISBN 3-51858-240-2

- Lunze 1995** Lunze, Jan, 1995.
Künstliche Intelligenz für Ingenieure.
Band 2, Technische Anwendungen.
München: Oldenbourg.
ISBN 3-48622-306-2
- Madauss 2000** Madauss, Bernd J., 2000.
Handbuch Projektmanagement: Mit Handlungsanleitungen für Industriebetriebe, Unternehmensberater und Behörden.
6., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
ISBN 3-79101-518-4
- Malik 1996** Malik, Fredmund, 1996.
Strategie des Managements komplexer Systeme: Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme.
5., erweiterte und ergänzte Auflage.
Bern: Haupt.
ISBN 3-25805-369-3
- Malik 1998** Malik, Fredmund, 1998.
Komplexität - was ist das?
Verfügbar unter: <http://www.kybernetik.ch/dwn/Komplexitaet.pdf>
Zugriff am: 21.02.2016
- Maßberg 1993** Maßberg, Wolfgang, 1993.
Fertigungsinseln in CIM-Strukturen.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54053-243-9
- Meyer 2007** Meyer, Christian M., 2007.
Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik.
Bern: Haupt.
Schriftenreihe Logistik der Kühne-Stiftung 12.
Hamburg, Techn. Univ., Diss., 2006
ISBN 3-25807-197-8
- Meyer 2015** Meyer, Jens-Uwe, 2015.
Die Innovationsfähigkeit von Unternehmen: Messen, analysieren und steigern.
1. Auflage.
Göttingen: BusinessVillage.
ISBN 3-86980-308-1
- Meyer et al. 2010** Meyer, Mey M.; Ahlemann, Frederik, 2010.
Project Management Software Systems: Requirements, Selection Process and Products.
6. Auflage.
Business Application Research Center; European Business School; GPM
Deutsch Gesellschaft für Projektmanagement e. V; m3 projekt:infor-
mations:management.
ISBN 978-3-9422-0120-9
- Morgan et al. 2006** Morgan, James M.; Liker, Jeffrey K., 2006.
The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and Technology.
New York: Productivity Press.
ISBN 1-56327-282-2

- Mühlbauer et al. 2014** Mühlbauer, Philipp; Burkard, Christian; Prinz, Andrea, 2014.
Robust und reaktionsschnell : Taktorientierte Planung im Produktentwicklungsprozess.
In: Bauernhansl, Thomas (Hrsg.): *Wandlungsfähigkeit live*.
Ludwigsburg : LOG_X, S. 81–96.
ISBN 3-93229-851-9
- Murr 1999** Murr, Otto, 1999.
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen.
München: Utz.
Forschungsberichte / IWB 130.
München, Techn. Univ., Diss., 1999
ISBN 3-89675-636-2
- Nielsen 2017** Nielsen, Kjeld; Brunoe, Thomas Ditlev; Simeonov, Simeon Dechev, 2017.
Validation of Metrics for Mass Customization: A Pre-study of Validation Methodes.
In: Hankammer, Stephan; Nielsen, Kjeld; Piller, Frank T.; Schuh, Günther; Wang, Ning (Hrsg.): *Customization 4.0: Proceedings of the 9th World Mass Customization & Personalization Conference (MCPC 2017), Aachen, Germany, November 20th-21st, 2017*.
Wiesbaden: Springer International Publishing, S. 595-602.
ISBN 978-3-030-08479-0
- Nippa et al. 1990** Nippa, Michael; Reichwald, Ralf, 1990.
Theoretische Grundüberlegungen zur Verkürzung der Durchlaufzeit in der industriellen Entwicklung.
In: Reichwald, Ralf; Schmelzer, Hermann J. (Hrsg.): *Durchlaufzeiten in der Entwicklung*.
München: Oldenbourg, S. 65–114.
ISBN 3-48621-387-3
- Nobeoka et al. 1994** Nobeoka, Kentaro; Cusumano, Michael A., 1994.
Multi-Project Management: Inter-Project Interdependency and Organizational Coordination in New Product Development.
Verfügbar unter: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/2532/SWP-3732-31683563.pdf>
Zugriff am: 03.03.2016
- Nyhuis et al. 2012** Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter, 2012.
Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen.
3. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54043-700-2
- Oestereich et al. 2008** Oestereich, Bernd; Weiss, Christian, 2008.
APM - Agiles Projektmanagement: Erfolgreiches Timeboxing für IT-Projekte.
1. Auflage.
Heidelberg: dpunkt.
ISBN 3-89864-386-7
- Olbrich 1993** Olbrich, Ralf, 1993.
Aufbau einer Zeitwirtschaft: Beschreibung der Vorgehensweise.
Köln: Wirtschaftsverlag Bachem.
Dortmund, Univ., Diss., 1992
ISBN 3-89172-258-3
- Oliver Wyman 2010** Oliver Wyman Group, 2010.
Maschinenbau 2015: Strategien für eine veränderte Welt.
Verfügbar unter: <http://www.oliverwyman.de/insight420.htm>
Zugriff am: 18.08.2014

- Otto et al. 1985** Otto, Peter; Sonntag, Philipp, 1985.
Wege in die Informationsgesellschaft: Steuerungsprobleme in Wirtschaft und Politik.
München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
ISBN 3-42304-439-X
- Packowski 2012** Packowski, Josef (Hrsg.), 2012.
Strategisches Stammdatenmanagement: Voraussetzung für agile und effiziente Geschäftsprozesse.
Studienergebnisse.
St. Gallen, Mannheim: Institut Für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen; Camelot Management Consultants AG.
Verfügbar unter: www.chemanager-online.com/file/track/18652/1
Zugriff am: 21.02.2015
- Patzak 1982** Patzak, Gerold, 1982.
Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54011-783-0
- Patzak et al. 2004** Patzak, Gerold; Rattay, Günter, 2004.
Projektmanagement: Leitfaden zum Management von Projekten, Projektportfolios und projektorientierten Unternehmen.
4., wesentlich überarbeitete und ergänzte Auflage.
Wien: Linde.
ISBN 3-71430-003-1
- Pfohl 2010** Pfohl, Hans-Christian, 2010.
Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen.
8., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6420-4161-7
- Planview 2013** Planview, 2013.
Resource Management and Capacity Planning Benchmark Study 2013.
Verfügbar unter: <http://www.planview.com/m1/resource-managment-capacity-planning-benchmark-study/>
Zugriff am: 18.01.2014
- Platz et al. 1986** Platz, Jochen; Schmelzer, Hermann J., 1986.
Projektmanagement in der industriellen Forschung und Entwicklung: Einführung anhand von Beispielen aus der Informationstechnik.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54017-108-8
- Pommeranz 2011** Pommeranz, Inna, 2011.
Komplexitätsbewältigung im Multiprojektmanagement: Die Handlungsperspektive der Multiprojektleiter.
Augsburg, Univ., Diss., 2011
URN: urn:nbn:de:bvb:384-opus-18086
- Popper 1969** Popper, Karl, 1969.
Die Logik der Sozialwissenschaften.
In: Adorno, Theodor W. u. a. (Hrsg.): *Der Positivismusstreit in der deutschen Soziologie.*
Neuwied, Berlin: Luchterhand.
- Porter 1998** Porter, Michael E., 1998.
Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors.
New York: Free Press.
ISBN 978-0-6848-4148-9

- Porter 1999** Porter, Michael E., 1999.
Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage): Spitzenleistungen erreichen und behaupten.
5., durchgesehene und erweiterte Auflage.
Frankfurt: Campus.
ISBN 978-3-5933-6178-9
- Pötters et al. 2018** Pötters, Patrick; Leyendecker, Bert; Ohlig, Jasmin; Schmitt, Robert, 2018.
Verbreitungsgrad von Optimierungsmethoden in der Produktion : Eine quantitative Untersuchung.
Wissenschaftliche Schriften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften, No. 28-2019. Hochschule Koblenz.
<http://hdl.handle.net/10419/197301>
- Priese 2007** Priese, Jörg, 2007.
Verfahren zur durchgehenden dezentralen Planung in Werkstattstrukturen.
Heimsheim: Jost-Jetter.
ISW-Forschung und Praxis 169.
Stuttgart, Univ., Diss., 2007
ISBN 3-93989-025-1
- PwC 2011** PricewaterhouseCoopers International Limited, 2011.
Growth Reimagined: Industrial manufacturing industry summary.
Key industry findings from the 14th Annual Global CEO Survey.
Verfügbar unter: http://www.pwc.de/de_DE/de/industrielle-produktion/assets/CEO_Survey_Industrial_Manufacturing.pdf
Zugriff am: 21.02.2016
- PwC et al. 2014** PricewaterhouseCoopers AG; Strategy&, 2014.
Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution.
Verfügbar unter: <http://www.pwc.de/de/digitale-transformation/pwc-studie-industrie-4-0-steht-vor-dem-durchbruch.jhtml>
Zugriff am: 21.02.2016
- PwC 2017a** PricewaterhouseCoopers AG, 2017.
Auslastung am Limit: Fachkräfte im Maschinenbau werden knapp.
Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2017/auslastung-am-limit-fachkraefte-im-maschinenbau-werden-knapp.html>
Zugriff am: 21.11.2019
- PwC 2017b** PricewaterhouseCoopers AG, 2017.
Innovationsboom im deutschen Maschinenbau: Unternehmen wollen mehr in Forschung investieren.
Verfügbar unter: <https://www.presseportal.de/pm/8664/3795721>
Zugriff am: 05.12.2019
- Rauhut 2011** Rauhut, Marcus, 2011.
Synchronisation von Entwicklungsprozessen durch Taktung.
Aachen: Apprimus.
Ergebnisse aus der Produktionstechnik 14/2011.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2011
ISBN 3-8635-9035-X
- REFA 1985** REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V., 1985.
Methodenlehre der Planung und Steuerung Teil 1.
4. Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44614-245-2

- REFA 1991** REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V., 1991.
Methodenlehre der Planung und Steuerung Teil 2.
1. Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44616-350-6
- REFA 1997** REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V., 1997.
Datenermittlung.
Methodenlehre der Betriebsorganisation 15.
Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig.
ISBN 978-3-4461-9059-7
- Rehder et al. 2014** Rehder, Eike; Prinz, Andrea, 2014.
Produktentwicklung nach dem Taktprinzip.
IT&Production **15** (10), S. 84–85
- Reinhart et al. 1999** Reinhart, Gunther; Kress, Marcel, 1999.
Mass Customization based on constraint-space product and process modeling.
In: Lindemann, U. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design, München, Konstruktion im Maschinenbau.*
München, S. 89–94.
München: TU München.
ISBN: 3-922979-53-X
- Reiß 1993** Reiß, Michael, 1993.
Komplexitätsmanagement (I).
WISU **22** (1), S. 54–60
DOI: 10.18419/opus-5594
- Rieper 1992** Rieper, Bernd, 1992.
Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle: Grundlagen.
Berlin: NWB Verlag.
ISBN 978-3-4824-5251-2
- Rinza 1998** Rinza, Peter, 1998.
Projektmanagement: Planung, Überwachung und Steuerung von technischen und nichttechnischen Vorhaben.
4., neubearbeitete Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-5406-4021-5
- Ripperger 1999** Ripperger, Andreas, 1999.
Gestaltung der Organisation effizienter Auftragsabwicklungsprozesse im Maschinen- und Anlagenbau unter typologischen Gesichtspunkten.
Aachen: Shaker.
Berichte aus der Betriebswirtschaft.
Ilmenau, Techn. Univ., Diss., 1999
ISBN 3-8265-5789-1
- Rittstieg 2012** Rittstieg, Moritz, 2012.
Methodik zur Prozesssynchronisierung in der Auftragsabwicklung des industriellen Werkzeugbaus.
Aachen: Apprimus.
Ergebnisse aus der Produktionstechnik 18/2012.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2012
ISBN 978-3-8635-9074-1
- Rogalski 2011** Rogalski, Sven, 2011.
Flexibility Measurement in Production Systems: Handling Uncertainties in Industrial Production.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6421-8116-0

- Rohweder 1996** Rohweder, Dirk, 1996.
Informationstechnologie und Auftragsabwicklung: Potentiale zur Gestaltung und flexiblen kundenorientierten Steuerung des Auftragsflusses in und zwischen Unternehmen.
Berlin: Erich Schmidt.
Unternehmensführung und Logistik 9.
Darmstadt, Techn. Hochsch., Diss., 1995
ISBN 978-3-5030-3911-2
- Roland Berger 2011a** Roland Berger Strategy Consultants, 2011.
Production Systems 2020: Global challenges and winning strategies for the mechanical engineering industry.
Verfügbar unter: http://www.rolandberger.com/media/publications/2011-01-13-rbsc-pub-Production_Systems_2020.html
Zugriff am: 21.02.2016
- Roland Berger 2012a** Roland Berger Strategy Consultants, 2012.
Mastering product complexity.
Düsseldorf.
Verfügbar unter: http://www.rolandberger.com/media/publications/2012-11-08-rbsc-pub-Mastering_product_complexity.html
Zugriff am: 21.02.2016
- Roland Berger 2012b** Roland Berger Strategy Consultants, 2012.
The global aerostructures tooling equipment market.
München.
Verfügbar unter: http://www.rolandberger.com/media/publications/2012-03-05-rbsc-pub-Aerostructures_tooling_equipment_markets.html
Zugriff am: 21.02.2016
- Rommelfanger 1988** Rommelfanger, Heinrich, 1988.
Entscheiden bei Unschärfe: Fuzzy Decision Support-Systeme.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6429-7118-1
- Rößl 1990** Rößl, Dietmar, 1990.
Die Entwicklung eines Bezugsrahmens und seine Stellung im Forschungsprozeß.
Journal für Betriebswirtschaft (1/2), S. 99–110
- Rother et al. 2000** Rother, Mike; Shook, John, 2000.
Sehen lernen: Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen.
Deutsche Ausgabe, Version 1.0.
Stuttgart: LOG_X.
ISBN 3-93229-811-X
- Rüegg-Stürm 2003** Rüegg-Stürm, Johannes, 2003.
Das neue St. Galler Management-Modell: Grundkategorien einer modernen Managementlehre; der HSG-Ansatz.
2., durchgesehene Auflage.
Bern: Haupt.
ISBN 3-258-06629-9
- Rumelt et al. 1995** Rumelt, Richard P.; Schendel, Dan; Teece, David J., 1995.
Fundamental Issues in Strategy: A Research Agenda.
Boston, MA: Harvard Business School Press.
ISBN 0-87584-645-9

- Sackermann 2009** Sackermann, Reiner, 2009.
Eine wissensbasierte Methode zur Zeitermittlung in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
Aachen: Shaker.
Industrial Engineering 2.
Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2009
ISBN 978-3-8322-8766-5
- Sainis 1975** Sainis, Petros, 1975.
Ermittlung von Durchlaufzeiten in der Werkstattfertigung aus Daten des Fertigungsprogrammes mit Hilfe der Warteschlangentheorie.
Hannover, Techn. Univ., Diss., 1975
- Sames et al. 1990** Sames, Gerrit; Büdenbender, Winfried, 1990.
Aachener PPS-Modell: das morphologische Merkmalsschema.
Aachen: Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen; FIR Sonderdruck.
- Sauerwald 2007** Sauerwald, Kilian, 2007.
Effektivität und Effizienz: Zielbeziehungen organisationaler Entscheidungen.
München: Hampp.
Schriften zu Management, Organisation und Information 12.
Leipzig, Leipzig Graduate School of Management, Diss., 2006
ISBN 978-3-8661-8110-6
- Schanz 1987** Schanz, Gerhard, 1987.
Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Führungsforschung.
In: Kieser, Alfred; Reber, Gerhard; Wunderer, Rolf (Hrsg.): *Handwörterbuch der Führung.*
Stuttgart: Poeschel.
ISBN 3-7910-8028-8
- Scharf 1976** Scharf, Peter, 1976.
Strukturen flexibler Fertigungssysteme.
Mainz: Krausskopf.
ISBN 3-78300-108-0
- Schatz et al. 2009** Schatz, Anja; Westkämper, Engelbert; Bornhäuser, Matthias, 2009.
Takt-Oriented Production - A PPC Method Meeting the Requirements of the Tooling Industry.
In: Gantar, G.: *Slovenian Tool and Die Development Centre, Celje: ICIT&MPT 2009, 7th International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies 2009*, Ljubljana, October 4th-7th, 2009, S. 37-44
- Schatz 2017** Schatz, Anja; Bauernhansl, Thomas, 2017.
Geschäftsmodell-Innovationen.
In: Vogel-Heuser Birgit; Bauernhansl Thomas; ten Hompel Michael (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1.*
Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 245–260
ISBN 978-3-662-45278-3
- Scheuch 2013** Scheuch, Rolf, 2013.
Stammdatensmanagement braucht Ordnung.
Computerwoche 01.04.2013.
Verfügbar unter: <http://www.computerwoche.de/2516260>
Zugriff am 29.06.2014

- Schlund et al. 2014** Schlund, Sebastian; Hämmerle, Moritz; Strölin, Tobias, 2014.
Industrie 4.0 - Eine Revolution der Arbeitsgestaltung: Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden.
Verfügbar unter: https://www.ingenics.de/de/news/aktuelles/industrie40_ergebnisse.php
Zugriff am: 21.02.2016
- Schmelzer et al. 2008** Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang, 2008.
Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen.
6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 978-3-4464-1002-2
- Schneider 2007** Schneider, Dietram, 2007.
Unternehmensführung - Instrumente für das Management in der Postmoderne.
Kompakte Studienausgabe.
Norderstedt: Books on Demand.
ISBN 3-8334-7832-2
- Schneider et al. 2011** Schneider, Ralph; Schöllhammer, Oliver; Meizer, Felix; Lingitz, Lukas, 2011.
Lean Office 2010: Studie; Erfolgsfaktoren der Lean-Implementierung in indirekten Unternehmensbereichen.
Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
ISBN 978-3-8396-0271-3
- Scholz 1995** Scholz, Rainer, 1995.
Geschäftsprozessoptimierung: crossfunktionale Rationalisierung oder strukturelle Reorganisation.
2., durchgesehene Auflage.
Köln: Josef Eul.
ISBN 3-89012-367-8
- Scholz-Reiter et al. 2007** Scholz-Reiter, Bernd; Böse, Felix; Jagalski, Thomas; Windt, Katja, 2007.
Selbststeuerung in der betrieblichen Praxis - Ein Framework zur Auswahl der passenden Selbststeuerungsstrategie.
Industrie Management **23** (3), S. 7–10
- Scholz-Reiter et al. 2008** Scholz-Reiter, Bernd; de Beer, Christoph; Freitag, Michael; Hamann, Tilo; Rekersbrink, Henning; Tervo, Jan Topi, 2008.
Dynamik logistischer Systeme.
In: Nyhuis, Peter (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik.*
Berlin: Springer, S. 109–138
ISBN 978-3-5407-5641-5
- Scholz-Reiter et al. 2009** Scholz-Reiter, Bernd; Kolditz, Jan; Hildebrandt, Torsten, 2009.
Engineering autonomously controlled logistic systems.
International Journal of Production Research **47** (6), S. 1449–1468
DOI: 10.1080/00207540701581791
- Schomburg 1980** Schomburg, Eckart, 1980.
Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1980
- Schönsleben 2011** Schönsleben, Paul, 2011.
Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend.
6., bearbeitete und erweiterte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6422-0380-0

- Schuh 2005** Schuh, Günther, 2005.
Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools.
2., überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44640-043-5
- Schuh 2007a** Schuh, Günther, 2007.
Effizient, schnell und erfolgreich: Strategien im Maschinen- und Anlagenbau.
1. Auflage.
Frankfurt: VDMA-Verlag.
ISBN 3-81630-536-9
- Schuh 2007b** Schuh, Günther, 2007.
Excellence in Production: Festschrift für Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Dr. techn. h.c. Dr. oec. h.c. Walter Eversheim.
Aachen: Apprimus.
ISBN 3-94056-500-8
- Schuh 2010** Schuh, Günther, 2010.
Operative Exzellenz im Werkzeug- und Formenbau.
1. Auflage.
Aachen: Apprimus.
ISBN 978-3-9405-6578-5
- Schuh 2013** Schuh, Günther, 2013.
Lean Innovation.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-5407-6914-9
- Schuh et al. 2009** Schuh, Günther; Lenders, Michael; Bender, Dennis, 2009.
Lean Innovation: Auf dem Weg zur Systematik.
Industrie Management **25** (1), S. 23–26
- Schuh et al. 2011a** Schuh, Günther; Boos, Wolfgang ; Kuhlmann, Kristian ; Rittstieg, Moritz; Breme, Michael; Hinsel, Christian; Johann, Herbert; Schoof, Ulrich; Stoffel, Kai Konstantin, 2011.
Synchronisierung im industriellen WZB.
In: *Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik - Aachener Perspektiven*,
26.-27.05.2011, Aachen, S. 373–403
- Schuh et al. 2011b** Schuh, Günther; Kampker, Achim, 2011.
Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1.
2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6421-4501-8
- Schuh et al. 2012** Schuh, Günther; Stich, Volker, 2012.
Grundlagen der PPS.
Produktionsplanung und -steuerung 1.
4., überarbeitete Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-642-25422-5
- Schuh et al. 2016** Schuh, Günther; Reuter, Christina; Proto, Jan-Philipp; Ströwer, Margarete; Witthohn, Carsten; Fränke, Bastian, 2016.
Konsortial-Benchmarking: Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken.
Aachen: AWD.
ISBN 3-93706-256-4

- Schulte-Zurhausen 2005** Schulte-Zurhausen, Manfred, 2005.
Organisation.
4., überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Vahlen.
ISBN 978-3-8006-3205-3
- Schütte 1997** Schütte, Reinhard, 1997.
*Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurati-
ons- und anpassungsorientierter Modelle.*
Wiesbaden: Gabler.
Neue betriebswirtschaftliche Forschung 233.
Münster, Univ., Diss., 1997
ISBN 3-40912-843-3
- Schwaber 2007** Schwaber, Ken, 2007.
Agiles Projektmanagement mit Scrum.
1. Auflage.
Unterschleissheim: Microsoft Press.
ISBN 3-86645-631-X
- Schwaninger 1989** Schwaninger, Markus, 1989.
Integrale Unternehmensplanung.
1. Auflage.
Frankfurt: Campus.
ISBN 3-59333-973-0
- Schwaninger 2000** Schwaninger, Markus, 2000.
Implizites Wissen und Managementlehre: organisationskybernetische Sicht.
Verfügbar unter: [http://www.ifb.unisg.ch/org/lfB/ifbweb.nsf/SysWebRes-
sources/beitrag41/\\$FILE/DB41_ImplizitesWissen_def.pdf](http://www.ifb.unisg.ch/org/lfB/ifbweb.nsf/SysWebRes-
sources/beitrag41/$FILE/DB41_ImplizitesWissen_def.pdf)
Zugriff am: 09.08.2015
- Schwenk-Willi 2001** Schwenk-Willi, Urs, 2001.
*Integriertes Komplexitätsmanagement: Anleitungen und Methodiken für die pro-
duzierende Industrie auf Basis einer typologischen Untersuchung.*
St. Gallen, Univ., Diss., 2000
- Scobel 2008** Scobel, Gert, 2008.
Weisheit: Über das, was uns fehlt.
1. Auflage.
Köln: DuMont.
ISBN 3-83218-016-8
- Seidl 2011** Seidl, Jörg, 2011.
*Multiprojektmanagement: Übergreifende Steuerung von Mehrprojektsituationen
durch Projektportfolio- und Programmmanagement.*
Gebundene Ausgabe 2011.
Berlin: Springer.
ISBN 978-3-6421-6722-5
- Shewchuk 1998** Shewchuk, John P.; Moodie, Colin L., 1998.
Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures.
International Journal of Flexible Manufacturing Systems **10** (4), S. 325–349
DOI: 10.1023/A:1008062220281
- Smalley 2005** Smalley, Art, 2005.
*Produktionssysteme glätten: Anleitung zur Lean-Production nach dem Pull-Prin-
zip - angepasst an die Kundennachfrage.*
Deutsche Ausgabe, Version 1.0.
Aachen: Lean Enterprise Institute.
ISBN 0-97631-524-6

- Sommerlatte et al. 1992** Sommerlatte, Tom; Mollenhauer, Michael, 1992.
Qualität, Kosten, Zeit - das magische Dreieck.
In: Little, Arthur D.; Annighöfer, Frank (Hrsg.): *Management von Spitzenqualität*.
Wiesbaden: Gabler, S. 26–36
ISBN 3-40919-664-1
- Spath 2009** Spath, Dieter, 2009.
Grundlagen der Organisationsgestaltung.
In: Bullinger, Hans-Jörg, et al. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*.
Berlin: Springer, S. 3-24.
ISBN 3-54072-136-3
- Spath 2013** Spath, Dieter, 2013.
Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0.
Verfügbar unter: <https://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>
Zugriff am: 22.02.2016
- Spath 2017** Spath, Dieter; Schlund, Sebastian; Pokorn, Bastian; Berthold, Maik, 2017.
Produktionsassessment 4.0 – Integrierte Bewertung variantenreicher Einzel-
und Kleinserienfertigung in den Bereichen Lean Management und Industrie 4.0.
In: Koether, Reinhard; Meier, Klaus-Jürgen (Hrsg.): *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*
Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 45-68
ISBN 978-3-658-13969-8
- Specht et al. 2002** Specht, Günter; Beckmann, Christoph; Amelingmeyer, Jenny, 2002.
F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement.
2., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
ISBN 978-3-7910-1726-6
- Stachowiak 1973** Stachowiak, Herbert, 1973.
Allgemeine Modelltheorie.
Wien: Springer.
ISBN 978-3-2118-1106-1
- Stalk et al. 1992** Stalk, George; Hout, Thomas M., 1992.
Zeitwettbewerb: Schnelligkeit entscheidet auf den Märkten der Zukunft.
3., durchgesehene Auflage.
Frankfurt: Campus.
ISBN 3-59334-409-2
- Stanke et al. 1997** Stanke, Alexander; Berndes, Stefan, 1997.
Simultaneous Engineering als Strategie zur Überwindung von Effizienzsenken.
In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.): *Forschungs- und Entwicklungsmanagement*.
Stuttgart: Teubner, S. 15–28
ISBN 3-51906-370-0
- Statista 2013a** Statista GmbH, 2013.
Maschinenbau in Deutschland - Statista-Dossier 2013. Statistik-Dossier.
Verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/studie/id/6374/dokument/maschinenbau-statista-dossier/>
Zugriff am: 18.08.2013
- Statista 2013b** Statista GmbH / Handelsblatt, 2013.
Branchenreport 2013. Luftfahrt: - WZ 51000. Statista GmbH/Handelsblatt.
Verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/studie/id/1910/dokument/branchenreport-luftfahrt/>
Zugriff am: 28.04.2014

- Stein 2009** Stein, Friedrich, 2009.
Projektmanagement für die Produktentwicklung: Strategien - Erfolgsfaktoren - Organisation.
3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage.
Renningen: expert.
ISBN 3-81692-956-7
- Stelzer et al. 2007** Stelzer, Dirk; Büttner, Madlen; Kahnt, Michael, 2007.
Erfahrungen mit der Earned-Value-Analyse in deutschen IT-Projekten.
Controlling & Management **51** (4), S. 251–256
DOI: 10.1007/s12176-007-0073-1
- Stephan 2005** Stephan, Achim, 2005.
Emergenz: Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation.
2., unveränderte Auflage.
Paderborn: Mentis.
ISBN 3-89785-439-2
- Stuffer 1993** Stuffer, Rupert, 1993.
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser.
Konstruktionstechnik München 14.
München, Techn. Univ., Diss., 1993
ISBN 3-446-18003-6
- Stützle 1987** Stützle, Gerhard, 1987.
Langfristige Kapazitätsplanung unter Berücksichtigung der betrieblichen Elastizität.
München: Florentz.
Hochschulschriften zur Betriebswirtschaftslehre 46.
Regensburg, Univ., Diss., 1986
ISBN 3-83169-454-0
- Suri 1998** Suri, Rajan, 1998.
Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times.
Portland, Oregon: Taylor & Francis.
ISBN 978-1-5632-7201-1
- Suri 2010** Suri, Rajan, 2010.
It's About Time: The Competitive Advantage of Quick Response Manufacturing.
New York: Taylor & Francis.
ISBN 1-43980-595-4
- Suzaki 1989** Suzaki, Kiyoshi, 1989.
Modernes Management im Produktionsbetrieb: Strategien, Techniken, Fallbeispiele.
München: Hanser.
ISBN 3-44615-305-5
- Szyperski et al. 1976** Szyperski, Norbert; Welters, Klaus, 1976.
Grenzen und Zweckmäßigkeit der Planung - eine Diskussion der Argumente aus betriebswirtschaftlicher Sicht.
Die Unternehmung **30** (4), S. 265–283
- Takeda 2004** Takeda, Hitoshi, 2004.
Das synchrone Produktionssystem: Just in time für das ganze Unternehmen.
4. Auflage.
München: Moderne Industrie.
ISBN 3-63603-039-6

- Techt et al. 2007** Techt, Uwe; Lörz, Holger, 2007.
Critical Chain: Beschleunigen Sie Ihr Projektmanagement.
1. Auflage.
Freiburg: Haufe.
ISBN 978-3-4480-7520-5
- Thiem 1998** Thiem, Ingo, 1998.
Ein Strukturmodell des Fertigungsmanagements: Soziotechnische Strukturierung von Fertigungssystemen mit dem "Modell lebensfähiger Systeme".
Aachen: Shaker.
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme 3/98.
Bochum, Ruhr-Univ., Diss., 1998
ISBN 978-3-8265-4391-3
- Tomczak 1992** Tomczak, Torsten, 1992.
Forschungsmethoden in der Marketingwissenschaft.
Marketing (2), S. 77–87
DOI: 10.15358/0344-1369-1992-2-77
- Toomey 1996** Toomey, John W., 1996.
MRP II: Planning for Manufacturing Excellence.
New York: Springer.
ISBN 978-0-4120-6581-1
- Töpfer 2009** Töpfer, Armin, 2009.
Lean Six Sigma: Erfolgreiche Kombination von Lean Management, Six Sigma und Design for Six Sigma.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54085-059-7
- Tracht 2001** Tracht, Kirsten, 2001.
Planung und Steuerung des Werkzeug- und Formenbaus auf Basis eines integrierten Produktmodells.
Garbsen: TEWISS
Berichte aus dem IFW 02/2002.
Hannover, Univ., Diss., 2001
ISBN 3-93688-802-7
- Tränkle 1994** Tränkle, Ulrich, 1994.
Einführung in die Arbeitspsychologie.
Entscheidungs- und Gestaltungsprozesse in Arbeit und Verkehr 3.
Münster: LIT.
ISBN 3-89473-921-5
- Tu 1997** Tu, Yuliu, 1997.
Real-time scheduling and control of one-of-a-kind production.
Production Planning & Control 8 (7), S. 701–710
DOI: 10.1080/095372897234812
- Ullmann 2001** Ullmann, Bernd, 2001.
Eine Methode zur zielorientierten Steuerung von dezentralen Fertigungsinseln.
Heimsheim: Jost-Jetter.
IPA-IAO-Forschung und -Praxis 341.
Stuttgart, Univ., Diss., 2001
ISBN 3-93138-868-9
- Ulrich 1970** Ulrich, Hans, 1970.
Die Unternehmung als produktives soziales System.
2., überarbeitete Auflage.
Bern: Haupt

- Ulrich 1971** Ulrich, Hans, 1971.
Der systemtheoretische Ansatz in der Betriebswirtschaftslehre.
In: Kortzfleisch, Gert v. (Hrsg.): *Wissenschaftsprogramme und Ausbildungsziele der Betriebswirtschaftslehre*.
Berlin: Duncker & Humblot, S. 43–60
- Ulrich 1981** Ulrich, Hans, 1981.
Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft.
In: Geist, Manfred N. (Hrsg.): *Die Führung des Betriebes*.
Stuttgart: Poeschel, S. 1–25
ISBN 3-79100-308-9
- Ulrich 2001** Ulrich, Hans, 2001.
Systemorientiertes Management: Das Werk von Hans Ulrich.
Studienausgabe.
Bern: Haupt.
ISBN 3-25806-359-1
- Ulrich et al. 1976** Ulrich, Peter; Hill, Wilhelm, 1976.
Grundlagen Teil I - Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I).
WiSt Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt (7), S. 304–309
- Ulrich et al. 1984** Ulrich, Hans; Dyllick, Thomas; Probst, Gilbert, 1984.
Management.
Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmungsführung 13.
Bern: Haupt.
ISBN 3-25803-446-X
- Ulrich et al. 1988** Ulrich, Hans; Probst, Gilbert, 1988.
Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte.
Bern: Haupt.
ISBN 3-25803-976-3
- VDI 2221** Verband Deutscher Ingenieure, 1993. VDI 2221: 1993.
Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- VDI 2870** Verband Deutscher Ingenieure, 2012. VDI 2870: 2012.
Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung, Bewertung.
- VDI 5600** Verband Deutscher Ingenieure, 2007. VDI 5600: 2007.
Fertigungsmanagementsysteme - Blatt 1.
- VDI et al. 2013** Verein Deutscher Ingenieure e.V. & Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2013.
Ingenieurmonitor: Der Arbeitsmarkt für Ingenieure im November 2013.
Verfügbar unter: http://www.vdi.de/uploads/media/Ingenieurmonitor_2013-12.pdf
Zugriff am: 21.02.2016
- VDMA 2011** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), 2011.
Statistisches Handbuch für den Maschinenbau: Ausgabe 2011
Frankfurt: VDMA-Verlag
ISBN: 3-81630-612-8
- VDMA 2013** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), 2013.
Maschinenbau in Zahl und Bild 2013: Mechanical engineering - figures and charts.
Verfügbar unter: <https://www.vdma.org/documents/105628/1169735/Mechanical%20engineering%20-%20figures%20and%20charts.pdf/beba179d-d039-4185-9248-fae3ed6373bf>
Zugriff am: 21.02.2016

- VDMA et al. 2014** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.; McKinsey&Company, 2014.
Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau: Erfolgreich im dynamischen Umfeld reagieren,
Verfügbar unter: <http://www.vdma.org/zukunftsperspektive>
Zugriff am: 05.08.2015
- VDMA 2016** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., 2016
Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025.
Verfügbar unter:
<https://www.vdma.org/documents/105628/13417295/VDMA%20Studie%20Industrie%204.0%20-%20Qualifizierung%202025.pdf/bbfe37d6-f738-4558-b2b7-1b01a04d166c>
Zugriff am: 25.11.2019
- VDW 2012** VDW - Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken, 2012.
Die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie 2012.
Verfügbar unter: <https://www.vdma.org/article/-/articleview/1950113>
Zugriff am: 21.10.2015
- Vogel-Heuser 2014** Vogel-Heuser, Birgit, 2014.
Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und Automatisierungstechnik.
In: Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.):
Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik.
Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 37–48
ISBN 978-3-658-04681-1
- Warnecke 1992** Warnecke, Hans-Jürgen, 1992.
Die Fraktale Fabrik: Revolution der Unternehmenskultur.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54055-200-6
- Weise 2007** Weise, Joachim, 2007.
Planung und Steuerung von Innovationsprojekten.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation 59.
Berlin, Techn. Univ., Diss., 2007
ISBN 978-3-8350-0736-9
- Welcker 2017** Welcker, Carl-Martin, 2017.
Durch Protektionismus verlieren alle.
In: *Zukunft Maschinenbau.* Frankfurter Allgemeine Zeitung Verlagsspezial
24.04.2017.
Verfügbar unter:
https://www.vdma.org/documents/106109/16748593/1493198381141_FAZ_Zukunft_Maschinenbau_pdf.pdf/20a916a3-32e5-48ed-8e08-6bc4205b9ad8
Zugriff am: 12.11.2019
- Wemhöner 2005** Wemhöner, Nils, 2005.
Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau.
Aachen: Shaker.
Berichte aus der Produktionstechnik 12/2006.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2005
ISBN 3-83225-111-1
- Westkämper 2006** Westkämper, Engelbert, 2006.
Einführung in die Organisation der Produktion.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54026-039-0

- Westkämper 2009a** Westkämper, Engelbert, 2009.
Rahmen, Herausforderungen und Visionen für die Unternehmensorganisation.
In: Bullinger, Hans-Jörg *et al.* (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*.
Berlin : Springer, S. 26–104.
ISBN 3-54072-136-3
- Westkämper 2009b** Westkämper, Engelbert, 2009.
Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54021-889-0
- Westkämper 2013** Westkämper, Engelbert, 2013.
Definition und Entwicklung der digitalen Produktion.
In: Westkämper, Engelbert *et al.* (Hrsg.): *Digitale Produktion*.
Berlin : Springer, S. 47–49.
ISBN 978-3-6422-0258-2
- Westkämper et al. 1996** Westkämper, Engelbert; Wiedenmann, Harald, 1996.
Dezentrale Organisation und ihre informationstechnische Unterstützung in der
Produktionsplanung und -steuerung.
Industrie Management **12** (3), S. 39–42
- Westkämper et al. 2000** Westkämper, Engelbert; Zahn, Erich; Balve, Patrick; Tilebein, Meike, 2000.
Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen.
wt Werkstattstechnik **90** (1/2), S. 22–26
- Westkämper et al. 2011** Westkämper, Engelbert; Mussbach-Winter, Ute; Wiendahl, Hans-Hermann,
2011.
Material Requirement Planning (MRP).
In: Koether, Reinhard (Hrsg.): *Taschenbuch der Logistik*. 4. Auflage.
München: Hanser, S. 87–97.
ISBN 3-44642-512-8
- WestLB 2012** WestLB AG, 2012.
An China führt kein Weg vorbei: Chinas Dynamik ist die zentrale Herausforderung für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau.
Strategische Analyse: Düsseldorf: WestLB AG. 17.01.2012.
- Weth 2001** Weth, Rüdiger von der, 2001.
Management der Komplexität: Ressourcenorientiertes Handeln in der Praxis.
1. Auflage.
Bern: Hans Huber.
ISBN 3-45683-558-2
- Wieczorrek et al. 2007** Wieczorrek, Hans W.; Mertens, Peter, 2007.
Management von IT-Projekten: Von der Planung zur Realisierung.
2., überarbeitete und erweiterte Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54048-470-1
- Wiendahl 1997a** Wiendahl, Hans-Peter, 1997.
Betriebsorganisation für Ingenieure.
4., vollständig überarbeitete Auflage.
München: Hanser.
ISBN 3-44618-776-6
- Wiendahl 1997b** Wiendahl, Hans-Peter, 1997.
Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells.
München: Hanser.
ISBN 3-44619-084-8

- Wiendahl 2002** Wiendahl, Hans-Hermann, 2002.
Situative Konfiguration des Auftragsmanagements im turbulenten Umfeld.
Heimsheim: Jost-Jetter.
IPA-IAO-Forschung und -Praxis 358.
Stuttgart, Univ., Diss., 2002
ISBN 3-93138-887-5
- Wiendahl 2006a** Wiendahl, Hans-Hermann, 2006.
Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld.
wt Werkstattstechnik **96** (4), S. 183–189
- Wiendahl 2006b** Wiendahl, Hans-Hermann, 2006.
Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld.
wt Werkstattstechnik **96** (5), S. 325–330
- Wiendahl 2008** Wiendahl, Hans-Hermann, 2008.
Stolpersteine der PPS - ein sozio-technischer Ansatz für das industrielle Auftragsmanagement.
In: Nyhuis, Peter (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik.*
Berlin: Springer, S. 275–304
ISBN 978-3-5407-5641-5
- Wiendahl 2010** Wiendahl, Hans-Hermann, 2010.
Sozio-technisches Auftragsmanagement: Grundlagen, Konfiguration, Einführung.
Stuttgart, Univ., Habil., 2010
- Wiendahl et al. 2005** Wiendahl, Hans-Hermann; Cieminski, Gregor von; Wiendahl, Hans-Peter, 2005.
Stumbling blocks of PPC: Towards the holistic configuration of PPC systems.
Production Planning & Control **16** (7), S. 634–651
DOI: 10.1080/09537280500249280
- Wiendahl et al. 2006** Wiendahl, Hans-Hermann; Behringer, Stephan, 2006.
Stolpersteine der Lieferterminermittlung und -erfüllung.
In: Schuh, Günther & Westkämper, Engelbert (Hrsg.): *Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau.*
Aachen, S. 19–32
ISBN 3-92669-002-X
- Wiendahl et al. 2014** Wiendahl, Hans-Peter; Nyhuis, Peter; Reichardt, Jürgen, 2014.
Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten.
2., überarbeitete und erweiterte Auflage.
München: Hanser.
ISBN 978-3-4464-3892-7
- Wienhold 2004** Wienhold, Klaus, 2004.
Prozess- und controllingorientiertes Projektmanagement für komplexe Projektfertigung.
Frankfurt: Lang.
Controlling und Management 27.
Dortmund, Univ., Diss., 2003
ISBN 3-63152-230-4
- Wight 1981** Wight, Oliver W., 1981.
MRP II: Unlocking America's Productivity Potential.
Williston, VT, Boston, MA: O. Wight Ltd. Publications; CBI Publishing.
ISBN 0-84360-820-X

- Wildemann 2006** Wildemann, Horst, 2006.
Lean als Paradigma produzierender Unternehmen.
In: *3. Lean Management Summit - Aachener Management Tage: 8.-10. November 2006*.
Aachen: WZL, S. 133–141
ISBN: 3-92669-008-9
- Wildemann 2008** Wildemann, Horst, 2008.
Entwicklungslinien der Logistik.
In: Nyhuis, Peter (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*.
Berlin: Springer, S. 19–41
ISBN 978-3-5407-5641-5
- Wildemann 2009** Wildemann, Horst, 2009.
Dezentralisierung von Kompetenz und Verantwortung.
In: Bullinger, Hans-Jörg, et al. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*.
Berlin: Springer, S. 182–196
ISBN 3-54072-136-3
- Wildemann 2012** Wildemann, Horst, 2012.
Komplexitätsmanagement in Vertrieb, Beschaffung, Produkt und Produktion.
13. Auflage.
München: TCW Transfer-Centrum.
ISBN 978-3-9315-1130-2
- Wilhelm 2007** Wilhelm, Rudolf, 2007.
Prozessorganisation.
2., überarbeitete und ergänzte Auflage.
München: Oldenbourg.
ISBN 978-3-4865-8302-1
- Wilson et al. 2010** Wilson, Stephen A.; Perumal, Andrei, 2010.
Waging War on Complexity Costs: Reshape Your Cost Structure, Free Up Cash Flows, and Boost Productivity by Attacking Process, Product and Organizational Complexity.
New York: McGraw-Hill.
ISBN 978-0-0716-3913-2
- Windt 2006** Windt, Katja, 2006.
Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik.
In: Vec, Miloš; Freund, Alexandra; Hütt, Marc (Hrsg.): *Selbstorganisation*.
Köln: Böhlau, S. 271–314
ISBN 3-41222-105-8
- Wittenstein 2007** Wittenstein, Anna-Katharina, 2007.
Bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit in der kundenspezifischen Produktentwicklung.
Heimsheim: Jost-Jetter.
IPA-IAO Forschung und Praxis 463.
Stuttgart, Univ., Diss., 2007
ISBN 3-93989-019-7
- Wochinger et al. 2010** Wochinger, Thomas; Münzberg, Ben; Kennemann, Marco, 2010.
Die Güte der Produktionslogistik reifegradorientiert bewerten.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **105** (3), S. 222–226
DOI: 10.3139/104.110274

- Wochinger et al. 2013** Wochinger, Thomas; Zwißler, Frank; Westkämper, Engelbert, 2013.
A Reference Model for a Synchronized and Dynamic Alignment of the Order Fulfillment Process.
In: Azevedo, Américo (Hrsg.): *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*.
Cham: Springer International Publishing, S. 787–798.
ISBN 978-3-3190-0556-0.
DOI: 10.1007/978-3-319-00557-7_65
- Wochinger et al. 2015** Wochinger, Thomas; Kluth, Andreas; Kipp, Rolf, 2015.
MES - Fertigungssteuerung 2015/2016.
5., überarbeitete Auflage.
Aachen: Trovarit.
ISBN 978-3-9381-0229-9
- Womack et al. 1991** Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel, 1991.
The Machine That Changed The World: The Story of Lean Production.
New York: HarperPaperbacks.
ISBN 0-06097-417-6
- Womack et al. 2004** Womack, James P.; Jones, Daniel T., 2004.
Lean Thinking: Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern.
Erweiterte und aktualisierte Neuauflage.
Frankfurt: Campus.
ISBN 3-59337-561-3
- Yu 2001** Yu, Kwok-Wai, 2001.
Terminkennlinie: Eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik 576.
Univ., Hannover, Diss., 2001
ISBN 978-3-18357-602-9
- Zahn et al. 2009** Zahn, Erich; Bullinger, Hans-Jörg; Gagsch, Bernd, 2009.
Führungskonzepte im Wandel.
In: Bullinger, Hans-Jörg et al. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*.
Berlin: Springer, S. 110–125
ISBN 3-54072-136-3
- Zäpfel 2000** Zäpfel, Günther, 2000.
Strategisches Produktions-Management.
2., unwesentlich veränderte Auflage.
München: Oldenbourg.
ISBN 3-48625-450-2
- Zäpfel 2001** Zäpfel, Günther, 2001.
Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement.
2., unwesentlich veränderte Auflage.
München: Oldenbourg.
ISBN 3-48625-618-1
- Zimmermann et al. 1993** Zimmermann, Hans-Jürgen; Angstenberger, Joachim, 1993.
Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale.
Düsseldorf: VDI-Verlag.
ISBN 3-54062-199-7
- Zimmermann et al. 2006** Zimmermann, Jürgen; Rieck, Julia; Stark, Christoph, 2006.
Projektplanung: Modelle, Methoden, Management.
1. Auflage.
Berlin: Springer.
ISBN 3-54028-413-3

- Ziskoven 2013** Ziskoven, Hagen, 2013.
Methodik zur Gestaltung und Auftragseinplanung einer getakteten Fertigung im Werkzeugbau.
Aachen: Apprimus.
Ergebnisse aus der Produktionstechnik 17/2013.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2013
ISBN 3-86359-146-1
- Zohm 2004** Zohm, Frederik, 2004.
Management von Diskontinuitäten: Das Beispiel der Mechatronik in der Automobilzulieferindustrie.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003
ISBN 3-82440-785-X
- Zwanzig 2010** Zwanzig, Florian, 2010.
Taktung der Unikatfertigung am Beispiel des Werkzeugbaus.
Aachen: Apprimus.
Ergebnisse aus der Produktionstechnik 1/2010.
Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2010
ISBN 3-94056-543-1

Zunehmende Kundenanforderungen, ein höherer Grad an Individualisierung und verstärkter globaler Wettbewerb verlangen von Unternehmen ein hohes Maß an Innovations- und Wandlungsfähigkeit. In der Auftragsabwicklung kundenspezifischer Investitionsgüter ist im Auftragsmanagement trotz dynamischer Engpässe und dem hohen Maß an Unsicherheit eine hohe Leistungsfähigkeit zur Erreichung von Termintreue-, Durchlaufzeit-, Bestands- und Auslastungszielen erforderlich.

In dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, das im komplexen Umfeld kundenspezifischer Investitionsgüter eine kapazitätsgeprüfte durchgängige Planung und Steuerung entlang der gesamten Auftragsabwicklung gestaltet. Dazu bedient es sich dezentraler Organisationsformen mit einem hohen Maß an Selbstorganisation, regelkreisbasierten Grundsätzen der Kybernetik zur engen Kopplung von Ausführungs- und Lenkungsebene sowie dem aus dem Lean Management bewährten Taktprinzip. Das Modell ermöglicht es, die Erreichung der logistischen Ziele bei gleichzeitiger Erhöhung der Planungseffizienz zu verbessern.

ISBN 978-3-8396-1665-9



FRAUNHOFER VERLAG