

Reifegradbasierte Werkstattsteuerung

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. Matthias Bornhäuser

aus Reutlingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c.mult. Engelbert Westkämper

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

Tag der mündlichen Prüfung: 05.05.2009

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart
2009

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

 Universität
Stuttgart
Institut für Industrielle
Fertigung und Fabrikbetrieb


Fraunhofer Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

Matthias Bornhäuser



Reifegradbasierte Werkstattsteuerung

Nr. 485

JUST-JETTER VERLAG
Fachverlag · 71296 Heimsheim

Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Matthias Bornhäuser

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN (10) 3-939890-46-4, ISBN (13) 978-3-939890-46-1

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2009.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Die Thematik und die Lösungsidee der Dissertation entsprangen aus meiner Beratungstätigkeit bei mittelständischen Produktionsunternehmen in Kombination mit weiterführenden Fragestellungen im Themenfeld der Planung und Steuerung.

Meinem Doktorvater Herrn Professor Westkämper danke ich für die akademische Freiheit und die wohlwollende Unterstützung meiner Ideen. Mein Dank gilt auch Herrn Professor Nyhuis für die sorgfältige Durchsicht dieser Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts.

Meinen Weggefährten und Kollegen im Bereich Unternehmensorganisation danke ich für die vielen wertvollen Anregungen und Diskussionen. Besonders hervorheben möchte ich dabei meinen Dissertationspaten Dr. Hans-Hermann Wiendahl, der in mir den Forscher erweckte und durch zahlreiche Diskussionen die Struktur und Inhalte der Arbeit mitlenkte. Meinem Abteilungsleiter Klaus-Peter Zeh möchte ich dafür danken, dass er mich in interessante Industrieprojekte integrierte und ausreichend Freiraum gewährte, um diese Arbeit fertig zu stellen. Lehrreich waren außerdem die Diskussionen mit Michael Lickefett, Ulrich Färber und Pit Löllmann zur Taktung von Produktionsabläufen. Auch möchte ich an dieser Stelle aus der IPA-Bibliothek Melanie Pfefferle und Stefanie Stehling nennen, die durch die schnelle Beschaffung jeglicher Literaturquellen und die Überprüfung der korrekten Zitierform meine Arbeit vorangebracht haben. Für die sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit bedanke ich mich außerdem bei Herrn Professor Hermann Lödding.

Wesentliche Unterstützung leistete meine Familie: Meine Eltern Dr. Peter Bornhäuser und Dr. Marie-Luise Bornhäuser, sowie meine Frau Mira und meine beiden Kinder Nele und Finn. Ihnen widme ich deshalb meine Arbeit.

Kempen, Mai 2009

A handwritten signature in black ink, reading 'Matthias Bornhäuser'. The signature is written in a cursive, flowing style.

Matthias Bornhäuser

Inhalt

1	Einführung	16
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	16
1.2	Aufbau der Arbeit	18
2	Situation produzierender Unternehmen	20
2.1	Herausforderungen für Produktionen in Deutschland.....	20
2.2	Produzieren nach Bedarf.....	21
2.3	Hilfsmittel zur Planung und Steuerung	22
3	Anforderungen an die reifegradbasierte Werkstattsteuerung	26
3.1	Betriebstypologische Einordnung des Untersuchungsbereichs.....	26
3.2	Aufgaben und Zielgrößen der Werkstattsteuerung.....	36
3.3	Wirkmodell der Werkstattsteuerung	46
3.4	Konfiguration der Werkstattsteuerung	48
3.5	Zusammenfassende Betrachtung der Anforderungen.....	56
4	Klassifizierung bestehender Werkstattsteuerungsverfahren	59
4.1	Klassifizierung nach dem betrieblichen Einsatzfeld.....	63
4.2	Klassifizierung nach der Verfahrenscharakteristik.....	65
4.3	Zusammenfassende Einklassifizierung	70
5	Methodische Grundlagen der reifegradbasierten Werkstattsteuerung	72
5.1	Gestaltungsgrundlagen der Werkstattsteuerungsfunktionen.....	72
5.2	Grundlagen für die Parametrierung	83
6	Reifegradbasierte Werkstattsteuerung.....	97
6.1	Wirkmodell der RWS	99
6.2	Logistisches Leitbild der RWS.....	101
6.3	Verfahrensablauf der RWS	102
6.4	Funktionsbausteine der RWS.....	104
6.5	Grundkonfiguration und Parametrierung der RWS.....	125
6.6	Unternehmensspezifische Konfiguration der RWS	144
6.7	Qualitative Bewertung der RWS.....	145
7	Evaluation der reifegradbasierten Werkstattsteuerung	149
7.1	Einordnung des Anwendungsfalls	149
7.2	Reifegradbasierte Konfiguration der Werkstattsteuerung.....	156
8	Zusammenfassung und Ausblick	167
8.1	Zusammenfassung.....	167
8.2	Ausblick	169
9	Summary	171
10	Literatur	173

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1:	Problemstellung und Grundlagen der Arbeit	18
Bild 2.1:	Reaktionszeit für Kapazitätsveränderungen bei starren und flexiblen Produktionen (nach J.-W. Breithaupt)	21
Bild 2.2:	Entwicklungsstufen im Betrieb von Planungs- und Steuerungssystemen	24
Bild 2.3:	Spannungsfeld zwischen dem Aufwand für Daten- / Systempflege und manuellem Planungs- und Steuerungsaufwand	25
Bild 3.1:	Aufbau Kapitel 3 zur systematischen Ableitung der Grundlagen und Anforderungen	26
Bild 3.2:	Merkmalsschema zur ablauforganisatorischen Kennzeichnung von Unternehmenstypen (nach E. Schomburg)	27
Bild 3.3:	Unterschiedliche Fertigungsprinzipien: Räumliche Anordnung und Transportbeziehungen der Ressourcen (nach W. Eversheim)	28
Bild 3.4:	Kennzahlen zur Bewertung der Materialflusskomplexität eines Segments	30
Bild 3.5:	Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungs- und Steuerungssicht	31
Bild 3.6:	Engpassituationen: Voraussetzungen, Ursachen und Handlungsbedarf	32
Bild 3.7:	Bevorratungsstrategien und Einflussfaktoren auf die Festlegung der Bevorratungsebene	34
Bild 3.8:	Kriterien und Ausprägungen des Merkmals Auftragstyp (nach W. Eversheim)	35
Bild 3.9:	Kriterien für einen Einzelstückfluss	35
Bild 3.10:	Klassische PPS-Aufgabenstruktur (nach R. Hackstein)	37
Bild 3.11:	Zielsystem der Werkstattsteuerung (IFA Hannover)	39
Bild 3.12:	Bestände in der Produktion (nach H.-H. Wiendahl)	39
Bild 3.13:	Chancen und Risiken von Beständen (H.-H. Wiendahl)	40
Bild 3.14:	Durchlaufzeitanteile von Aufträgen und Arbeitsvorgängen (W. Heinemeyer)	41
Bild 3.15:	Definition von Termineinhaltung und Termintreue für Aufträge (K.-W. Yu zitiert nach H.-H. Wiendahl)	43
Bild 3.16:	Definition der Terminabweichungsgrößen (nach U. Dombrowski)	44
Bild 3.17:	Vorteil der Ressourcensicht bei der Werkstattsteuerung Praxisbeispiel (nach H.-H. Wiendahl)	44
Bild 3.18:	Modell der Fertigungssteuerung (nach H. Lödding)	46

Bild 3.19:	Logistische Leitbilder (H.-H. Wiendahl).....	48
Bild 3.20:	Einflussfaktoren für die Auswahl des logistischen Leitbilds (Praxisbeispiel) (H.-H. Wiendahl).....	49
Bild 3.21:	Kunden- und Ressourcentakt	53
Bild 3.22:	Ausgleichskasten zur nivellierten Freigabe.....	54
Bild 3.23:	Gestaltungsaspekte der Werkstattsteuerung (nach H.-H. Wiendahl) und abgeleitete Kriterien zur Beurteilung des logistischen Reifegrads einer Werkstattsteuerungsmethode	56
Bild 4.1:	Vereinfachte Ablaufschemata BOA und DBF	59
Bild 4.2:	Vereinfachte Ablaufschemata TKS und Rs Pr	60
Bild 4.3:	Vereinfachte Ablaufschemata Leitstandssteuerung und Rz opt.....	61
Bild 4.4:	Vereinfachte Ablaufschemata Conwip und Heijunka-Steuerung.....	61
Bild 4.5:	Vereinfachte Ablaufschemata Schlupf und FCFS.....	62
Bild 4.6:	Klassifizierung der betrachteten Auftragsfreigabeverfahren	66
Bild 4.7:	Klassifizierung der betrachteten Kapazitätssteuerungsverfahren	67
Bild 4.8:	Klassifizierung der Reihenfolgebildungsverfahren	69
Bild 4.9:	Zusammenfassende Klassifizierung der betrachteten Werkstattsteuerungsverfahren.....	70
Bild 5.1:	CMMI Reifegradstufen und Abhängigkeiten der CMMI-Komponenten (nach R. Kneuper)	73
Bild 5.2:	Aufwand-Nutzen Verlauf für das Erreichen unterschiedlicher Reifegradstufen	74
Bild 5.3:	Blockschaltbild eines Regelkreises (nach [DIN 19226]).....	76
Bild 5.4:	Bestands- und Rückstandsregelkreise (nach D. Petermann)	77
Bild 5.5:	Detaillierungsstufen für die Grundobjekte Artikel, Prozess und Ressource.....	79
Bild 5.6:	Grundobjekt Ressource und Kapazitätseinheit (H.-H. Wiendahl)	80
Bild 5.7:	Materialflussbeziehungen bei Detaillierungsgrad Arbeitsplatz und Kapazitätseinheit	81
Bild 5.8:	Belastung bei funktions- und prozessorientierter Aggregation.....	81
Bild 5.9:	Detaillierungsgrad der Zeitinformationen	82
Bild 5.10:	Morphologie der Turbulenzkeime in der Planung und Steuerung (H.-H. Wiendahl)	84
Bild 5.11:	Turbulenzprofil für einen Komponentenhersteller (nach H.-H. Wiendahl)	85
Bild 5.12:	Kapazitätshüllkurven (J.-W. Breithaupt).....	87
Bild 5.13:	Trichtermodell und Durchlaufdiagramm (nach W. Bechte zitiert nach H.-P. Wiendahl).....	90

Bild 5.14:	Definition von Durchlaufzeitanteilen und Durchlaufelementen (nach W. Bechte/ W. Heinemeyer/ B. Erdlenbruch).....	91
Bild 5.15:	Verlauf der Produktionskennlinien für ausgewählte Kenngrößen (nach P. Nyhuis)	92
Bild 5.16:	Betriebszustände an einer Kapazitätseinheit (nach P. Nyhuis).....	93
Bild 5.17:	Arbeitspakete im Projektstruktur- und Projektablaufplan (nach DIN 69901)	95
Bild 5.18:	Arbeitspakete in der Werkstattsteuerung	95
Bild 6.1:	Taktprinzip der reifegradbasierten Werkstattsteuerung	97
Bild 6.2:	Reifegradbasierte Werkstattsteuerungsfunktionen	98
Bild 6.3:	Einordnung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung (Darstellung nach H. Lödning)	99
Bild 6.4:	Auftragsstrom im Takt.....	101
Bild 6.5:	Verfahrensablauf der reifegradbasierten Werkstattsteuerung.....	103
Bild 6.6:	Reifegradstufen im Betrieb: Termin- und Kapazitätsplanung.....	104
Bild 6.7:	Durchlaufterminierung von Aufträgen mit ressourcenspezifischen Takten.....	105
Bild 6.8:	Durchlaufterminierung gegen unbegrenzte und begrenzte Kapazitäten	106
Bild 6.9:	Reifegradunabhängige Bestandteile der Auftragsfreigabe.....	107
Bild 6.10:	Reifegradstufen im Betrieb: Auftragsfreigabe	108
Bild 6.11:	Ermittlung des Starttaktes mit Belastungsabgleich	109
Bild 6.12:	Reifegradstufen im Betrieb: Materialbereitstellung und -verfügbarkeitsprüfung	111
Bild 6.13:	Kapazitätssteuerung mit unterschiedlichem Zeithorizont.....	112
Bild 6.14:	Kapazitätsregelkreise der RWS bei Auftragsfreigabe und Arbeitspaketbearbeitung	113
Bild 6.15:	Reifegradstufen im Betrieb: vorausschauende Kapazitätssteuerung...	114
Bild 6.16:	Darstellung des Kapazitätsangebots und -bedarfs mit Kapazitätsgrenzen	115
Bild 6.17:	Plantafel zur manuellen Kapazitätssteuerung.....	116
Bild 6.18:	Gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung der RWS.....	117
Bild 6.19:	Abarbeitungsgrad und Abarbeitungsrückstand.....	119
Bild 6.20:	Reifegradstufen im Betrieb: gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung	120
Bild 6.21:	Bringschuld und Holpflicht	121
Bild 6.22:	Trennung von blockierten und frei gegebenen Beständen an einer Kapazitätseinheit	122

Bild 6.23:	Reifegradstufen im Betrieb: Reihenfolgebildung.....	124
Bild 6.24:	Grundkonfiguration und Parametrierung der RWS strukturiert nach dem PPS-Zyklus	126
Bild 6.25:	Zusammenfassen ähnlicher Betriebsmittel nach Funktionen.....	128
Bild 6.26:	Zusammenfassung von Betriebsmitteln mit denselben Prozessfolgen	128
Bild 6.27:	Detaillierungsgrad der Zeitinformationen für ausgewählte PPS-Aufgaben	131
Bild 6.28:	Festlegung der zur Auswahl stehenden Taktbreiten.....	131
Bild 6.29:	Reifegradstufen in der Parametrierung: Festlegung der Taktbreiten ...	133
Bild 6.30:	Vorgehensweise zur Festlegung der ressourcenspezifischen Taktbreiten.....	136
Bild 6.31:	Zusätzliche Wartezeiten durch inhomogene Taktbreiten	138
Bild 6.32:	Überlast-, Normalbetriebsgrenze und resultierende Kapazitätsflexibilität	140
Bild 6.33:	Taktkapazität und -flexibilität.....	141
Bild 6.34:	Reifegradstufen in der Parametrierung: Vorgehensweisen zur Festlegung der Kapazitätsgrenzen und Taktkapazitätsflexibilität.....	143
Bild 6.35:	Merkmalsschema zur unternehmensspezifischen Konfiguration der RWS in unterschiedlichen Reifegradstufen.....	144
Bild 7.1:	Produktionsstruktur des Anwendungsbeispiels.....	149
Bild 7.2:	Konstruktiver Aufbau einer innen und außen gelagerten Bahnführungswalze	150
Bild 7.3:	Einordnung des Walzenherstellers in die Betriebsmorphologie	151
Bild 7.4:	Produktaufbau und Herstellprozess am Beispiel von 4 Produktfamilien	152
Bild 7.5:	Ausgangssituation logistischer Reifegrad der Werkstattsteuerung	153
Bild 7.6:	Gesamtkonfiguration 1 der reifegradbasierten Werkstattsteuerung.....	157
Bild 7.7:	Turbulenzprofil Praxisbeispiel (nach H.-H. Wiendahl).....	158
Bild 7.8:	Taktkapazitätsflexibilität in Personalstunden an einer ausgewählten Kapazitätseinheit	160
Bild 7.9:	Entwicklung der Rückstandsreichweite und Produktivität nach Einführung von Gesamtkonfiguration 1	161
Bild 7.10:	Gesamtkonfiguration 1 und 2 der reifegradbasierten Werkstattsteuerung.....	162
Bild 7.11:	Terminierungsarten des Feinplanungswerkzeuges	163
Bild 7.12:	Entwicklung der Termineinhaltung	164
Bild 8.1:	Aufwand- Nutzenverlauf bei der „Big Bang“ versus schrittweisen Einführung von Werkstattsteuerungsverfahren.....	168

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AM	Auftragsmanagement
Anf.	Anforderung
AD	Auftragsdehnung
AF	Auftragsfreigabe
AG	Arbeitsgang
AP	Arbeitsplatz
APICS	The Association for Operations Management
APS	Advanced Planning and Scheduling
AWF	Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung
BDE	Betriebsdatenerfassung
BI _{Min}	Idealer Mindestbestand
BKT	Betriebskalendertag
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
CFK	Carbonfaser verstärkte Kunststoffe
CMM	Capability maturity model
CMMI	Capability maturity model integration
CNC	Computerized Numerical Control
Conwip	Constant work in process
DBF	Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning
FCFS	First Come First Serve
FIFO	First In First Out
FIR	Forschungsinstitut für Rationalisierung
FPE	Frühestes Planende
GEO	Global Excellence in Operations
IFF	Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
IHK	Industrie und Handelskammer

IPA	Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IT	Informationstechnologie
KE	Kapazitätseinheit
kmU	Kleine und mittlere Unternehmen
KW	Kalenderwoche
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
min	Minuten
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resources Planning
MV	Materialverfügbarkeitsprüfung
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
R	Reichweite
RS	Rückstand
RS Pr	Rückstandsorientierte Produktionsregelung
RT	Rückwärtsterminierung
RWS	Reifegradbasierte Werkstattsteuerung
RZ opt.	Rüstzeitoptimierende Reihenfolgebildung
SEI	Software Engineering Institute
h, Std.	Stunden
TB	Taktbreite
TKS	Terminorientierte Kapazitätssteuerung
TPS	Toyota Produktionssystem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VG	Vorgriffshorizont
WBZ	Wiederbeschaffungszeit
ZAU	Auftragszeit
ZDA	Auftragsdurchlaufzeit
ZDF	Durchführungszeit
ZDL	Durchlaufzeit Arbeitsgang
ZUE	Übergangszeit

1 Einführung

Die Bedeutung der Werkstattsteuerung im Rahmen der Produktionsplanung und Steuerung (kurz: PPS) ist unbestritten. Sie nimmt Einfluss auf die logistischen Zielgrößen und damit auch auf den Unternehmenserfolg. Logistikführer gewinnen Marktanteile, indem sie Kunden in der Angebotsphase kurze Lieferzeiten und eine hohe Lieferbereitschaft bieten, und nach Auftragseingang diese Zusagen zuverlässig einhalten. Damit sind Sie in der Lage, flexibel auf Kundenanfragen zu reagieren und Aufträge in kürzester Zeit durch die Produktion zu steuern. Vor allem im turbulenten Umfeld heutiger Produktionsunternehmen ist dieses Differenzierungsmerkmal nur schwer kopierbar [Spu07].

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

In der Praxis stößt man auf Probleme in der Anwendung leistungsfähiger Werkstattsteuerungsmethoden. Studien zeigen [SW05], dass der Großteil von Unternehmen seine Produktion mit PPS-Systemen plant und steuert, die auf der in den 1960er Jahren entwickelten MRP-Logik aufbauen. Die MRP-Logik basiert auf dem Grundgedanken, dass ein zentrales Planungsinstrument die Aufgaben der Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung sequentiell ausführt. Die Pläne werden in Form von Arbeitsvorratslisten für die Produktion freigegeben. Eine enge Kopplung der Lenkungs- an die Ausführungsebene ist in den meisten Fällen nicht gegeben, so dass die erstellten Pläne nur mit großem Aufwand an Planabweichungen in der Ausführung angepasst werden können. Eine Abkehr von der MRP-Logik bei der Auftragserzeugung erscheint aufgrund der großen Verbreitung in den vorhandenen Softwaresystemen nicht realistisch. Deshalb suchen Unternehmen nach Ansätzen und Verfahren, die die MRP-Logik im Bereich der Werkstattsteuerung ergänzen.

Dezentrale Werkstattsteuerungsverfahren verlagern die Verantwortung für logistische Entscheidungen vor Ort. Diese Verfahren wurden in Theorie und Praxis entwickelt, um vor allem die Nachteile der zentralen MRP-Logik nach Auftragsfreigabe zu beheben. Insbesondere die ausführungsnahen Steuerungsprinzipien aus dem Toyota Produktionssystem (z.B. Kanban-Steuerung) erzielen bei Unternehmen mit einer begrenzten Variantenanzahl beachtliche Erfolge. Unternehmen mit einer hohen Variantenanzahl und stark schwankendem Auftragsmix sind jedoch oftmals gezwungen, ihre Produktion aus wirtschaftlichen Gründen funktionsorientiert zu segmentieren. Die daraus resultierenden klassischen Werkstattstrukturen mit komplexen Materialflüssen erschweren die Anwendung von Steuerungsprinzipien, die auf produktorientiert segmentierte Produktionen mit Seriencharakter ausgelegt sind.

Moderne Softwaresysteme ermöglichen es Produktionsabläufe und Aufträge in „Echtzeit“ zu verfolgen. Neuplanungen auf Basis des aktuellen Produktionsfortschritts

und unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Kapazitäts- und Materialverfügbarkeitsrestriktionen sind somit jederzeit möglich. Die strenge Trennung zwischen Planung und Steuerung wird hierbei sukzessive aufgelöst. Diese Softwaresysteme stellen jedoch hohe Anforderungen an die Qualität und den Detaillierungsgrad der Stamm- und Bewegungsdaten. Fehlende oder zu grobe Stamm- und Bewegungsdaten erschweren die Einführung dieser leistungsfähigen Softwaresysteme. Unzureichende Datenumfänge und -qualität sorgen dafür, dass nur Teile der in den Softwaresystemen integrierten Planungsfunktionalitäten genutzt werden können.

- Zielsetzung dieser Arbeit ist es, mit der reifegradbasierten Werkstattsteuerung (kurz: RWS) ein Werkstattsteuerungsverfahren für funktionsorientierte Strukturen zu entwickeln, das Unternehmen dabei unterstützt nach der MRP-Logik erzeugte Aufträge differenzierter freizugeben und die Kapazitäten der Produktion bedarfsgerecht bereitzustellen. Das Verfahren soll in unterschiedlichen funktionalen Reifegraden konfiguriert und betrieben werden können, um auch bei unvollständigen Daten und einem niedrigen logistischen Reifegrad schnell die Logistikleistung zu verbessern. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung überträgt mit Hilfe einfacher Regeln und Abläufe Verantwortung für die logistischen Zielgrößen vor Ort. Die einfachen Verfahrensregeln, die aufwandsarme Parametrierung des Verfahrens und die Transparenz logistischer Zielgrößen und Handlungsbedarfe sollen es Unternehmen ermöglichen das Verfahren unter Berücksichtigung der logistischen Gesetzmäßigkeiten einzustellen und zu betreiben. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung soll es Unternehmen ermöglichen mit wenig PPS-Aufwand eine hohe logistische Leistung zu erzielen. Für die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung wurden folgende Grundsätze berücksichtigt (s. Bild 1.1):
- Die reifegradbasierten Werkstattsteuerung soll den unterschiedlichen *logistischen Reifegrad* von Produktionsunternehmen berücksichtigen. Die Werkstattsteuerungsaufgaben, der Verfahrensablauf und die Parametrierung des Verfahrens sind daraufhin anzupassen.
- Die reifegradbasierten Werkstattsteuerung soll eine hohe *Konsistenz zwischen Planung und Steuerung* verwirklichen. Hierfür wurden die Aufgaben der Werkstattsteuerung mit Hilfe des, um die korrespondierenden Planungsfunktionen erweiterten Werkstattsteuerungsmodells konfiguriert.
- Die reifegradbasierten Werkstattsteuerung verfolgt das *logistische Leitbild* des gleichmäßigen Auftragsstroms. Das Ziel der flussorientierten Produktionsstrategie besteht darin, trotz differenzierter Anforderungen bezüglich Lieferzeit und Bedarfsschwankungen, intern einen gleichmäßigen Auftragsstrom zu erzeugen.

Ein gleichmäßiger Auftragsstrom ist durch eine geringe Durchlaufzeitstreuung gekennzeichnet und stellt die Ressourcensicht in den Vordergrund.

- Die Einführung eines *Produktionstaktes* in der reifegradbasierten Werkstattsteuerung soll die Vorteile eines nach den Leitlinien für eine schlanke Produktion konzipierten Steuerungsverfahrens auf die Rahmenbedingungen von Werkstattfertigen übertragen.
- Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung ist für Produktionen mit *funktionsorientierten Strukturen* konzipiert.

Relevanz & Anforderungen

Die **Werkstattsteuerung** steuert im Rahmen der PPS einen wesentlichen Beitrag zur **Logistikleistung** bei. Die **heterogenen technischen und organisatorischen** Unternehmensvoraussetzungen erfordern Verfahren, die den **logistischen Reifegrad** im Betrieb und der Konfiguration angemessen berücksichtigen.



Bild 1.1: Problemstellung und Grundlagen der Arbeit

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel:

- Das folgende *zweite Kapitel* beschreibt die Situation und Herausforderungen produzierender Unternehmen mit funktionsorientierten Strukturen. Dabei findet eine sinnvolle Einordnung der Werkstattsteuerung in vorhandene Planungssysteme statt.
- Im *dritten Kapitel* werden die Anforderungen an die Gestaltung und Parametrierung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung abgeleitet. Die Anforderungen aus dem betrieblichen Anwendungsschwerpunkt des Verfahrens ergeben sich anhand der Einordnung in eine Betriebstypologie. Aus den sich zum Teil widersprechenden Werkstattsteuerungszielen, dem erweiterten Wirkmodell der Werkstattsteuerung und dem logistischen Leitbild wird der funktionale Betrachtungsschwerpunkt der reifegradbasierten Werkstattsteuerung abgeleitet. Aus den in der betrieblichen Praxis erfolgreichen Leitlinien des Lean Production er-

geben sich weitere Gestaltungs- und Betriebshinweise für die reifegradbasierte Werkstattsteuerung. Die Berücksichtigung des logistischen Reifegrads eines Unternehmens auf die Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens stellt dabei eine wesentliche Neuerung dar.

- Das *vierte Kapitel* beschreibt und klassifiziert gängige Werkstattsteuerungsverfahren anhand des betrieblichen Einsatzfeldes und der Verfahrenscharakteristik und begründet hieraus den Bedarf für die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung.
- Im *fünften Kapitel* werden die notwendigen methodischen Grundlagen zur Gestaltung und Parametrierung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung gelegt.
- Das *sechste Kapitel* stellt den Lösungsansatz der reifegradbasierten Werkstattsteuerung vor. Zuerst wird die Funktionslogik der Werkstattsteuerungsaufgaben erläutert. Anschließend wird die zielgerichtete Parametrierung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung vorgestellt. Eine erste Evaluierung des Verfahrens anhand der im dritten Kapitel abgeleiteten Anforderungen beschließt das Kapitel.
- Das *siebte Kapitel* zeigt die Anwendung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung in einem mittelständischen Unternehmen, das kundenauftragsbezogenen Komponenten für den Maschinen- und Anlagenbau herstellt. Das Kapitel führt anhand der Darstellung und Diskussion der praxisbezogenen Erfahrungen in dem Unternehmen den Nachweis, dass die reifegradbasierte Werkstattsteuerung geeignet ist, die logistische Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des logistischen Reifegrads zu steigern.
- Die Arbeit schließt im *achten Kapitel* mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen der reifegradbasierten Werkstattsteuerung.

2 Situation produzierender Unternehmen

Bei Unternehmensbenchmarks wie zum Beispiel dem „GEO-Award Fabrik des Jahres“ und dem „Deutschen Logistikpreis“ sind die logistische Leistungsfähigkeit und der organisatorische Reifegrad¹ zentrale Bewertungskriterien. Unter den Gewinnern im Zeitraum zwischen 1999 und 2005 befinden sich insgesamt 27 produzierende Großunternehmen. Die Mehrheit der Gewinner produzieren standardisierte Produkte in Varianten mit hoher Stückzahl und haben es geschafft ihre Produktion produktorientiert zu segmentieren. Dadurch konnte die Komplexität in der Planung und Steuerung reduziert werden und auf jedes Produktsegment abgestimmte Prinzipien angewendet werden. Darüber hinaus sind die Preisträger seit mehreren Jahrzehnten am Markt aktiv und weisen deshalb einen hohen organisatorischen und technologischen Reifegrad aus. Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt ist es oftmals nicht möglich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine produktorientierte Segmentierung zu realisieren. Stattdessen werden Ressourcen mit ähnlichen Funktionen zusammengefasst, die ein breites Produktspektrum bearbeiten. Dadurch kann trotz schwankendem Produktmix eine höhere Auslastung realisiert werden. Die Komplexität in der Planung und Steuerung steigt jedoch durch die vielfältigeren Materialflussbeziehungen und organisatorischen Schnittstellen im Herstellprozess. Die Methoden zur Planung und Steuerung der Produktion müssen in funktionsorientierten Strukturen eine größere Beziehungsvielfalt an Produkten und Ressourcen beherrschen als in produktorientierten Strukturen. Aus den Unternehmensbenchmarks leitet sich der Bedarf ab, speziell auf die Rahmenbedingungen funktionsorientierter Produktionsstrukturen abgestimmte Werkstattsteuerungsmethoden zu entwickeln. In Abschnitt 2.1 der Arbeit sind die generellen Herausforderungen für Unternehmen mit Produktionen in Deutschland dargestellt. Die zunehmende Flexibilisierung von Kapazitäten (s. Abschnitt 2.2) zeigt, dass auf die Herausforderungen reagiert wird und stellt funktionale Anforderungen an die reifegradbasierte Werkstattsteuerung. Abschließend erfolgt auf Basis der aktuellen Situation beim Einsatz von IT-Systemen zur Unterstützung der Planung und Steuerung eine Abgrenzung des Funktionsumfangs (s. Abschnitt 2.3).

2.1 Herausforderungen für Produktionen in Deutschland

Globalisierte Märkte, zunehmender Wettbewerb aus sogenannten Billiglöhnländern und die zunehmende Komplexität in der Herstellung kundenindividueller Produkte stellen die Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen am Standort Deutschland auf den Prüfstand. Steigende Reallöhne, wenig Jahresarbeitstage, im EU-Vergleich

¹ Der organisatorische Reifegrad bezeichnet die Prozessfähigkeit in einem Unternehmen. Der Reifegrad definiert die Gütestufen (z.B. ad hoc bis optimierend)

hohe Arbeitskosten je Stunde [Bun07] stellen die aktuelle Ausgangssituation Deutschlands im Wettbewerb um Produktionsstandorte dar. Die hohe Arbeitslosigkeit und das Fabrik-Nomadentum [ERZ05] setzen Gesetzgeber, Wirtschaft und Forschung unter Zugzwang einen Trendwechsel einzuleiten. Zum Erhalt und zur Ausweitung der Beschäftigung benötigt die Wirtschaft Effizienz und Flexibilität in der Produktion [Wes07].

2.2 Produzieren nach Bedarf

In Ihrer Studie „Mehr Luft zum Atmen“ [IHK04] zeigt die Industrie und Handelskammer Baden-Württemberg auf, dass Unternehmen auf die zunehmenden Flexibilitätsanforderungen durchaus reagieren. Die Untersuchungen belegen, dass eine Trendwende, sowohl bei der flexiblen Verteilung des vorhandenen Arbeitsvolumens als auch bei der flexiblen Festlegung der Länge der individuellen Arbeitszeiten erkennbar ist. Die Verbreitung institutionalisierter flexibler Arbeitszeitmodelle hat in den letzten Jahren zugenommen. Fujitsu-Siemens zum Beispiel nutzt diese Potenziale, um die letzte Fabrik, in der Deutschland Computer baut zu betreiben. In ihrer Fabrik in der Nähe von Augsburg entscheiden die Arbeiter morgens, ob sie an diesem Tag sechs, sieben oder acht Stunden bleiben und Mitte der Woche wird festgelegt, ob die Woche Donnerstags, Freitags oder erst am Samstag endet [Heu05]. Dies bringt Siemens ein Maß an Flexibilität, was vor Jahren in Deutschland undenkbar gewesen wäre. BMW begründet seine Entscheidung einen neuen Produktionsstandort in Leipzig zu eröffnen mit der Flexibilität, die es ermöglicht je nach Auftragslage das Werk zwischen 60 und 140 Stunden pro Woche zu betreiben [KM05]. Diese Praxisbeispiele zeigen, wie trotz des unmittelbaren Nachteils der hohen Lohnkosten, kundenorientierte Produktion in Deutschland möglich ist. Den Unternehmen ist es gelungen die Reaktionszeit auch für größere Kapazitätsveränderungen zu verkürzen (s. Bild 2.1).

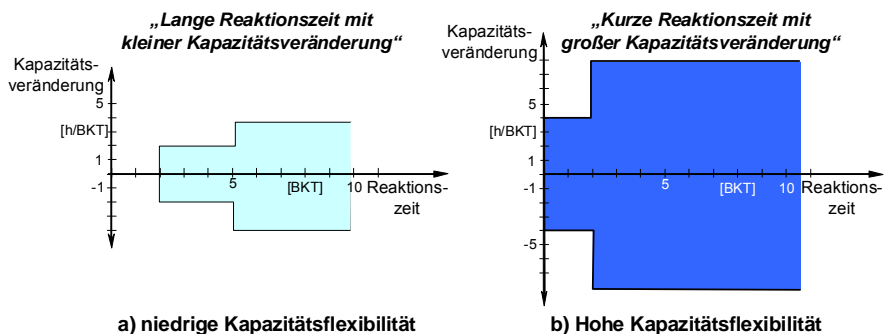


Bild 2.1: Reaktionszeit für Kapazitätsveränderungen bei starren und flexiblen Produktionen (nach J.-W. Breithaupt)

Dies verdeutlicht den Wandel in der strategischen Unternehmensausrichtung hin zu marktorientierten Zielgrößen, wie kurzen Lieferzeiten und hoher Liefertreue. Es gilt zunehmend die Leitlinie: „Die Kunden bestimmen die Arbeitszeit“. Die Süddeutschen Elektromotoren-Werke (SEW-Eurodrive) [Sod05] haben diese Philosophie des „Arbeiten nach Bedarf“ als eine Gestaltungsstrategie für Ihr unternehmensspezifisches Wertschöpfungssystem festgelegt. Die Einbeziehung flexibler Kapazitäten auf allen Entscheidungsebenen des Auftragsmanagements ist eine wesentliche Anforderung an moderne PPS-Methoden [Spa01]. Daraus folgt für die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung:

- ☞ *Die methodische Unterstützung des gezielten Einsatzes flexibler Kapazitäten ist eine wesentliche Anforderung an die reifegradbasierte Werkstattsteuerung.*

2.3 Hilfsmittel zur Planung und Steuerung

Bei der Entwicklung eines Werkstattsteuerungsverfahrens beeinflusst die Einbindung des Verfahrens in Informationssysteme und deren Funktionsumfang die Praxistauglichkeit. Aus dem Funktionsumfang des überlagerten Planungssystems und dessen Schwächen wird der funktionale Schwerpunkt der reifegradbasierten Werkstattsteuerung abgeleitet (s. Abschnitt 2.3.1). Die organisatorischen Rahmenbedingungen und Fähigkeiten von Unternehmen bei Umfang und Pflege des Planungsinput legen die funktionalen Entwicklungsstufen von PPS- Systemen fest (s. Abschnitt 2.3.2).

2.3.1 ERP-Systeme als überlagertes Planungssystem

ERP²-Systeme unterstützen die IT-technische Abbildung der Geschäftsprozesse in einem Unternehmen. Sie beinhalten verschiedene Funktionsgruppen (Materialwirtschaft, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling, Personalwirtschaft, Stammdatenverwaltung, etc.). Heutige ERP-Systeme stellen damit eine Funktions- und Aufgabenerweiterung des von Orlicky [Orl73] entwickelten klassischen MRP³-Ansatzes dar. Die entwickelten MRP-Algorithmen sind immer noch fester Bestandteil heutiger ERP-Systeme. Dabei steuert der MRP-Algorithmus die Auflösung der Bedarfe in Fertigungsaufträge für die Produktion und Bestellungen für die Materialbeschaffung. Der Auftragsdurchlauf wird durch das ERP-System, entweder über artikelbezogene Wiederbeschaffungszeiten ohne Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten oder detaillierter mit arbeitsvorgangsbezogenen Plandurchlaufzeiten, mit oder ohne Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten, geplant. Unternehmensbefragungen und Studien zeigen, dass Mittelständler [RBW02] und Unternehmen im Bereich Maschinen und Anlagenbau [SW05] zur Planung und Steuerung der innerbetrieblichen Auftragsabwicklung fast ausschließlich ERP-Systeme auf Grundlage des MRP- Ansatzes einsetzen.

² Enterprise Resource Planning

³ Material Requirement Planning

Die Schwächen des MRP-Ansatzes wurden in der Literatur ausführlich diskutiert und führten zur Entwicklung ergänzender oder ersetzender PPS- Methoden. Dabei wurden vor allem folgende Nachteile des MRP in Theorie und Praxis diskutiert (siehe zum Beispiel [HS96: 109f], [Sur98: 201ff]):

- keine angemessene Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen führt zu Überlastung der Produktion und unrealistischen Planvorgaben,
- Planung gegen finite Kapazitäten (MRP II⁴ s. [Wig84]) berücksichtigt die vorhandene Kapazitätsflexibilität nicht angemessen.
- lose Kopplung von Planung und Steuerung sorgt für Abweichungen zwischen MRP-Plan und Realität und führt zu Akzeptanzproblemen und Parallelplanungen in der Ausführungsebene,
- lange Plandurchlaufzeiten führen zu hohen Beständen,
- mittelwertbasierte Planung berücksichtigt streuende Durchlaufzeiten nicht angemessen,
- keine angemessene Unterstützung bei der Auftragsfreigabe und Reaktion auf Planabweichungen (Rückstand, Maschinenausfall, etc.),

Trotz der Schwächen des MRP- Ansatzes sorgt der hohe Verbreitungsgrad von ERP-Systemen dafür, dass für die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung abgeleitet werden kann:

- ☞ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung muss sich in die bestehende IT-Landschaft mit einem führenden ERP-System integrieren lassen. Die aufgeführten Schwächen des MRP-Ansatzes in der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung sind mit dem ergänzenden Einsatz der RWS zu beseitigen.*

2.3.2 Funktionale Entwicklungsstufen von PPS-Systemen

Bild 2.2 stellt die verschiedenen Reifegradstufen für den Betrieb von PPS-Systemen vereinfacht dar und charakterisiert sie mit Blick auf typische Aussagen der PPS-Verantwortlichen [Bor07]. Die beispielhafte Zuordnung von PPS-Methoden und -systemen zu einer Reifegradstufe verdeutlicht den funktionalen Entwicklungsstand der PPS.

- Unternehmen, ohne vorausschauende Planung der Produktionsabläufe verlassen sich ausschließlich auf die Fähigkeiten der Ausführungsebene. Die Aussage „Helden retten täglich die Termine“ charakterisiert damit das Grundverständnis der Handelnden.
- Auf der nächsten Stufe erzeugt eine grobe Planung Freiraum in der Ausführung, so dass die Aussage „Flexibilität ist unsere Stärke“ das Selbstverständnis der PPS-Verantwortlichen charakterisiert.

⁴ Manufacturing Resources Planning

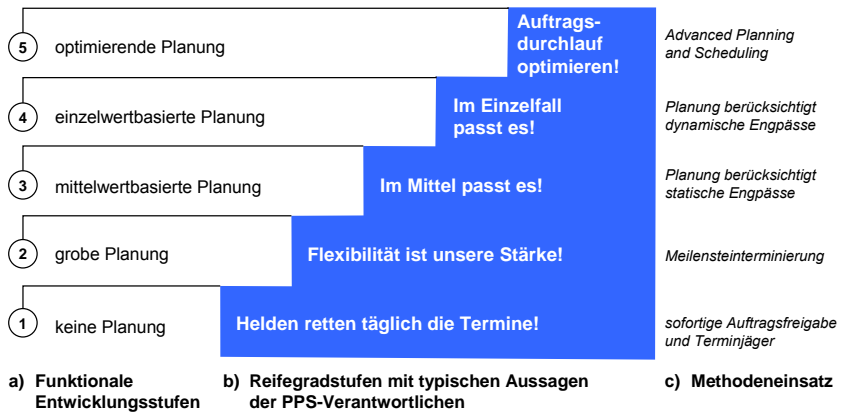


Bild 2.2: Entwicklungsstufen im Betrieb von Planungs- und Steuerungssystemen

- Die Aussage „im Mittel passt es“, auf der dritten Stufe bezieht sich auf Planungsgrößen wie Wiederbeschaffungszeiten und Kapazitätsangebote, die im Mittel über einen längeren Zeitraum ausgewertet, mit den Ist-Durchlaufzeiten und Kapazitätsbedarfen übereinstimmen.
- Das Ziel bei der Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung ist es, auf Basis eines MRP-Planungsansatzes eine hohe logistische Leistung zu realisieren und Unternehmen so zu entwickeln, dass die Aussage „im Einzelfall passt es“ formuliert werden kann. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte jedoch keine komplexen Optimierungsalgorithmen und hierfür notwendige Softwaresysteme (APS⁵-Systeme, MES⁶-Systeme) voraussetzen.

Bei vielen Unternehmen sind diese Voraussetzungen nicht gegeben und mit begrenzten Ressourcen im Bereich Planung und Steuerung [WS96: 34f] ist es wichtig, sich realistisch im Spannungsfeld zwischen manuellem PPS-Aufwand und Aufwand für die Daten-/ Systempflege zu positionieren. Anwenderzufriedenheitsstudien belegen, dass für viele Unternehmen der aufwendige Datenpflegeprozess eines der dringlichsten Probleme in Bezug auf den Systembetrieb ist [Tro04: 68]. In Bild 2.3 ist dieses Spannungsfeld beispielhaft dargestellt. Die Datenkomplexität ist gekennzeichnet durch den Datenumfang und den Aufwand zur Datenerhebung. Die Auswertung von Unternehmensumfragen zur Durchgängigkeit der Stammdatenpflege [SW05] zeigt jedoch zum Teil erhebliches Verbesserungspotenzial. Die mangelnde Qualität der Stamm- und Bewegungsdaten wird als ein Stolperstein der PPS bezeichnet [WWC05].

⁵ Advanced Planning and Scheduling
⁶ Manufacturing Execution Software

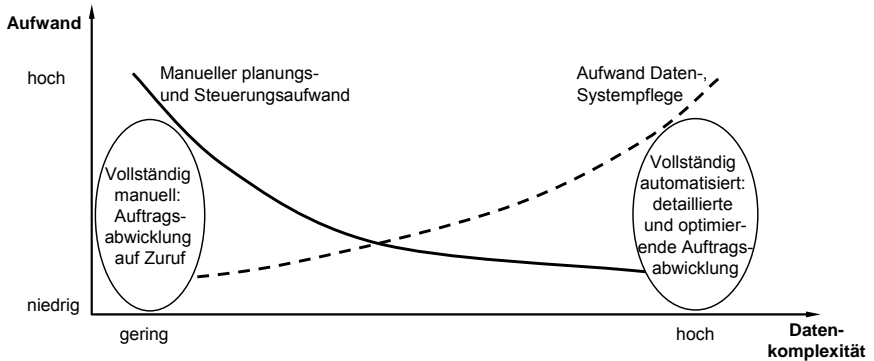


Bild 2.3: Spannungsfeld zwischen dem Aufwand für Daten- / Systempflege und manuellem Planungs- und Steuerungsaufwand

Als Ursache hierfür werden technische Mängel (z.B. mangelhafte Anbindung von IT-Systemen) und vor allem organisatorische Schwächen (z.B. kein geschlossener Regelkreis zur Verarbeitung von Rückmeldungen) angeführt. Für die Konzeption der reifegradbasierten Werkstattsteuerung kann deshalb abgeleitet werden:

- ☞ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte mit einer möglichst geringen Datenkomplexität einen hohen logistischen Nutzen erreichen. Der Aufwand für den Betrieb der reifegradbasierten Werkstattsteuerung sollte in Abhängigkeit von den Unternehmensvoraussetzungen angepasst werden können.*

3 Anforderungen an die reifegradbasierte Werkstattsteuerung

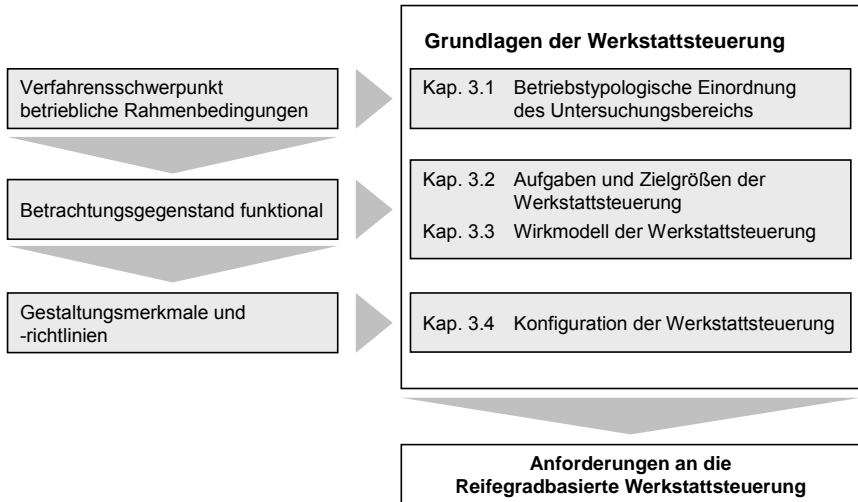



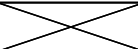
Bild 3.1: Aufbau Kapitel 3 zur systematischen Ableitung der Grundlagen und Anforderungen

Das dritte Kapitel beschreibt die Grundlagen der Werkstattsteuerung. Abschnitt 3.1 grenzt den im Schwerpunkt betrachteten Unternehmenstyp mit Hilfe von, für die Werkstattsteuerung relevanten Merkmalen ab. Die Einordnung der Werkstattsteuerungsaufgaben im Umfeld der Planung und Steuerung mit den logistischen Zielgrößen stellt den Betrachtungsgegenstand der Werkstattsteuerung dar (s. Abschnitt 3.2.). Das Wirkmodell der Werkstattsteuerung bringt die Aufgaben und Zielgrößen in einen logischen Zusammenhang mit Wechselwirkungen, Stell- und Regelgrößen (s. Abschnitt 3.3). Das logistische Leitbild beschreibt die funktionalen Anforderungen an die Konfiguration der Werkstattsteuerung. Der Erfolg der Lean Production Bewegung erfordert eine Berücksichtigung der Leitlinien und Grundsätze für die Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens (s. Abschnitt 3.4).

3.1 Betriebstypologische Einordnung des Untersuchungsbereichs

In der vorliegenden Arbeit stehen Sachgüter produzierende Unternehmen im Betrachtungsfokus. Zur Charakterisierung des in dieser Arbeit angesprochenen Unternehmenstyps werden in der Folge die Differenzierungskriterien bekannter betriebstypologischer Einordnungen erweitert. Die bekannteste Einordnung von Unternehmen hinsichtlich ihrer Produktionsplanung und -steuerungsaufgaben wurde von Schomburg erstellt [Scho80: 88f] und von Büdenbender sowie Sames weiterentwickelt [Büd91: 51]; [SB90: 1f]. Das Ergebnis der Arbeiten ist ein morphologischer Kasten

mit mehreren Merkmalen, anhand derer eine Beschreibung von Unternehmenstypen möglich ist. Die für die hier durchgeführte Eingrenzung wichtigsten Merkmale sind zusammen mit weiteren, für die Arbeit relevanten Merkmalen in Bild 3.2 aufgeführt:

Merkmale		Ausprägungen			
Artikel	Kundenbezug des Produktes	kunden-spezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt (mit Varianten)	Standardprodukt
	Stücklistentiefe / Dispositionsstufen	viele	wenige	einstufig	Handel (inkl. externe Produktion)
Ressource	Fertigungsprinzip	Werkstatt	Insel	Linie	
	Materialfluss-komplexität	komplex mit Rückflüssen	komplex	überschaubar	einfach
	Engpass	wechselnd (Zeit und Ort)	stabil	kein	
Auftrag	Bevorratungs-strategie	engineer-to-order	make-to-order	assemble-to-order	make-to-stock
	Auftragstyp	Einzelstück	Kleinserie	Serie	Großserie Massenfertigung
	Teilefluss	Chargen	losweiser Transport	überlappte Fertigung	One-Piece Flow

■ in dieser Arbeit im Schwerpunkt betrachtete Ausprägungen

Bild 3.2: Merkmalschema zur ablauforganisatorischen Kennzeichnung von Unternehmenstypen (nach E. Schomburg)

Die verwendeten Strukturgrößen sind nach den Grundobjekten des Auftragsmanagement Artikel, Ressource und Auftrag [WieH02: 46] strukturiert.

3.1.1 Artikelspezifische Merkmale

Das Merkmal *Kundenbezug des Produkts* gibt an, inwieweit das angebotene Produktspektrum standardisiert ist. Bei stark wachsenden Unternehmen trifft man häufig auf ein nicht standardisiertes Produktspektrum. Die Kunden formulieren im Extremfall bei jeder Anfrage neue Anforderungen, die erst nach technischer Klärung für die Produktion freigegeben werden. In diesem Fall ist jedes Produkt kundenspezifisch. Neben den kundenspezifischen Produkten existiert bei Unternehmen, in Abhängigkeit Ihres Marktalters, eine Historie an schon gefertigten Produkten, die in sogenannten Produktfamilien geordnet sind. Produktfamilien repräsentieren ähnliche Produktvarianten. Kriterien zur Familienbildung sind vertriebsorientiert (z.B. Zusammenfassen nach Kunden), konstruktions- und arbeitsplanorientiert (z.B. Zusammenfassen nach Produktgeometrien) oder fertigungsorientiert (z.B. Zusammenfassen nach Ressourcenbedarf) [Zim88: 229f]. Der oftmals hohe Kundenbezug der Produkte impliziert eine hohe Variantenvielfalt und eine geringe Wiederholhäufigkeit.

Das Merkmal *Stücklistentiefe/Dispositionsstufen* kennzeichnet den konstruktionsbedingten Aufbau und die Anzahl zu disponierender Artikel für das Endprodukt aus

Sicht des Unternehmens. In dieser Arbeit werden Unternehmen betrachtet, die Produkte mit einer geringen / mittleren Anzahl Stücklistenebenen (1 bis 5) herstellen. Unternehmen mit Handelsprodukten ohne eigene Wertschöpfung werden nicht betrachtet. Produkte mit einer sehr tiefen Stücklistenstruktur (z.B. komplexe Werkzeugmaschinen, Schiffsbau, Anlagenbau) setzen andere Schwerpunkte in der Planung und Steuerung. Im Vordergrund stehen dann eine sachgerechte Bedarfsauflösung, ein Planen vernetzter Erzeugnisstrukturen und ein Überwachen komplexer Abhängigkeiten [Scho80: 44f]. Das Planen und Steuern komplexer Auftragsnetze ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Fazit aus der Analyse artikelspezifischer Merkmale:

- ☉ Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt unterstützen und Artikel mit einer mittleren Stücklistentiefe steuern können.

3.1.2 Ressourcenspezifische Merkmale

Das *Fertigungsprinzip* kennzeichnet die räumliche Anordnung, die Transportbeziehungen und die organisatorische Verantwortung über die Ressourcen und Ihre Beziehungen. In Bild 3.3 sind die gängigen Fertigungsprinzipien dargestellt [HS99: 88f], [WieP97a: 31f].

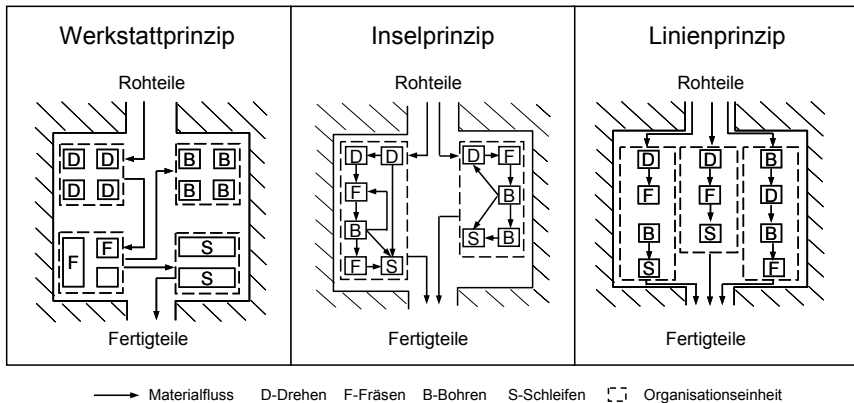


Bild 3.3: Unterschiedliche Fertigungsprinzipien: Räumliche Anordnung und Transportbeziehungen der Ressourcen (nach W. Eversheim)

Diese Arbeit betrachtet Unternehmen, deren Ressourcen nach dem Werkstattprinzip organisiert sind. Während bei der Werkstattfertigung die Nutzung von Skaleneffekten durch das Zusammenfassen ähnlicher Technologien im Vordergrund steht, setzt die Linienfertigung auf die Ausrichtung der Gesamtstruktur an Produkten, Märkten und Kunden. Hirschberg bezeichnet deshalb das Werkstattprinzip als funktionsorientierte

und das Linienprinzip als produktorientierte Produktionsstruktur [Hir00]. Folgende wesentlichen Vorteile einer funktions- bzw. produktorientierten Strukturierung der Produktion existieren:

Vorteile produktorientierter Strukturen:

- *klare Verantwortlichkeiten* für Qualität und Termine der Endprodukte und die schnelle Behebung von Störungen [Sur98: 88ff],
- geringe Varianz in den Auftragszeiten durch das begrenzte Produktionsprogramm und kurze Transportzeiten ermöglichen *geringe Umlaufbestände* und *kurze Durchlaufzeiten* [Sur98: 156ff], [NW03: 139].
- *kurze und konstante Durchlaufzeiten* vereinfachen die Durchlaufterminierung und *gerichtete Materialflüsse* die Kapazitätsplanung.

Vorteile funktionsorientierter Strukturen:

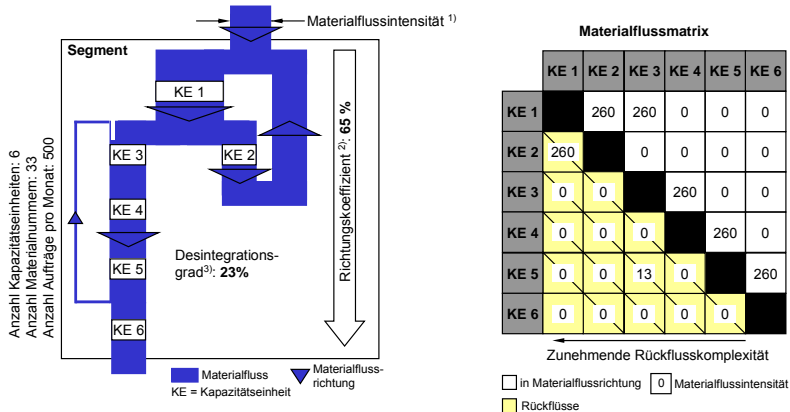
- *Technologisches Wissen* über Maschinen und Verfahren kann in einer Einheit der Werkstatt akkumuliert werden (insbesondere bei der Einführung neuer Technologien sinnvoll) [Hir00: 24],
- *höhere und weniger schwankende Auslastung* der Kapazitätseinheiten durch ein breites Produktspektrum, in dem sich Schwankungen ausgleichen,
- *mehr Flexibilität* bei einem sich ändernden Produktionsprogramm.

Produktionsoptimierungen nach den Grundsätzen des Lean Production [WJR90] oder Wertstromdesigns [RS00] setzen typischerweise eine produktorientiert segmentierte Produktion als wesentlichen Erfolgsfaktor für die Steigerung der logistischen Leistungsfähigkeit voraus. Unternehmen befinden sich in dem Spannungsfeld, Auslastungsverluste bei Ressourcen zur Steigerung der Logistikleistung zu akzeptieren. Aufgrund Ihrer begrenzten Kapitaldecke haben mittelständische Unternehmen Schwierigkeiten, in kapitalintensive Ressourcen für die produktorientierte Segmentierung zu investieren [Hen04: 355ff], [WS96], [RSLD05]. Die hohen Unsicherheiten durch ein schwankendes Produktionsprogramm, hohe Produktinnovationsraten und volatile Märkte führen dazu, dass die produktorientierte Segmentierung der Produktion vor allem bei Mittelständlern in vielen Fällen nicht möglich ist. Mittelständler müssen sich dann der Herausforderung stellen, in funktionsorientierten Strukturen eine hohe logistische Leistungsfähigkeit zu erreichen.

Die *Materialflusskomplexität* eines Segments⁷ setzt sich aus Konnektivität (Beziehungsvielfalt) und Varietät (Elementvielfalt) zusammen [Lüc99: 57f]. Demnach ist die Materialflusskomplexität durch die Varietät und Konnektivität der Materialien und Ressourcen in einem Segment gekennzeichnet.

- Aus *Planungssicht* beschreiben die Anzahl zu fertigender Materialnummern, die Anzahl planungsrelevanter Kapazitätseinheiten und die Anzahl zu fertigender Aufträge in einer Periode die Materialflusskomplexität.
- Aus *Steuerungssicht* charakterisiert der Richtungskoeffizient die Linearität der Materialflüsse und der Desintegrationsgrad den Grad der Vernetzung der einzelnen Kapazitätseinheiten über den Materialfluss.

In Bild 3.4 a ist beispielhaft ein Segment mit sechs Kapazitätseinheiten (kurz: KE) und den Materialflussbeziehungen dargestellt. Die Anzahl Kapazitätseinheiten, Materialnummern und Aufträge kennzeichnen aus Planungs- und der Richtungskoeffizient und Desintegrationsgrad aus Steuerungssicht die Materialflusskomplexität.



a) Kennzahlen der Materialflusskomplexität

b) Materialflussmatrix zur Berechnung der Kennzahlen

¹⁾ Messeinheit: Anzahl Aufträge, Anzahl Arbeitsvorgänge, Arbeitsstunden etc., ²⁾ gerichteter Materialflussanteil, ³⁾ Materialflussbeziehungen der KEs

Bild 3.4: Kennzahlen zur Bewertung der Materialflusskomplexität eines Segments

Bild 3.4 b zeigt die Materialflussmatrix⁸ zur Berechnung der Kennzahlen Richtungskoeffizient und Desintegrationsgrad. In der rechten oberen Hälfte der Materialflussmatrix sind alle Materialflussbeziehungen in Materialflussrichtung aufgeführt (=MO). Dagegen kennzeichnen alle Einträge in der linken unteren Hälfte der Materialflussmatrix Rückflüsse. Die Rückflusskomplexität nimmt mit der Anzahl erneut zu durch-

⁷ ein Segment umfasst mehrere Kapazitätseinheiten, die unabhängig von anderen Segmenten geplant und gesteuert werden können. PPS-Methoden können innerhalb einer Produktion von Segment zu Segment in Abhängigkeit der Anforderungen variieren.

⁸ Die Materialflussmatrix setzt voraus, dass jede KE eine feste Position im Materialfluss besitzt. Ein Verfahren zur Minimierung der Rückflüsse findet sich bei [Löd01: 64f].

laufender Kapazitätseinheiten zu (vgl. Bild 3.4 b Rückfluss von KE 5 zu KE 3 hat eine höhere Komplexität als Rückfluss von KE 2 zu KE 1). Der Desintegrationsgrad berechnet sich folgendermaßen [Sai75: 12]:

$$D = \frac{N}{M \cdot (M - 1)} \cdot 100 \quad \text{Gleichung 3-1}$$

Mit: D : Desintegrationsgrad [%]
 N : Anzahl Materialflussbeziehungen
 M : Anzahl Kapazitätseinheiten

Der Richtungskoeffizient berechnet sich mit Hilfe der Materialflussmatrix folgendermaßen [Sai75: 10]:

$$R = \frac{\sum MO - \sum MU}{\sum MO + \sum MU} \cdot 100 \quad \text{Gleichung 3-2}$$

Mit: R : Richtungskoeffizient [%]
 MO : Materialfluss in Materialflussrichtung [Anz. AGs,...]
 MU : Rückfluss entgegen der Materialflussrichtung [Anz. AGs,...]

Für das Beispiel aus Bild 3.4 berechnen sich der Desintegrationsgrad zu $D \sim 23\%$ ($= 7/30$) und der Richtungskoeffizient zu $R \sim 65\%$ ($= (1.300 - 273)/(1.300 + 273)$).

		Materialflusskomplexität			
		gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
Planungs- sicht	Anzahl Kapazitätseinheiten	1-5	5-20	20-70	> 70
	Anzahl Materialnr./Jahr	1-10	10-50	50-500	> 500
	Anzahl Aufträge/Monat	1-10	10 -100	100 -1.000	> 1.000
Steuerungs- sicht	Desintegrationsgrad	0%-15%	15%-30%	30%-50%	> 50%
	Richtungskoeffizient	100%-90%	90%-80%	80%-40%	< 40%

Bild 3.5: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungs- und Steuerungssicht

Bild 3.5 gibt für jede Kennzahl Intervalle zur Beurteilung der Materialflusskomplexität an. Die funktionsorientierte Segmentierung einer Werkstattfertigung verursacht in den meisten Fällen eine hohe Materialflusskomplexität aus Planungs- und Steuerungssicht.

- *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung konzentriert sich auf Werkstattstrukturen mit komplexen bis sehr komplexen Materialflüssen.*

Goldratt hat Anfang der achtziger Jahre betont, dass *Engpassressourcen* die Logistikleistung einer Produktion wesentlich beeinflussen [Gol81]. Er empfiehlt deshalb die Engpässe zu identifizieren, die den Durchsatz der Produktion festlegen. Diese Engpässe erfordern erhöhte Aufmerksamkeit, um Durchsatzverluste zu vermeiden. Die besondere Berücksichtigung der Auslastung von Engpasskapazitäten ist deshalb ein Leitsatz zur Gestaltung von Fertigungssteuerungsverfahren [Löd01: 26]. Bild 3.6 stellt in Anlehnung an die Unterscheidung statischer und dynamischer Engpässe [WieH02: 202f] verschiedene Engpasssituationen einer Produktion dar.

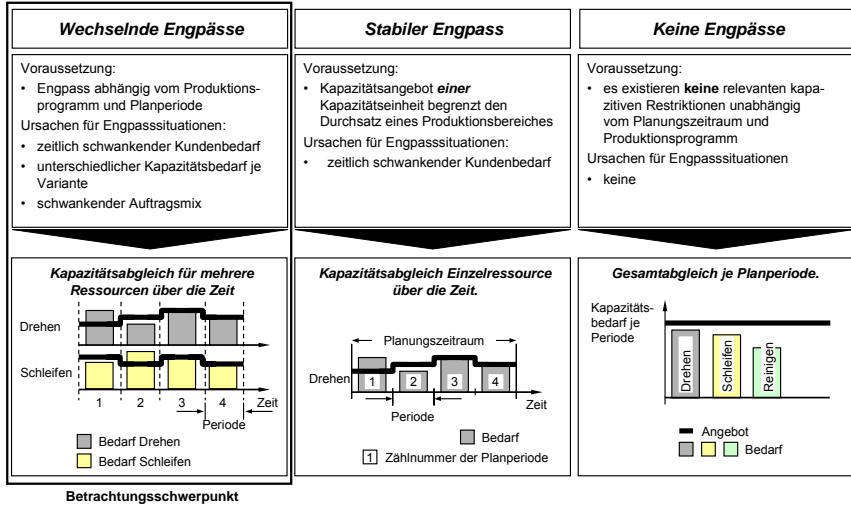


Bild 3.6: Engpasssituationen: Voraussetzungen, Ursachen und Handlungsbedarf

Existieren keine Engpässe, übersteigt das Kapazitätsangebot in jedem Fall den Kapazitätsbedarf. In diesem Fall reicht es aus, eine auftragsbezogene Bedarfsermittlung zur Kapazitätsbereitstellung durchzuführen. Für eine wirtschaftliche Produktion ist es in der Regel jedoch erforderlich, das installierte Kapazitätsangebot auf den -bedarf abzustimmen. Bedarfsschwankungen können bei einem im Mittel ausreichenden Kapazitätsangebot trotzdem Engpässe verursachen. Aufgabe der Kapazitätsplanung und -steuerung ist es diese temporären Engpasssituationen zu entschärfen. Bezogen auf die Kapazitätseinheiten existieren stabile und wechselnde Engpässe. Ein stabiler Engpass ist unabhängig vom Produktionsprogramm der limitierende Faktor für den Durchsatz der Produktion. Wechselnde Engpässe treten bei einer hohen Variantenvielfalt auf, wenn der Kapazitätsbedarf je Variante schwankt und neben dem Gesamtbefehl auch der Auftragsmix schwankt. In Bild 3.6 unten sind Strategien im Rahmen der Kapazitätsplanung und -steuerung zur Vermeidung von Engpasssituationen dargestellt. Existieren keine Engpässe, reicht es aus, den Kapazitätsbedarf

periodenbezogen zu ermitteln. Stabile Engpässe erkennt man durch einen zeitlichen Kapazitätsabgleich am Engpass. Wechselnde Engpässe erfordern einen zeitlichen Kapazitätsabgleich an mehreren Ressourcen. In funktionsorientierten Werkstattstrukturen mit einer hohen Variantenvielfalt, schwankendem Bedarf und Auftragsmix erfordern wechselnde Engpässe eine differenzierte Kapazitätsplanung und -steuerung.

Fazit aus der Analyse ressourcenspezifischer Merkmale:

- ☞ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte dazu beitragen, die hohe Materialflusskomplexität mit wechselnden Engpässen in funktionsorientierten Strukturen angemessen zu berücksichtigen.*

3.1.3 Auftragspezifische Merkmale

Die *Bevorratungsebene* bildet die Grenzlinie zwischen kundenauftragsneutraler und -bezogener Produktion (s. Bild 3.7). Sie ist der Ort in der Wertschöpfungskette, ab dem ein produzierter Artikel einem Kundenauftrag genau zuzuordnen ist, vgl. [Zim88:391]; [Aki99: 18]. Im Hinblick auf die Gestaltung einer Produktion sind die Lage der Bevorratungsebene und die Bestandshöhe festzulegen. Dabei hängt die Bevorratungsstrategie im Wesentlichen von markt-, artikel- und prozessbezogenen Faktoren ab [Kir04: 31f]. In Bild 3.7 sind in Anlehnung an [HLT96: 15] die vier Bevorratungsstrategien Engineer to order, Make to order, Assemble to order und Make to stock mit der zugehörigen Bevorratungsebene dargestellt. In dieser Arbeit sind Unternehmen im Betrachtungsfokus, bei denen die Produkte einen hohen Kundenbezug aufweisen, der Kundenbedarf schwankt und die Produktionsdurchlaufzeit größer einer Woche ist. In der Regel sind dies Unternehmen mit den Bevorratungsstrategien Make to order oder Engineer to order. Der hohe Kundenbezug und die hohe Variantenvielfalt stehen einer Lagerstufe auf Baugruppen- oder Endproduktebene entgegen, so dass die Produktionsdurchlaufzeit die Lieferzeit bestimmt. Die Werkstattsteuerung muss deshalb zu einer hohen Transparenz im Auftragsdurchlauf beitragen und effiziente Regelmechanismen beinhalten, die eine termingerechte Fertigstellung des Auftrags bei längeren Durchlaufzeiten sicherstellt. Aufgrund des hohen Kundenbezugs und der fehlenden Bevorratungsebenen besteht keine Möglichkeit, Bedarfschwankungen über Bestände abzufedern und damit die Produktion zu beruhigen. Für die Reaktion auf Bedarfsschwankungen existieren bei der Werkstattsteuerung zwei Möglichkeiten:

- Die *Kapazitätsflexibilität* ermöglicht es den Schwankungen des Kapazitätsbedarfs zu folgen (= bedarfsgerechte Kapazitätsbereitstellung). Kapazitätsflexibilität entsteht durch die Investition in zusätzliche Betriebsmittel, flexible Arbeitszeitmodelle und Mehrfachqualifikation der Mitarbeiter. Flexible Personalkapazitäten stehen dabei im Fokus.

- Die *Belastungsflexibilität* befähigt Unternehmen Schwankungen des Kapazitätsbedarfs zu verringern (= Bedarfsglättung) [Löd05: 106f]. Belastungsflexibilität entsteht durch die Möglichkeit Aufträge abzulehnen, fremd zu vergeben und den Start- oder den Endtermin eines Auftrags zu verschieben. Die Endtermine sind in der Regel wenig flexibel. Starttermine können verschoben werden, wenn die Durchlaufzeit eines Auftrags kleiner als die Lieferzeit ist.

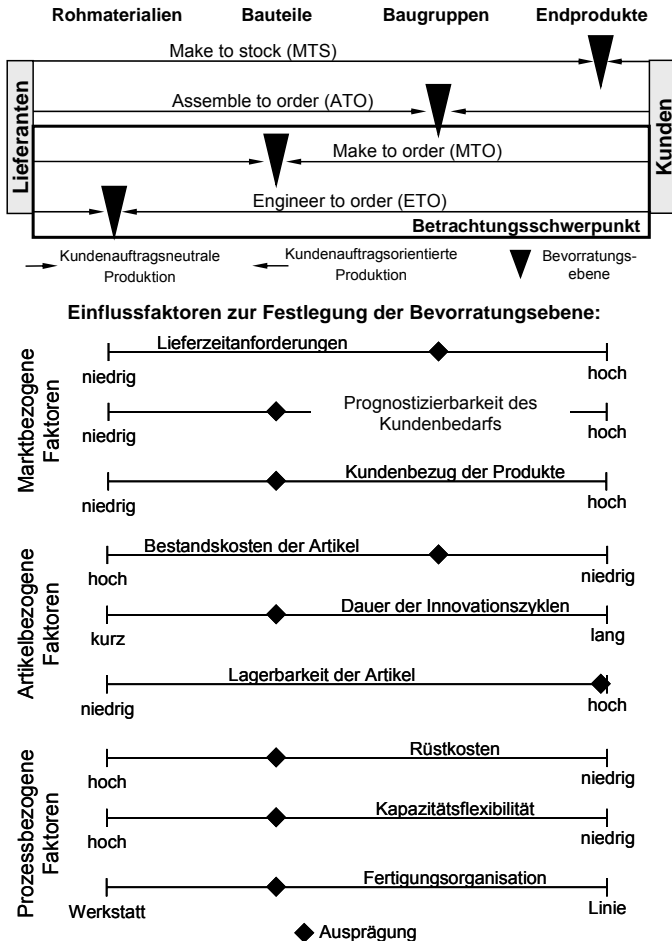


Bild 3.7: Bevorratungsstrategien und Einflussfaktoren auf die Festlegung der Bevorratungsebene

Das Merkmal *Auftragstyp* charakterisiert die Häufigkeit der Leistungswiederholung im Auftragsabwicklungsprozess und entspricht dem Merkmal *Fertigungsart* bei Schomburg [Scho80: 68f]. Als Messgrößen werden die Auflagenhöhe der Fertigungsaufträ-

ge und die Wiederholhäufigkeit gleicher oder sehr ähnlicher Fertigungsobjekte herangezogen [HS99: 86]. Mit Hilfe der in Bild 3.8 dargestellten Intervalle der Kriterien Auflagenhöhe und Wiederholhäufigkeit werden die verschiedenen Auftragstypen quantitativ charakterisiert.

	Auftragstyp			
	Einzelstück	Kleinserie	Serie	Großserie
Auflagenhöhe Erzeugnis	gering	< 50	> 50	sehr groß
Wiederholhäufigkeit pro Jahr	keine	< 12	< 24	ununterbrochen

Bild 3.8: Kriterien und Ausprägungen des Merkmals Auftragstyp (nach W. Eversheim)

Mit zunehmender Wiederholhäufigkeit und Auflagenhöhe steigen die Erfahrungswerte über den Produktionsablauf und es können Skaleneffekte realisiert werden. Die zunehmende Erfahrung ermöglicht es, Abläufe zu standardisieren, um eine hohe Prozessstabilität zu erreichen. Skaleneffekte treten vor allem in den arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten auf. Arbeitspläne, Stücklisten, Zeichnungen etc. müssen bei hoher Wiederholhäufigkeit seltener neu generiert werden. Kleinserien- und Einzelstückfertiger haben deshalb einen erhöhten Aufwand bei den arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten und besitzen weniger Standards aus Erfahrungen, die störungsfreie Abläufe ermöglichen. Die Werkstattsteuerungsmethoden müssen Unternehmen deshalb dabei unterstützen mit vergrößerten Arbeitsunterlagen Aufträge durch die Werkstatt zu steuern.

Das Merkmal *Teilefluss* hat Einfluss auf die Bestände und Durchlaufzeiten einer Fertigung [Löd05: 98f]. Der Idealzustand ist der One-Piece Flow (Einzelstückfluss), bei dem das Werkstück direkt nach seiner Bearbeitung zum nächsten Arbeitssystem transportiert wird. Die arbeitsvorgangbezogene Durchlaufzeit enthält keine Liegezeitanteile. In der Planung wird ein Produktionsabschnitt, der einen Teilefluss nach dem One-Piece Flow realisiert hat, als eine Kapazitätseinheit betrachtet. Die Arbeitsstationen sind direkt miteinander gekoppelt.

Die Auftragslosgröße ist unabhängig von der Transportlosgröße. Kriterien zur Festlegung des geeigneten Teilefluss sind die Produktgeometrien und -gewichte, Prozessstabilität, räumliche Entfernung der Arbeitsstationen, die Streuung der Bearbeitungszeiten und die Rüstzeiten (s. Bild 3.9). Die überlappede Fertigung koppelt Arbeitsstationen

	One-Piece Flow
Teilegewicht	< 12 kg
Teilegeometrie	klein
Prozessstabilität (Verfügbarkeit)	hoch
Entfernung Arbeitsstationen	sehr nah
Streuung Bearbeitungszeiten	gering
Rüstzeiten	vernachlässigbar

Bild 3.9: Kriterien für einen Einzelstückfluss

ebenfalls eng miteinander. Die Transportlosgrößen sind unabhängig von den Auftragslosgrößen. Eine überlappte Fertigung ist vor allem bei kapazitätsunkritischen Arbeitsstationen und Mehrmaschinenbedienung sinnvoll, um Durchlaufzeiten zu verkürzen. Beim losweisen Transport entspricht die Auftragslosgröße der Transportlosgröße. In einer Werkstattfertigung werden Aufträge in der Regel als Auftragslos transportiert, um vor allem den Steuerungsaufwand zu reduzieren. Teilt sich ein Auftrag in mehrere Transportlosgrößen auf, muss sichergestellt sein, dass die Informationen über den Auftrag (z.B. Liefertermin, Menge, etc.) jederzeit verfügbar und transparent sind. Einzelne Arbeitsstationen bearbeiten Ihre Aufträge entkoppelt von anderen Arbeitsstationen. Die Chargenfertigung wird bei starren Rüstzeitrestriktionen angewendet (z.B. Walzzyklus). Mehrere Lose, die sich bzgl. Werkstoff, Geometrie oder sonstigen Kriterien ähneln, werden zu Chargen zusammengefasst. Bei der Chargenfertigung dominieren die technologischen Restriktionen die Bearbeitungsreihenfolge. Die Planung und Steuerung von Chargenprozessen sollte die Reihenfolgerestriktionen angemessen berücksichtigen, ohne dabei die marktbezogenen Erfolgsfaktoren (Einhaltung des Liefertermins, kurze Lieferzeiten) aus den Augen zu verlieren.

Fazit aus der Analyse auftragspezifischer Merkmale:

- ☞ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte bei einem hohen Kundenbezug der Aufträge dazu beitragen, Bedarfsschwankungen durch den Einsatz flexibler Kapazitäten zu beherrschen. Die längeren Produktionsdurchlaufzeiten erfordern eine hohe Transparenz im Auftragsdurchlauf und effiziente Regelmechanismen, um bei auftretenden Abweichungen angemessen zu reagieren.*

3.2 Aufgaben und Zielgrößen der Werkstattsteuerung

Dieser Abschnitt beschreibt die Aufgaben und Ziele der Werkstattsteuerung. Die Aufgaben werden mit Hilfe der PPS-Aufgabenstruktur nach Hackstein [Hac89] beschrieben (Abschnitt 3.2.1.). Abschnitt 3.2.2 erläutert die Zielgrößen der Werkstattsteuerung: Termintreue, Durchlaufzeit, Umlaufbestand und Auslastung.

3.2.1 Aufgaben der Werkstattsteuerung

Die Werkstattsteuerung ist im Themenfeld der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) einzuordnen. Die PPS hat die Aufgabe, das laufende Produktionsprogramm in regelmäßigen Abständen nach Art und Menge für mehrere Planperioden im Voraus zu planen und unter Beachtung von gegebenen Kapazitäten und Störungen möglichst gut zu realisieren [WieP97a: 250f]. Um das zentrale Ziel der PPS, das Erfüllen von Kundenaufträgen zu betonen, wird der Begriff PPS in der Literatur auch durch Auftragsmanagement ersetzt [WieH02]. Westkämper ordnet die Aufgaben zur Organisation des Auftragsdurchlaufes dem Auftragsmanagement zu und sieht in der Produktionsplanung und -steuerung die EDV-gestützte organisatorische Planung, Steue-

nung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand [Wes06: 178f].

In Bild 3.10 ist die klassische PPS-Aufgabenstruktur nach Hackstein [Hac89] dargestellt. Die Produktionsplanung besteht aus den Teilgebieten Programmplanung, Mengenplanung und Termin- und Kapazitätsplanung. Die *Programmplanung* legt die zeitlichen und mengenmäßigen Angaben über die künftige Produktion fest. Der im Produktionsprogramm fixierte Primärbedarf leitet sich aus den vorliegenden Kundenaufträgen und/oder aus dem geltenden Verkaufsprogramm ab [Hac89: 10f]. Die langfristige Programmplanung ist eine rollierende Planung mit einem Planungshorizont zwischen 0,5 und 2 Jahren [NSM99: 31]. Auf Basis der Programmplanung wird in der *mittelfristigen Mengenplanung* der Bedarf an Eigen- und Fremtteilen nach Art, Menge und Termin bestimmt. Die hierzu notwendigen Funktionen sind in Bild 3.10 dargestellt. Das Ergebnis der Mengenplanung sind Fertigungsaufträge für die Produktion und Bestellaufträge für den Einkauf. Für die Fertigungsaufträge schließt sich die *mittelfristige Termin- und Kapazitätsplanung* an. Die Durchlaufterminierung bestimmt, ausgehend vom Endtermin und der Produktionswiederbeschaffungszeit für den Artikel, den Starttermin des Auftrags. Die Kapazitätsplanung ermittelt den aus der Durchlaufterminierung resultierenden Kapazitätsbedarf (arbeitsvorgang-, engpass- oder produktionsbezogen) und entscheidet unter Umständen über Kapazitätsanpassungen (z.B. Überstunden), Kapazitätsabgleich (zeitliches Verschieben von Aufträgen) und Fremdvergabe.

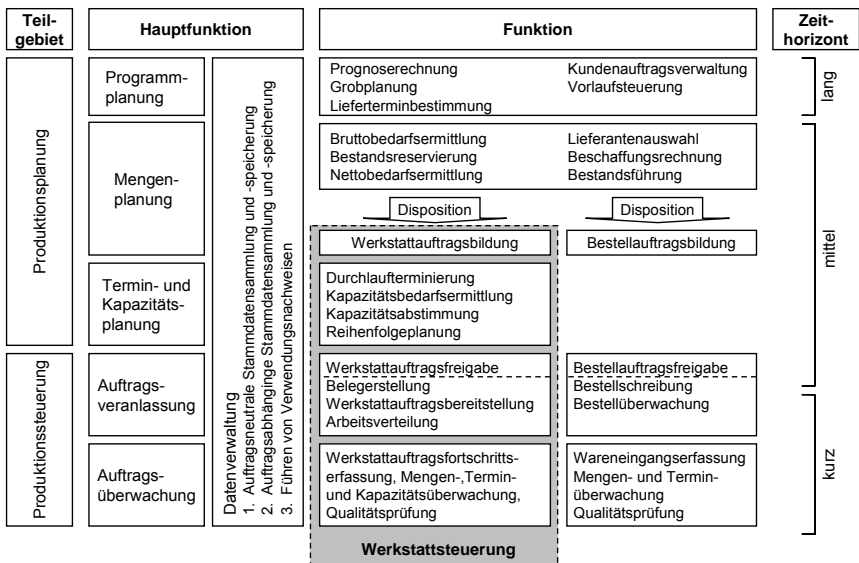


Bild 3.10: Klassische PPS-Aufgabenstruktur (nach R. Hackstein)

Das Ergebnis der Termin- und Kapazitätsplanung sind terminierte Fertigungsaufträge unter Berücksichtigung der Kapazitätsrestriktionen. Damit ist die mittel- bis langfristige Produktionsplanung abgeschlossen. Die *Produktionssteuerung* wird in die Teilgebiete Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung unterteilt. Bei der *Auftragsveranlassung* geht es um die Durchsetzung des Fertigungsprogramms [Hac89: 15]. Die Werkstattauftragsfreigabe prüft kurze Zeit vor dem Starttermin der Fertigungsaufträge, ob alle Voraussetzungen zur Auftragsdurchführung gegeben sind (z.B. Material-, Kapazitäts-, Werkzeugverfügbarkeit). Diese Funktionen laufen meist wöchentlich mit einem mittelfristigen Zeithorizont von bis zu sechs Monaten ab. Die freigegebenen Fertigungsaufträge werden in Form eines Belegungs- und Terminplans einzelnen Arbeitsplätzen zugeordnet und mit den Auftragsbegleitpapieren und dem Material bereitgestellt. Die Arbeitsverteilung und Bereitstellung erfolgt in der Regel täglich mit einem Planungshorizont von Wochen [WieP97a: 258].

In der *Auftragsüberwachung* sind der Auftragsfortschritt freigegebener Aufträge und die Zustandsänderungen der Kapazitäten zu erfassen und zu verwalten. Auf Basis der Rückmeldungen werden Planabweichungen transparent, und es können angemessene Gegenmaßnahmen ausgelöst werden.

Die Funktionsgruppe *Datenverwaltung* ist beiden Teilgebieten der Produktionsplanung und -steuerung zuzuordnen, da diese gleichermaßen auf produktionsbezogene Daten zurückgreifen müssen (z.B. Stücklisten, Arbeitspläne). Termin- und Kapazitätsplanung, Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung werden begrifflich zur Werkstattsteuerung zusammengefasst [Hac89]. Andere Autoren verwenden auch den Begriff Fertigungssteuerung vgl. [Löd01]. In den weiteren Ausführungen sind die Begriffe Fertigungs- und Werkstattsteuerung gleichbedeutend.

3.2.2 Zielgrößen der Werkstattsteuerung

Die Zielgrößen der Werkstattsteuerung, niedrige Bestände, hohe Auslastung, hohe Termintreue und kurze Durchlaufzeiten sind aus dem Zielsystem der Produktionsplanung und -steuerung abgeleitet [WieP97a: 251]. Mit einer kurzen Durchlaufzeit und hohen Termintreue unterstützt man die Logistikleistung, die über die erreichte Liefertermintreue und Lieferzeit aus Kundensicht bewertet wird. Der Logistikleistung stehen Logistikkosten gegenüber, die über die Betriebsziele niedrige Bestände und eine hohe Auslastung positiv beeinflusst werden. Die Logistikleistung ist zentraler Erfolgsfaktor für den Markterfolg eines Unternehmens [FD03]. Die Zielgrößen der Werkstattsteuerung sind zur Bewertung der Leistungsfähigkeit eines Verfahrens wichtig. Bild 3.11 zeigt das Zielsystem der Werkstattsteuerung. Die Darstellung zeigt, dass sich die Ziele teilweise unterstützen oder miteinander konkurrieren. Vor allem der Zielkonflikt zwischen einer hohen Auslastung und niedrigen Beständen bzw. kurzen Durchlaufzeiten erfordert eine Positionierung des Unternehmens.

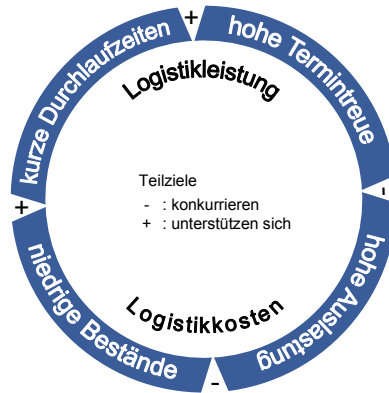


Bild 3.11: Zielsystem der Werkstattsteuerung (IFA Hannover)

Die Herausforderung für produzierende Unternehmen besteht darin, die Rahmen- und Randbedingungen der Produktion so zu verändern, dass Durchlaufzeitverkürzungen nicht zu Auslastungsverlusten führen. Die wesentlichen Zielgrößen der Werkstattsteuerung werden nachfolgend erläutert.

3.2.2.1 Bestand

Die Werkstattsteuerung beeinflusst den Dispositions-, Umlauf- und Fertigbestand einer Produktion (s. Bild 3.12). Bestand kann unterschiedlich gemessen werden. Je nach Datengrundlage und Unternehmen bietet sich Anzahl Aufträge, Arbeitsstunden, Kilogramm, Meter, etc. als Messgrößen an. Der Dispositionsbestand umfasst sämtliche Aufträge, die aufgrund von Bedarfen erzeugt wurden, aber noch nicht für die Produktion freigegeben sind. Für die Produktion freigegebene Aufträge stellen den Umlaufbestand einer Produktion dar. Der Fertigbestand setzt sich aus abgeschlossenen Produktionsaufträgen und gelieferten Bestellungen zusammen. In Bild 3.13 sind die Chancen und Risiken von Beständen dargestellt [WieH02: 105].

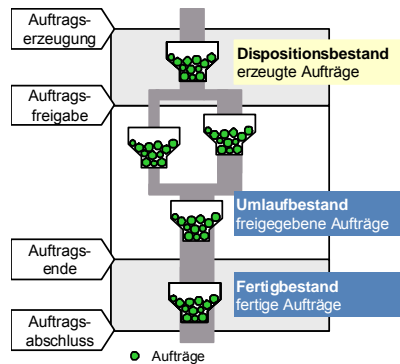


Bild 3.12: Bestände in der Produktion (nach H.-H. Wiendahl)

In Bild 3.13 sind die Chancen und Risiken von Beständen dargestellt [WieH02: 105].

System - Bestands- bewertung	Extern	Intern
Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • schafft Flexibilität (ermöglicht einzelne, schnelle Lieferungen) 	<ul style="list-style-type: none"> • überbrückt Störungen und sichert Auslastung (besonders bei wechselnden Engpässen) • ermöglicht Rüstoptimierung • dämpft Bedarfsschwankungen bzgl. Menge und Auftragsmix
Risiken	<ul style="list-style-type: none"> • erhöht Verwurfsrisiko • lange, mittlere Lieferzeiten und große Lieferzeitstreuungen (bei hohem Kundenbezug) 	<ul style="list-style-type: none"> • lange mittlere Durchlaufzeiten bei großen -streuungen erhöhen Planungs- und Steuerungsaufwand • erhöht die Kosten: Kapitalbindung, Flächenbedarf, etc. • verdeckt Störungen: unzuverlässige Lieferanten, etc. • verdeckt Probleme: mangelnde Kapazitätsflexibilität, lange Rüstzeiten, umständlicher Materialfluss etc.

Bild 3.13: Chancen und Risiken von Beständen (H.-H. Wiendahl)

In der betrieblichen Praxis ist ein Wandel in der Bewertung von Chancen und Risiken nachzuvollziehen. In der Vergangenheit wurde vor allem der Sicherheitsaspekt von Beständen betont, um lange Rüstzeiten und starre Kapazitätsmodelle abbilden zu können. Der Erfolg des Toyota Produktionssystems führte dazu, dass der Aufbau von Beständen eher als Verschwendung eingestuft gilt [Lik06]. Daraufhin haben viele Unternehmen die Chancen von Beständen in Frage gestellt. Logistisch erfolgreiche Unternehmen produzieren heute mit kurzen Rüstzeiten und flexiblen Kapazitäten auf einem minimalen Bestandsniveau. Ein angemessenes Bestandsniveau hängt stark von den Unternehmensvoraussetzungen ab. Im Rahmen der Werkstattsteuerung gilt es sich in dem Spannungsfeld hohe Auslastung versus niedrige Umlaufbestände zu positionieren.

➔ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung beeinflusst über die Auftragsfreigabe und die Kapazitätssteuerung die Höhe des Umlaufbestands.*

3.2.2.2 Durchlaufzeit

Bestand und Durchlaufzeit einer Produktion sind eng miteinander gekoppelt. Die Gesamtdurchlaufzeit eines Auftrags umfasst die Zeitspanne zwischen Bedarfsbestätigung (Auftragsbestätigung, Forecastbestätigung, etc.) und dem Zeitpunkt der Bedarfserfüllung (Auslieferung, Lagerzugang) [Wes06: 71f]. Die Zeitspanne zwischen Auftragsfreigabe und Ablieferung der produzierten Materialien am Bedarfsort (Montage, Lager, etc.) wird als Auftrags-Durchlaufzeit bezeichnet [WieP97b: 36f]. In Bild 3.14 sind für den losweisen Transport von Aufträgen (s. Abschnitt 3.1.3) die verschiedenen Durchlaufzeitanteile in Anlehnung an [Hei74] dargestellt. Die arbeitsvorgangbezogene Durchlaufzeit setzt sich aus der Übergangs- und Durchführungszeit zusammen.

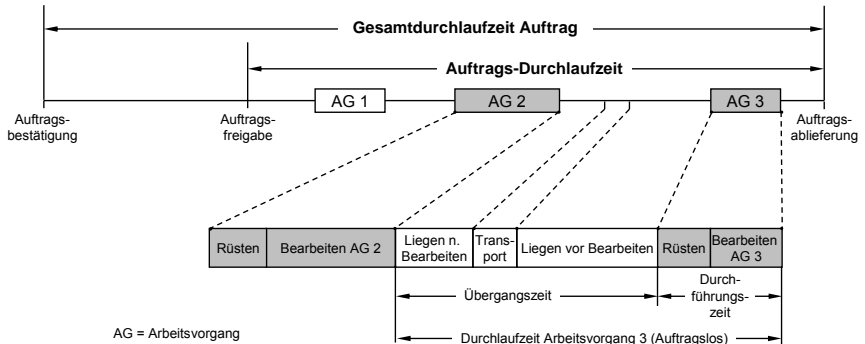


Bild 3.14: Durchlaufzeitanteile von Aufträgen und Arbeitsvorgängen (W. Heinemeyer)

Die Beziehung zwischen Durchlaufzeit und Durchführungszeit in einer Produktion wird durch den Flussgrad ausgedrückt. Der Flussgrad (FG) berechnet sich dabei folgendermaßen [WieP97b: 56]:

$$FG = \frac{ZDL}{ZDF} \quad \text{Gleichung 3-3}$$

Mit ZDL : Durchlaufzeit [BKT]

ZDF : Durchführungszeit [BKT]

Der Grenzwert für den Flussgrad bei losweisem Transport beträgt 1, da dann die Aufträge ohne Übergangszeiten abgefertigt werden. In Werkstattstrukturen sind Flussgrade > 5 durchaus üblich [WieP97b: 6]. Die Haupteinflussfaktoren auf die Durchlaufzeit können anhand der Durchlaufzeitanteile in Bild 3.14 verdeutlicht werden. *Hauptangriffspunkt der Werkstattsteuerung ist die Übergangszeit*, bestehend aus Liege- und Transportzeit. Eine Beeinflussung der Durchführungszeit mit Hilfe der Werkstattsteuerung ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Die zeitnahe Auftragsübergabe zwischen Arbeitsvorgängen und die räumlich nahe Anordnung der Arbeitsplätze tragen dazu bei, die Liegezeit nach Bearbeitung und Transportzeit zu verkürzen. Bei Werkstattfertigern überwiegt erfahrungsgemäß der bestandsbedingte Anteil an der Liegezeit. Mit Hilfe der Warteschlangentheorie lässt sich dieser Sachverhalt erläutern. Das Gesetz von Little zeigt, dass bei einem Bediensystem im Gleichgewicht (Abgangsrate = Zugangsrate) folgender Zusammenhang gilt [Lit61]:

$$k = \lambda \cdot R \quad \text{Gleichung 3-4}$$

Mit k : mittlere Anzahl von Aufträgen im Bediensystem

λ : Zugangsrate [Anzahl Aufträge/Periode]

R : mittlere Verweilzeit eines Auftrags [Zeiteinheiten]

Arbeitsplätze und Produktionsbereiche können ebenfalls als Bediensysteme betrachtet werden. In der Produktion entspricht der Arbeitsplatz der Bedienstation und im Warteraum befinden sich die auf Bearbeitung wartenden Aufträge des Umlaufbestandes. Gleichung 3-4 zeigt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit durch ein System und dem Bestand in diesem System besteht. Die Termin- und Kapazitätsplanung legt auf Basis der einkalkulierten Plandurchlaufzeiten die mittlere Bestandshöhe der Produktion fest. Die eingestellten Plandurchlaufzeiten haben eine herausragende Bedeutung für die Bestandshöhe in einer Produktion.

- ☞ *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung kann mit Hilfe arbeitsvorgangsbezogener Plandurchlaufzeiten, einer darauf abgestimmten Auftragsfreigabe und einer variablen Abgangsrate den Umlaufbestand und damit die Durchlaufzeit einer Produktion steuern.*

3.2.2.3 Termintreue

Auftragstermine sind die in der Praxis der Einzel- und Kleinserienfertigung am häufigsten benutzten Steuerungsgrößen in der Produktion. Anhand der Auftragstermine werden Prioritäten vergeben und die so genannten Fertigungssteuerer oder Terminjäger sind dafür verantwortlich, dass die Auftragstermine eingehalten werden. Die Festlegung realistischer Auftragstermine und deren Einhaltung hat im Rahmen der Werkstattsteuerung eine herausragende Bedeutung. H. P. Wiendahl sieht die Auftragstermine als Merkmal eines Qualitätskreises [WieP97b: 31f]. Termine sind zu planen, zu steuern, zu überprüfen und unterliegen statistischen Gesetzmäßigkeiten, die es zu erkennen und zu nutzen gilt. Termine sollten nicht auf einen genauen Zeitpunkt geplant werden, sondern mit einer bestimmten Häufigkeitsverteilung im Rahmen eines zu definierenden Toleranzbereichs liegen.

- ☞ *Werkstattsteuerungsmethoden sollten dazu beitragen, für Termine das gleiche Verantwortungsgefühl wie für die Produktqualität und Kosten zu vermitteln.*

Bild 3.15 stellt auf Basis von [Löd05: 25f] und [Yu01: 13f] die Definition von Termin-einhaltung und Termintreue dar. Die Terminabweichung bezeichnet die Differenz zwischen tatsächlichem und dem geplantem Termin:

$$TA = T_{Ist} - T_{Plan} \quad \text{Gleichung 3-5}$$

Mit	TA	: Terminabweichung	[Zeiteinheiten]
	T_{Ist}	: Ist-Termin	[Zeiteinheiten]
	T_{Plan}	: Plan-Termin	[Zeiteinheiten]

Die Termineinhaltung ist definiert als prozentualer Anteil rechtzeitig oder zu früh gelieferter Aufträge eines Zeitraums. Alle Aufträge mit einer Terminabweichung kleiner oder gleich der Toleranz sind demnach pünktlich, Bild 3.15 a.

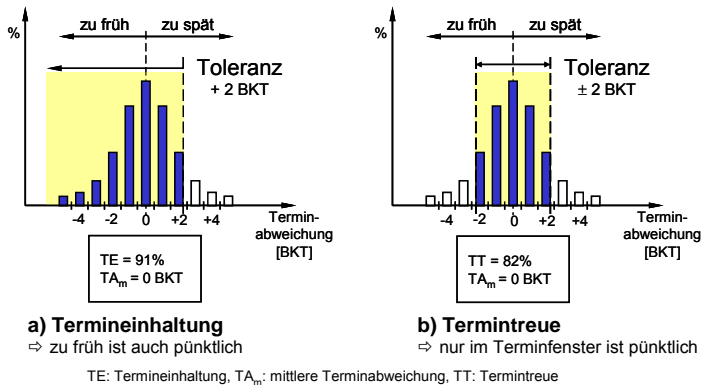


Bild 3.15: Definition von Termineinhaltung und Termintreue für Aufträge (K.-W. Yu zitiert nach H.-H. Wiendahl)

Die Termintreue bezeichnet den prozentualen Anteil der innerhalb einer definierten Termintoleranz gelieferten Aufträge, Bild 3.15 b.

Bild 3.16 zeigt die Terminabweichungsgrößen am Beispiel eines arbeitsgangbezogenen Auftragsdurchlauf [Dom88: 49].

- Die *Zugangsterminabweichung* ist ein Maß dafür, um welche Zeitspanne ein Auftrag gegenüber dem Plan-Zugang verspätet (z.B. + 2 Tage) oder vorzeitig freigegeben wird. Die betriebliche Praxis vernachlässigt die Messung dieser Kenngröße oft. Dies erschwert die Beurteilung der Termintreue einzelner Arbeitsplätze, da die Aussage „das Material kam zu spät“ nicht überprüfbar ist.
- Die *Abgangsterminabweichung* drückt aus, um welche Zeitdauer ein Auftrag gegenüber dem Plan-Abgang verspätet fertig gestellt wird. Unternehmen messen die Abgangsterminabweichung regelmäßig. Der direkte Einfluss der Abgangsterminabweichung auf die Termineinhaltung und -treue erklärt die hohe Bedeutung dieser Kennzahl.
- Die *relative Terminabweichung* oder auch *Durchlaufzeitabweichung* genannt, beschreibt um welche Zeitdauer der Durchlauf verzögert oder beschleunigt wird und ist ein Maß dafür, um wie viel Tage die Ist-Durchlaufzeit von der Plandurchlaufzeit des Auftrags abweicht [Dom88: 49]. Diese Kenngröße beurteilt die Qualität der Plandurchlaufzeiteinstellungen und die Fähigkeit der Produktion, den einzelnen Auftragsdurchlauf an diesem Planwert auszurichten.

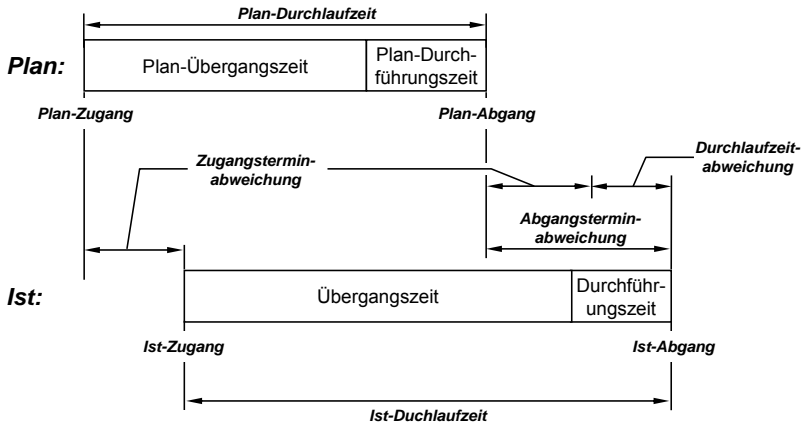


Bild 3.16: Definition der Terminabweichungsgrößen (nach U. Dombrowski)

☞ In einer Werkstattfertigung mit längeren Auftrags-Durchlaufzeiten empfiehlt es sich, die Termintreue oder -einhaltung des Auftrags an jedem Arbeitsvorgang zu messen, da ansonsten lieferterminrelevante Abweichungen zu spät erkannt werden. Dies wirkt dem in der Praxis auftretenden Phänomen „die letzten Arbeitsvorgänge verantworten die Liefertermintreue“ entgegen und überträgt die Verantwortung für die Liefertermintreue auf alle am Auftragsdurchlauf beteiligten Arbeitsvorgänge.

Das Verändern von Auftragsprioritäten im Hinblick auf Terminabweichungen bewirkt ein Beschleunigen von verspäteten Aufträgen und Bremsen von verfrühten Aufträgen. Die meisten Unternehmen verdecken damit die Ursache für Terminabweichungen (z.B. mangelnde Kapazität, falsche Planvorgaben) und sorgen für einen ungleichmäßigen Auftragsdurchlauf, der wesentlich mehr Steuerungsaufwand verursacht. Oftmals überwiegt das Steuern von Aufträgen durch die Produktion mit Hilfe von Terminjägern und Terminrunden. Das Steuern von Kapazitäten wird vernachlässigt, obwohl es wie das nachfolgende Beispiel zeigt, die effizientere Methode der Terminsicherung darstellt. Bild 3.17 vergleicht das Steuern einer Produktion aus Auftrags- und Ressourcensicht. In dem Praxisbeispiel besteht die

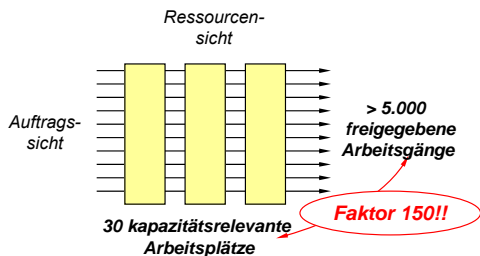


Bild 3.17: Vorteil der Ressourcensicht bei der Werkstattsteuerung Praxisbeispiel (nach H.-H. Wiendahl)

dem Praxisbeispiel besteht die

Produktion aus 70 Arbeitsplätzen, von denen 30 kapazitätsrelevant sind. Bei einer mittleren Durchlaufzeit von 1 Monat, durchschnittlich 7 Arbeitsgängen je Auftrag und ~700 Aufträgen im Monat berechnet sich der mittlere Bestand nach Little (s. Abschnitt 3.2.2.1) an freigegebenen Arbeitsgängen in der Produktion zu ~5.000. Hieraus folgt, dass aus Auftragsicht viele Arbeitsgänge und aus Ressourcensicht wenige kapazitätsrelevante Arbeitsplätze zu steuern sind.

- *Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte Unternehmen dabei unterstützen, Termine durch das Steuern der Kapazitäten anstatt der Arbeitsvorgänge zu sichern.*

3.2.2.4 Auslastung

Auslastung ist definiert als Verhältnis zwischen tatsächlicher und möglicher Leistung eines Systems [WieP97b: 102f]. Die Leistung eines Systems wird in Arbeit pro Zeiteinheit gemessen. Auslastung wird vor allem von Unternehmen in den Vordergrund gestellt, deren Produktpreise maßgeblich durch die eigenen Herstellkosten beeinflusst werden. Aus dem Sachvermögen des Unternehmens resultieren Fixkosten, die anfallen, auch wenn nicht produziert wird [Wes06: 80]. Besteht die Möglichkeit mit demselben Sachvermögen durch eine höhere Auslastung mehr Umsatz zu generieren, steigt der Gewinn eines Unternehmens. Eine Auslastungssteigerung ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn eine ausreichend hohe Nachfrage besteht und nicht am Kundenbedarf vorbei produziert wird [RS00: 42]. Die Auslastung einer Produktion hat sich demnach der Nachfrage anzupassen.

Goldratt zeigt außerdem, dass der Durchsatz einer Produktion in der Regel von wenigen Engpässen definiert wird [Gol81]. Eine ausbalancierte Produktion, in der alle Ressourcen gleichermaßen ausgelastet sind, beschreibt er als unrealistisch. Deshalb empfiehlt er, die Engpässe der Produktion zu identifizieren und über eine Auslastungssteigerung an diesen Engpässen den Gesamtdurchsatz der Produktion zu steigern. Eine hohe Auslastung ist in der betrieblichen Praxis, verstärkt durch die Kostenrechnung, oftmals das wichtigste Ziel der Produktion. Das Streben nach einer hohen Auslastung durch große Lose, lange Plandurchlaufzeiten und das Vorziehen von Bedarfen, wirkt sich negativ auf die anderen Ziele, kurze Durchlaufzeiten, hohe Termintreue und niedrige Bestände aus. Die betrieblichen Rahmenbedingungen verstärken dies durch starre Arbeitszeitmodelle, Einfachqualifikation der Mitarbeiter und falsche Entlohnungssysteme [WBN03]. Dabei wird eine ausbalancierte Produktion vorausgesetzt, bei der sich die Arbeit an dem Arbeitszeitmodell und der Mitarbeiterqualifikation ausrichtet. Logistisch erfolgreiche Unternehmen haben diesen Widerspruch erkannt und setzen auf flexible Arbeitszeitmodelle, die es ermöglichen, sich besser an dem Kundenbedarf auszurichten.

Im Gegensatz zum Umlaufbestand, der Durchlaufzeit und der Termintreue ist die Auslastung einer Produktion mit Hilfe der Werkstattsteuerung nur sehr begrenzt beeinflussbar. Haupteinflussfaktor auf die Auslastung einer Produktion ist der Kundenbedarf.

☞ Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte dazu beitragen, Engpässe zu identifizieren und die Auslastung an den Bedarf anzupassen.

3.3 Wirkmodell der Werkstattsteuerung

In Abschnitt 3.2 wurden die Aufgaben und Zielgrößen der Werkstattsteuerung unabhängig voneinander vorgestellt. Das Modell der Fertigungssteuerung von Lödging [Löd05: 7f] dient als Rahmen, um die Aufgaben der Werkstattsteuerung in einen Zusammenhang mit den logistischen Zielgrößen zu bringen.

H. Lödging definiert in seinem Wirkmodell (s. Bild 3.18) vier Elemente: die Funktionen der Fertigungssteuerung und der Produktionsplanung, sowie die Stell-, Regel- und Zielgrößen. Diese Elemente sind durch Wirkzusammenhänge miteinander verknüpft. Die Funktionen legen die Stellgrößen fest. Die Regelgrößen ergeben sich als Abweichung von zwei Stellgrößen. Die Regelgrößen bestimmen die logistischen Zielgrößen.

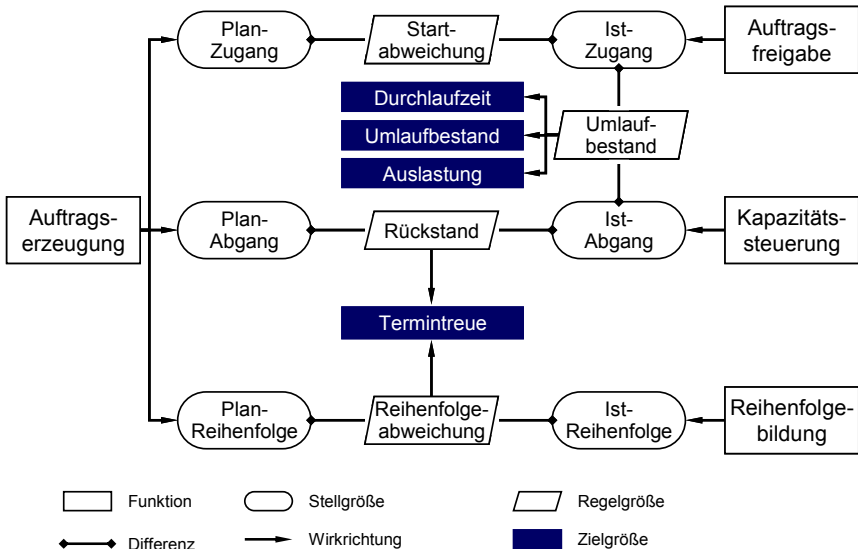


Bild 3.18: Modell der Fertigungssteuerung (nach H. Lödging)

- Die **Auftragserzeugung** legt die Planwerte der Stellgrößen Zugang und Abgang der Fertigung und die Planreihenfolge fest.

- Die *Auftragsfreigabe* legt den Zeitpunkt und die Reihenfolge fest, in der Aufträge für die Fertigung freigegeben werden. Sie legt damit die Stellgröße Ist-Zugang zur Fertigung fest.
- Die *Kapazitätssteuerung* bestimmt das Kapazitätsangebot, also Arbeitszeiten und Zuordnung der Mitarbeiter zu den Arbeitsplätzen und beeinflusst damit die Stellgröße Ist-Abgang.
- Die *Reihenfolgebildung* bestimmt, in welcher Ist-Reihenfolge die Aufträge an einem Arbeitssystem abgearbeitet werden.

Die drei Regelgrößen Startabweichung, Rückstand und Reihenfolgeabweichung ergeben sich als Differenz aus den durch die Funktionen festgelegten Stellgrößen. Das Modell der Fertigungssteuerung unterstützt die (Re-) Konfiguration von Werkstattsteuerungsverfahren [NBBH06], [BHR05] auf folgende Weise (in Erweiterung zu [Löd05: 9]):

1. *Aufbau eines Systemverständnisses der Werkstattsteuerung*: Das Modell stellt den logischen Zusammenhang zwischen sämtlichen Funktionen und Zielgrößen der Werkstattsteuerung dar. Außerdem verdeutlicht es den Zusammenhang zwischen Planungs- (Auftragserzeugung) und Steuerungsfunktionen (Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung, Reihenfolgebildung). Für die ganzheitliche Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens reicht es deshalb nicht aus, nur ein Teilgebiet zu betrachten [NBBH06]. *Stattdessen sollten alle Bausteine des Wirkmodells aufeinander abgestimmt werden.* Der Einsatz bestehender Verfahren zur Lösung einer der vier Funktionen sollte kompatibel zu anderen eingesetzten Verfahren sein. Die ganzheitliche Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens erfordert deshalb sogenannte korrespondierende Funktionen, die die nicht abgedeckten Funktionen beschreiben und auf den Verfahrensschwerpunkt abgestimmt sind.
2. *Aufgabenbedeutung*: Bild 3.18 zeigt die herausragende Bedeutung der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung für die logistischen Zielgrößen in der Werkstattsteuerung. Die Kapazitätssteuerung wirkt sogar als einzige Steuerungsaufgabe auf alle vier Zielgrößen [NBBH06]. *Bei der Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens ist deshalb die abgestimmte Konfiguration von Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung besonders bedeutend.*
3. *Gestaltung einer Werkstattregelung*: Das Modell zeigt auf, wie eine Werkstattregelung der logistischen Zielgrößen erzielt werden kann. Eine Bestandsregelung nutzt die Auftragsfreigabe, um den Ist-Zugang an den Ist-Abgang zu koppeln und eine Rückstandsregelung die Kapazitätssteuerung, um den Ist-Abgang an den Plan-Abgang zu koppeln. *Bei der Konfiguration eines Werkstattsteuerungsverfahrens sollten für die Aufgaben geschlossene Regelkreise festgelegt wer-*

den, die es ermöglichen, die Planungs- und Steuerungsaktivitäten eng miteinander zu koppeln.

4. **Analyse inkonsistenter Ziel- und Aufgabenverantwortung:** Das Modell eignet sich für die Darstellung, Analyse und Vermeidung von Schwachstellen in der Werkstattsteuerung. Im Schwerpunkt werden dabei funktionale Aspekte betrachtet. Der Erfolg eines Werkstattsteuerungsverfahrens ist jedoch auch von effizienten Prozessen und eindeutigen Verantwortlichkeiten abhängig. Erweitert man das Modell um die Stellensicht und ordnet die Ziel- und Aufgabenverantwortlichen zu, erhält man einen Rahmen, der inkonsistente Aufgaben- und Zielverantwortlichkeiten transparent darstellt [WWC05].

3.4 Konfiguration der Werkstattsteuerung

Das Wirkmodell der Werkstattsteuerung leistet einen wichtigen Beitrag zur Konfiguration derselben (s. Abschnitt 3.3.). Dieser Abschnitt stellt weitere für die Konfiguration wichtige Gestaltungsmerkmale dar. Das logistische Leitbild vermittelt anschaulich, wie die Aufträge durch die Produktion fließen sollen (s. Abschnitt 3.4.1). Die Entscheidungsebene und -autonomie definiert, welche Aufgaben zentral und lokal (dezentral) mit welcher Autonomie gelöst werden (s. Abschnitt 3.4.2). Die praxiserprobten Gestaltungsrichtlinien aus dem Lean Production sind auch auf Werkstattsteuerungsverfahren in funktionsorientierten Strukturen übertragbar (s. Abschnitt 3.4.3). Abschließend werden die Grundlagen für die reifegradbasierte Konfiguration einer Werkstattsteuerungsmethode vorgestellt und diskutiert (s. Abschnitt 3.4.4).

3.4.1 Logistisches Leitbild

Das logistische Leitbild ist ein strategisches Gestaltungsmerkmal der Werkstattsteuerung. Es legt fest mit welcher Logistikstrategie auf heterogene Anforderungen des Marktes reagiert wird [WieH03]. H.-H. Wiendahl sieht zwei grundsätzlich unterschiedliche Strategien (s. Bild 3.19).

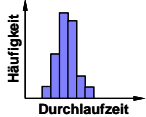
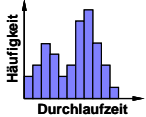
Verteilungstyp	Logik	Verteilungstyp	Logik
	mittlerer Auftragsfortschritt Stellgrößen <ul style="list-style-type: none"> • Zugang • Abgang 		individueller Auftragsfortschritt Stellgrößen <ul style="list-style-type: none"> • Zugang • Abgang • Reihenfolge
a) Flussorientierte Strategie		b) Turbulenzorientierte Strategie	

Bild 3.19: Logistische Leitbilder (H.-H. Wiendahl)

Das Ziel der *flussorientierten Strategie* (s. Bild 3.19 a) besteht darin, trotz externer Bedarfsschwankungen, intern einen gleichmäßigen Auftragsstrom zu erzeugen. Der

gleichmäßige Auftragsstrom hat eine geringe Durchlaufzeitstreuung und erlaubt ein Auftragsmanagement des mittleren Auftragsfortschritts. Dies setzt voraus, dass alle Auftragsarten (Eilaufträge, Lageraufträge, Forecastaufträge, etc.) mit derselben Geschwindigkeit durch die Produktion fließen. Die wesentlichen Stellgrößen der flussorientierten Strategie sind Zugang und Abgang, die durch die Werkstattsteuerungsaufgaben, Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung beeinflusst werden.

Die *turbulenzorientierte Strategie* realisiert einen heterogenen Auftragsfortschritt, der eine Planung und Steuerung des individuellen Auftrags erfordert (s. Bild 3.19 b). Der turbulente Gebirgsbach erfordert ein Auftragsmanagement des individuellen Auftragsfortschritts. Eine wesentliche Stellgröße der turbulenzorientierten Strategie ist die Reihenfolge der Aufträge, die durch die Werkstattsteuerungsaufgabe Reihenfolgebildung festgelegt wird. Es dominiert die Auftragsicht, da jeder Arbeitsvorgang individuell zu planen und zu steuern ist. In Abschnitt 3.2.2.3 wurde bereits gezeigt, dass ein Durchsetzen vieler Arbeitsvorgänge wesentlich aufwendiger ist, als ein Steuern weniger Kapazitäten.

Das Verhältnis von Anforderungen zu Fähigkeiten bestimmt die Auswahl des logistischen Leitbilds. Zwei Anforderungsbereiche sind dabei relevant. Aus externer Sicht (Markt und Kunde) beeinflussen die Lieferzeit-, Liefertoleranz- und Liefermengenanforderungen das logistische Leitbild (s. Bild 3.20 oben). Aus interner Sicht beeinflussen technologische Restriktionen, technisch unsichere Prozesse und die Kapazitätsflexibilität das logistische Leitbild (s. Bild 3.20 unten). Einen wesentlichen Einfluss auf die Bedeutung der Marktanforderungen für die Auswahl des passenden Leitbildes hat das Verhältnis von Auftrags-Durchlaufzeit zur Lieferzeit. Wenn die kürzeste Lieferzeit länger als die mittlere Auftrags-Durchlaufzeit, und die interne Planungstoleranz geringer als die geforderte Liefertoleranz sind, realisieren Unternehmen aus Marktsicht eher die flussorientierte Strategie. Unternehmen die intern Ihre Kapazitäten flexibilisieren, Rüstzeiten reduzieren und Prozesse stabilisieren, sind eher befähigt, eine flussorientierte Produktionsstrategie zu realisieren. Neben dem gerin-

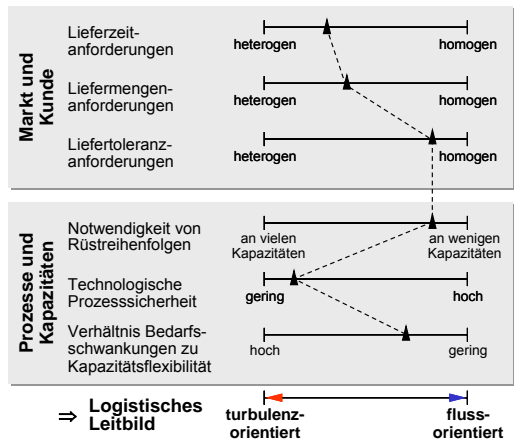


Bild 3.20: Einflussfaktoren für die Auswahl des logistischen Leitbilds (Praxisbeispiel) (H.-H. Wiendahl)

geren Planungs- und Steuerungsaufwand harmonisiert die flussorientierte Strategie am Besten mit der in den ERP-Systemen implementierten MRP-Logik. Mittelwertbasierte Plandurchlaufzeiten sind bei einer flussorientierten Strategie realistischer als bei der turbulenzorientierten Strategie. Das Planen von Rüstreihenfolgen und Steuern einzelner Arbeitsvorgänge unterstützt die MRP-Logik nur unzureichend. Tabelle 3-1 stellt die beiden logistischen Leitbilder zusammenfassend gegenüber:

Gleichmäßiger Auftragsstrom	Turbulenter Gebirgsbach
<ul style="list-style-type: none"> • Einheitliche Auftragsprioritäten (FPE¹, FiFo²) • geringe Durchlaufzeitstreuung • Fokus: Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung ⇒ PPS aus Ressourcensicht • Vereinfachte Planung nach einheitlichen Regeln • Primäres Betrachtungsobjekt: Steuerung der Ressourcen (Bestand, Rückstand) • Vereinfachung und Standardisierung im Shop-Floor ⇒ schlanke PPS • Planung und Steuerung mit Mittelwerten ⇒ MRP³-Ansatz mit Erweiterungen reicht aus 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Auftragsprioritäten (Eilaufträge) • breite Durchlaufzeitstreuung • Fokus: Reihenfolgebildung ⇒ PPS aus Auftragsicht • Planung komplexer Restriktionen • Primäres Betrachtungsobjekt: Steuerung Einzelaufträge (Arbeitsgang-Termine) • Dezentralisierte PPS im Shop-Floor ⇒ aufwendige PPS • Durchsatzerhöhung durch Reihenfolgebildung ⇒ MRP-basierte Planung stößt an Grenzen

¹) Frühestes Planende ²) first in first out ³) material requirements planning

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung Gleichmäßiger Auftragsstrom und turbulenter Gebirgsbach

3.4.2 Entscheidungsebene, -stelle und -autonomie

In der Werkstattsteuerung wird zwischen den *Entscheidungsebenen* Lenkung und Ausführung unterschieden. Die *Ausführungsebene* umfasst den betrieblichen Güterfluss und die physische Umwandlung von Bedarfs- in Zielartikel. Es wird Arbeit im engeren Sinne geleistet. Die *Lenkungsebene* umfasst die planerischen Entscheidungen vor, während und nach der Ausführung [Rop99: 101f], [WieH02: 84].

Die *Entscheidungsstelle* charakterisiert, wie die Werkstattsteuerungsaufgaben organisatorisch aufgeteilt werden [Zäp98: 17f]. Eine *zentrale* Werkstattsteuerung ist dadurch gekennzeichnet, dass Werkstattsteuerungsaufgaben überwiegend von einer zentralen Instanz durchgeführt werden [Löd01: 30]. Voraussetzung für eine rein zentrale Werkstattsteuerung ist ab einer gewissen Produktionskomplexität ein PPS-System, das laufend aktualisiert wird und sämtliche Informationen zentral verwaltet. Auf Basis aktueller Rückmeldungen werden bei Planabweichungen zentral Anpassungen eingeleitet. Dies erfordert eine detaillierte Abbildung der Werkstattsteuerungsgrundobjekte, um sämtliche Werkstattsteuerungsaufgaben zentral durchführen zu können. Die *dezentrale* Werkstattsteuerung teilt Aufgaben auf und überträgt der Steuerungsebene Entscheidungsaufgaben. Die Dezentralisierung von Werkstattsteuerungsaufgaben bedeutet, dass Entscheidungen auch lokal (an der Maschine, Arbeitsplatzgruppe, Team, etc.) getroffen werden. H. Lödding charakterisiert ein Werkstattsteuerungsverfahren erst dann als dezentral, wenn neben der Feinbele-

gung der Arbeitssysteme auch die Auftragsfreigabe dezentral ausgelöst wird, und bei bestandsgeregelten Verfahren dezentrale Regelkreise verwendet werden [Löd01: 30]. Eine dezentrale Werkstattsteuerung gestattet eine gröbere Planung und erzeugt dadurch lokal Entscheidungsspielraum. Dezentralität wird als Basisprinzip zeitgemäßer Unternehmensorganisationen gesehen, um die Reaktionsfähigkeit, Mitarbeitermotivation und Eigenverantwortung zu erhöhen [WL94].

Dezentralität sollte nach den Grundsätzen der Kundenorientierung, Liefer- und Kostenverantwortung aufgebaut werden [WW96]. Die Vorgabe von Arbeitspaketen als definierte Leistung mit geforderter Menge und Ecktermin der Lieferung setzt den Kunden-Lieferanten Gedanken in dezentralen Strukturen um. Somit agieren die lokalen Organisationseinheiten mit der Verantwortung für Termin und Menge [WB94]. Dezentrale Handlungsfreiräume (Autonomie) ermöglichen es Abläufe auf Basis der aktuellen Termin- und Kapazitätssituation und dem fertigungstechnischen Know-how zu optimieren. *Autonomie* lässt sich anhand von drei Kriterien beschreiben [WWB98]:

- die *Aufgabenintegration* beschreibt, welcher Aufgabenumfang an lokale Organisationseinheiten übertragen wird.
 - die *lokalen Ziele* dienen dazu, den Handlungs- und Planungsspielraum so einzuschränken, dass die lokalen Einzelinteressen das Gesamtinteresse der übergeordneten Einheit nicht verletzen.
 - die *Kunden-Lieferanten Beziehungen* stellen die Anwendung des Marktgedanken (Wettbewerbstheorie) auf die Produktion dar.
- ☞ *Eine Werkstattsteuerungsmethode sollte festlegen, welche Aufgaben zentral oder dezentral (lokal) wahrgenommen werden. Die Dezentralisierung erfordert die Vorgabe von lokalen Zielen, die auf die überlagerten Zielsetzungen abgestimmt sind. Die lokalen Organisationseinheiten sollten durch entsprechende Freiheitsgrade in der Lage sein, die zentral vorgegebenen Zielsetzungen einzuhalten.*

3.4.3 Gestaltungsrichtlinien aus dem Lean Production

Ausgangsbasis des Lean Production ist das Erfolgsmodell der japanischen Toyota Motor Corporation. Toyota ist mittlerweile der größte (Messgröße PKW-Absatz) und profitabelste Automobilhersteller weltweit. Diese Marktführerschaft verdankt Toyota seinen effizienten Produktionsabläufen, die als Benchmark in der Automobilindustrie gelten [Lik06]. Das Toyota Produktionssystem (=TPS) hat die Gestaltung der Produktionsabläufe weltweit beeinflusst und wurde auch in anderen Branchen erfolgreich angewendet. Die Lean Production Bewegung wurde in den 90er Jahren durch die Studie „The machine that changed the world“ des Massachusetts Institute of Technology ausgelöst [WJR90]. Die Studie zeigte die enormen Wettbewerbsvorteile

japanischer, im Vergleich zu amerikanischen und europäischen Automobilherstellern. Das Toyota Produktionssystem bildete dabei die methodische Grundlage für den Leistungsvorsprung (s. [Ohn88], [Mon83]). Aus der Untersuchung des TPS haben Womack und Jones die folgenden fünf Kernelemente des „Lean Thinking“ herausgearbeitet [WJ96: 13ff]:

1. Identifiziere Wertschöpfung aus Kundensicht (= *Kundenorientierung*)
2. Identifiziere alle Wertschöpfungsschritte und eliminiere Verschwendung (= *Fokussiere Wertschöpfung*)
3. Führe die Wertschöpfungsschritte in einer engen Sequenz aus, so dass das Produkt fließen kann (= *Flussorientierung*).
4. Produziere verbrauchsgesteuert an den vorgelagerten Prozessen das nach, was der Kunde an Wert entnimmt (= *Pull-Prinzip*).
5. Strebe nach Perfektion durch kontinuierliche Verbesserung und Transparenz (= *Kontinuierliche Verbesserung*)

Aus diesen fünf Kernelementen lassen sich Anforderungen an die Werkstattsteuerung ableiten. Die Flussorientierung wurde in Abschnitt 3.4.1 bereits als vorteilhaftes Gestaltungsmerkmal der Werkstattsteuerung erläutert (gleichmäßiger Auftragsstrom durch Ressourcensicht und flexible Kapazitäten). Abschnitt 3.4.3.1 stellt dar, wie die Kundenorientierung durch die Ausrichtung an einem Takt in produktorientierten und funktionsorientierten Strukturen umgesetzt wird. Weitere Untersuchungen der Steuerungsprinzipien des Lean Thinking zeigen [Erl07: 149ff], dass die Auftragsfreigabe geglätteter Arbeitspakete (s. Abschnitt 3.4.3.2), die selbstregelnde Verkettung der Produktionsprozesse und eine einfache ausführungsnaher Steuerung (s. Abschnitt 3.4.3.3) Kernelemente für die Gestaltung der Werkstattsteuerung nach den Grundprinzipien des Lean Thinking sind. Visuelles Management (s. [SKS03: 68f]) unterstützt die Kernelemente, um Transparenz über Planungs- und Steuerungsaufgaben in die Ausführungsebene zu transportieren und damit eine plangerechte Abarbeitung zu gewährleisten.

3.4.3.1 Ausrichtung der Produktion an einem Takt

Im Mittelpunkt des „Lean Thinking“ steht die Kundenorientierung. Mit dem so genannten Kundentakt wird die Produktion mit der Verkaufsrate synchronisiert. Der Kundentakt berechnet sich für eine Produktfamilie aus dem Kundenbedarf in Stück und der zur Verfügung stehenden Betriebszeit [RS00: 44]. Der Kundentakt gibt an, welchen Rhythmus der Kunde für die Fertigstellung von Endprodukten vorgibt. Bei einem Kundentakt von 6 Sekunden, muss die Produktion in der Lage sein, alle 6 Sekunden ein Endprodukt fertig zu stellen. Die Ausrichtung der Produktionsprozesse an dem Kundentakt gewährleistet eine am Kundenbedarf ausgerichtete Produktion. Der

Kundentakt hilft auch bei der kapazitiven Auslegung von Prozessen. Das Kapazitätsangebot ist auf den mittleren Absatz abgestimmt und Bedarfsschwankungen werden dann durch flexible Kapazitäten ausgeglichen. Der Kundentakt ist damit eine stabile Zielvorgabe für die Mitarbeiter, die sich nur unregelmäßig ändert. Die Einhaltung des Kundentakts an jedem Produktionsprozess stimmt die lokalen Ziele mit den Ausbrin- gungszielen des Produktsegments ab.

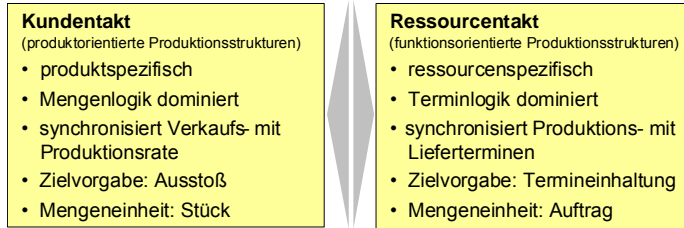


Bild 3.21: Kunden- und Ressourcentakt

Der Kundentakt orientiert sich nicht an der Auftragsmenge zur Planung und Steuerung, sondern rechnet in Stück (Stück / Behälter, Stück / Tag, etc.) (s. Bild 3.21). Wesentliche Voraussetzung für die Identifizierung und Anwendung des Kundentakts ist ein gewisser Seriencharakter einzelner Produkte und eine produktorientierte Segmentierung. Die am jeweiligen Kundentakt ausgerichteten Segmente produzieren ein abgegrenztes Produktspektrum mit gerichtetem Materialfluss. Der produktspezifische Kundentakt ist bei dem in dieser Arbeit betrachteten Betriebstyp (s. Kapitel 3.1) aufgrund der hohen Variantenvielfalt und stark schwankenden Bedarfes nur bedingt ermittelbar. Die komplexen Materialflüsse in der funktionsorientierten Struktur verhindern eine Ausrichtung der Prozesse an produktspezifischen Kundentakten. In diesen Strukturen kann die Produktion nur an ressourcenspezifischen Takten ausgerichtet werden [Bor06]. Diese ressourcenspezifischen Takte orientieren sich nicht an den Mengenanforderungen, sondern an den Durchlaufzeit- und Terminanforderungen der Kunden. Ein ressourcenspezifischer Takt hilft in funktionsorientierten Strukturen die Kundenorientierung zu implementieren. Der Takt synchronisiert die Produktion mit den Durchlaufzeit- und Terminanforderungen der Kunden. Bild 3.21 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen dem Kundentakt in produktorientierten Strukturen zu dem Ressourcentakt in funktionsorientierten Strukturen.

- ☞ *Die Ausrichtung der Produktion an einem Takt hilft, unabhängig vom Fertigungsprinzip die Kundenorientierung in die Produktion zu tragen und eine am Kunden ausgerichtete Zielvorgabe zu implementieren.*

3.4.3.2 Geglättete Freigabe von Arbeitspaketen

Eine ausgeglichene Produktionsauslastung (japanisch: heijunka) ist ein Grundprinzip des TPS [Lik06: 72]. Die Auftragsfreigabe sollte deshalb dazu beitragen Belastungsspitzen zu dämpfen und Leerlauf zu vermeiden. Eine gängige Methode zur Glättung der Nachfrage ist die Festlegung von so genannten Pitches. In der Regel richten sich Pitches nach der produktspezifischen Behältermenge und dem darin enthaltenen Arbeitsvolumen [Erl07: 206f].

		Zeitscheiben-Nr. und Zeitintervall			
		1	2	3	4
		6. ⁰⁰ - 7. ³⁰	7. ³⁰ - 9. ⁰⁰	9. ⁰⁰ - 10. ³⁰	10. ³⁰ - 12. ⁰⁰
Produktvariante	Variante 1				
	Variante 2				
	Variante 3				
	Variante 4				

Bild 3.22: Ausgleichskasten zur nivellierten Freigabe

Damit legt ein Pitch den Zeitabstand fest, in dem Arbeit am Schrittmacherprozess freigegeben wird. Als visuelles Hilfsmittel zur Unterstützung der Freigabe wird der in Bild 3.22 dargestellte Ausgleichskasten (Heijunka-Board) eingesetzt. In der Horizontalen sind die Pitches (= 90 min) eines Arbeitstages dargestellt. Auf Basis der vorliegenden Bedarfe erfolgt die Zuordnung von Bedarf zu Pitch. Um 7³⁰ Uhr erfolgt die Freigabe des ersten Pitch für Variante 1. Die nächste Freigabe erfolgt um 9⁰⁰ Uhr. Dem Schrittmacherprozess wird nur eine begrenzte Arbeitsmenge freigegeben und die Flexibilität bleibt erhalten, um auf Auftragsmischschwankungen zu reagieren. Das Clustern der Zeitschiene und die damit verbundene gleichmäßige Freigabe von Arbeitspaketen sind unabhängig von der Betriebstypologie möglich. Bei einer hohen Variantenvielfalt ist die Zuordnung der Zeitcluster zu Produktvarianten nicht mehr sinnvoll.

- ☞ *In funktionsorientierten Strukturen sind die Zeitcluster zur Glättung der freigegebenen Arbeitsmenge ressourcenspezifisch festzulegen.*

3.4.3.3 Ausführungsnahe (dezentrale) Steuerung der Produktion

Sämtliche Planungs- und Steuerungsmethoden des Lean Thinking sind nach dem Grundsatz, lieber einfach und nachvollziehbar als komplex und unverständlich aufgebaut. Nur wenn die Steuerungsmethode einfach ist und ohne komplexe Hilfsmittel auskommt, kann eine robuste dezentrale Selbststeuerung gewährleistet werden. Die Auftragseinstellung sollte an einem Schrittmacherprozess erfolgen und sämtliche vor und nach gelagerten Prozesse über die Steuerungsmethode fest miteinander verkettet sein [Erl07: 197f]. Die Planung beschränkt sich auf den Schrittmacherprozess und alle anderen Prozesse werden davon abhängig gesteuert. Bei einer begrenzten Variantenanzahl eignet sich Kanban zur verbrauchsorientierten Verkettung der vor gelagerten Prozesse [Wil84]. Die vorgelagerten Prozesse produzieren nur

das nach, was der Schrittmacherprozess entnimmt. Als Hilfsmittel fungieren Kanban-karten oder -behälter, die für die Ausführung transparent machen, was, wie viel und wohin geliefert werden sollte. Sämtliche Steuerungsaufgaben sind somit dezentralisiert. Die Steuerungsmethode First-Come-First-Serve (FCFS) kann ebenfalls zur festen Verkettung von Prozessen dienen. Der nachgelagerte Prozess produziert in der Ankunftsreihenfolge. Diese eindeutige Reihenfolgeregel erübrigt eine separate Planung des nach gelagerten Prozesses. Durchlaufregale, die von hinten aufgefüllt werden, oder Puffer für Transportwägen, die eindeutige Zu- und Abgangsstellen besitzen sind einfache praxiserprobte Hilfsmittel, die eine dezentrale Steuerung unterstützen.

- ☉ *Die feste Verkettung von Prozessen nach Auftragsfreigabe zur aufwandsarmen Planung und die ausführungsnahе Steuerung nach Auftragsfreigabe sind wesentliche Gestaltungsrichtlinien für die Werkstattsteuerung.*
- ☉ *Das Visualisieren der Abläufe und Ziele in der Ausführungsebene unterstützt die Durchführung der Werkstattsteuerungsaufgaben.*

Klare Ziele und Leitlinien, einfache und ausführungsnahе Methoden, und die dadurch resultierende schnelle Umsetzung und nachweisbare Verbesserung sind Erfolgsfaktoren des Lean Thinking, die bei der Gestaltung einer Werkstattsteuerungsmethode zu berücksichtigen sind.

3.4.4 Reifegradbasierte Konfiguration der Werkstattsteuerung

Ein PPS-System ist nach H.-H. Wiendahl die Gesamtheit der Funktionen und Werkzeuge zur Planung und Steuerung der logistischen Prozesse in einem Produktionsunternehmen [WWC05]. Von dieser Definition ausgehend sind sechs Gestaltungsaspekte eines PPS-Systems zu unterscheiden, die sich auf die Werkstattsteuerung als Teilbereich der PPS übertragen lassen (s. Bild 3.23 a). Im Zentrum stehen die logistischen *Ziele* des Unternehmens (s. Abschnitt 3.2). Die Werkstattsteuerungs-*Funktionen* umfassen die Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung (s. Abschnitt 3.3). Die Werkstattsteuerungs-*Objekte* sind Artikel (Endprodukte, Komponenten oder Material), Ressourcen (Betriebsmittel und Personal) sowie Aufträge (Fertigungsaufträge). *Prozesse* ordnen die Werkstattsteuerungs-Aktivitäten unter sachlogischer und zeitlicher Abfolge. Damit ist die Ablauflogik der Werkstattsteuerung auf der Informationsflussebene beschrieben. Die *Stelle* beschreibt, welchem Verantwortlichen - und damit welcher Person - die Aktivität im Rahmen der Organisation zugeordnet ist. Diese fünf Konzeptbausteine bilden den logischen Kern eines Werkstattsteuerungssystems. Die überwiegend in Software realisierten *Planungs- und Steuerungswerkzeuge* sollen die operative Abwicklung der erforderlichen Werkstattsteuerungs-Aktivitäten durch eine Teilautomatisierung wirkungsvoll unterstützen. Dies standardisiert die Abwicklung und entlastet die Mitarbeiter von zeitraubenden Routinetätigkeiten.

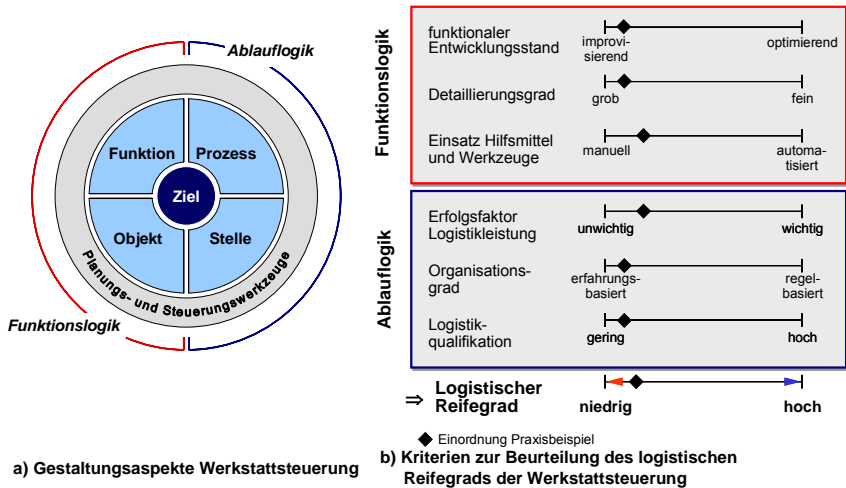


Bild 3.23: Gestaltungsaspekte der Werkstattsteuerung (nach H.-H. Wiendahl) und abgeleitete Kriterien zur Beurteilung des logistischen Reifegrads einer Werkstattsteuerungsmethode

Werkstattsteuerungsfunktionen und -objekte legen die funktionale Logik, Prozesse und Stelle die Ablauflogik der Werkstattsteuerung fest [WieH06c]. In Bild 3.23 b sind die danach strukturierten Kriterien zur Beurteilung des logistischen Reifegrads der Werkstattsteuerung aufgeführt. Eine improvisierende Durchführung der Werkstattsteuerungsfunktionen, ein grober Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte und die manuelle Durchführung der Werkstattsteuerungsaktivitäten führen zu einem niedrigen logistischen Reifegrad in der funktionalen Logik einer Werkstattsteuerung. Eine niedrige Priorität der Logistikleistung in der Unternehmensstrategie, eine erfahrungsbasierte Organisation der Werkstattsteuerungsprozesse und eine geringe Logistikqualifikation der Verantwortlichen schließen auf einen niedrigen logistischen Reifegrad in der Ablauflogik einer Werkstattsteuerung.

☞ Für eine reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollten die Funktions- und Ablauflogik in unterschiedlichen Reifegradstufen festgelegt werden können.

3.5 Zusammenfassende Betrachtung der Anforderungen

Dieser Abschnitt fasst die Anforderungen an die reifegradbasierte Werkstattsteuerung zusammen.

Anforderungen, abgeleitet aus der Betriebstypologie:

1. Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt unterstützen und Artikel mit einer mittleren Stücklistentiefe steuern können.
2. Hohe Materialflusskomplexität und wechselnde Engpässe in funktionsorientierten Strukturen angemessen berücksichtigen.

3. Bei einem hohen Kundenbezug der Aufträge dazu beitragen, Bedarfsschwankungen durch den Einsatz flexibler Kapazitäten zu beherrschen. Die längeren Produktionsdurchlaufzeiten erfordern eine hohe Transparenz im Auftragsdurchlauf und effiziente Regelmechanismen, um bei auftretenden Abweichungen angemessen zu reagieren.

Anforderungen, abgeleitet aus den Zielgrößen der Werkstattsteuerung:

4. Über die Auftragsfreigabe und die Kapazitätssteuerung den Umlaufbestand auf einem angemessenen Niveau regeln.
5. Dazu beitragen, für Termine das gleiche Verantwortungsgefühl wie für die Produktqualität und für die Kosten zu vermitteln.
6. Unternehmen dabei unterstützen, Plantermine durch das Steuern der Kapazitäten anstatt der Arbeitsvorgänge zu sichern.
7. Dazu beitragen, Engpässe zu identifizieren und die Auslastung an den Bedarf anzupassen.

Anforderungen, abgeleitet aus dem Wirkmodell der Werkstattsteuerung:

8. Auftragserzeugung, Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung sind aufeinander abzustimmen.
9. Die Kapazitätssteuerung stellt den funktionalen Schwerpunkt dar.
10. Bei der Konfiguration sind geschlossene Regelkreise festzulegen, die es ermöglichen, die Planungs- und Steuerungsaktivitäten eng miteinander zu koppeln.

Anforderung abgeleitet aus dem logistischen Leitbild und Dezentralität:

11. Das logistische Leitbild des gleichmäßigen Auftragsstroms ist mit einer vorausschauenden und gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung zu ermöglichen.
12. Die Dezentralisierung erfordert die Vorgabe von lokalen Zielen, die auf die überlagerten Zielsetzungen abgestimmt sind. Die lokalen Organisationseinheiten sollten durch entsprechende Freiheitsgrade in der Lage sein, die zentral vorgegebenen Zielsetzungen einzuhalten. (Die Vorgabe von Arbeitspaketen als definierte Leistung mit geforderter Menge und Ecktermin der Lieferung hilft dabei den Kunden-Lieferanten Gedanken in dezentralen Strukturen umzusetzen).

Anforderungen, abgeleitet aus den auf funktionsorientierte Strukturen übertragenen Lean Leitlinien:

13. Ausrichtung der Produktion an einem Takt, um die Kundenorientierung in die Produktion zu tragen, und eine am Kunden ausgerichtete Zielvorgabe zu implementieren.
14. Zeitcluster für eine geglättete Freigabe von Arbeitspaketen sind ressourcenspezifisch festzulegen.

15. Die feste Verkettung von Prozessen zur aufwandsarmen Planung und die ausführungsnahen Steuerung nach der Auftragsfreigabe sind angemessen umzusetzen.

16. Abläufe und Ziele sollten in der Ausführungsebene visualisieren.

Anforderung, abgeleitet aus den unternehmensspezifischen logistischen Reifegraden:

17. Die Ausführung der Werkstattsteuerungsaufgaben und die Parametrierung des Verfahrens erfolgt in unterschiedlichen Reifegradstufen, um eine auf die aktuellen Rahmenbedingungen des Unternehmens angepasste Einführung zu ermöglichen.

4 Klassifizierung bestehender Werkstattsteuerungsverfahren

Das vierte Kapitel stellt bestehende Werkstattsteuerungsverfahren vor und klassifiziert diese. Die Klassifizierung ordnet die Werkstattsteuerungsverfahren nach dem betrieblichen Einsatzfeld (Abschnitt 4.1) und der Verfahrenscharakteristik (Abschnitt 4.2). Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung (Abschnitt 4.3).

Die ausgewählten Steuerungsverfahren sind die Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA), die dezentrale bestandsorientierte Fertigungsregelung (DBF), die terminorientierte Kapazitätssteuerung (TKS), die rückstandsorientierte Produktionsregelung (Rs Pr), die Leitstandssteuerung, die Rüstzeit optimierende Reihenfolgebildung (RZ opt.), die Conwip-Steuerung, die Heijunka-Steuerung, die Schlupfzeitsteuerung (Schlupf) und die First Come First Serve Steuerung (FCFS). Die angegebenen Literaturverweise zu den Verfahren, ergänzen die nachfolgend knappen Erläuterungen. Bild 4.1 bis Bild 4.5 zeigen vereinfacht den Verfahrensablauf mit den zugehörigen Informationsflüssen in Anlehnung an die Darstellung bei H. Lödding [Löd01: 27].

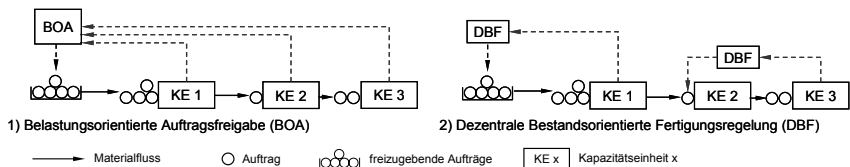


Bild 4.1: Vereinfachte Ablaufschemata BOA und DBF

1. *Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA)* (s. [Bec84], [WieP87: 206ff], [Löd05: 373ff]): Die BOA geht davon aus, dass ein überlagertes Planungssystem die Aufträge erzeugt und ihnen einen Planstarttermin zuweist. Das Verfahren sortiert in einem ersten Schritt die freizugebenden Aufträge nach deren Dringlichkeit (Aufträge mit frühestem Planstarttermin sind am dringlichsten). Die Auftragsfreigabeprüfung umfasst alle Aufträge, die mit ihrem Planstarttermin in einem definierten Vorgriffshorizont liegen. Dabei erfolgt für jeden freizugebenden Auftrag an den jeweils zu durchlaufenden Kapazitätseinheiten eine Überprüfung der individuell definierten Bestandsschranke. Die Bestandssituation an den einzelnen Kapazitätseinheiten entscheidet damit über die Auftragsfreigabe.
2. *Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung (DBF)* (s. [Löd01], [Löd05: 423ff]): Die DBF geht wie die BOA davon aus, dass Aufträge mit Planstartterminen vorliegen. Im Gegensatz zur BOA erfolgt die Freigabeprüfung nicht für den gesamten Auftrag, sondern für jeden Arbeitsvorgang. Die Bearbeitungsfreigabe eines Arbeitsvorgangs an einer Kapazitätseinheit erfolgt durch die im Arbeitsplan folgende Kapazitätseinheit. Diese trifft die Entscheidung auf Ba-

sis der Bestandsgrenze, die für jede Kapazitätseinheit festlegt wie hoch der Gesamtbestand maximal sein darf. Der Verfahrensablauf erlaubt es, dass die wesentlichen Entscheidungen dezentral getroffen werden.

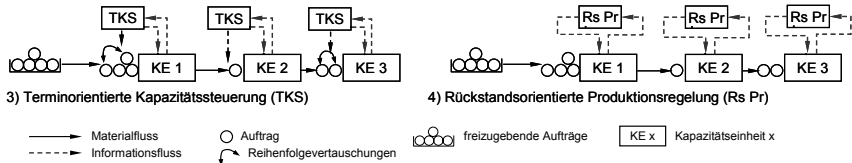


Bild 4.2: Vereinfachte Ablaufschemata TKS und Rs Pr

3. *Terminorientierte Kapazitätssteuerung (TKS)* (s. [Beg05]): Die TKS setzt voraus, dass das überlagerte Planungssystem jeden Auftrag arbeitsvorgangsbezogen terminiert. Die resultierenden Plantermine je Arbeitsvorgang sind Eingangsgrößen für den Verfahrensablauf. Die TKS konzentriert sich auf den Einsatz der kurzfristigen Kapazitätsflexibilität, um die Termintreue von Aufträgen sicherzustellen. Bei jedem Zugang eines Auftrags an einer Kapazitätseinheit erfolgt zuerst eine Überprüfung bzw. Änderung der Bearbeitungsreihenfolge nach dem Planendtermin (frühester Planendtermin Regel) der Aufträge im Direktbestand⁹. Danach folgt für jeden Auftrag im Direktbestand die Berechnung der voraussichtlichen Abgangsterminabweichung gegenüber seinem Planendtermin. Die Berechnung der voraussichtlichen Abgangsterminabweichung erfolgt bei jedem Zu- und Abgang eines Auftrags. Die voraussichtliche Abgangsterminabweichung der Aufträge regelt Kapazitätsanpassungen, um der drohenden Verspätung von Aufträgen entgegenzuwirken.
4. *Rückstandsorientierte Produktionsregelung (Rs Pr)* (s. [Pet96], [Bre01]): Die Rückstandsorientierte Produktionsregelung basiert auf dem Grundgedanken, ein regelungstechnisches Modell auf die Kapazitätseinheiten einer Produktion anzuwenden. Das Hauptelement des Konzepts ist eine Rückstandsregelung, um die Kapazität der Produktion auf den Bedarf anzupassen. Hierfür ist es erforderlich, dass das Planungssystem Aufträge arbeitsvorgangsbezogen terminiert. Der Rückstandsregler ermittelt kontinuierlich den Rückstand aus der Differenz zwischen Ist-Abgang und Plan-Abgang an einer Kapazitätseinheit zum Planungszeitpunkt. Der ermittelte Rückstand löst Kapazitätsanpassungen aus, mit dem Ziel, den Rückstand möglichst schnell wieder abzubauen.

⁹ Direktbestand = Bestand an Aufträgen, die physisch an der Kapazitätseinheit liegen und auf Bearbeitung warten.

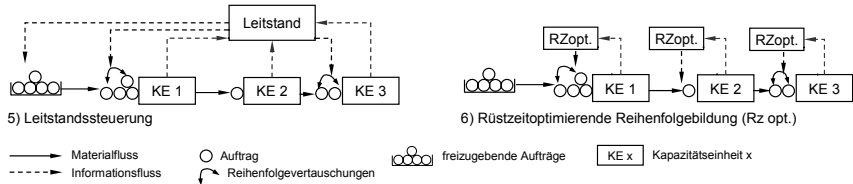


Bild 4.3: Vereinfachte Ablaufschemata Leitstandssteuerung und Rz opt.

- Leitstandssteuerung:** Leitstände werden überwiegend als Systemkomponenten im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung eingesetzt. Dabei sollen die aufgestellten Produktionspläne durch eine kurzfristige Planung, Steuerung und Überwachung möglichst optimal auf den Produktionsbereich umgesetzt werden [DLR94: 8]. Die Verknüpfung von Rückmeldungen und Planungsdaten im Rahmen eines dialogorientierten elektronischen Leitstandes bietet die Möglichkeit, den Auftragsdurchlauf zeitnah zu verfolgen, verschiedene Auftragsreihenfolgen durchzuspielen und Engpasssituationen (z.B. Werkzeuge, Kapazität) zu erkennen [WieP97b: 351]. Dabei geht es bei dem graphischen Leitstand im Schwerpunkt um die deterministische Feinsteuerung einzelner Aufträge und Arbeitsplätze [WieP97b: 353]. Aktuell angebotene Leitstände verfolgen dabei das Ziel, mit Hilfe einer optimalen Auftragsreihenfolge Rüstzeiten zu verringern, um den Durchsatz an Aufträgen zu erhöhen [PSI07].
- Rüstzeitoptimierende Reihenfolgebildung (RZ opt.)** (s. [Löd05: 449f]): Die RZ opt. sortiert die Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge im Direktbestand einer Kapazitätseinheit, so dass sich der Rüstaufwand minimiert. Voraussetzung dafür ist, dass die Rüstzeiten reihenfolgeabhängig sind. Je höher der Umlaufbestand einer Produktion ist, desto größer ist das Optimierungspotenzial dieser Reihenfolgeregel.

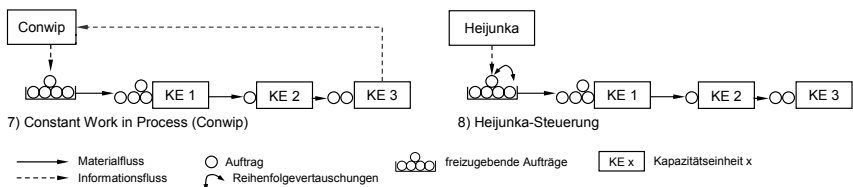


Bild 4.4: Vereinfachte Ablaufschemata Conwip und Heijunka-Steuerung

- Constant Work in Process (Conwip)** (s. [HS96: 461ff], [Löd05: 327ff]): Die Conwip-Steuerung hält den Gesamtbestand einer Produktion auf einem konstanten Niveau. Die von einem überlagerten Planungssystem erzeugten Aufträge werden wie bei der BOA nach ihrer Dringlichkeit sortiert. Der Produktionsabgang eines Auftrags löst den Produktionsstart eines freizugehenden Auftrags aus. Die

Conwip-Steuerung kann mit einfachen Hilfsmitteln (z.B. Conwip-Karten) umgesetzt werden. Die Anzahl der Conwip-Karten begrenzt den Gesamtbestand der Produktion, da die Bearbeitung eines Auftrags nur mit einer begleitenden Conwip-Karte starten darf. Die Breite (Anzahl integrierter Kapazitätseinheiten) der Conwip-Kreisläufe ist variabel.

8. **Heijunka-Steuerung:** Die Heijunka-Steuerung stammt aus dem Toyota Produktionssystem und ist die japanische Bezeichnung für eine Freigabe ausgeglichener Produktionsmengen und -varianten [Lik06: 72]. Die sogenannte Heijunka-Box (Ausgleichskasten) visualisiert den Zeitpunkt der freizugebenden Variante, Menge und die Reihenfolge der Freigabe [RS00: 52]. Die Freigabe von Arbeit richtet sich nach den definierten Pitch-Intervallen (Zeitscheiben), die festlegen, wie viel Arbeit freigegeben wird, in welcher Frequenz die Freigabe erfolgt und wie häufig man das Verhältnis von Leistung und Kundenbedarf ermittelt [RS00:51f]. In variantenreichen Produktionen orientiert sich das Pitch-Intervall an den Auftragslosgrößen [Erl07: 208f]. Die Heijunka-Steuerung gibt die variantenspezifischen Arbeitsinhalte im Pitch-Rhythmus für die Produktion frei.

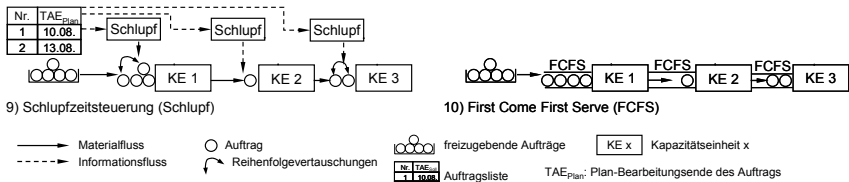


Bild 4.5: Vereinfachte Ablaufschemata Schlupf und FCFS

9. **Schlupfzeitsteuerung (Schlupf)** [Löd05: 446f]: Die Schlupfzeitsteuerung der Aufträge sortiert die Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge an einer Kapazitätseinheit mit dem Ziel, die Termintreue der Aufträge zu erhöhen. Das Sortierkriterium der Schlupfzeitsteuerung ist die zum Planungszeitpunkt verbliebene Gesamtübergangszeit bis zum Plan-Bearbeitungsende des Auftrags. Für die Berechnung des sogenannten Restschlupf sind die Durchführungszeiten der restlichen Arbeitsvorgänge des Auftrags, die Mindestübergangszeiten und das Plan-Bearbeitungsende des Auftrags als Input notwendig. Der Auftrag mit dem kleinsten Restschlupf erhält die höchste Priorität an der Kapazitätseinheit.
10. **First Come First Serve (FCFS)**(s. [Löd05: 445], [Erl07: 156ff]): Die FCFS-Regel vermeidet Reihenfolgevertauschungen, indem die Bearbeitung der Aufträge an der Kapazitätseinheit in der Reihenfolge Ihrer Ankunft abgearbeitet werden. Im Gegensatz zu First in First Out (FiFo) ist bei FCFS nicht gewährleistet, dass die Aufträge auch in der Reihenfolge Ihrer Ankunft die Kapazitätseinheit wieder verlassen. Vor allem bei Kapazitätseinheiten mit mehreren Parallelarbeitsplätzen

können sich Aufträge überholen. Eine physische Verankerung der Reihenfolge in der Produktion unterstützt deren Einhaltung (Durchlaufregale, Rutschen, Bodenschienen, etc.).

4.1 Klassifizierung nach dem betrieblichen Einsatzfeld

Die Materialflusskomplexität kennzeichnet die betrieblichen Rahmenbedingungen für die Planung und Steuerung (s. Abschnitt 4.1.1). Hierbei gilt der Grundsatz, dass Verfahren, die sich für komplexe Materialflüsse eignen, auch in der kundenspezifischen Auftragsfertigung und bei einer hohen Variantenvielfalt anwenden lassen. Die funktionalen Reifegradanforderungen beschreiben die methodischen Anwendungsvoraussetzungen der Verfahren (s. Abschnitt 4.1.2).

4.1.1 Komplexe- versus einfache Materialflüsse

Die Materialflusskomplexität einer Produktion (s. Abschnitt 3.1.2) wird durch das dominierende Segmentierungskriterium für das Zusammenfassen von Ressourcen zu Kapazitätseinheiten beeinflusst. Während bei der Funktionsorientierung die Nutzung von Skaleneffekten durch das Zusammenfassen ähnlicher Technologien im Vordergrund steht, setzt die Produktorientierung auf die Ausrichtung der Gesamtstruktur an Produkten, Märkten und Kunden [Hir00: 25]. Mit funktionsorientierten Werkstattstrukturen verbindet man in der Regel komplexe und mit produktorientierten Fertigungslinien einfache Materialflussstrukturen aus Planungs- und Steuerungssicht.

- *Werkstattsteuerungsverfahren für einfache Materialflüsse:* FCFS und die Heijunka-Steuerung sind Verfahren, die teilweise produktorientierte Produktionsstrukturen voraussetzen. Bei komplexen Materialflüssen mit einer hohen Variantenvielfalt ist die Verkettung von Kapazitätseinheiten über FCFS-Puffer unter Umständen problematisch. Eine strikte Einhaltung der Ankunftsreihenfolge kann in variantenreichen Produktionsstrukturen aufgrund des erhöhten Rüstaufwands zu Durchsatzverlusten führen. Die Heijunka-Steuerung hat die Produktorientierung in Ihrem Verfahrensablauf implementiert. Die Freigabe eines überschaubaren Produktspektrums erfolgt ausgeglichen in Pitches. Die Heijunka-Steuerung setzt einen gerichteten und einfachen Materialfluss der Produktvarianten voraus. Deshalb ist nur an dem sogenannten Schrittmacherprozess die Auftragsreihenfolge und -freigabe zu definieren [Erl07: 206].
- *Werkstattsteuerungsverfahren für einfache und komplexe Materialflüsse:* Die Conwip-, Rüstzeitoptimierende Reihenfolgebildung und Schlupfzeitsteuerung sind bei einfachen und komplexen Materialflüssen anwendbar. Die Conwip-Steuerung ist jedoch bei zunehmender Materialflusskomplexität weniger in der Lage den Bestand an den Kapazitätseinheiten auf einem definierten Niveau zu regeln [Löd01: 98f].

- *Werkstattsteuerungsverfahren für komplexe Materialflüsse:* Die restlichen betrachteten Steuerungsverfahren wurden für komplexe Materialflüsse in funktionsorientierten Werkstattstrukturen entwickelt und angewendet. Einige der Verfahren wurden in der Literatur bereits unter dem Gesichtspunkt der Materialflusskomplexität eingeklassifiziert [AK88], [Löd01: 35].

4.1.2 Hohe versus niedrige funktionale Reifegradanforderungen

Lödning formuliert in den Leitsätzen für die Gestaltung von Fertigungssteuerungsverfahren das „Gebot der Einfachheit“ [Löd05: 80]. Demnach sind einfache Verfahren weniger fehleranfällig und erklärungsbedürftig, was ihre Akzeptanz erhöht. Der praktische Mehraufwand für den Betrieb komplizierter Verfahren ist im Vergleich zu dem theoretischen Mehrnutzen kritisch abzuwägen. Die Heijunka-Steuerung und FCFS setzen beispielweise einen niedrigen funktionalen Reifegrad voraus. Ihr Schwerpunkt liegt eher auf der organisatorischen Umsetzung einfacher Verfahrensregeln als auf der Konzeption komplizierter Verfahrensabläufe und -algorithmen.

Die Klassifizierung nach den funktionalen Reifegradanforderungen gliedert die Steuerungsverfahren danach, ob sie einen aufwandsarmen Betrieb mit geringen funktionalen Voraussetzungen ermöglichen, oder einen hohen Aufwand mit umfangreichen Voraussetzungen erfordern. Der Verfahrensablauf und die -parameter kennzeichnen den Aufwand für den Betrieb eines Verfahrens. Der Detaillierungsgrad der Zeit- und Mengeninformationen und der erforderliche Einsatz von Hilfsmitteln und Werkzeugen definieren die funktionalen Voraussetzungen für die Verfahrensanwendung.

Ein Vergleich zwischen BOA und Conwip-Steuerung soll diesen Unterschied verdeutlichen (s. Tabelle 4-1). Beide Verfahren nutzen den Umlaufbestand einer Produktion als Regelgröße für die Freigabe von Aufträgen.

- *Einfachheit der Verfahrensparameter:* Die Conwip-Steuerung besitzt als Verfahrensparameter lediglich die Gesamtanzahl Conwip-Karten zur Festlegung der maximalen Höhe des Umlaufbestandes in der Produktion und den Vorgriffshorizont der Auftragsfreigabe. Im Gegensatz zur Conwip-Steuerung erfordert die BOA die Festlegung von Bestandsgrenzen für jede Kapazitätseinheit. Der Verfahrensparameter Einlastungsprozentsatz legt den Anteil des Plan-Kapazitätsbedarfs der Arbeitsvorgänge fest, der in die Bestandskonten der Kapazitätseinheiten bei Auftragsfreigabe gebucht wird. Der Vorgriffshorizont ist analog zur Conwip-Steuerung zu definieren.
- *Einfachheit der Verfahrensregeln:* Die einfache Verfahrensregel der Conwip-Steuerung lautet, dass ein Auftrag nur dann freigegeben werden kann, wenn eine Conwip-Karte verfügbar ist. Der BOA-Verfahrensablauf ist wesentlich komplizierter und umfasst mehrere Berechnungs- und Prüfschritte [WieP87: 212].

- *Detaillierungsgrad Zeit- und Mengeninformationen:* Die Conwip-Steuerung ermöglicht die Anwendung unterschiedlicher Detaillierungsgrade der Zeit- und Mengeninformationen. Der Bestand kann in Anzahl Teilen, in Anzahl Aufträgen oder in Vorgabestunden gemessen werden. Die Ermittlung und Pflege arbeitsvorgangsbezogener Auftragszeiten ist deshalb für den Verfahrensablauf nicht unbedingt erforderlich. Die BOA setzt für die Berechnung der arbeitssystemspezifischen Bestandskonten voraus, dass arbeitsvorgangsbezogene Auftragszeiten in Stunden bekannt sind.
- *Einsatz Hilfsmittel und Werkzeuge:* Die Conwip-Steuerung benötigt als Hilfsmittel lediglich die Conwip-Karten, deren Verwaltung aufwandsarm zu realisieren ist. Die BOA erfordert neben den Bestandskonten zeitnahe Rückmeldungen über die Fertigstellung von Aufträgen. Hierbei kommen in der Regel BDE-Systeme zum Einsatz, die eine informationstechnische Unterstützung der Bestandskontenbuchungen ermöglichen. Eine Neuberechnung der Bestandssituation nach jedem Abgang eines Auftrags erfordert außerdem IT-technische Unterstützung für den Betrieb der BOA.

Kriterien	Conwip	BOA
<i>Verfahrensparameter</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtanzahl Conwip-Karten • Vorgriffshorizont 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestandsgrenzen für jede Kapazitätseinheit • Einlastungsprozentsatz • Vorgriffshorizont
<i>Verfahrensregeln</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Freigabe bei Verfügbarkeit einer Conwip-Karte 	<ul style="list-style-type: none"> • Freigabe nach Überprüfung und Berechnung mehrerer Parameter
<i>Detaillierungsgrad Zeit- / Mengeninformationen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 	<ul style="list-style-type: none"> • arbeitsvorgangsbezogene ZAU [h]
<i>Hilfsmittel und Werkzeuge</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Conwip-Karten 	<ul style="list-style-type: none"> • Software zur automatisierten Verarbeitung von Rückmeldungen und Bestandskontenbuchungen

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung Conwip und BOA bzgl. dem funktionalen Reifegradanforderungen

4.2 Klassifizierung nach der Verfahrenscharakteristik

Die Verfahrenscharakteristik der betrachteten Steuerungsverfahren ergibt sich aus dem Funktionsschwerpunkt (s. Abschnitt 4.2.1) und dem logistischen Leitbild (4.2.2) der Verfahren. Die Charakteristik von Werkstattsteuerungsverfahren wurde bereits umfangreich untersucht. In der Literatur finden sich Methodenvergleiche, bei denen die Steuerungsverfahren der Pull- oder Push-Logik zugeordnet wurden [AK88]. H. Lödning klassifiziert Werkstattsteuerungsverfahren nach dem zentralen oder dezentralen Verfahrenscharakter [Löd01: 30f] (s. Abschnitt 3.4.3).

4.2.1 Funktionsschwerpunkt

Die Werkstattsteuerungsfunktionen sind die Auftragsfreigabe (s. Abschnitt 4.2.1.1), die Kapazitätssteuerung (s. Abschnitt 4.2.1.2) und die Reihenfolgebildung (s. Abschnitt 4.2.1.3).

4.2.1.1 Klassifizierung Auftragsfreigabeverfahren

Auftragsfreigabeverfahren bestimmen den Zeitpunkt, an dem die Produktion einen Auftrag oder Arbeitsvorgang bearbeiten darf. Damit regelt die Auftragsfreigabe den Zugang an Aufträgen. Bei der Auftragsfreigabe entscheidet sich, ob

- die Freigabe von Aufträge früher oder später oder
- die Freigabe von mehr oder weniger Aufträgen erfolgt [WieH02: 211].

Beide Entscheidungen beeinflussen den Umlaufbestand, die Auslastung und Durchlaufzeit einer Produktion (s. Abschnitt 3.3). In Bild 4.6 sind die Werkstattsteuerungsverfahren mit dem Funktionsschwerpunkt Auftragsfreigabe einklassifiziert.

- Das *Freigabekriterium* beschreibt anhand welcher Größe aus Ressourcen- oder Auftragsicht die Freigabeentscheidung getroffen wird. Die Freigabekriterien lassen sich nach Ihrem *Zeitbezug* einordnen [WieH02: 43].
- Die Freigabe kann in unterschiedlichen *Detaillierungsgraden*, entweder grob für den gesamten Auftrag, oder fein für einzelne Arbeitsvorgänge erfolgen.
- Die *Auslösungslogik* unterscheidet die ereignisorientierte von der periodischen Freigabeprüfung [Löd05: 309f], [Lop05: 22].
- Für den Verfahrensablauf sind unterstützend *Hilfsmittel* notwendig.

				Auftragsfreigabeverfahren				
				Conwip-Steuerung	BOA	DBF	Heijunka-Steuerung	Leitstand
Klassifizierungskriterien	Freigabekriterium	Ressourcensicht	Bestand	X	X	X		(x)
		Auftragsicht	Planstarttermin				X	X
	Zeitbezug des Freigabekriteriums	Vergangenheit					X	(x)
		Gegenwart		X	X	X	(x)	X
		Zukunft						
	Detaillierungsgrad	grob (gesamter Auftrag)		X	X		X	
		fein (einzelner Arbeitsvorgang)				X		X
	Auslösungslogik	periodisch		(x)	X		X	X
		ereignisorientiert		X	(x)	X		(x)
	Hilfsmittel-einsatz	PPS-System (Software)			X	X		X
		Manuell / Visualisierungen		X		(x)	X	

Bild 4.6: Klassifizierung der betrachteten Auftragsfreigabeverfahren

Conwip-Steuerung, BOA und DBF geben Aufträge bestandsregelnd frei. Bei der DBF erfolgt die Freigabeprüfung für einzelne Arbeitsvorgänge, während BOA und Conwip-Steuerung die Freigabeprüfung für jeden Auftrag nur einmalig ausführen. Heijunka-Steuerung und Leitstand geben Aufträge nach Termin frei, wobei bei einigen Leitständen die Möglichkeit besteht, vor der Freigabe die Belastungssituation der Kapazitätseinheiten zu prüfen. Conwip-Steuerung und DBF stoßen die Freigabeprüfung ereignisorientiert durch die Fertigstellung eines Auftrags bzw. eines Arbeitsvorgangs an. BOA, Heijunka-Steuerung und Leitstand geben Aufträge periodisch in festgelegten Zeitintervallen frei. Die Conwip- und Heijunka Steuerung setzen auf visuelle Hilfsmittel. BOA, Leitstand und bedingt auch die DBF erfordern den Einsatz von Software.

4.2.1.2 Klassifizierung Kapazitätsteuerungsverfahren

Das Ziel der Kapazitätssteuerung ist es, Planabweichungen mit dem Einsatz flexibler Kapazitäten auszuregulieren. In der Praxis gibt es nur wenige Unternehmen, die eine systematische Kapazitätssteuerung durchführen [Beg05: 43]. Auch in der Literatur finden sich nur wenige Beiträge zur Kapazitätssteuerung, obwohl ihr eine herausragende Bedeutung zukommt. Sie beeinflusst als einzige Werkstattsteuerungsaufgabe sämtliche Zielgrößen der Werkstattsteuerung (s. Abschnitt 3.3). In Bild 4.7 sind die Werkstattsteuerungsverfahren mit dem Funktionsschwerpunkt Kapazitätssteuerung einklassifiziert.

				Kapazitätssteuerungsverfahren	
				Rs Pr	TKS
Klassifizierungskriterien	Regelgröße der Kapazitätssteuerung	Ressourcensicht	Rückstand	X	
		Auftragssicht	Abgangsterminabweichung		X
	Zeitbezug d. Regelgröße	Vergangenheit			
		Gegenwart		X	
		Zukunft			X
	Detaillierungsgrad	grob (z.B. Auftrag, Bereich)			
		fein (z.B. Arbeitsvorgang, KE)		X	X
	Genauigkeit	kontinuierlich		X	
		diskret			X
	Hilfsmittel-einsatz	PPS-System (Software)		X	X
		Manuell / Visualisierungen			

Bild 4.7: Klassifizierung der betrachteten Kapazitätssteuerungsverfahren

- Die *Regelgröße* der Kapazitätssteuerung entscheidet über notwendige Kapazitätsanpassungen. Der *Zeitbezug* der Regelgröße definiert die Nervosität bzw. Trägheit des Systemverhaltens [WieH02: 43].
- Der *Detaillierungsgrad* der Kapazitätssteuerungsverfahren charakterisiert, ob die Regelgröße eher grob (z.B. für gesamte Produktionsbereiche, Aufträge) oder fein (z.B. einzelne Ressourcen, Arbeitsvorgänge) gemessen wird.
- Die *Genauigkeit* der Kapazitätssteuerungsverfahren bezieht sich auf die kontinuierliche oder diskrete Messung der Regelgröße.
- Zur Unterstützung der Kapazitätssteuerung kommen *Hilfsmittel* zum Einsatz.

Rs Pr und TKS unterscheiden sich vor allem in der verwendeten Regelgröße und der Genauigkeit der Messung. Rs Pr nutzt die Regelgröße Rückstand von Kapazitätseinheiten und die TKS die voraussichtliche Abgangsterminabweichung von Aufträgen. Da in einer Produktion in der Regel wesentlich mehr arbeitsvorgangsbezogene Termine als Kapazitätseinheiten zu überwachen sind, reagiert der TKS-Ablauf empfindlicher auf Planabweichungen. Die kontinuierliche Messung des Rückstands bei der Rs Pr hat sich in der Praxis nicht bewährt [Beg05: 50]. Stattdessen wird der Rückstand eher periodisch gemessen, um den Aufwand zu reduzieren und die Häufigkeit für Kapazitätsangebotsänderungen an die betrieblichen Rahmenbedingungen (z.B. Mehr-Schicht Betrieb) anzupassen.

4.2.1.3 Klassifizierung Reihenfolgebildungsverfahren

Reihenfolgebildungsverfahren und -regeln legen die Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen an den Kapazitätseinheiten der Produktion fest. In Bild 4.8 sind die Werkstattsteuerungsverfahren mit dem Funktionsschwerpunkt Reihenfolgebildung eingeklassifiziert. Bei Variantenfertigern existieren Reihenfolgeregeln zur Erhöhung der Termintreue und zur Erhöhung der Leistung [Löd05: 441ff].

- *Erhöhung der Leistung*: Die Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen beeinflusst in Werkstattstrukturen mit einer hohen Variantenvielfalt den Rüstaufwand. Der Rüstaufwand reduziert sich, wenn man Aufträge, die dieselben Maschineneinstellungen, Werkzeuge, NC-Programme, etc. benötigen, hintereinander produziert. Die Einsparung von Rüstzeiten erhöht die kurzfristige Kapazitätsflexibilität der Kapazitätseinheit und reduziert die Durchführungszeit der Aufträge.
- *Erhöhung der Termintreue*: Die Einhaltung der Bearbeitungsreihenfolge wirkt sich auch auf die Termintreue einer Produktion aus (s. Abschnitt 3.3). Eine Priorisierung von Aufträgen mit einer hohen Verspätung (z.B. Zugangsterminabweichung) führt zu einer höheren Termintreue.

			Reihenfolgebildungsverfahren				
			FCFS	Schlupf	Rz opt.	Leitstand	
Klassifizierungskriterien	Sortierkriterium	Zugangstermin	X				
		Auftragssicht	Planendetermin				X
			Restschlupf		X		
		Ressourcensicht	Rüstaufwand			X	X
	Vergangenheit				X	X	
	Zeitbezug	Gegenwart	X	X			
		Zukunft					
	Detaillierungsgrad	grob (Auftrag)	(x)	(x)			
		fein (Arbeitsvorgang)	X	X	X	X	
	Auslöselogik	periodisch		X	X	X	
		ereignisorientiert	X			(x)	
	Hilfsmittel-einsatz	PPS-Systeme (Software)		X	X	X	
		Manuell / Visualisierungen	X				

Bild 4.8: Klassifizierung der Reihenfolgebildungsverfahren

Die Sortierkriterien von FCFS, Schlupf-Steuerung und Leitstand haben das Ziel die Termintreue zu erhöhen. Die Rz opt.-Steuerung konzentriert sich darauf, die Bearbeitungsreihenfolge mit dem Ziel der Durchsatzerhöhung festzulegen. Einige Leitstände unterstützen die Reihenfolgebildung unter Berücksichtigung mehrerer Sortierkriterien. Alle Verfahren sortieren die Auftragsreihenfolge arbeitsvorgangsbezogen an den Kapazitätseinheiten. Die Berechnung der Sortierkriterien erfordert bei fast allen Verfahren den Einsatz von Hilfsmitteln. Bei FCFS reichen einfache Layoutveränderungen (z.B. Bodenschienen) aus, um die Umsetzung auch ohne PPS-System zu unterstützen.

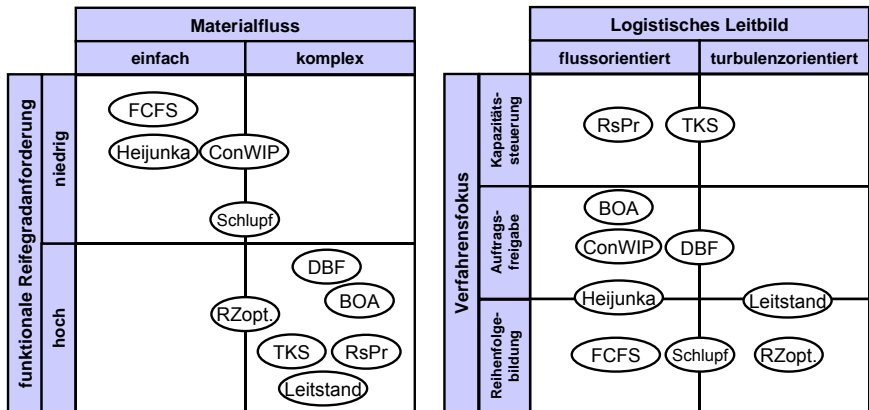
4.2.2 Gleichmäßiger versus turbulenter Auftragsstrom

Das Klassifizierungskriterium logistisches Leitbild gliedert die betrachteten Steuerungsverfahren danach, ob sie eher die Strategie eines gleichmäßigen Auftragsstroms oder eines turbulenten Gebirgsbachs verfolgen. H.-H. Wiendahl ordnet die Stellgrößen Zugang und Kapazität der flussorientierten Strategie zu [WieH02: 123]. Die flussorientierte Strategie erlaubt eine Werkstattsteuerung des mittleren Auftragsfortschritts, wohingegen die turbulenzorientierte Strategie eine Werkstattsteuerung des individuellen Auftrags erfordert (s. Abschnitt 3.4.1). Reihenfolgebildungsverfahren; die arbeitsvorgangsbezogen zu Reihenfolgevertauschungen führen, sind der turbulenzorientierten Strategie zuzuordnen. Kapazitäts- und Auftragsfreigabeverfahren steuern primär die Stellgrößen Zugang und Kapazität und verfolgen deshalb eher

die Strategie des gleichmäßigen Auftragsstroms. Lediglich die TKS und DBF verfolgen zum Teil auch den turbulenzorientierten Ansatz, da sie die Kapazität bzw. den Zugang eher aus einer Auftragsicht (arbeitsvorgangsbezogen) steuern. Dennoch unterstützen beide Verfahren eine Planung des mittleren Auftragsfortschritts, da die TKS durch Kapazitätsanpassungen und die DBF durch die bestandsgeregelte Auftragsfreigabe Durchlaufzeitabweichungen begrenzen. Leitstände verfolgen die turbulenzorientierte Strategie, indem sie softwaregestützt eine Feinsteuerung jedes Arbeitsvorgangs unterstützen und dadurch Reihenfolgevertauschungen ermöglichen.

4.3 Zusammenfassende Einklassifizierung

Bild 4.9 zeigt die zusammenfassende Einordnung der Werkstattsteuerungsverfahren (nach [Löd01: 35]). In Bild 4.9 a ist die Klassifizierung nach dem Einsatzfeld der Werkstattsteuerungsverfahren visualisiert. Keines der betrachteten Werkstattsteuerungsverfahren ordnet sich dem betrieblichen Einsatzfeld komplexer Materialflüsse in Verbindung mit niedrigen funktionalen Reifegradanforderungen zu. Dies rechtfertigt die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung für diese speziellen betrieblichen Rahmenbedingungen.



a) Einsatzfeld (betriebliche Rahmenbedingungen)

b) Verfahrenscharakteristik (Funktionalität)

Bild 4.9: Zusammenfassende Klassifizierung der betrachteten Werkstattsteuerungsverfahren

Bild 4.9 b klassifiziert die betrachteten Werkstattsteuerungsverfahren nach Ihrer funktionalen Verfahrenscharakteristik. Der Verfahrensfokus der reifegradbasierten Werkstattsteuerung liegt auf der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung. Keines der betrachteten Verfahren integriert die Aufgaben der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung. Simulationsuntersuchungen zum Einsatz der DBF mit einer Rückstands-

regelung bestätigen das logistische Potenzial der kombinierten Anwendung von Auftragsfreigabe- und Kapazitätssteuerungsverfahren [LLB02].

- *Die Entwicklung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung konzentriert sich darauf, das logistische Potenzial eines kombinierten Auftragsfreigabe- und Kapazitätssteuerungsverfahrens auch für Unternehmen mit niedrigem funktionalem Reifegrad zu erschließen. Die Flussorientierung ist dabei wesentliches Gestaltungsmerkmal.*

5 Methodische Grundlagen der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

Das fünfte Kapitel beschreibt die methodischen Grundlagen der reifegradbasierten Werkstattsteuerung. Das Kapitel unterteilt sich in Grundlagen für die Gestaltung der Werkstattsteuerungsfunktionen (Abschnitt 5.1) und für die Parametrierung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung (Abschnitt 5.2).

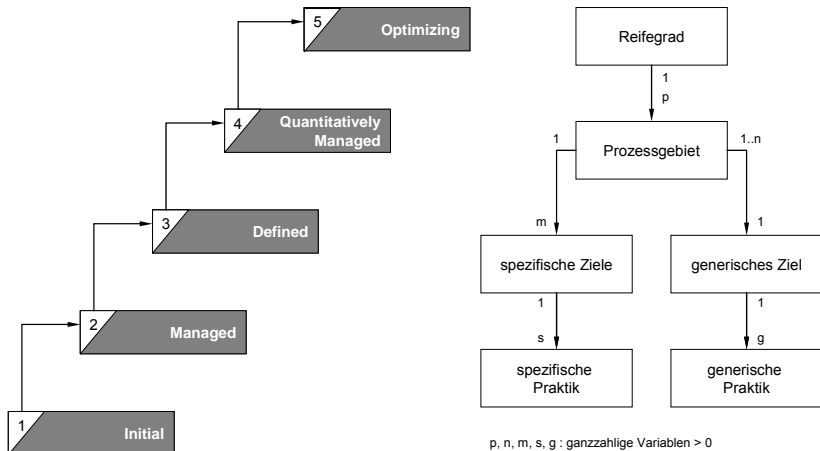
5.1 Gestaltungsgrundlagen der Werkstattsteuerungsfunktionen

Die Gestaltung der Werkstattsteuerungsfunktionen soll reifegradbasiert erfolgen, um Unternehmen mit unterschiedlichen Voraussetzungen den Betrieb und die Parametrierung des Verfahrens zu ermöglichen. Die Ermittlung und Bewertung der derzeitigen Unternehmenssituation und die Einordnung in eine Bewertungsskala mit reifegradbasierten Abstufungen bildet dabei den Ausgangspunkt. Abschnitt 5.1.1 zeigt, wie sich die Grundgedanken bestehender Reifegradmodelle auf die Werkstattsteuerung übertragen lassen. Abschnitt 5.1.2 stellt die Vorteile geschlossener Regelkreise aus der Mess- und Regeltechnik vor und zeigt Möglichkeiten auf, den Regelungsgedanken auf die Werkstattsteuerung zu übertragen. Der Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte und der Zeit- und Mengeninformationen stellt ein wesentliches Gestaltungsmerkmal von Werkstattsteuerungsmethoden dar (s. Abschnitt 5.1.3).

5.1.1 Reifegradmodell zur Festlegung der Funktionsfähigkeit

Reifegradmodelle werden vor allem bei der Gestaltung, Überprüfung und Verbesserung von Prozessen eingesetzt. Am weitesten verbreitet ist das Capability Maturity Model (CMM) des amerikanischen Software Engineering Institute (SEI) aus dem Jahre 1991. CMM ist ein Prozessmodell zur Beurteilung der Qualität, also „Reife“, von Softwareprozessen (z.B. Softwareentwicklung, -wartung, -konfiguration) in Organisationen sowie zur Bestimmung von Maßnahmen zur Verbesserung dieser Prozesse [Dym02]. Seit 1991 wurde das CMM-Modell weiterentwickelt und angewendet. Zur Vereinheitlichung und Integration der unterschiedlichen Entwicklungstendenzen wurde 2002 das CMMI -Modell als Weiterentwicklung vom SEI vorgestellt [SEI02]. Das CMMI-Modell hilft Unternehmensorganisationen dabei, ihre Reife oder Prozessfähigkeit zu beurteilen, die Priorität von Verbesserungen zu begründen, und diese Verbesserungen durchzuführen. Dazu werden Entwicklungsstufen definiert und als die sogenannten *Reifegrade* festgelegt. Die Qualität von Prozessen wird mit fünf Stufen bewertet (s. Bild 5.1 a), wobei die Qualität mit jeder Stufe steigt. In dieser Darstellung gibt es fünf Reifegrade, denen jeweils, mit Ausnahme von Reifegrad eins, verschiedene Prozessgebiete mit Anforderungen zugeordnet sind. Die Komponenten zur Er-

mittlung der Reifegradstufen und ihre Abhängigkeiten untereinander sind in Bild 5.1 b dargestellt. Jedes *Prozessgebiet* enthält ein oder mehrere *spezifische Ziele* (die für das jeweilige Prozessgebiet charakteristisch sind), die selbst durch jeweils ein oder mehrere *spezifische Praktiken* umgesetzt werden. Außerdem enthält jedes Prozessgebiet genau ein *generisches Ziel*, das selbst einem oder mehreren Prozessgebieten zugeordnet ist. Zwischen Reifegrad und generischen Zielen gibt es eine eindeutige Zuordnung, so dass das generische Ziel als Eigenschaft des Reifegrads gilt [Kne03:18]. *Generische Praktiken* (engl. generic practice) bieten eine Institutionalisierung um sicher zu stellen, dass diesem Prozessbereich zugeordnete Prozesse effektiv, wiederholbar und dauerhaft sind. Ein *generisches Ziel* (engl. generic goal) beschreibt die Institutionalisierung geeigneter Vorgehensweisen in allen Prozessbereichen zur Verbesserung der Reife des Unternehmens [SEI02:16f].



a) Reifegradstufen des CMMI

b) Abhängigkeiten der CMMI-Komponenten

Bild 5.1: CMMI Reifegradstufen und Abhängigkeiten der CMMI-Komponenten (nach R. Kneuper)

Im Folgenden sind die Reifegradstufen beispielhaft für den Prozessbereich Projektplanung kurz erläutert (in Anlehnung an [AST05: 29], [SEI02: 35f]):

- Reifegrad 1: *Initial* (engl. „initial“). Die Begriffe „ad hoc“ bis hin zu „chaotisch“ charakterisieren die Prozesse in Stufe eins. Eine Definition der Prozesse ist nicht vorhanden und das Prozessergebnis hängt stark von einzelnen Personen und deren Wissen ab. Kosten, Zeiten und Qualität hängen von nicht systematisch erfassten Größen ab und sind deshalb nicht vorhersehbar.
- Reifegrad 2: *Geführt* (engl. „managed“). Grundlegende Prozesse sind dokumentiert. Die Planung neuer Projekte erfolgt anhand der Erfahrungen mit vergangenen Projekten. Die spezifischen Ziele des Prozessgebiets sind erfüllt und Zeiten

einigermaßen kontrollierbar. Kosten und Qualität unterliegen starken Schwankungen.

- Reifegrad 3: *Definiert* (engl. „defined“). In Stufe drei verlagert sich der Fokus von den einzelnen individuellen Prozessen hin zu einheitlichen Prozessen für die gesamte Unternehmung. Die Bewertung von Kosten und Zeiten erfolgt einigermaßen zuverlässig. Qualität ist immer noch Schwankungen ausgesetzt
- Reifegrad 4: *Quantitativ geführt* (engl. „quantitatively managed“). Mit der Verwendung von Metriken und Kennzahlen in Stufe 4, soll eine Basis zur Verbesserung gelegt werden. Es werden quantitative Ziele vorgegeben, ihre Erreichung gemessen und überwacht. Zeiten, Kosten und Qualität sind zuverlässig kontrollierbar. Wichtig sind dabei jedoch ein einheitliches Verständnis der Kennzahlen sowie die Verwendung identischer Messmethoden.
- Reifegrad 5: *Optimierend* (engl. „optimizing“). Die höchste Stufe beinhaltet eine systematische Analyse von Problemen und Fehlern, einhergehend mit einer Auswahl an zu realisierenden Verbesserungen. Die gesamte Organisation konzentriert sich auf das Finden von Schwächen und die weitere Verbesserung der Prozesse.

Das CMMI-Modell bietet Unternehmen, die unzufrieden mit der Zielerreichung in einem Prozessgebiet, sind Unterstützung an, sich in den beschriebenen Reifegradstufen einzuordnen. Anhand der im CMMI-Modell beschriebenen „best-practice“ Vorgehensweisen der höheren Reifegradstufen leitet sich der Aufwand für eine höhere Reifegradstufe ab. Das CMMI-Modell geht dabei davon aus, dass es das Ziel jedes Unternehmens ist, langfristig die höchste Reifegradstufe in allen Prozessgebieten zu erzielen. Dabei steht der notwendige Aufwand (z.B. Personalaufwand, Investitionen in Software, etc.) für das Erreichen einer Reifegradstufe zu dem Nutzen (z.B. höhere Aussagesicherheit, weniger Kosten, etc.) in einem sogenannten asymptotischen Verhältnis (s. Bild 5.2 a).

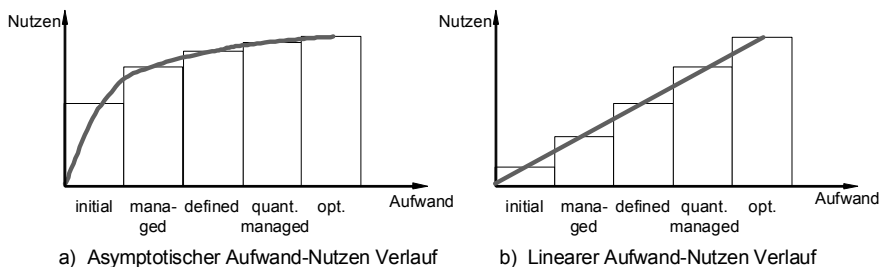


Bild 5.2: Aufwand-Nutzen Verlauf für das Erreichen unterschiedlicher Reifegradstufen

Um sich beispielsweise von der Stufe „managed“ zur Stufe „defined“ zu entwickeln, hat man einen geringen zusätzlichen Nutzen, jedoch den gleichen Aufwand wie bei

der Entwicklung von der Stufe „initial“ zur Stufe „managed“, bei einem größeren Nutzen. Dieser Zusammenhang erklärt, warum die meisten Unternehmen sich auf den Stufen „managed“ und „defined“ und nur ganz wenige auf den Stufen „quantitatively managed“ und „optimizing“ einordnen lassen [SEI05]¹⁰. Bei einem linearen Aufwand-Nutzen-Verlauf (s. Bild 5.2 b) wäre der Anteil von Unternehmen auf höheren Reifegradstufen deutlich höher.

Tabelle 5-1 stellt das CMMI-Modell den Überlegungen zur reifegradbasierten Werkstattsteuerung gegenüber. Für das Prozessgebiet Werkstattsteuerung ist bisher kein vergleichbares Reifegradmodell mit den passenden Komponenten verfügbar. Die Reifegradüberlegungen sollen sich im Gegensatz zum CMMI-Modell nicht auf die *Prozesssicht* (Ablauflogik und Verantwortlichkeiten) konzentrieren, sondern auf die *Funktionssicht* (Werkstattsteuerungsfunktionen und -objekte).

Kriterien	CMMI-Modell	Reifegradbasierte Werkstattsteuerung
Fokus	Prozesssicht	Funktionssicht
Prozesskategorien	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessmanagement • Projektmanagement • Konstruktions-/Entwicklungsprozesse • Produktentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> • Werkstattsteuerung
Langfristige Zielsetzung	Höchster Reifegrad für die Prozessbereiche	Angemessener Reifegrad für die Werkstattsteuerung
Abhängigkeit von Verfahren	Reifegradmodell ist verfahrensunabhängig	Reifegradstufen sind verfahrensspezifisch
Ziele bei der Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • objektive Analyse der Ist-Situation • Verbesserung der Ist-Situation • Vorgehensweisen aufzeigen, um einen höheren Reifegrad zu erreichen 	<ul style="list-style-type: none"> • Werkstattsteuerung in unterschiedlichen Reifegradstufen, <ol style="list-style-type: none"> für die Anwendung bei unterschiedlichen Unternehmensvoraussetzungen für die schnelle Umsetzung der Werkstattsteuerungsmethode • transparente Darstellung der Anforderungen für die jeweilige Reifegradstufe

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung CMMI-Modell und reifegradbasierte Werkstattsteuerung

Die langfristige Zielsetzung bei der Anwendung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung ist es, nicht wie beim CMMI-Modell, Unternehmen in allen Prozessgebieten auf die höchste Reifegradstufe zu entwickeln. Stattdessen zielt die reifegradbasierte Werkstattsteuerung darauf ab, einen angemessenen Reifegrad für die Werkstattsteuerungsfunktionen festzulegen.

Die zum Teil sehr unterschiedlichen betrieblichen Einsatzfelder der Werkstattsteuerungsverfahren erschweren eine verfahrensunabhängige Definition von Reifegradstufen. Die Anwendung des CMMI-Modells ist unabhängig von den Unternehmensvoraussetzungen und orientiert sich an allgemeingültigen Praktiken. Die Anwendung

¹⁰ Ergebnisse des SEI zwischen 2001 und 2005. Insgesamt wurden ~9.000 Projekte bei ~1.000 Unternehmen davon ~67% außerhalb USA ausgewertet. Verteilung auf die Reifegradstufen: 5,7% initial, 39,6% repeatable, 37,4% defined, 7,6% managed, 9,8% optimizing.

des Reifegradgedankens in der Werkstattsteuerung zielt darauf ab, die Werkstattsteuerungsaufgaben bei unterschiedlichen Unternehmensvoraussetzungen (z.B. Planungsgrundlage, Einsatz von Hilfsmitteln) anzuwenden. Die Werkstattsteuerungsaufgaben lassen sich dann schnell an die spezifische Unternehmenssituation anpassen. Logistische Verbesserungen lassen sich schneller realisieren, da keine aufwendigen Vorarbeiten vorausgesetzt werden. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung soll es Unternehmen erleichtern, die Anforderungen der jeweiligen Reifegradstufen zu identifizieren. Hieraus kann unternehmensspezifisch das Aufwand/Nutzen Verhältnis für den Wechsel einer Reifegradstufe beurteilt werden.

- ☞ *Die reifegradbasierte Gestaltung und Festlegung der Werkstattsteuerungsfunktionen und -parameter unterstützt eine auf die Unternehmensvoraussetzungen angepasste Konfiguration der Werkstattsteuerungsmethode.*

5.1.2 Regelkreise in der Werkstattsteuerung

Die Werkstattsteuerung soll möglichst schnell auf externe Schwankungen (z.B. Bedarfsschwankungen) und interne Störungen (z.B. Maschinenausfall) reagieren [War89], [WieP97b: 258f]. Anstatt einer rein vorausschauenden Planung soll durch geschlossene Regelkreise ein ständiges Anpassen an veränderte Bedingungen erfolgen. In Analogie zum technischen Regelkreis wurden logistische Regelkreise entwickelt, die den Wirkungsplan geschlossener Regelkreise auf logistische Systeme übertragen. Ein Regelkreis besteht dabei aus einer Regelstrecke, dem Regler, dem Meß- und Stellglied (s. Bild 5.3).

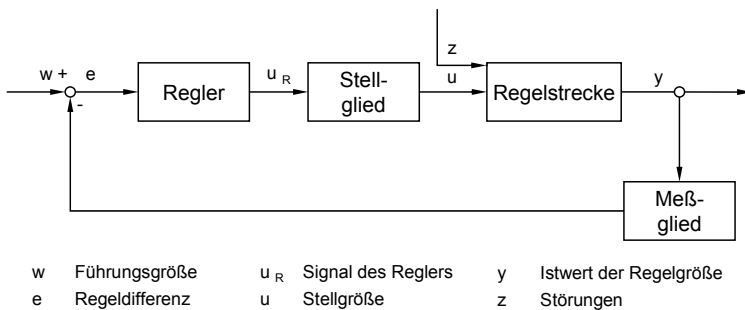


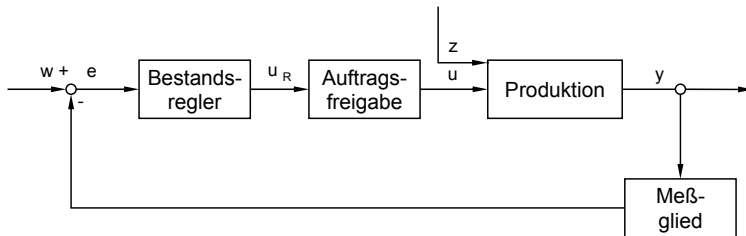
Bild 5.3: Blockschaltbild eines Regelkreises (nach [DIN 19226])

Die Aufgabe der Regelung eines Prozesses (Regelstrecke) ist es, die vom Messglied erfasste Regelgröße y , auch beim Auftreten von Störungen z der Führungsgröße w nachzuführen. Der Regler verarbeitet die Regeldifferenz e und erzeugt ein Signal u_R , das über das Stellglied als Stellgröße u auf die Regelstrecke einwirkt. Dabei soll die Regeldifferenz möglichst schnell beseitigt oder klein gehalten werden. Die Betrachtung

Die Entwicklung der Regelungstechnik zeigt, dass bestimmte Kriterien erfüllt sein sollten, um geschlossene Regelkreise in der Werkstattsteuerung anzuwenden [Pet96: 33f]:

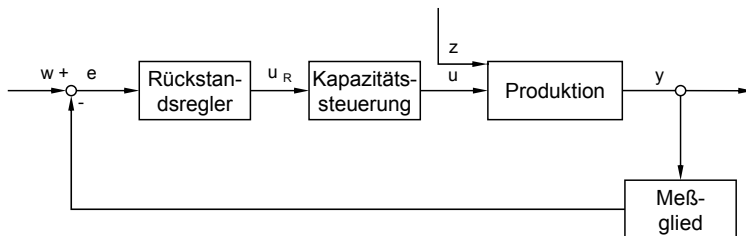
- Messbare Regelgrößen sind definiert.
- Wirkzusammenhänge zwischen Führungs- und Stellgröße sind bekannt.
- Regler beeinflussen das Systemverhalten auf nachvollziehbare Weise.

Eine detaillierte Liste von logistischen Regel- und Stellgrößen findet sich bei H.-H. Wiendahl [WieH02: 42f]. Das Wirkmodell der Werkstattsteuerung von H. Lödging [Löd05: 9] leistet einen wesentlichen Beitrag, die Wirkzusammenhänge von Stell-, Regel- und Zielgrößen darzustellen. Der Ansatz einer kombinierten Bestands- und Rückstandsregelung erscheint dabei vielversprechend (s. Bild 5.4) [Pet96: 76f].



w mittlerer Sollbestand u_R Signal des Reglers y Bestandshöhe
e Bestandsabweichung u Zugangsrate z Störungen

a) Bestandsregelung



w Rückstand = 0 u_R Signal des Reglers y Rückstand
e Rückstand u Kapazitätsangebot z Störungen

b) Rückstandsregelung

Bild 5.4: Bestands- und Rückstandsregelkreise (nach D. Petermann)

- Das *Regeln des Bestandes* auf einem definierten Niveau wirkt den Durchlaufzeitenschwankungen entgegen und sichert die Einhaltung der Plandurchlaufzeiten und damit der nach außen kommunizierten Lieferzeiten. DBF, BOA und Con-wip-Steuerung nutzen die Bestandsregelung mit Hilfe der Auftragsfreigabe. In Abhängigkeit der gemessenen Bestandshöhe werden mehr oder weniger Aufträge früher oder später freigegeben (s. Bild 5.4 a).

- Das *Regeln des Rückstandes* verbessert die Termintreue und sichert damit das Einhalten der zugesagten Liefertermine. TKS und Rs Pr integrieren den Rückstandsregler mit Hilfe der Kapazitätssteuerung (s. Bild 5.4 b). Der gemessene Rückstand signalisiert Handlungsbedarf, das Kapazitätsangebot entsprechend anzupassen.
- Qualitätsmerkmale [Pet93: 425] eines durch Regelung beherrschten Prozesses sind:
- *Führungsverhalten*: die Realisierung sich kurzfristig ändernder lokaler Ziele,
 - *Störverhalten*: die Kompensation auftretender Störungen,
 - *Stabilität*: das schnelle Erreichen des Gleichgewichtszustandes.
- ⇒ *Die Festlegung von Regelgrößen (z.B. Bestand und Rückstand) und geschlossener Regelkreise in der Werkstattsteuerung unterstützen eine schnelle und angemessene Reaktion auf Abweichungen.*

5.1.3 Werkstattsteuerungs-Grundobjekte

Die Grundobjekte der Werkstattsteuerung sind Artikel, Ressourcen und Prozesse. Der Prozess wandelt, mit Hilfe von Ressourcen, Bedarfs- in Zielartikel um. Der Detaillierungsgrad der Grundobjekte Artikel, Prozess, Ressource und der Zeit- / Mengeninformationen beschreibt das Abstraktionsniveau von Entscheidungen in der Werkstattsteuerung. Bei der Auswahl geeigneter Werkstattsteuerungsverfahren bestimmt die Modellierungsgenauigkeit auch die Eignung der Methoden [WieH02: 130]. In einem Produktionsumfeld sind die Einflüsse vielfältig, vernetzt, versteckt und nicht wiederholbar. Die Unkenntnis sämtlicher Einflüsse wird deshalb durch die Abstraktion des Planungsgegenstandes aufgelöst. Das Abstraktionsniveau beeinflusst:

- die *Komplexität der Planungs- und Steuerungsaufgaben* (in der Regel reduziert sich der Planungsaufwand bei einer groben Modellierung, da weniger Restriktionen zu beachten sind. Dafür kann sich der Aufwand in den Steuerungsaufgaben (z.B. Arbeitsverteilung, Reihenfolgebildung, Bearbeitung) erhöhen).
- die *Komplexität der Arbeit vorbereitenden Tätigkeiten*: Stücklisten- und Arbeitsplanerstellung, Betriebsmittelplanung und Zeitwirtschaft [Wes06: 153 ff],
- den *Pflegeaufwand der Stamm- und Bewegungsdaten*,
- die *Planungstoleranz*,
- die *Akzeptanz der Planvorgaben*,
- den *Entscheidungsspielraum (Autonomie)* der Steuerungsebene,
- den *Rückmeldeaufwand* der Ausführungsebene.

In Bild 5.5 sind verschiedene Detaillierungsstufen für die Grundobjekte einer Produktion dargestellt. In der größten Detaillierung wandelt der Prozess „produzieren“ Rohmaterialien und Kaufteile mit Hilfe der unspezifischen Produktionsressourcen in Endprodukte um (Produktion = Black Box). In der feinsten Detaillierung wandeln die Pro-

zesse „Maschine rüsten“ und „bearbeiten“, den Bedarfsartikel „gefräste Blech-runde“ mit Hilfe von einem Mitarbeiter, Drehmaschine, Werkzeug, etc. in den Zielartikel um.

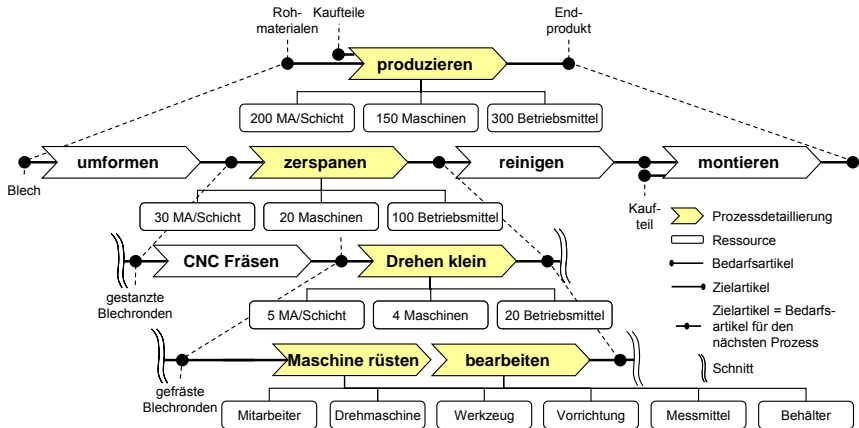


Bild 5.5: Detaillierungsstufen für die Grundobjekte Artikel, Prozess und Ressource

Die Modellierung der drei Grundobjekte kann in unterschiedlichen Detaillierungsstufen (Abstraktionsniveaus) erfolgen. Eine gängige Abstraktions- und Strukturierungsmethode ist die Hierarchisierung von Modellen [Wied01: 118]. Für die Hierarchisierung werden die Abstraktionsprinzipien Generalisierung und Aggregation verwendet. Die Generalisierung ist die Beziehung einer Oberklasse und einer oder mehrerer Unterklassen, die eine Verfeinerung der Oberklasse darstellen [RPBEL93]. Die Unterklassen übernehmen in der objektorientierten Modellierungstechnik die Attribute und Operationen der Oberklasse und werden durch weitere Attribute und Operationen ergänzt. Eine Klasse mit konkreten Ausprägungen der Attribute ist eine Instanz.

Die Unterklasse Produkt erbt die Attribute der Oberklasse Artikel und detailliert die Beschreibung um weitere Attribute. Der generalisierte Sammelbegriff Artikel umfasst die Artikelarten¹¹ Endprodukt, Baugruppe, Kaufteil und Rohmaterial [Schö07: 20f]. In variantenreichen Produktionen helfen Produktgruppen oder -familien zur Strukturierung des Produktspektrums. Die Abbildung der Objektklassen Produktfamilie/-gruppe erfolgt mit Hilfe von Repräsentanten, die das gesamte Spektrum der Produktfamilie repräsentieren. Das planungsrelevante Attribut des Grundobjekts Artikel ist die Menge. Das steuerungsrelevante Attribut ist die Stücklistentiefe, da es die Komplexität der Materialbereitstellung und -verfügbarkeitsprüfung bestimmt.

In Bild 5.6 a ist die Hierarchisierung des Grundobjekts Ressource dargestellt. Eine Ressource umfasst Betriebsmittel (Maschine und Werkzeug) und Menschen. Kapazi-

¹¹ Ein Endprodukt geht in kein anderes Produkt als Komponente ein. Eine Baugruppe besteht aus mindestens 2 Komponenten. Ein Teil wird entweder produziert (Eigenteil) oder zugekauft (Kaufteil). Das Rohmaterial ist das unbearbeitete Material für die Produktion [Schö07: 20].

tät und Leistung sind die zentralen Attribute einer Ressource. Kapazität quantifiziert das Potenzial zum Ausstoß von Leistungen und Leistung das geleistete Arbeitsergebnis [WieH02: 47]. Eine Kapazitätseinheit stellt ergänzend zur Ressource eine organisatorische Einheit dar, die Prozesse ausführt und hierzu temporär über Ressourcen verfügt (= Assoziation¹²) (s. Bild 5.6 b). Kapazitätseinheiten verfügen über eine Gesamtheit von Mensch und Betriebsmittel, die von der Werkstattsteuerung nicht mehr unterteilt werden.

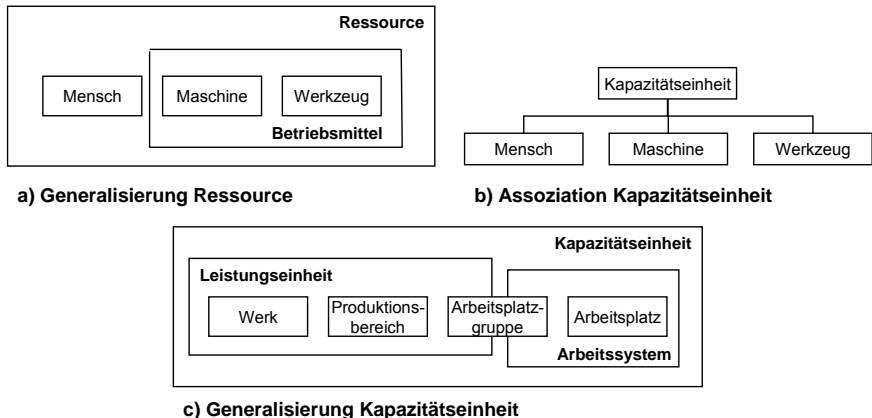


Bild 5.6: Grundobjekt Ressource und Kapazitätseinheit (H.-H. Wiendahl)

Bild 5.6 c zeigt das generalisierte Objekt Kapazitätseinheit mit seinen Spezialisierungen. Die Definition von Kapazitätseinheiten beeinflusst die Autonomie der Steuerung und den Detaillierungsgrad von Prozessen. Die im Arbeitsplan enthaltenen Prozessschritte/ Arbeitsvorgänge stellen die kleinste Einheit eines Prozesses mit Steuerungsnotwendigkeit dar [WieH02: 46f].

☞ *Die Modellierung der Werkstattsteuerungs-Grundobjekte Artikel, Ressource und Prozess in unterschiedlichen Detaillierungsstufen beeinflusst die Komplexität und den Aufwand für die Ausführung der Planungs- und Steuerungsaufgaben.*

5.1.3.1 Detaillierungsgrad Kapazitätseinheit

Der Festlegung von Kapazitätseinheiten in der Planung und dazu passenden Organisationseinheiten für die Steuerung ist eine Kombination aus Fabrik- und PPS-Gestaltung. Die *Fabrik-Gestaltung* umfasst die Anordnung der Arbeitsplätze im Fabriklayout und die Festlegung der organisatorischen Verantwortung für Kapazitätseinheiten. Die *PPS-Gestaltung* legt den Detaillierungsgrad des Planungsmodells mit ihren

¹² In der Objektorientierung bedeutet Assoziation die Kapazitätseinheit „besteht aus“ Mensch, Maschine und Werkzeug. Die Assoziation beschreibt den allgemeineren Fall einer Aggregation [WieH02: 49].

Grundobjekten fest und entscheidet, welche Leistungseinheiten in enger Abstimmung zu planen und zu steuern sind [WieH02: 114].

Hinsichtlich des Abstraktionsprinzips Aggregation ist die Betrachtungsgenauigkeit von Kapazitätseinheit und Prozess fest verknüpft [WieH02: 111]. In Bild 5.7 a sind die Materialflussbeziehungen zwischen einzelnen Arbeitsplätzen dargestellt. Die Aggregation von Arbeitsplätzen zu Kapazitätseinheiten erfolgt funktions- oder prozessorientiert.

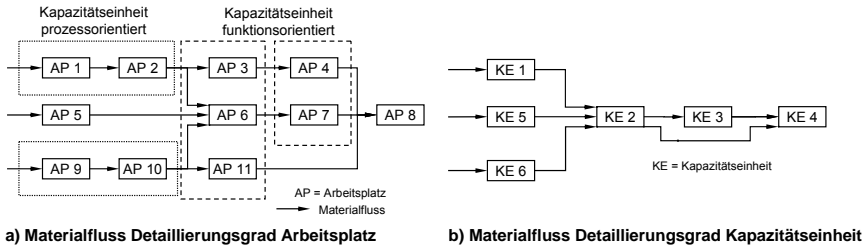


Bild 5.7: Materialflussbeziehungen bei Detaillierungsgrad Arbeitsplatz und Kapazitätseinheit

Bei der *funktionsorientierten Aggregation* werden Arbeitsplätze mit ähnlichen Technologien zusammengefasst. Bei der *prozessorientierten Aggregation* werden Arbeitsplätze, die durch ein Produktspektrum mit denselben Prozesssequenzen belastet werden, zusammengefasst. Bild 5.7 b zeigt die aus der Aggregation resultierenden Kapazitätseinheiten. Die Planungskomplexität verringert sich, da weniger Kapazitätseinheiten und Materialflussbeziehungen zu berücksichtigen sind.

Die funktionsorientierte Aggregation setzt eine hohe Flexibilität der Arbeitsplätze voraus. Die Kapazitätseinheit besitzt durch die Aggregation (s. Bild 5.8 a) ein höheres absolutes Kapazitätsangebot, und die Einzelbelastungen der Arbeitsplätze summieren sich. Der Aufgabenumfang in der Steuerung erhöht sich um die Aufgabe der Arbeitsverteilung. Bei der prozessorientierten Aggregation (s. Bild 5.8 b) ist die höchste Einzelbelastung repräsentativ, da die Arbeitsplätze nicht parallel, sondern in Reihe angeordnet sind. Die prozessorientierte Aggre-

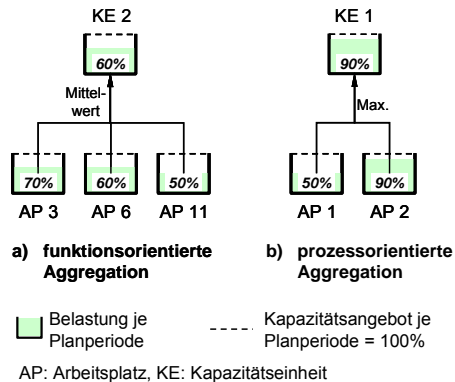


Bild 5.8: Belastung bei funktions- und prozessorientierter Aggregation

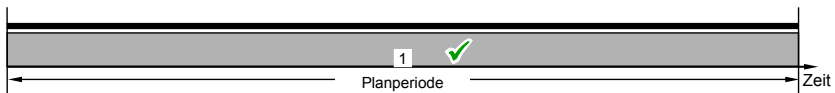
gation setzt einen hohen Geschlossenheitsgrad des Materialflusses voraus. Der Planungsaufwand reduziert sich, da bei weniger KEs ein Belastungsabgleich notwendig ist.

Die funktions- und prozessorientierte Aggregation vergrößern und vereinfachen die Planungsaufgaben und erhöhen den Aufgabenumfang der Steuerung. Beide Möglichkeiten der Aggregation sind an Voraussetzungen geknüpft, die bei der Festlegung von Kapazitätseinheiten für die Werkstattsteuerung berücksichtigt werden sollten.

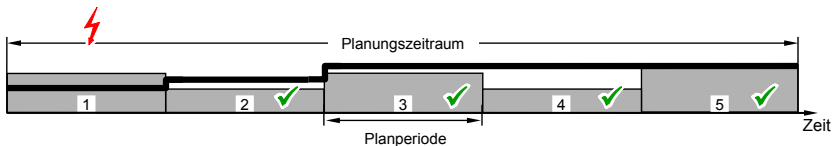
☞ *Die Flexibilität der Arbeitsplätze (bzgl. Bearbeitung unterschiedlicher Produkte) bestimmt die Möglichkeit der funktionsorientierten Aggregation, und der Geschlossenheitsgrad des Materialflusses die Möglichkeiten zur prozessorientierten Aggregation.*

5.1.3.2 Detaillierungsgrad Zeit- und Mengeninformationen

Der Detaillierungsgrad der Zeit- und Mengeninformationen bestimmt sich über die Planperiodenbreite und die Arbeitsinhaltsmessung. In Bild 5.9 ist die Planperiodenbreite mit dem Detaillierungsgrad Woche und Arbeitstag dargestellt.



a) Detaillierungsgrad: Planperiode = 1 Woche



b) Detaillierungsgrad: Planperiode = 1 Arbeitstag

■ Angebot ■ Bedarf ✓ Kein Handlungsbedarf ⚡ Handlungsbedarf
 [1] Zählnummer der Planperiode

Bild 5.9: Detaillierungsgrad der Zeitinformationen

Der Detaillierungsgrad bestimmt die Genauigkeit der Durchlaufzeit- und Terminmessung (Wochen vs. Tage), die sich an die Toleranzanforderungen der Kunden anpassen sollte. Die breitere Planperiode beeinflusst die Zeitdauer zwischen Rückmeldungen und dem Erkennen von Planabweichungen.

In Bild 5.9 a erfolgt die Auftragseinplanung wochengenau, und das Analysieren von Plan-Abweichungen findet im Wochenrhythmus statt. Dadurch erhöhen sich die Freiheitsgrade und die Eigenverantwortung in der Steuerung. Bei einer tagesgenauen Planung (s. Bild 5.9 b) kann der Vergleich zwischen Plan und Ist täglich erfolgen. Während in Bild 5.9 b am ersten Tag kapazitiver Handlungsbedarf adressiert wird,

verteilt sich in Bild 5.9 a der Bedarfsüberschuss auf die breitere Planperiode. Die Frequenz von planerisch induzierten Anpassungsmaßnahmen reduziert sich. Die Mengenangaben legen den Detaillierungsgrad der Arbeitsinhaltsmessung fest. Die Kapazitäts- und Leistungsangaben verknüpfen die Zeit- und Mengeninformatio- nen [WieH02: 113f]. Die Angabe des Arbeitsinhalts für die Kapazitätsplanung und -steuerung kann in Stunden oder Kapazitätsäquivalenten¹³ erfolgen. Der Reifegrad der Arbeitsvorbereitung und die unternehmensspezifischen Auftragsmixschwankungen beeinflussen den Detaillierungsgrad der Mengenangaben. Kapazitätsäquivalente lassen sich in Zeiteinheiten umrechnen. Die Eignung hängt stark davon ab, wie gut das Äquivalent den tatsächlichen Kapazitätsbedarf repräsentiert. Die Kapazitätsmes- sung in Anzahl Aufträgen setzt zum Beispiel voraus, dass jeder Auftrag denselben Kapazitätsbedarf beinhaltet. Je unterschiedlicher die Kapazitätsbedarfe der Varian- ten sind und je mehr der Auftragsmix schwankt, desto ungenauer sind die Kapazi- tätsangaben.

☞ *Die Toleranzanforderungen bestimmen den Detaillierungsgrad der Zeitinforma- tionen und die Stabilität des Auftragsmix bestimmt den Detaillierungsgrad der Mengeninformatio- nen.*

5.2 Grundlagen für die Parametrierung

Das Turbulenzprofil eines Unternehmens gibt entweder qualitativ oder quantitativ Hinweise auf die angemessene Auslegung für die Werkstattsteuerung relevanter Parameter (s. Abschnitt 5.2.1). Das Regeln logistischer Abläufe spielt vor allem bei der Kapazitätssteuerung eine herausragende Rolle. Wesentliche Voraussetzung für eine leistungsfähige Kapazitätsregelung ist die vorhandene Kapazitätsflexibilität. Die Modellierung der Kapazitätsflexibilität mit Hilfe der Kapazitätshüllkurven und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen für die Werkstattsteuerung werden in Abschnitt 5.2.2 behandelt. Das Hannoveraner Trichtermodell ist ein anerkanntes Beschrei- bungs- und Erklärungsmodell für die Produktionslogistik mit dem Durchlaufdiagramm und der Theorie der Produktionskennlinien. Mit Hilfe des Durchlaufdiagramms und den Durchlaufelementen lassen sich wesentliche Parameter und Zielgrößen der Werkstattsteuerung modellieren. Die Theorie der Produktionskennlinien dient als Grundlage für die Festlegung von Verfahrensparametern im Spannungsfeld logisti- scher Zielgrößen (s. Abschnitt 5.2.3). Arbeitspakete erweitern die existierenden Werkstattsteuerungsobjekte (Kapazitätseinheit, Auftrag, Arbeitsvorgang). Abschnitt 5.2.4 definiert, abgeleitet aus dem Projektmanagement, Arbeitspakete für die Werk- stattsteuerung.

¹³ Kapazitätsäquivalente sind zum Beispiel Meter, Kilogramm, €, etc.

5.2.1 Turbulenzprofil zur Analyse der Unternehmensanforderungen

Externe und interne Turbulenzen begrenzen die Planbarkeit und Prognostizierbarkeit von Produktionsprozessen [Wes07]. Der Begriff Turbulenz kennzeichnet vor allem die schwer prognostizierbaren Umfeldeinflüsse produzierender Unternehmen [War97], [Wes00a], [Rei00], die durch immer kürzere Lieferfristen und kurzfristig schwankende Bedarfsmengen, bei gleichzeitig kürzeren Produktlebenszyklen und zunehmender Variantenvielfalt, mit starkem Kundenbezug gekennzeichnet sind. Analogien zur Strömungsmechanik erweitern das Verständnis für Turbulenz in der Produktion auf die Planung und Steuerung [Wes00b]: Turbulenz beschreibt demnach Zustände, in denen nicht mehr vom makroskopischen Verhalten des Fluids auf die mikroskopische Bewegung einzelner Teilchen geschlossen werden kann. Dasselbe Phänomen, also Abweichungen vom generalisierten, mittleren Flussbild der Produktion in der Steuerung, erschwert das Zusammenspiel von Planung und Steuerung im turbulenten Umfeld. Die Ursachen für Turbulenz in der Produktion lassen sich vier Ursachengruppen zuordnen [WieH06a] (s. Bild 5.10):

Prozess Bereich	Beschaffen (source)	Produzieren (make)	Liefern (deliver)	
Planung	heterogene Beschaffungsbedingungen • Zeiten • Mengen	heterogener Auftragsdurchlauf • Chargenbildung • heterogenes Auftragsmix	heterogene Lieferanforderungen • Zeiten • Mengen	} Streuungen
	Beschaffungsschwankungen • Zeiten • Mengen	Produktionsschwankungen • schwankender Auftragsmix • schwankende Verfügbarkeit	Bedarfsschwankungen • Zeiten • Mengen	
	kurze Produktzyklen (Beschaffung)	kurze Technologiezyklen (Produktion)	kurze Produktzyklen (Endprodukte)	} Frequenzen
Toleranz	Beschaffungstoleranzen	Produktionstoleranzen	Liefertoleranzen	
Steuerung	Materialabweichungen	Qualitätsabweichungen	Endproduktänderungen	} Abweichungen
	unzuverlässige Lieferanten • Termin • Menge	Prozessunsicherheiten • Maschinenausfall • Personalausfall	Auftragsänderungen • Termin • Menge	

Bild 5.10: Morphologie der Turbulenzkeime in der Planung und Steuerung (H.-H. Wiendahl)

In der Planung sorgen

- *Frequenzen* (kurzzyklische Änderungen der Produktionsrahmenbedingungen: z.B. kurzer Produktlebenszyklus),
- *Schwankungen* (heterogene Anforderungen in unterschiedlichen Perioden: z.B. schwankende Bedarfsmengen) und
- *Streuungen* (heterogene Anforderungen in derselben Periode: z.B. unterschiedliche Lieferzeitanforderungen)

dafür, dass die mittelwertbasierte Planung an ihre Grenzen stößt.

In der Steuerung gefährden

- *Abweichungen* die Planeinhaltung.

In Bild 5.10 sind für die Prozesse Beschaffen, Produzieren und Liefern [SCOR07], strukturiert nach den vier Ursachengruppen Auslöser für Turbulenz („Turbulenzkeime“) dargestellt. Neben den vier beschriebenen Ursachengruppen definiert die Toleranz die zulässige Abweichung zwischen Planung und Steuerung. Das Verhältnis von Anforderungen zu Fähigkeiten bestimmt die Relevanz des jeweiligen Turbulenzkeims. Der Turbulenzkeim Bedarfsschwankungen kann zum Beispiel für Produktionen, die kundenauftragspezifisch produzieren oder eine geringe Kapazitätsflexibilität besitzen, relevanter sein als für Produktionen, die kundenanonym produzieren oder eine hohe Kapazitätsflexibilität besitzen.

Die Turbulenzkeime aus Bild 5.10 lassen sich nach ihrer Bedeutung aus der Sicht des Betroffenen bewerten. Die *subjektive Bewertung* der Relevanz der Turbulenzkeime erfolgt auf einer Skala zwischen 1 (nicht relevant) und 10 (sehr relevant) auf Basis der Einschätzung von Fachexperten in einem Unternehmen [WieH06b]. Das Ergebnis lässt sich mit Hilfe des in Bild 5.11 dargestellten Turbulenzprofil visualisieren.

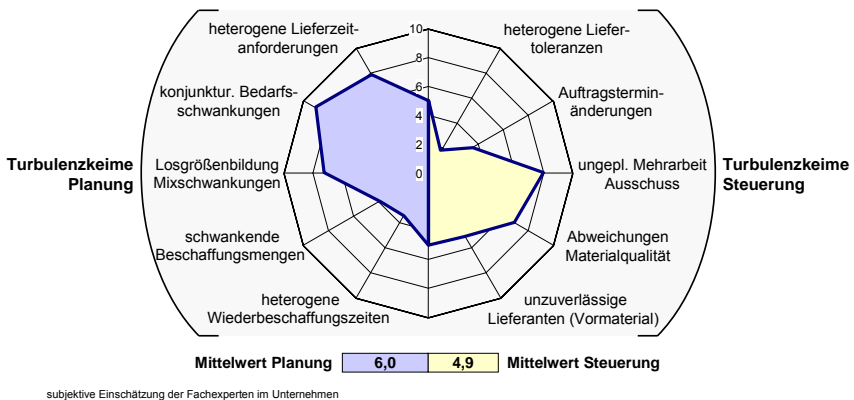


Bild 5.11: Turbulenzprofil für einen Komponentenhersteller (nach H.-H. Wiendahl)

Bei dieser qualitativen Bewertung der Turbulenzkeime hängt das Ergebnis stark von den befragten Rollen im Unternehmen ab. Die Planungsverantwortlichen interpretieren die Relevanz der Turbulenzkeime oftmals anders als die Steuerungsverantwortlichen. Die Beteiligung, der für die Planung und Steuerung wichtigen Rollen und die Diskussion über das Turbulenzprofil, erhöht die Qualität der Bewertung. Das Ergebnis gibt aufwandsarm Hinweise, welchen logistischen Anforderungen sich das Unternehmen stellen muss. Hieraus leiten sich Gestaltungsempfehlungen für den Betrieb und die Parametrierung von Werkstattsteuerungsverfahren ab [WieH07]. Die mehrjährige Anwendung in der industriellen Praxis zeigt, dass sich das Turbulenzprofil für

unternehmensübergreifende Diskussionen über Logistikanforderungen und daraus abgeleitete Lösungsansätze zur Verbesserung gut eignet.

Die qualitative Bewertung der Turbulenzkeime ersetzt zwar keine quantitativen Analysen, reduziert aber den Erhebungsaufwand erheblich [WieH06b]. In dem Beispiel von Bild 5.11 eignet sich die Auswertung der Vorgabezeitabweichungen zur Quantifizierung des Turbulenzkeims „ungeplante Mehrarbeit“. Je mehr Arbeitsvorgänge mit ihrer Zeitüberschreitung außerhalb eines definierten Toleranzbereichs liegen, desto relevanter ist der Turbulenzkeim. Der Turbulenzkeim Bedarfsschwankungen lässt sich durch die Anzahl Perioden mit Über- oder Unterlast innerhalb des Betrachtungshorizonts quantifizieren. Die quantitativen Analysen setzen aber oftmals eine verfügbare Datenbasis und -qualität voraus, die viele Unternehmen nicht besitzen oder nur mit sehr viel Aufwand bereitstellen können. In diesen Fällen ist die qualitative Bewertung der Turbulenzkeime vorzuziehen, um die Anforderungen an ein Werkstattsteuerungsverfahren und seine Parameter einschätzen zu können.

☞ *Das Turbulenzprofil ist geeignet, um die unternehmensspezifischen Turbulenzkeime in der Planung und Steuerung aufwandsarm aufzunehmen, und die Werkstattsteuerungsmethode darauf auszurichten.*

5.2.2 Kapazitätshüllkurven zur Modellierung der Kapazitätsflexibilität

Flexible Kapazitäten sind eine wesentliche Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit der Werkstattsteuerung. Mit Hilfe flexibler Kapazitäten lassen sich Bedarfs- und Auftragsmixschwankungen beherrschen und interne Störungen ausregeln. Die positiven Effekte einer Flexibilisierung der Kapazitäten auf die Logistikleistung eines Unternehmens sind in Theorie und Praxisberichten beschrieben [BN93], [HV98], [WBH00]. *Kapazitätsflexibilität* beschreibt die Fähigkeit einer Kapazitätseinheit, das Kapazitätsangebot in kurzer Zeit verändern zu können. Je kurzfristiger, stärker und aufwandsärmer das Kapazitätsangebot verändert werden kann, desto höher ist die Kapazitätsflexibilität [Beg05: 34]. Das *Kapazitätsangebot* einer Kapazitätseinheit beschreibt dabei deren Möglichkeit, über eine bestimmte Zeitdauer eine bestimmte Leistung anzubieten [NW03: 67].

Bild 5.12 stellt die Reaktionszeit zur Bereitstellung zusätzlicher Kapazität bzw. weniger Kapazität dar [WB98]. Bild 5.12 a zeigt die Kapazitätshüllkurve zur Modellierung der Reaktionszeit für Kapazitätsänderungen.

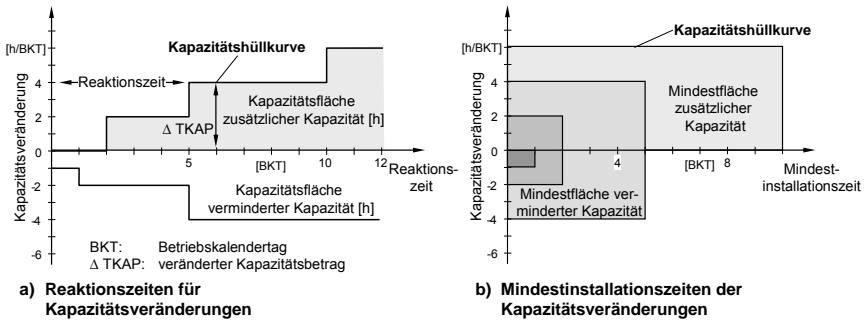


Bild 5.12: Kapazitätshüllkurven (J.-W. Breithaupt)

In dem Beispiel benötigt die Erhöhung des Kapazitätsangebots um 2 Stunden pro Betriebskalendertag (BKT) eine Reaktionszeit von 2 BKT. Analog zum Kapazitätsaufbau erfolgt der Kapazitätsabbau. Die dargestellten Kapazitätshüllkurven helfen bei der Abschätzung, ob in der vorgesehenen Zeit die angestrebte Kapazitätsänderung möglich ist [Bre01: 76]. Die Mindestinstallationszeiten der Kapazitätsänderungen bestimmen den Zeitraum, für den die Kapazitätsänderung mindestens aufreht erhalten bleibt (s. Bild 5.12 b). Für die Parametrierung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung folgt daraus:

- ☞ *Die Kapazitätsflexibilität hängt von der Vorlaufzeit der Entscheidungen ab. Mit einer geringen Vorlaufzeit lassen sich kleinere Kapazitätsänderungen realisieren als mit einer langen Vorlaufzeit. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte es ermöglichen den Kapazitätsänderungsbedarf vorausschauend zu erkennen, um die vorhandene Flexibilität nutzen zu können.*

Die Kapazitätsflexibilität einer Kapazitätseinheit resultiert aus der Kapazitätsflexibilität der Betriebsmittel und der Mitarbeiter. Tabelle 5-2 klassifiziert Maßnahmen zur Kapazitätsänderung bzgl. der Reaktionszeit, dem Kapazitätsbetrag, der Mindestinstallationszeit und dem Aufwand. Die Einschätzungen schwanken unternehmensspezifisch zum Teil stark, so dass die angegebenen Zahlen lediglich als Richtwerte gelten können. Die Maßnahmen zur Veränderung der Mitarbeiterkapazität sind vielfältig und unterstützen Unternehmen vor allem bei der kurzfristigen Kapazitätssteuerung. Die Modellierung der Kapazitätsflexibilität von Kapazitätseinheiten mit Hilfe der Kapazitätshüllkurven ermöglicht Schlussfolgerungen für die Werkstattsteuerung:

Einsatz der Kapazitätsflexibilität: Je höher die Kapazitätsänderung, desto länger ist die Mindestinstallations- und Reaktionszeit. Die Berücksichtigung der Mindestinstallationszeiten ist deshalb vor allem im Vorfeld von Kapazitätsänderungen zu beachten, um Auslastungsverluste durch Überkapazitäten zu vermeiden [WB98].

Einfluss der Materialflussposition der Kapazitätseinheiten: Die Kapazitätsbedarfsvoranschau ist bei Kapazitätseinheiten, die eher am Ende des Materialflusses (z.B. Endkontrolle) liegen größer als bei Kapazitätseinheiten am Beginn. Die *Positionierung im Materialfluss* beeinflusst deshalb vor allem bei Werkstattfertigern mit langen Durchlaufzeiten die erforderliche Reaktionszeit für Kapazitätsänderungen. Start-Kapazitätseinheiten sind deshalb stärker auf eine kurzfristige Kapazitätsflexibilität angewiesen, als Kapazitätseinheiten am Ende des Materialflusses.

Erkenntnisse für die Produktionsregelung: Die Kapazitätshüllkurven lassen sich gut im Bereich der *Produktionsregelung* einsetzen. Sie dienen dabei als Entscheidungsgrundlage für die Rückstands- und Auslastungsregler [Bre01: 80].

	Kapazitätsänderung	Reaktionszeit [BKT]	Kapazitätsbetrag [h / BKT]	Mindestinstallationszeit [BKT]	Aufwand
Betriebsmittel	Anzahl Betriebsmittel (Instandhaltung, Umzug, etc.)	kurz - mittel < 5	groß > 8 - 24	kurz < 1	niedrig
	Anzahl Betriebsmittel (Investition)	lang > 20	groß > 8 - 24	lang > 200	hoch
	Nutzungsgrad ¹⁾ Betriebsmittel	kurz < 1	klein > 1 - 2	kurz < 1	niedrig - mittel
Mitarbeiter	Überstunden mit flexiblem Arbeitszeitmodell	kurz < 1	klein ~ 2 - 4	kurz < 1	niedrig
	Überstunden bei starrem Arbeitszeitmodell	kurz < 1	klein ~ 2	kurz < 1	mittel
	Wochenendarbeit	kurz - mittel < 5 - 10	mittel > 8	kurz < 1	mittel
	Schichtmodell wechseln	mittel < 10	hoch > 8 - 16	mittel > 5	niedrig
	Mitarbeiterwechsel je KE (Mitarbeiterpool für mehrere KE)	kurz - mittel < 1 - 5	mittel > 8	kurz < 1	gering
	Mehrmaschinenbedienung	kurz < 1	klein < 4	kurz < 1	gering
	Einstellung und Entlassung (mit Arbeitsvertrag)	lang > 20	mittel > 8	lang > 20 - 100	hoch
	Einstellung und Entlassung Leiharbeiter	mittel < 10	mittel > 8	mittel < 5 - 20	mittel

KE: Kapazitätseinheit, BKT: Betriebskalendertag, 1) Nutzungsgrad = Leistung [h] / Planbelegungszeit [h]

Tabelle 5-2: Maßnahmen zur Kapazitätsänderung

Das Ausregeln von Rückstand an Kapazitätseinheiten erfordert, aufgrund des Gegenwartsbezugs der Regelgröße, kurzfristige Kapazitätsänderungen, die vor allem durch die Kapazitätsflexibilität der Mitarbeiter sichergestellt wird. Die Bestandsregelung wirkt über die Auftragsfreigabe auf die Zugangsrate. Die Rückstandsregelung wirkt über die Kapazitätsteuerung auf die Abgangsrate. Je höher die Kapazitätsflexibilität einer Produktion ist, desto mehr tritt die Rückstands- gegenüber der Bestandsregelung in den Vordergrund [Pet93: 425]. Eine hohe Kapazitätsflexibilität befähigt Unternehmen mit Hilfe der Kapazitätssteuerung Plantermine und -durchlaufzeiten einzuhalten. Damit wirkt die Kapazitätssteuerung Rückstands- und Bestandsaufbau

entgegen. Die Reaktion auf Planabweichungen erfolgt bei der Kapazitätssteuerung über den Einsatz flexibler Kapazitäten wesentlich schneller, als bei der Auftragsfreigabe über die spätere bzw. frühere Freigabe von Aufträgen. Unternehmen benötigen deshalb methodische Unterstützung, um das hohe logistische Potenzial flexibler Kapazitäten nutzen zu können [WBH00].

Neben dem logistischen Nutzen flexibler Kapazitäten sind auch die Kosteneffekte und soziale und personelle Wirkungen zu beachten. *Kosten für flexible Arbeitszeitmodelle* lassen sich in einmalig anfallende Kosten (z.B. Kosten für die Informationsbeschaffung, Schulungs- und Informationskosten), laufend wiederkehrende Mehr- bzw. Minderkosten (z.B. Kapital- bzw. Betriebsmittelkosten, Personalkosten) und sonstige Kosten unterteilen [AH88: 115f].

Die Analyse der *personellen und sozialen Wirkungen* konzentriert sich vor allem auf die Motivation der Mitarbeiter und die Arbeitsbedingungen. Empirische Analysen flexibler Arbeitszeitmodelle zeigen, dass Teilzeitarbeit, Gleitzeitmodelle und Job-Sharing zu einer deutlichen Verbesserung und Schichtarbeit eher zu einer Verschlechterung der sozialen und personellen Aspekte (z.B. Mitarbeitermotivation, Zufriedenheit mit Arbeitszeitregelung, Abstimmung der Arbeitszeit mit privaten Belangen) führen [Wild92: 148]. Beim Einsatz flexibler Kapazitäten in der Werkstattsteuerung sind deshalb Unternehmens- und Mitarbeiterziele in Einklang zu bringen.

5.2.3 Produktionskennlinien zur logistischen Positionierung von Kapazitätseinheiten

Mit Hilfe des Trichtermodells und des Durchlaufdiagramms lassen sich die wesentlichen auftrags- und ressourcenbezogenen Kenngrößen in der Werkstattsteuerung modellieren. Die Theorie der Produktionskennlinien ist Grundlage für die Auslegung von Verfahrensparametern im Spannungsfeld zwischen hoher Auslastung und niedriger Bestände und kurzen Durchlaufzeiten.

Das Trichtermodell modelliert die Kapazitätseinheiten einer Produktion als Trichter, denen Aufträge (Kugeln mit unterschiedlichem Durchmesser symbolisieren Aufträge mit unterschiedlicher Auftragszeit) zugehen, und so den Umlaufbestand an einer Kapazitätseinheit (Arbeitssystem) bilden, bis sie nach der Bearbeitung den Trichter bzw. die Kapazitätseinheit wieder verlassen (s. Bild 5.13 a) [Kiv79], [Bec84]. Die Trichteröffnung stellt die Leistung der Kapazitätseinheit dar, die bis zur maximalen Kapazität erweitert werden kann.

Mit Hilfe des Trichters können die ressourcenbezogenen Größen Umlaufbestand, Kapazität und Leistung modelliert werden. Das Durchlaufdiagramm (s. Bild 5.13 b) visualisiert den Zugangs- und Abgangsverlauf der Aufträge, gemessen in Vorgabestunden, kumuliert über die Zeit. Der vertikale Abstand zwischen Zugangs- und Abgangsverlauf entspricht dem Umlaufbestand, gemessen in Vorgabestunden an war-

tenden und in Bearbeitung befindlichen Aufträgen. Der horizontale Abstand zwischen Zugang- und Abgangsverlauf entspricht der (Bestands-) Reichweite der Kapazitätseinheit, gemessen in Arbeitstagen. Die mittlere Belastung ergibt sich aus dem Zugang und die mittlere Leistung aus dem Abgang im Untersuchungszeitraum.

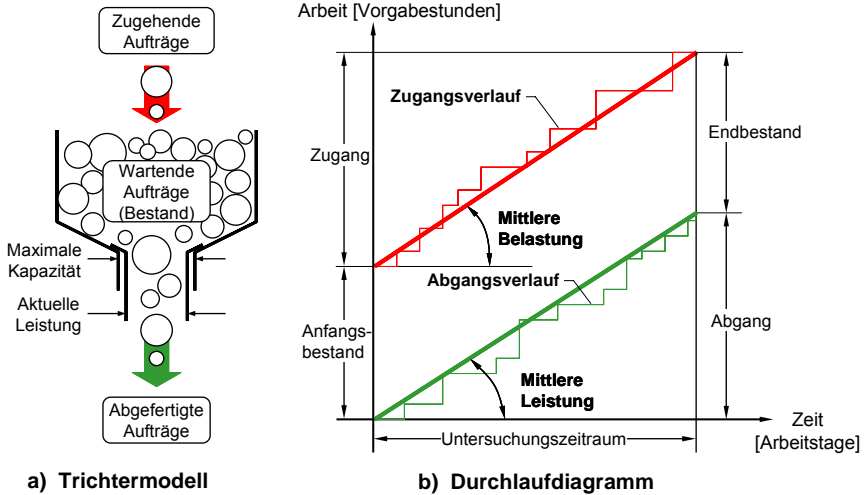


Bild 5.13: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm (nach W. Bechte zitiert nach H.-P. Wiendahl)

Aus den Darstellungen im Durchlaufdiagramm lässt sich die sogenannte Trichterformel [NW03: 35] ableiten. Die mittlere Reichweite ergibt sich demnach als Quotient aus mittlerem Bestand und mittlerer Leistung:

$$\frac{AB}{P} = L_m = \frac{B_m}{R_m} \quad \text{Gleichung 5-1}$$

Mit	AB	: Abgang	[Std]
	P	: Untersuchungszeitraum	[BKT]
	L_m	: mittlere Leistung	[Std / BKT]
	B_m	: mittlerer Bestand	[Std]
	R_m	: mittlere Reichweite	[BKT]

Der Zugangszeitpunkt eines Auftrags zu einer Kapazitätseinheit ist beim ersten Arbeitsvorgang der Freigabezeitpunkt des Auftrags, bei allen weiteren Arbeitsvorgängen das Bearbeitungsende des vorhergehenden Arbeitsvorgangs, Bild 5.14 a. Die Arbeitsvorgangsdurchlaufzeit ergibt sich aus den fünf in Bild 5.14 b dargestellten Bestandteilen und entspricht der Zeit zwischen Zugangs- und Abgangszeitpunkt. Beim Zugang eines Auftrags an einer Kapazitätseinheit steigt die Zugangskurve um die Auftragszeit des zweidimensionalen Durchlaufelements an, Bild 5.14 c.

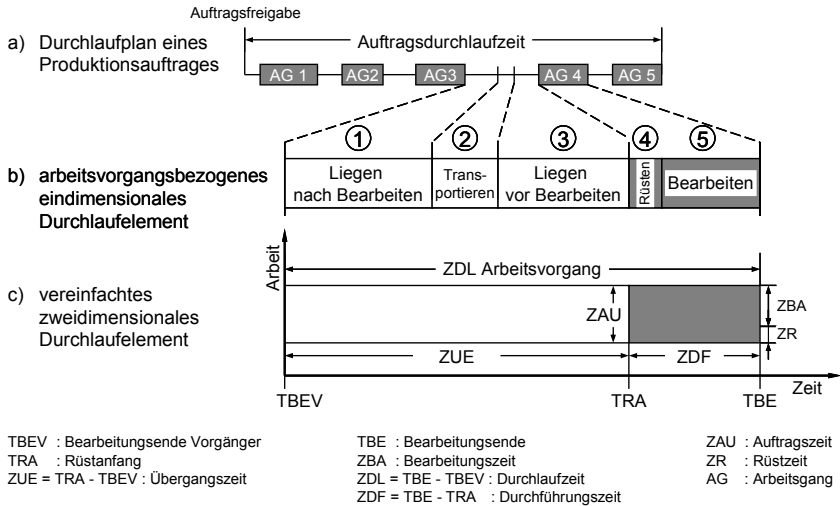


Bild 5.14: Definition von Durchlaufzeitanteilen und Durchlaufelementen (nach W. Bechte/ W. Heinemeyer/ B. Erdlenbruch)

Die Übergangszeit hat in Werkstattstrukturen in der Regel den größeren Anteil an der Durchlaufzeit als die Durchführungszeit. Deshalb wird in vielen PPS- Systemen die Übergangszeit zur Auftragsterminierung nicht auftrags- sondern ressourcenspezifisch festgelegt. Während die Durchführungszeit unabhängig vom Umlaufbestand an einer Kapazitätseinheit ist, besteht die Übergangszeit vor allem aus Wartezeit, die von der Höhe des Umlaufbestands abhängt.

- ☞ *Je höher der mittlere Umlaufbestand an einer Kapazitätseinheit ist, desto länger warten die Aufträge im Mittel bis zum Rüstanfang und desto höher ist die mittlere Übergangszeit.*
- ☞ *Der Terminierungsparameter für die mittlere Übergangszeit der Aufträge an den Kapazitätseinheiten ist damit eine wesentliche Stellgröße für die mittlere Umlaufbestandshöhe.*

Die Theorie der Produktionskennlinien hilft dabei, das angemessene Umlaufbestandsniveau für einzelne Kapazitätseinheiten abzuleiten und hieraus den Terminierungsparameter ressourcenspezifische Plandurchlaufzeiten festzulegen. P. Nyhuis hat mit Hilfe eines deduktiv-experimentellen Ansatzes Näherungsformeln für die logistischen Zielgrößen Leistung, Auslastung und Reichweite abgeleitet [Nyh91]. Bild 5.15 und Bild 5.16 zeigen den Verlauf der Produktionskennlinien über dem mittleren Umlaufbestand.

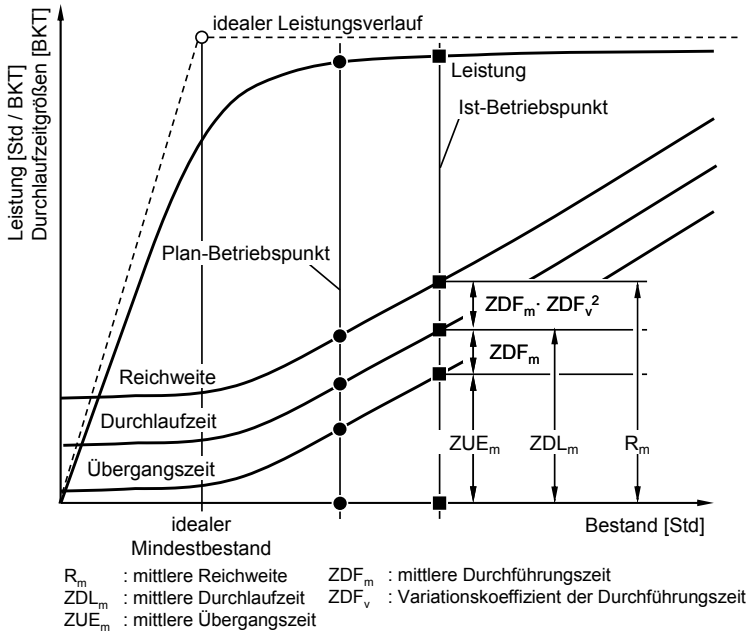


Bild 5.15: Verlauf der Produktionskennlinien für ausgewählte Kenngrößen (nach P. Nyhuis)

Die mittlere Leistung steigt zunächst proportional mit dem mittleren Umlaufbestand an. In diesem Bereich befindet sich der gesamte Umlaufbestand in Bearbeitung und die Kapazitätseinheit ist nur wenig ausgelastet (Unterlastbereich). Bei zunehmendem Umlaufbestand warten die Aufträge auf Bearbeitung und die Leistung nimmt nicht mehr proportional zu (Übergangsbereich). Weitere Umlaufbestandserhöhungen führen dazu, dass die mittlere Leistung der Kapazitätseinheit nur noch unwesentlich ansteigt (Überlastbereich). Die Kennlinien für die mittlere ungewichtete Durchlaufzeit, mittlere Reichweite und mittlere Übergangszeit verlaufen parallel. Im Unterlastbereich startet sofort die Bearbeitung jedes Auftrags, so dass die mittlere Durchlaufzeit der mittleren Durchführungszeit entspricht. Im Übergangsbereich nimmt die mittlere Übergangszeit zu, da Aufträge warten müssen. Weiter Umlaufbestandserhöhungen führen zu einem linearen Anstieg der Übergangszeit und damit Durchlaufzeit und Reichweite. Mit Hilfe dieser Kennlinien ist es möglich sich in dem Spannungsfeld zwischen hoher Auslastung und niedriger Umlaufbestände zu positionieren.

Die quantitative Positionierung und Berechnung der Produktionskennlinien erfordert über einen längeren Betrachtungszeitraum, die Auswertung arbeitsvorgangsbezogener Daten. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich das angemessene Umlaufbestandsniveau für jede Kapazitätseinheit berechnen. Aus dem idealen Produktionsablauf, so

dass weder die Kapazitätseinheiten auf Aufträge warten (keine Leerzeiten) noch Aufträge um die Kapazitäten konkurrieren (keine Wartezeiten) leitet sich folgende Gleichung für dieses ideale Umlaufbestandsniveau ab [NW03: 62ff]:

$$BI_{\min} = AnzAPL \cdot (ZAU_m \cdot (1 + ZAU_v^2) + ZUE_{\min}) \quad \text{Gleichung 5-2}$$

Mit BI_{\min} : idealer Mindestbestand [Std]

$AnzAPL$: Anzahl Einzelarbeitsplätze [Std]

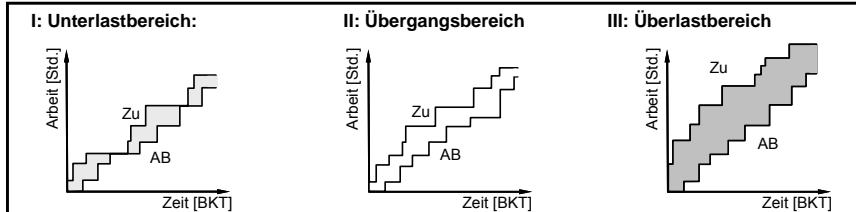
ZAU_m : mittlere Auftragszeit [Std]

ZAU_v : Variationskoeffizient der Auftragszeit [BKT]

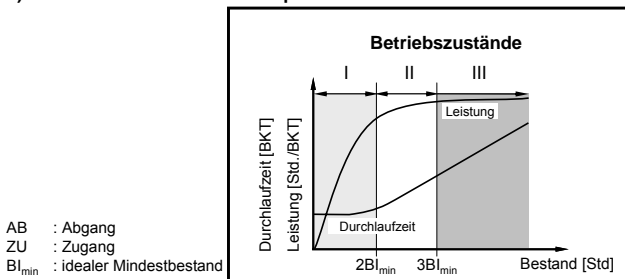
ZUE_{\min} : Mindestübergangszeit [BKT]

☞ Die Gleichung zeigt, dass sich die ideale Umlaufbestandshöhe im Wesentlichen durch die mittlere Auftragszeit und die Streuung der Auftragszeiten bestimmt.

Falls im Materialfluss längere Mindestübergangszeiten (z.B. Transportzeiten) anfallen, erhöht sich der ideale Umlaufbestand. Der ideale Mindestbestand für eine Kapazitätseinheit mit mehreren Einzelarbeitsplätzen erhöht sich ebenfalls. In der Praxis sind die Voraussetzungen für den idealen Leistungsverlauf in Bild 5.15 nicht gegeben. Insbesondere in funktionsorientierten Strukturen mit komplexen Materialflüssen gibt es Einflussfaktoren wie Streuungen im Zugang oder wechselnde Engpässe, die eine Abweichung des realen von dem idealen Leistungsverlauf bewirken [NW03: 70].



a) Betriebszustände an einer Kapazitätseinheit



AB : Abgang
 ZU : Zugang
 BI_{min} : idealer Mindestbestand

b) Darstellung der Betriebszustände in Produktionskennlinien

Bild 5.16: Betriebszustände an einer Kapazitätseinheit (nach P. Nyhuis)

Simulationsversuche und Praxisuntersuchungen zeigen [WN98], [LNW00], dass sich die Grenzen für Unterlast-, Übergangs- und Überlastbereich quantitativ festlegen lassen. Kapazitätseinheiten, deren mittlerer Umlaufbestand unter dem zweifachen idealen Mindestbestand liegt, operieren im Unterlastbereich mit Auslastungsverlusten, Bild 5.16 I). Der Übergangsbereich liegt zwischen dem zwei- und dreifachen des idealen Mindestbestand, Bild 5.16 II). In diesem Bereich lässt sich eine hohe Leistung, bei gleichzeitig kurzen Durchlaufzeiten realisieren. Für Kapazitätseinheiten mit einem hohen mittleren Umlaufbestand (s. Bild 5.16 III) ergeben sich Durchlaufreduzierungspotenziale, ohne Leistungsverluste zu riskieren [WN98: 62]. In der Planung wird das mittlere Bestandsniveau an einer Kapazitätseinheit mit Hilfe der Plandurchlaufzeit festgelegt. Dabei gilt folgender Zusammenhang zwischen mittlerem Zielbestand und mittlerer Plandurchlaufzeit:

$$ZDL_m^{Plan} = \frac{B_m^{Ziel}}{L_m} - ZDF_m \cdot ZDF_v^2 \quad \text{Gleichung 5-3}$$

Mit	ZDL_m^{Plan}	: mittlere Plandurchlaufzeit	[BKT]
	B_m^{Ziel}	: mittlerer Zielbestand	[Std]
	L_m	: mittlere Leistung	[Std / BKT]
	ZDF_m	: mittlere Durchführungszeit	[BKT]
	ZDF_v	: Variationskoeffizient der Durchführungszeit	

☞ *Die Festlegung der Plandurchlaufzeiten sollte in einer Werkstattfertigung nach den logistischen Gesetzmäßigkeiten der Produktionskennlinie erfolgen.*

5.2.4 Arbeitspakete als definierte Leistung in der Werkstattsteuerung

Arbeitspakete stellen im Projektmanagement eine in sich geschlossene Aufgabenstellung im Projekt dar, die bis zu einem festgelegten Zeitpunkt mit definiertem Ergebnis und Aufwand vollbracht werden kann [DIN 69901-5 E: 5]. Arbeitspakete stellen plan- und kontrollierbare Elemente dar, die im Projektstrukturplan (s. Bild 5.17 a) nicht weiter untergliedert werden. Sie können auf einer beliebigen Gliederungsebene vorkommen und bilden die Grundlage für den Projektablaufplan (s. Bild 5.17 b). Auf der Ebene der Arbeitspakete lassen sich Kosten und Termine für die Arbeit verlässlich abschätzen [PMI04: 114]. Der Projektablaufplan stellt Arbeitspakete mit Start- und Endtermin dar, die sich aus der Terminplanung ergeben. Anhand dieser Termine kontrolliert die Projektleitung (Lenkungebene) den Projektfortschritt. Es ist entscheidend, dass jedem Arbeitspaket ein Verantwortlicher zugewiesen ist, der die termintreue Erledigung steuert und über den Fortschritt berichtet. Hierzu kann der Arbeitspaketverantwortliche das Arbeitspaket in weitere Teilschritte untergliedern, die von der Projektleitung nicht näher betrachtet werden.

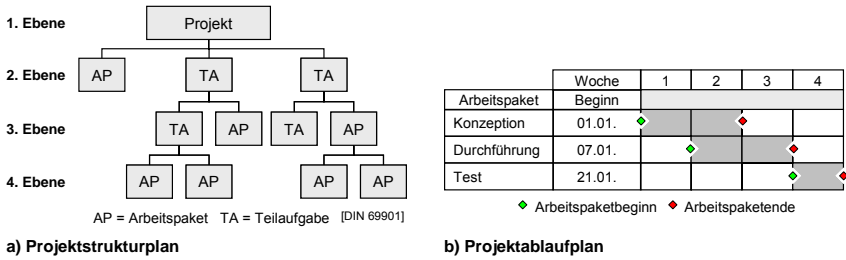


Bild 5.17: Arbeitspakete im Projektstruktur- und Projektablaufplan (nach DIN 69901)

Im Rahmen dieser Arbeit definieren sich Arbeitspakete leicht abgeändert zum Projektmanagement. Arbeitspakete¹⁴ sind Ergebnis einer vorgangsbezogenen Terminierung (s. Bild 5.18 a) und fassen mehrere terminlich geplante Arbeitsvorgänge zusammen. Ein Arbeitspaket stellt damit aus Ressourcensicht eine in sich geschlossene Aufgabenstellung dar, die in einem definierten Zeitraum vollbracht wird. Voraussetzung für die Zuordnung der Arbeitsvorgänge zu den Kapazitätseinheiten ist die Stücklistenauflösung mit anschließender Bedarfsermittlung und vorgangsbezogener Terminierung der resultierenden Eigenfertigungsaufträge (s. [WieP97a: 296ff]). Die daraus resultierenden Arbeitspakete stellen somit für die Kapazitätseinheiten eine terminlich vereinbarte Arbeitsleistung dar (s. Bild 5.18 b).

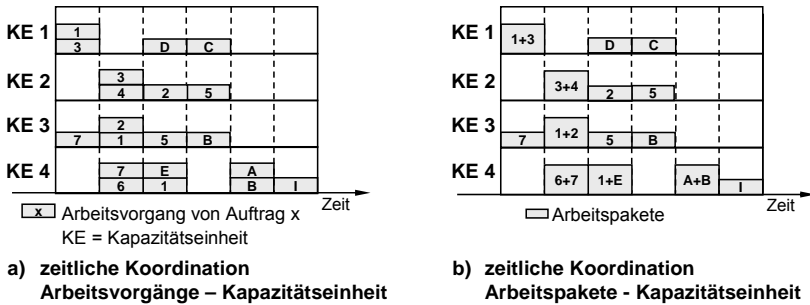


Bild 5.18: Arbeitspakete in der Werkstattsteuerung

Die Planung (Lenkungebene) kontrolliert analog zum Projektmanagement anhand der Start- und Endtermine den Arbeitspaketfortschritt. Der Kontrollaufwand reduziert sich im Vergleich zur vorgangsbezogenen Terminüberwachung durch die vergrößerte Betrachtung mit weniger Terminen. In der Werkstattsteuerung ist, wie im Projektmanagement entscheidend, dass für die termintreue Erledigung der Arbeitspakete und Rückmeldung über den Arbeitspaketfortschritt klare Verantwortlichkeiten definiert sind. Zur Steuerung des Arbeitspakets ist für den Arbeitspaketverantwortlichen eine

¹⁴ vgl. Definition Zeitfenster nach T. Barho: eine Menge von Aufträgen, die bis zu einem festgesetzten Zeitpunkt von einem Segment abgearbeitet werden müssen [Bar01: 45ff].

Untergliederung in Arbeitsvorgänge sinnvoll, um Abweichungen frühzeitig zu erkennen. Tabelle 5-3 stellt zusammenfassend die Bedeutung von Arbeitspaketen im Projektmanagement und der Werkstattsteuerung gegenüber.

Kriterien	Projektmanagement	Werkstattsteuerung
dominierende Sicht	• Auftragssicht (Auftragspakete)	• Ressourcensicht (Ressourcenpakete)
Arbeitspaketdefinition	• Arbeitspakete sind eine in sich geschlossene Aufgabenstellung innerhalb eines Projekts, die bis zu einem festgelegten Zeitpunkt mit definiertem Ergebnis und Aufwand vollbracht werden kann.	• Arbeitspakete stellen für die Kapazitätseinheiten eine terminlich vereinbarte Arbeitsleistung dar, die sich aus Arbeitsvorgängen zusammensetzt.
Arbeitspaketstruktur	• ein Arbeitspaket untergliedert sich in Teilschritte zur Feinplanung und -steuerung	• ein Arbeitspaket untergliedert sich in Arbeitsvorgänge zur Feinplanung und -steuerung
Arbeitspaketplanung	• Arbeitspakete sind Eingangsgrößen für die Projektablaufplanung.	• Arbeitspakete sind Ergebnis der Termin- und Kapazitätsplanung.
Voraussetzungen für die Arbeitspaketbildung	• Planung: Start- und Endtermin • klare Verantwortlichkeit	• Planung: Kapazitätseinheit, Start- und Endtermin • klare Verantwortlichkeit

Tabelle 5-3: Vergleich Arbeitspakete im Projektmanagement und in der Werkstattsteuerung

- ⇒ *Arbeitspakete unterstützen die Ressourcensicht in der Werkstattsteuerung, indem sie für Kapazitätseinheiten eine terminlich vereinbarte Arbeitsleistung darstellen.*

6 Reifegradbasierte Werkstattsteuerung

Bild 6.1 zeigt das logistische Grundprinzip der Reifegradbasierten Werkstattsteuerung (kurz RWS): Die Planung gibt der Produktion einen Takt vor, der die Weitergabefrequenz der Aufträge und damit auch die Geschwindigkeit des Auftragsdurchlaufes festlegt [BLW05]. Das Ziel ist die Einhaltung der Taktvorgaben, d.h. jede Kapazitätseinheit muss ein Arbeitspaket mit mehreren Aufträgen innerhalb einer Zeitperiode, dem sogenannten Takt abarbeiten. Der Takt ist als Durchlaufzeitvorgabe für die Kapazitätseinheit zu verstehen und synchronisiert den getakteten Auftragsstrom zwischen den Kapazitätseinheiten.

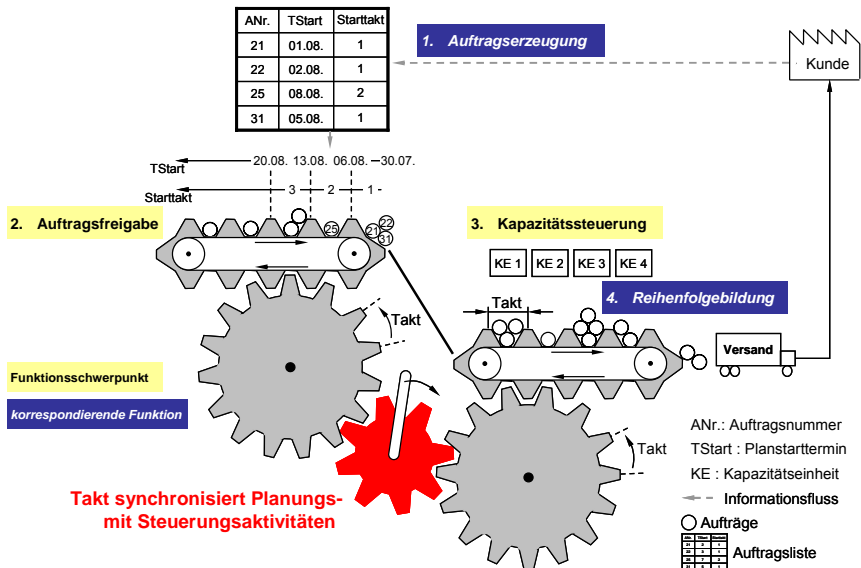


Bild 6.1: Taktprinzip der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

Die getaktete Auftragsfreigabe verfolgt, über die Zuordnung der Aufträge zu den Takten und der daraus resultierenden periodischen Freigabe, zwei Ziele:

- Reduzierung der Steuerungskomplexität durch Koordination weniger Termine
- Kontrolle des freigegebenen Umlaufbestands durch die Taktbreite

Die in Bild 6.1 dargestellten Gurtförderer symbolisieren die Planung und Steuerung. Die Zahnräder treiben die Gurtförderer an, die sich periodisch im Taktabstand immer einen Schritt weiterdrehen. Übertragen auf die Werkstattsteuerung einer Produktion, transportiert der linke Gurtförderer die freizugebenden Aufträge synchronisiert zum Takt in die Produktion, und der rechte Gurtförderer transportiert die Aufträge im Takt durch die Produktion (von KE zu KE). Die Taktung standardisiert dadurch die für

Werkstattfertiger typischen uneinheitlichen Materialflussbeziehungen und Auftragsdurchlaufzeiten.

Die Takte der Produktion bestimmen die dem Materialfluss zeitlich vorgelagerte Auftragsfreigabe. Der getaktete Auftragsdurchlauf stellt dabei gesonderte Anforderungen an die Auftragsfreigabe. Die Freigabe der von einem übergeordneten PPS-System erzeugten Aufträge erfordert eine Anpassung der auftragsindividuellen Starttermine (TStart) an die Takte. Die erzeugten Aufträge werden bei der Auftragsfreigabe dem passenden Starttakt zugeordnet. In der Regel sind mehrere Aufträge einem Starttakt zugeordnet (im Bild sind die Aufträge 21,22 und 31 dem Starttakt 1 zugeordnet). Bei Erreichen des Starttaktes erfolgt dann für alle zugeordneten Aufträge die Freigabe. Die Frequenz der *Auftragsfreigabe* ist deshalb direkt an den Takt gekoppelt. Nach der Auftragsfreigabe sorgt die *Kapazitätssteuerung* für die Einhaltung der Taktgrenzen. Alle Aufträge eines Taktes haben denselben Planendtermin an der Kapazitätseinheit. Die *Reihenfolgebildung* beschränkt sich deshalb auf die Aufträge im Takt.

Das Taktprinzip stellt die logistische Grundlogik des Verfahrens dar. Die *reifegradbasierte Konfiguration*, in Abhängigkeit der unternehmensspezifischen Ausgangssituation, ist in Bild 6.2 dargestellt. Die Festlegung der Werkstattsteuerungsfunktionen kann dabei in unterschiedlichen Reifegradstufen erfolgen. Mit dem Wechsel zu einer höheren Reifegradstufe ist eine differenziertere Ausführung und Parametrierung der Werkstattsteuerungsfunktionen möglich. Voraussetzung für den Wechsel der Reifegradstufe sind u.U. der Ausbau des Datenfundaments, die Einführung neuer Hilfsmittel (z.B. Softwaresysteme) und die Qualifizierung der Mitarbeiter. Der dabei zu leistende Aufwand sollte sich in überschaubare Einheiten je Reifegradstufe unterteilen.

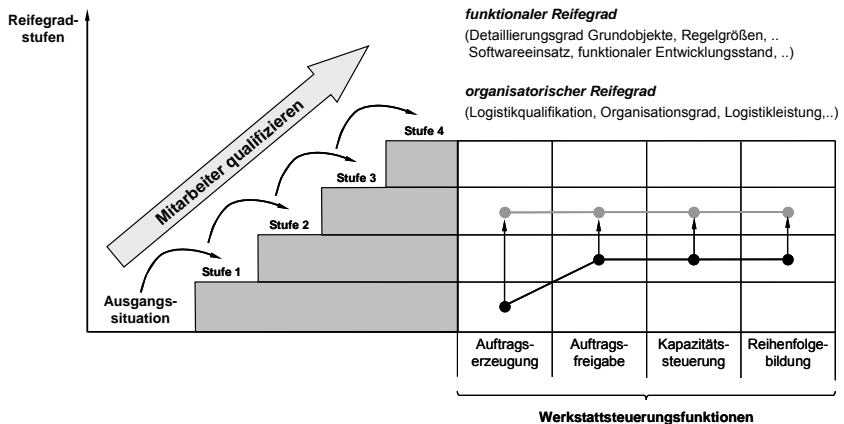


Bild 6.2: Reifegradbasierte Werkstattsteuerungsfunktionen

Dies ermöglicht Unternehmen eine *schrittweise Einführung der RWS* mit definierten Zwischenstufen auf welchen bereits schnelle Nutzenpotenziale entstehen.

Kapitel 6 beschreibt, aufbauend auf dem Taktprinzip, die Funktionen, Abläufe und Parameter der RWS in unterschiedlichen Reifegradstufen. Das Wirkmodell der Werkstattsteuerung (Abschnitt 6.1) gliedert den funktionalen Schwerpunkt der RWS. Abschnitt 6.2 ordnet die Logistikstrategie der RWS anhand des logistischen Leitbilds ein. Der Verfahrensablauf ist in Abschnitt 6.3 beschrieben. Abschnitt 6.4 stellt die funktionalen Kernbausteine im Betrieb vor und erläutert die Konfiguration in unterschiedlichen Reifegradstufen. Aus den Funktionsbausteinen resultieren die wesentlichen Eingangs- und Verfahrensparameter (Abschnitt 6.5). Abschnitt 6.6 zeigt die Möglichkeiten zur unternehmensspezifischen Gesamtkonfiguration der RWS. Das Kapitel schließt mit einer qualitativen Bewertung der RWS anhand der abgeleiteten Anforderungen an ein Verfahren für funktionsorientierte Strukturen (Abschnitt 6.7).

6.1 Wirkmodell der RWS

Das von Lödging entwickelte Wirkmodell der Fertigungssteuerung (s. Bild 6.3) bietet die Möglichkeit die RWS anhand den Funktionen der Fertigungssteuerung zu beschreiben und die Wirkzusammenhänge darzustellen [Löd05: 5f]. H. Lödging stellt dabei fest, dass es für Unternehmen nicht ausreicht, in einem bestimmten Teilgebiet der Fertigungssteuerung herausragende Ergebnisse zu erzielen. Vielmehr ist die gesamte Fertigungssteuerung aufeinander und mit der Planungslogik abzustimmen [Löd05: 491f].

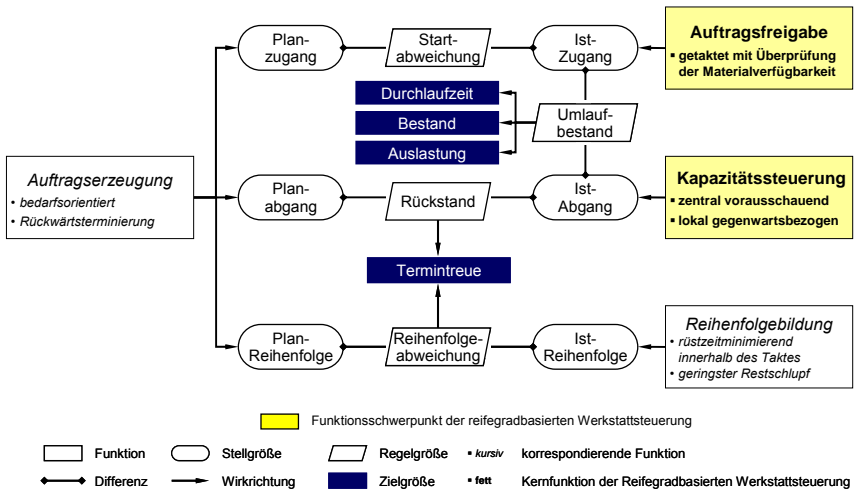


Bild 6.3: Einordnung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung (Darstellung nach H. Lödging)

Der Funktionsschwerpunkt der RWS liegt auf der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung. Deshalb sind beim Einsatz der RWS Anforderungen für die korrespondierenden Funktionen der Auftragserzeugung und Reihenfolgebildung sicherzustellen. Mit jedem Taktanfang an einer Kapazitätseinheit erfolgt die Freigabe des gesamten Arbeitspakets. Das freigegebene Arbeitspaket beinhaltet Aufträge, für die die Materialverfügbarkeit berücksichtigt wurde. Die Abarbeitung des freigegebenen Arbeitspaketes innerhalb des Taktes ist das oberste Ziel für die Ausführung. Die Kapazitätssteuerung nutzt deshalb flexible Kapazitäten, um Rückstand vorausschauend (vor Taktanfang) und gegenwartsbezogen (während des Taktes) zu vermeiden. Im Gegensatz zur Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung spielt die Reihenfolgebildung der Aufträge innerhalb des Taktes eine untergeordnete Rolle. Das Ziel, die Taktvorgaben einzuhalten, wird durch leistungssteigernde und termintreuerhöhende Reihenfolgebildungsverfahren positiv unterstützt. Die rüstzeitminimierende Reihenfolge innerhalb des Taktes schafft zum Beispiel freie Kapazität, die zur Vermeidung von Rückstand beiträgt, und sich deshalb für die RWS eignet.

- ☞ *Die RWS vermeidet Rückstand mit Hilfe der vorausschauenden und gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung und begrenzt über die getaktete Auftragsfreigabe den Umlaufbestand in der Produktion.*

Anforderungen an zur RWS korrespondierende PPS-Funktionen:

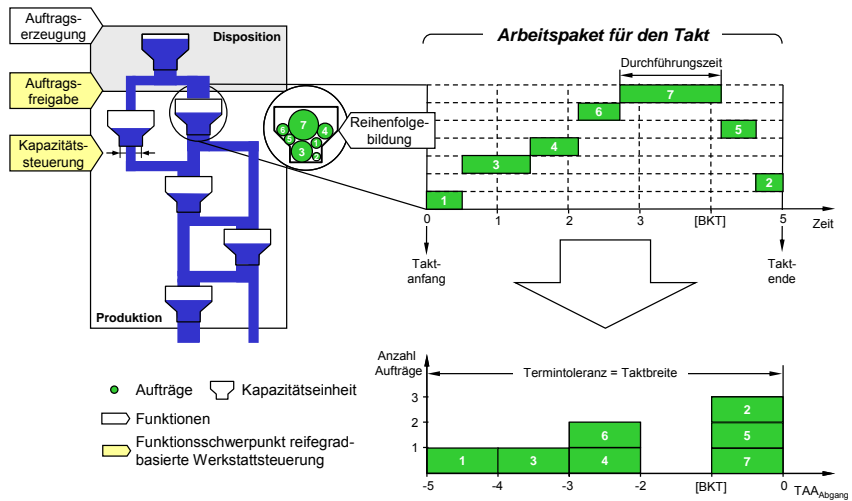
Die RWS übernimmt im Schwerpunkt die Funktionen der Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung. Folglich muss sie mit anderen Verfahren der Produktionsplanung und -steuerung kombiniert werden. Dabei stellt sie folgende Anforderungen:

1. Die Funktionen der Mengenplanung, Prognoserechnung und Kundenauftragsverwaltung sind nicht Bestandteil der RWS. Diese Verfahren zur Bedarfsermittlung müssen klären, welche Bedarfe für die Produktion relevant sind und die Materialverfügbarkeit zum geplanten Bearbeitungsstart sicherstellen.
2. Aus den Bedarfen sind Aufträge für die RWS zu erzeugen. Deshalb ist ein Verfahren der Losgrößenbildung zu empfehlen, das sich an den logistischen Zielen geringe Bestände, kurze Durchlaufzeiten und hohe Termintreue orientiert.
3. Die RWS geht davon aus, dass jeder Eigenfertigungsauftrag von einem überlagerten PPS-System¹⁵ terminiert wird und sich daraus ein realistischer Auftragsstarttermin ergibt. Dies setzt voraus, dass Kapazitäts- und Materialverfügbarkeitsrestriktionen angemessen in die Planung einfließen.

¹⁵ Erfahrungen zeigen, dass viele Unternehmen Ihre Geschäftsprozesse mit so genannten ERP-Systemen unterstützen. Die meisten ERP-Systeme erzeugen Eigenfertigungsaufträge mit Hilfe des MRP-Ansatzes.

6.2 Logistisches Leitbild der RWS

Das Gestaltungsmerkmal Logistisches Leitbild beschreibt, wie die Aufträge durch die Produktion fließen sollen (s. Abschnitt 3.4.1). Bild 6.4 a stellt dar, wie die Aufträge bei der RWS durch die Produktion fließen. Die Kapazitätseinheiten sind als Trichter dargestellt. Die Aufträge im Trichter symbolisieren den Umlaufbestand und die Trichteröffnung den Durchsatz (siehe Abschnitt 5.2.3). Die Funktion Auftragserzeugung generiert Aufträge, die durch die Auftragsfreigabe vom Dispositions- in den Umlaufbestand der Produktion wechseln. Die Auftragsfreigabe verantwortet einen realistischen Auftragsstart. Die Auftragsfreigabe legt fest, wie hoch der Umlaufbestand in der Produktion ist. Nach der Auftragsfreigabe sorgt die Kapazitätssteuerung für ausreichend Kapazität und die Reihenfolgebildung für die richtige Abarbeitungsreihenfolge. Die Kapazitätssteuerung beeinflusst mit Hilfe flexibler Kapazitäten die Einhaltung der Taktgrenzen.



a) Auftragsdurchlauf gesamte Produktion b) Auftragsdurchlauf Takt

Bild 6.4: Auftragsstrom im Takt

Der Auftragsstrom im Takt sorgt für eine geringe Abgangsterminabweichung der Aufträge. Bild 6.4 b stellt für eine Kapazitätseinheit den Durchlauf mehrerer Aufträge eines Taktes dar. Alle Aufträge innerhalb eines Taktes an der Kapazitätseinheit haben denselben Planzugangs- (= Taktanfang) und Planabgangstermin (= Taktende). Diese Aufträge stellen das Arbeitspaket eines Taktes dar. Die RWS konzentriert sich vor allem auf die Termineinhaltung der Aufträge. Liegen die Aufträge innerhalb der durch die Taktbreite festgelegten Termintoleranz, sind die Aufträge des Arbeitspaketes im

Takt. Das Ziel ist es, das Arbeitspaket innerhalb des Taktes abzuarbeiten und somit die Termineinhaltung der einzelnen Aufträge zu gewährleisten. Jeder Taktanfang sorgt für einen definierten Ausgangszustand, bei dem sämtliche Aufträge für den Takt verfügbar sind. Ein Unterbrechen des kontinuierlichen Auftragsdurchlaufs erzeugt Zeitpuffer, die die unvermeidlichen Schwankungen der Ausführungsprozesse im Idealfall vollständig ausgleichen. In regelmäßigen Abständen wird so ein definierter Zwischenzustand zuverlässig erreicht, was die logistische Prozesssicherheit erhöht.

- ☞ *Die RWS setzt das logistische Leitbild des gleichmäßigen Auftragsstroms mit Hilfe des Taktprinzips und des Funktionsschwerpunkts Auftragsfreigabe und Kapazitätssteuerung in funktionsorientierten Strukturen um.*

6.3 Verfahrensablauf der RWS

Der Verfahrensablauf der RWS lässt sich in fünf Schritte unterteilen (s. Bild 6.5).

1. In der Planung erfolgt die Auftragserzeugung und die Ermittlung des Auftragsstarttermins (Abschnitt 6.4.1).
2. An der Schnittstelle zwischen Planung und Steuerung erfolgt, zentral für alle Aufträge mit dem Auftragsstarttermin im Vorgriffhorizont, die getaktete Auftragsfreigabe (Abschnitt 6.4.2) mit Überprüfung der physischen Materialverfügbarkeit. Die Kapazitätssteuerung (Abschnitt 6.4.3) spielt bei der RWS eine zentrale Rolle, um das Produzieren im Takt zu ermöglichen. Die vorausschauende Kapazitätssteuerung ist in Abhängigkeit des Reifegrads Bestandteil der RWS, um bei Auftragsfreigabe das Kapazitätsangebot auf den -bedarf abzustimmen und blockierte Bestände zu vermeiden. Die Auftragsfreigabe schließt mit der Einlastung des Auftrags in die Auftragslisten der durchlaufenen Kapazitätseinheiten.
3. Nach dem Zugang des Arbeitspaketes für den jeweiligen Takt erfolgt reifegradabhängig die Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge (Abschnitt 6.4.5).
4. Während des Taktes steuert die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung lokal die Einhaltung der Taktgrenzen mit Hilfe der vorhandenen Taktkapazitätsflexibilität. Alle Aufträge des Arbeitspaketes für den Takt sind innerhalb der Taktgrenzen abzuarbeiten, so dass die Aufträge bei den Nachfolgern rechtzeitig zum nächsten Taktanfang bereit stehen.
5. Für das Übergabeprinzip von Material und Information zwischen den Kapazitätseinheiten gilt die Bringschuld (Abschnitt 6.4.4). Mit Hilfe lokaler Absprachen lässt sich das Umplanen von verspäteten Aufträgen vermeiden. Hierbei sind folgende Punkte zu klären:
 - kann die KE im nächsten Takt ausreichend Kapazität zur Verfügung stellen, um den drohenden Rückstand zeitnah abzuarbeiten, ohne die Abarbeitung des nächsten Arbeitspaketes zu gefährden?

- ist eine verspätete Anlieferung der Aufträge bei dem betroffenen Nachfolger akzeptabel?

Diese lokalen Absprachen beschränken sich auf die direkten Vorgänger-Nachfolger KE, da sonst das Taktprinzip mit festen Eckterminen verloren geht. Reichen die lokalen Absprachen nicht aus, um Rückstand zu vermeiden, sind die Auftragslisten an den Kapazitätseinheiten anzupassen. Größere Störungen, wie zum Beispiel der Ausfall von Materiallieferanten oder die Stornierung von Aufträgen, erfordern eine Neuplanung der Bedarfe mit Hilfe der überlagerten Termin- und Kapazitätsplanung.

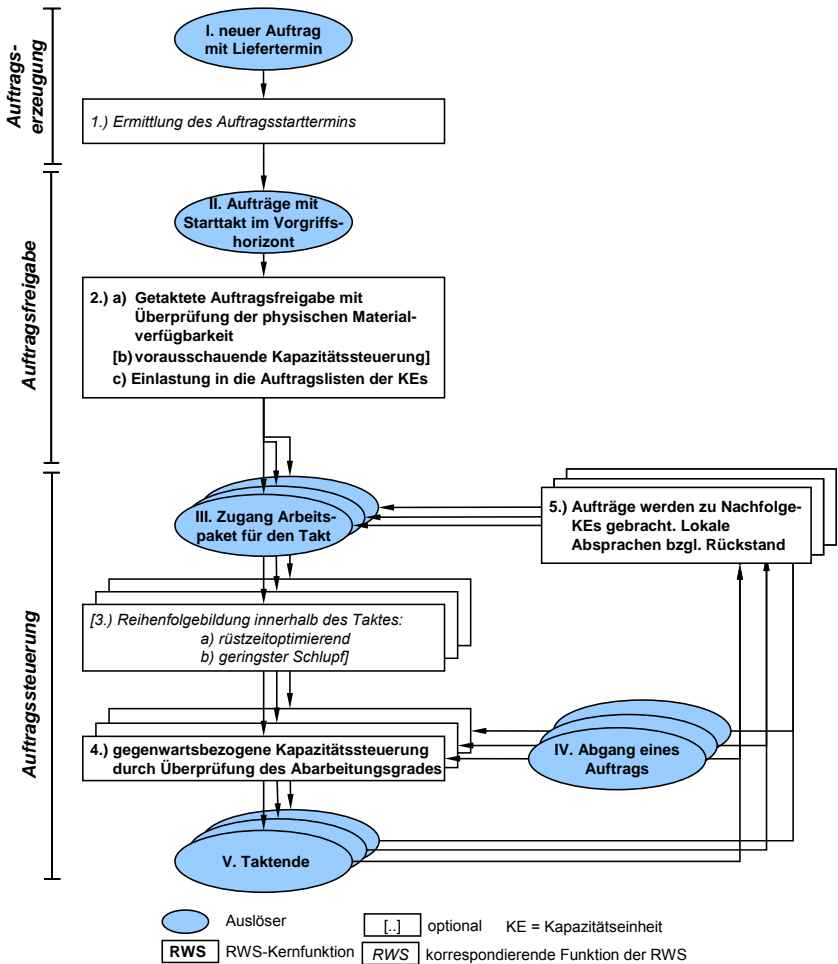


Bild 6.5: Verfahrensablauf der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

6.4 Funktionsbausteine der RWS

Die Funktionsbausteine der RWS orientieren sich an dem Taktprinzip und dem unternehmensspezifischen Reifegrad des vorhandenen Datenfundaments. Jeder Funktionsbaustein lässt sich in Abhängigkeit der Unternehmensvoraussetzungen in unterschiedlichen Reifegradstufen festlegen. In Anlehnung an den in Abschnitt 6.3 beschriebenen Verfahrensablauf stellt Abschnitt 6.4 die Funktionsbausteine der RWS vor. Abschnitt 6.4.1 erläutert die korrespondierende Funktion der Auftragserzeugung mit der Termin- und Kapazitätsplanung. Die Kernfunktionen der RWS sind in Abschnitt 6.4.2 (Auftragsfreigabe) und in Abschnitt 6.4.3 (vorausschauende und gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung) beschrieben. Der Auftragsübergabe in der Produktion (s. Abschnitt 6.4.4) kommt aufgrund des Taktprinzips eine besondere Bedeutung zu. Die korrespondierende Funktion der Reihenfolgebildung (s. Abschnitt 6.4.5) komplettiert die Funktionsbausteine der RWS.

6.4.1 Korrespondierende Funktion der Auftragserzeugung

Die Hauptaufgabe der auf die RWS abgestimmten Auftragserzeugung besteht darin, möglichst realistische Auftragstermine (Start- und Endtermine) mit Hilfe der Termin- und Kapazitätsplanung und einer vorausschauenden Materialplanung zu ermitteln. Die Festlegung arbeitsvorgangsbezogener Start- und Endtermine ist Bestandteil der Auftragsfreigabe. Die arbeitsvorgangsbezogenen Planstart- und -endtermine können jedoch für andere Aufgaben der RWS wichtig sein (siehe Materialbereitstellung). Die Auftragsstarttermine setzen den Auftragsfreigabeablauf der RWS in Gang. In Bild 6.6 sind unterschiedliche Reifegradstufen für die Durchführung der Termin- und Kapazitätsplanung dargestellt, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

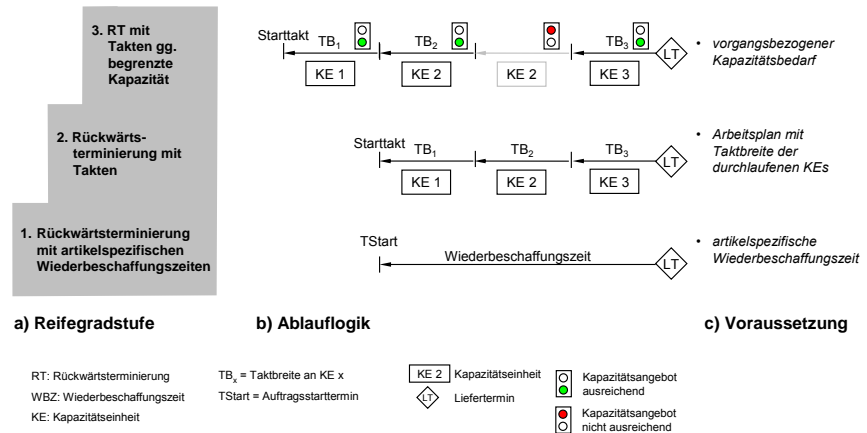


Bild 6.6: Reifegradstufen im Betrieb: Termin- und Kapazitätsplanung

1. Rückwärtsterminierung mit artikelspezifischen Wiederbeschaffungszeiten:

Ablauflogik: Ausgehend vom Liefertermin ergibt sich durch Rückwärtsterminierung mit der artikelspezifischen Wiederbeschaffungszeit der Auftragsstarttermin (TStart).

Voraussetzung: Diese Reifegradstufe erfordert die Angabe der voraussichtlichen Durchlaufzeit (= Wiederbeschaffungszeit) des zu produzierenden Artikels mit der angegebenen Menge. Die Wiederbeschaffungszeit ist in der Regel im überlagerten Planungssystem als artikelspezifischer Dispositionsparameter hinterlegt. Der Parameter beeinflusst den Umlaufbestand einer Produktion.

2. Rückwärtsterminierung mit Takten:

In der nächsten Reifegradstufe passt sich die Durchlaufterminierung der RWS den ressourcenspezifischen Takten an. In Bild 6.7 ist anhand einer vereinfachten Produktion mit 4 Kapazitätseinheiten die Einplanung eines einzelnen Auftrags bei den durchlaufenen Kapazitätseinheiten dargestellt.

Ablauflogik: Der Auftrag durchläuft nacheinander die 4 Kapazitätseinheiten mit insgesamt 5 Bearbeitungsschritten (s. Bild 6.7 a). Dieser Produktionsablauf ist in Bild 6.7 b im Zeitverlauf dargestellt. Die Kapazitätseinheiten 1 und 2 haben eine Taktbreite (TB) von je 2 Perioden, die Kapazitätseinheiten 3 und 4 eine Taktbreite von je 1 Periode. Ausgehend vom Liefertermin (Zeitpunkt 9) erfolgt die ressourcenspezifische Rückwärtsterminierung des Auftrags. Als Ergebnis erhält man den Auftragsstarttermin an der Start-Kapazitätseinheit, ggf. korrigiert um Vorbereitungszeiten für Auslagerung, Druck der Auftragspapiere etc.

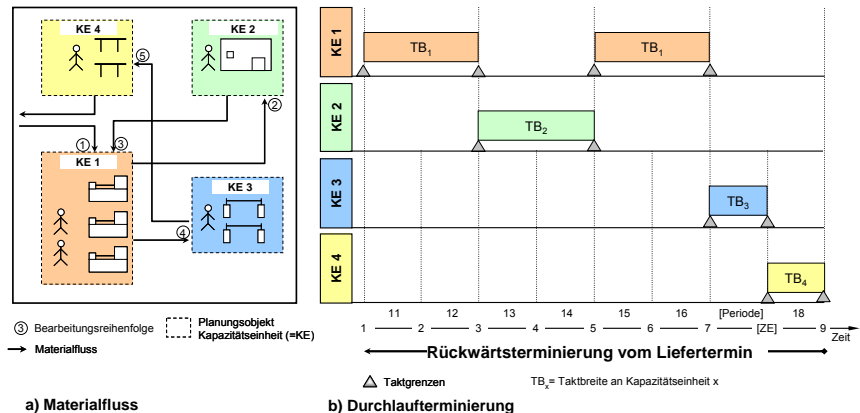


Bild 6.7: Durchlaufterminierung von Aufträgen mit ressourcenspezifischen Takten

Voraussetzung: Für eine arbeitsgangbasierte Durchlaufterminierung sind Arbeitspläne mit Plandurchlaufzeiten je Kapazitätseinheit notwendig. Der Dispositionsparameter arbeitsvorgangsbezogene Durchlaufzeit setzt sich aus auftragspezifischen (z.B.

Transportzeit) und ressourcenspezifischen Bestandteilen (z.B. Liegezeit, Durchführungszeit) zusammen, oder die Festlegung erfolgt undifferenziert (z.B. 1 Woche je Arbeitsvorgang). Dieser Parameter hat eine hohe logistische Bedeutung, da er eine differenzierte Umlaufbestandsdimensionierung je Kapazitätseinheit ermöglicht.

3. Rückwärtsterminierung mit Takten gegen begrenzte Kapazitäten:

Ablauflogik: In der dritten Reifegradstufe erfolgt die Durchlaufterminierung analog zu der zweiten Reifegradstufe in Takten. Allerdings werden bei den einzelnen Takten Kapazitätsrestriktionen berücksichtigt. In Bild 6.8 ist dargestellt, wie sich aufgrund mangelnder Kapazität bei Kapazitätseinheit 2 der Starttakt von Zeiteinheit 1 auf -1 vor verschiebt. Dadurch verlängert sich der geplante Auftragsdurchlauf um 2 Perioden.

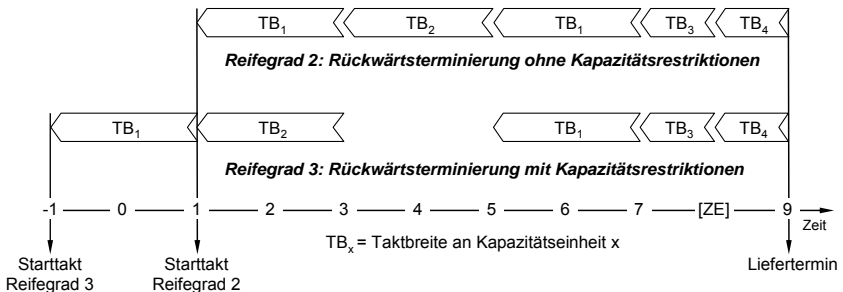


Bild 6.8: Durchlaufterminierung ohne und mit Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen

Voraussetzung: Diese Reifegradstufe erfordert Aufträge mit arbeitsvorgangsbezogenem Kapazitätsbedarf. Außerdem sind eine Verwaltung der bereits eingeplanten Kapazitätsbedarfe (Be- und Entlastung) und die Pflege des taktbezogenen Kapazitätsangebots notwendig. Dies setzt i.d.R. den Einsatz von IT-Software voraus.

Neben der Berücksichtigung von internen Kapazitätsrestriktionen hat die Berücksichtigung von externen Lieferrestriktionen eine genauso hohe Bedeutung für eine realistische Auftragserzeugung. Insbesondere Unternehmen mit einem hohen Fremdbezug sollten bei der Auftragsstartterminermittlung die voraussichtlichen Materialverfügbarkeitstermine angemessen berücksichtigen.

6.4.2 Auftragsfreigabe

Die Auftragsfreigabe bestimmt den Zeitpunkt, ab dem die Produktion einen Auftrag bearbeiten darf [Löd05: 297]. Die Auslöselogik ist reifegradunabhängig. Die Freigabe von Aufträgen für die Produktion erfolgt im Taktabstand (periodisch). Unabhängig vom Reifegrad ergibt sich durch die Taktung der Bedarf, die freigegebenen Aufträge den jeweiligen Starttakt an den einzelnen Kapazitätseinheiten zuzuordnen. Bild 6.9 zeigt die dazu notwendigen Bestandteile.

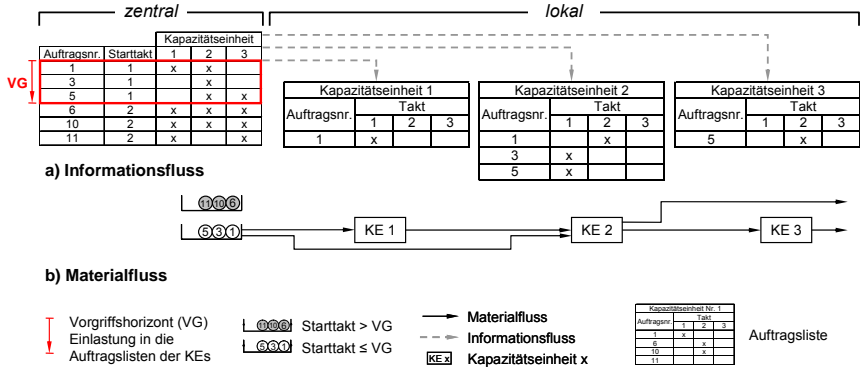


Bild 6.9: Reifegradunabhängige Bestandteile der Auftragsfreigabe

- Die *zentral gepflegte Auftragsliste* enthält sämtliche erzeugten, aber noch nicht freigegebene Aufträge, aufsteigend sortiert nach Starttakt.
- Die *lokal gepflegten Auftragslisten* je Kapazitätseinheit beinhalten die freigegebenen Aufträge und die zur Freigabe anstehenden Aufträge, wenn der Starttakt in einen definierten Vorgriffshorizont fällt (in Bild 6.9 beträgt der Vorgriffshorizont einen Takt). Mit Hilfe der Auftragslisten kann lokal an den Kapazitätseinheiten nachvollzogen werden, welche Aufträge in welchem Takt zur Bearbeitung anstehen. Diese Information ist insbesondere dann hilfreich, wenn sich im Umlaufbestand vor der Kapazitätseinheit auch Aufträge befinden, die nicht im aktuellen Takt zur Bearbeitung anstehen. Die lokalen Auftragslisten steuern somit den Zeitpunkt der Auftragsbearbeitung an den Kapazitätseinheiten.
- Der *Vorgriffshorizont* steuert die Belegungsreichweite¹⁶ der Kapazitätseinheiten. E. Ludwig hat die Auswirkung unterschiedlicher Vorgriffshorizonte auf die Logistikleistung mit Hilfe von Simulationsexperimenten untersucht [Lud94]. Die Untersuchungen zeigen, dass durch einen vergrößerten Vorgriffshorizont die mittlere Leistung steigt, dafür aber die mittlere Bestandsreichweite (~ mittlere

¹⁶ an einigen Kapazitätseinheiten hilft eine größere Belegungsreichweite, um vorausschauend auftragspezifische Tätigkeiten anstoßen zu können (z.B. Werkzeuge vorbereiten).

Durchlaufzeit) ansteigt und sich die Standardabweichung der relativen Terminabweichung erhöht. Des Weiteren ist ersichtlich, dass ein erlaubtes Vorziehen von Aufträgen von bis zu zwei Planperioden keinen wesentlichen Einfluss auf die Streuung der Durchlaufzeitabweichungen hervorruft. Ein darüber hinausgehendes Vorziehen von Aufträgen führt zu keinen nennenswerten Leistungssteigerungen. Das zeitliche Vorziehen von Aufträgen kann die Auslastung zwar positiv beeinflussen, letztlich kann aber nur eine entsprechend flexibel gestaltete Kapazität für einen Ausgleich bei ausgeprägten Belastungsschwankungen sorgen [WieP97b: 302]. H.-P. Wiendahl schlägt deshalb vor, Aufträge mit einem Vorgriffshorizont von zwei Planperioden freizugeben. Für die RWS empfiehlt sich deshalb, den Vorgriffshorizont auf 1-2 Takte zu begrenzen.

In Bild 6.10 ist die Auftragsfreigabefunktion der RWS in unterschiedlichen Reifegradstufen beschrieben. Das Ablaufschema stellt vor allem das Freigabekriterium und den dazugehörigen Informationsfluss dar.

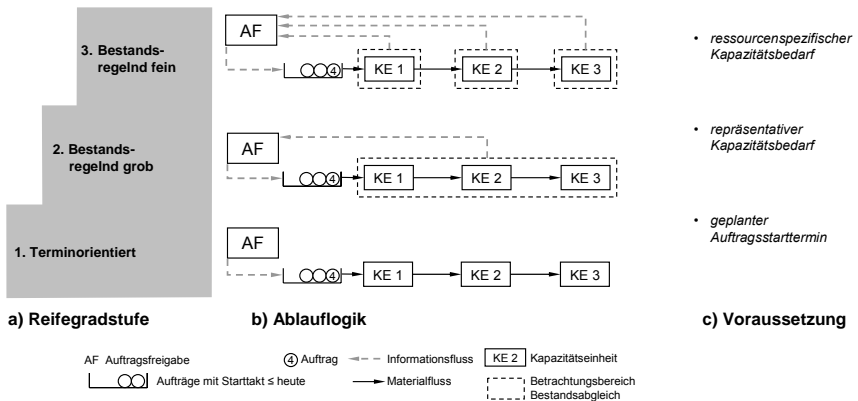


Bild 6.10: Reifegradstufen im Betrieb: Auftragsfreigabe

1. Terminorientiert:

Ablauflogik: Bei der rein terminorientierten Auftragsfreigabe, erfolgt die Freigabe nach dem geplanten Auftragsstarttermin (TStart). Dieser Auftragsstarttermin wird auf die Takte umgerechnet, so dass sich der passende Starttakt ergibt. Bei Auftragsfreigabe erfolgt der Eintrag des Auftrags in die Auftragslisten der Kapazitätseinheiten und die anschließende Freigabe. Die Auftragsfreigabe erfolgt periodisch im Taktstand für mehrere Aufträge mit demselben Starttakt. Einziges Prüfkriterium ist der Auftragsstarttermin.

Voraussetzung: Ein überlagertes Planungssystem zur Festlegung des Auftragsstarttermins, und ein Arbeitsplan für eine vollständige Zuordnung der Arbeitsvorgänge zu den Taktan den Kapazitätseinheiten in der richtigen Reihenfolge.

2. Bestandsregelnd grob:

Ablauflogik: In dieser Reifegradstufe erfolgt eine grobe Überprüfung der Belastungssituation. Diese Überprüfung erfolgt entweder stellvertretend am auftragspezifischen Startarbeitsplatz, an der ausgewiesenen Engpasskapazitätseinheit oder kumuliert für die gesamte Produktion. Der früheste Starttakt ist demnach der Takt, an dem ausreichend Kapazität zur Verfügung

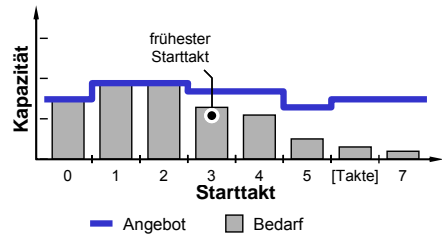


Bild 6.11: Ermittlung des Starttaktes mit Belastungsabgleich

steht (in Bild 6.11 Takt 3). Da die Zuordnung der Aufträge zu den Taktan den Kapazitätseinheiten fester Bestandteil der Auftragsfreigabe ist, kann der Kapazitätsbedarf taktgenau zugeordnet werden (s. Bild 6.11).

Voraussetzung: Der Starttakt entscheidet über die Einlastungsreihenfolge der auftragspezifischen Kapazitätsbedarfe. Mit Hilfe der Takte vereinfacht sich die Belastungsrechnung. Aus der Taktbreite ergibt sich für jede Kapazitätseinheit ein spezifisches Kapazitätsangebot. Kapazitätsbedarf und -angebot können vereinfacht auch in Zeitäquivalenten¹⁷ gemessen werden. Das absolute Kapazitätsangebot berechnet sich dabei folgendermaßen (Voraussetzung Periode \leq Takt):

$$KA_{Takt}^x = \sum_{i=1}^{TB} KA_i^x \quad \text{Gleichung 6-1}$$

Mit KA_{Takt}^x : Kapazitätsangebot der KE x für einen Takt [h, Anzahl Aufträge, ..]

TB : Taktbreite der Kapazitätseinheit [ZE]

KA_i^x : Kapazitätsangebot der KE x für Periode i [h, Anzahl Aufträge, ..]

Der Kapazitätsbedarf an den einzelnen Kapazitätseinheiten in den Taktan ergibt sich durch die Einlastung der Aufträge bei der Auftragsfreigabe. Die Reichweite der eingelasteten Aufträge regelt sich über den Vorgriffshorizont (analog zur Belegungsreichweite). Insbesondere bei stark schwankenden Lieferzeiten sollte die Belegungsreichweite der Kapazitätseinheiten eher kurz sein, um weiterhin marktgerechte Lieferzeiten realisieren zu können.

¹⁷ Mit Zeitäquivalenten lassen sich Zeitgrößen (z.B. Kapazitätsbedarf, -angebot [h]) auch in anderen Messeinheiten definieren. Für einen Takt kann das Kapazitätsangebot z.B. 5 Aufträge betragen und jeder Auftrag wird mit dem Kapazitätsbedarf 1 Auftrag eingebucht.

In dieser Reifegradstufe ist die Angabe des auftragsspezifischen Kapazitätsbedarfs und des taktbezogenen Kapazitätsangebots an ausgewählten Kapazitätseinheiten (z.B. Engpässe) notwendig, um einen groben Belastungsabgleich für den gesamten Auftrag durchführen zu können.

3. *Bestandsregelnd fein:*

Ablauflogik: In der dritten Reifegradstufe erfolgt eine Überprüfung der Belastungssituation an jeder durchlaufenen Kapazitätseinheit. Die Überprüfung kann mehrere Engpässe identifizieren, die eine Freigabe verhindern. Diese Reifegradstufe gibt die feste Verkettung der aufeinanderfolgenden Takte auf. Die Einlastung der Aufträge in die Takte erfolgt zentral mit Berücksichtigung der Bearbeitungsreihenfolge und den jeweiligen Kapazitätsgrenzen der einzelnen Kapazitätseinheiten. Der Auftragsdurchlauf passt sich dem zur Verfügung stehenden Kapazitätsangebot an. Dadurch dehnt sich unter Umständen der Auftragsdurchlauf, und führt zu einer verlängerten Auftragsdurchlaufzeit bei einer gleichmäßigeren Auslastung der Kapazitätseinheiten. Die Überprüfung der Belastungssituation am Startarbeitsplatz ergibt den auftragsspezifischen Starttakt. Damit steuert die belastungsorientierte Vorwärtseinlastung der Aufträge in die Auftragslisten der Kapazitätseinheiten den späteren Auftragsdurchlauf. Nach Auftragsfreigabe können dadurch blockierte Bestände¹⁸ an den Kapazitätseinheiten entstehen. Die Auftragslisten an den Kapazitätseinheiten und eine visuelle Trennung des Umlaufbestandes in „blockiert“ und „zu bearbeiten“, stellt die taktgerechte Abarbeitung im Shop-Floor sicher. Die feine bestandsregelnde Auftragsfreigabe erfordert eine vorausschauende Kapazitätssteuerung, um die Auftragsdehnung auf einem akzeptablen Niveau zu regeln und blockierte Bestände zu vermeiden.

Voraussetzung: Arbeitspläne mit der Angabe des Kapazitätsbedarfs für jeden Arbeitsgang. Der ressourcenspezifische Kapazitätsabgleich erfordert eine manuelle oder automatisierte Gegenüberstellung von kumuliertem Kapazitätsbedarf und -angebot.

Physische Materialverfügbarkeitsprüfung

An die Planstarttermine der Eigenfertigungsaufträge sind Bedarfstermine für das zur Produktion des Auftrags erforderliche Material gekoppelt. Diese Materialbedarfe lösen weitere Eigenfertigungsaufträge, Lageraufträge oder Bestellungen mit Planzugangsterminen aus. Die Synchronisation der Auftragsstarttermine mit den Materialzugangsterminen ist die Aufgabe der Planung. Unternehmensstudien [KWW03] zeigen, dass »Fehlteile« dennoch häufig vorkommen und als Turbulenzkeim wirken. Die

¹⁸ Bestand an einer Kapazitätseinheit ist blockiert, wenn der Bestand für die Bearbeitung gesperrt ist. Blockierte Bestände treten ungeplant durch fehlendes Material etc. oder geplant durch die Kopplung der Bearbeitungsfreigabe an das Überschreiten einer Freigabezeit auf [Löd01: 18].

Auftragsfreigabe kann die meisten Ursachen für Fehlteile¹⁹ nicht beeinflussen und sollte deshalb vor allem die negativen Auswirkungen dämpfen. Insbesondere die Freigabe von Aufträgen auf Basis von Planzugangsterminen kann dazu führen, dass Aufträge ohne Material für die Bearbeitung freigegeben werden. Die RWS beinhaltet deshalb eine physische Materialverfügbarkeitsprüfung, die stattdessen den Ist-Materialbestand prüft. Bild 6.12 stellt verschiedene Reifegradstufen für den Ablauf der Materialbereitstellung und -verfügbarkeitsprüfung dar.

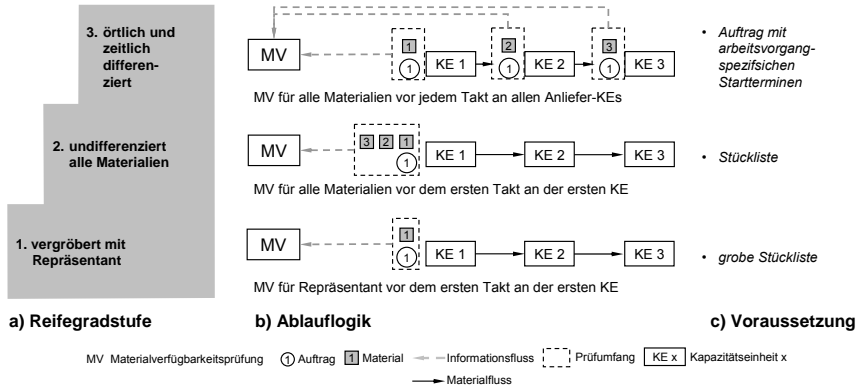


Bild 6.12: Reifegradstufen im Betrieb: Materialbereitstellung und -verfügbarkeitsprüfung

1. vergrößert mit Repräsentant (gegenwartsbezogen)

Ablauflogik: In der niedrigsten Reifegradstufe erfolgt die physische Materialverfügbarkeitsprüfung lediglich für ein Material, stellvertretend für alle anderen notwendigen Materialien (Bild 6.12 Material 1), mit dem an der Start-Kapazitätseinheit die Bearbeitung startet. Zum geplanten Auftragsstarttermin erfolgen die Materialverfügbarkeitsprüfung und gegebenenfalls die Freigabe des Auftrags. Die stellvertretende Verfügbarkeitsprüfung kann nicht nur für Material, sondern auch für andere Fertigungshilfsmittel durchgeführt werden.

Voraussetzung: Eine grobe Stückliste mit repräsentativen Materialien.

2. undifferenziert alle Materialien (gegenwartsbezogen)

Ablauflogik: Sämtliche zur Bearbeitung des Auftrags notwendigen Materialien (Bild 6.12 Material 1, 2, 3) sind an der Start-Kapazitätseinheit bereitgestellt. Die physische Materialverfügbarkeitsprüfung erfolgt an der Start-Kapazitätseinheit für alle Materialien des Auftrags.

Voraussetzung: Eine vollständige Stückliste zur Ableitung sämtlicher Materialien.

¹⁹ Ursachen für „Fehlteile“ sind zum Beispiel unzuverlässige Lieferanten, falsche Dispositionsparameter, mangelnde Datenqualität, unregelmäßige Lieferabrufe.

3. örtlich und zeitlich differenziert (zukunftsbezogen)

Ablauflogik: Diese Reifegradstufe stellt die höchsten Anforderungen an die überlagerte Planung. Jeder Materialzugangstermin ist hierbei auf den voraussichtlichen Bedarfstermin an der jeweiligen Kapazitätseinheit abzustimmen. Dies kann dazu führen, dass die Freigabe des Auftrags an der Start-Kapazitätseinheit erfolgt, obwohl an den nachfolgenden Kapazitätseinheiten noch kein Material physisch verfügbar ist. Während des Auftragsdurchlaufs erfolgt für die noch fehlenden Materialien an den jeweiligen Kapazitätseinheiten die zeitgerechte Bereitstellung. Die physische Materialverfügbarkeitsprüfung erfolgt deshalb arbeitsvorgangsbezogen. Diese Variante stellt hohe Anforderungen an die Planung (Terminierung arbeitsvorgangsbezogener Materialzugangstermine) und Steuerung (Überwachung und Freigabe arbeitsvorgangsbezogen). Zugangsabweichungen führen bei schon freigegebenen Aufträgen zu blockierten Beständen an den Kapazitätseinheiten.

Voraussetzung: Die Kopplung von Arbeitsplan und Stückliste zur Ableitung der arbeitsvorgangsbezogenen Materialzugänge.

6.4.3 Kapazitätssteuerung

Die Kapazitätssteuerung entscheidet kurzfristig über den tatsächlichen Einsatz der Kapazitäten. In der Regel bestimmt die Kapazitätssteuerung die Arbeitszeiten und den Personaleinsatz [Löd05: 461 f]. In der RWS unterteilt sich die Kapazitätssteuerung in gegenwartsbezogen und vorausschauend (s. Bild 6.13).

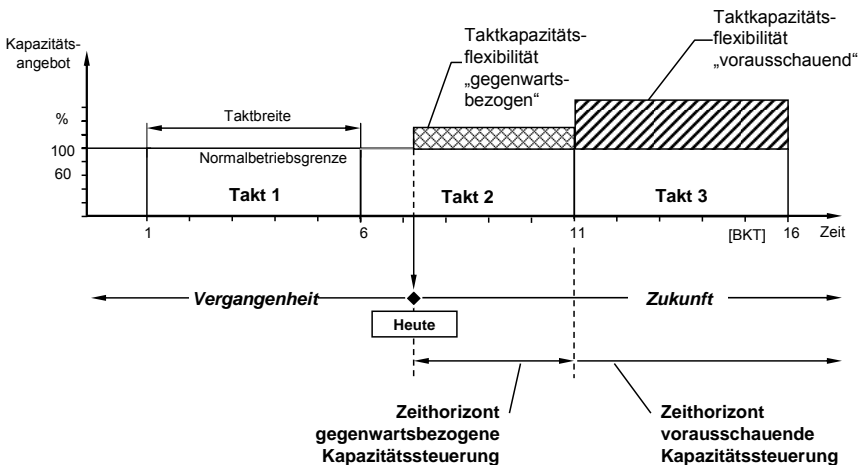


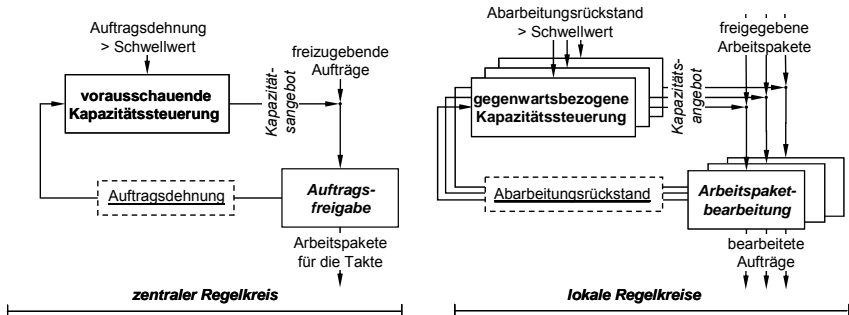
Bild 6.13: Kapazitätssteuerung mit unterschiedlichem Zeithorizont

Die *vorausschauende Kapazitätssteuerung* sorgt dafür, dass bei Auftragsfreigabe Kapazitätsanpassungen mit einem Zeithorizont über den aktuellen Takt hinaus erfol-

gen. Die *gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung* sorgt dafür, dass nach Auftragsfreigabe innerhalb des Taktes Kapazitätsanpassungen erfolgen.

In Bild 6.14 sind die verschiedenen Kapazitätsregelkreise der RWS mit Hilfe der von Stachowiak verwendeten Regelkreisstruktur dargestellt [Sta73]. Die überlagerte Planung ermittelt Auftragsstarttermine und plant anhand grober Kapazitätsrechnungen die mittel- bis langfristigen Kapazitätsanpassungen (z.B. Fremdvergabe, Maschineninvestitionen). Die vorausschauende Kapazitätssteuerung (Bild 6.14 a) regelt anhand der voraussichtlichen Auftragsdehnung bei Auftragsfreigabe das mittel- bis kurzfristige Kapazitätsangebot (z.B. Mehr-Schicht Betrieb), und die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung (Bild 6.14 b) regelt anhand des Abarbeitungsrückstandes das kurzfristige Kapazitätsangebot (z.B. Springer, Überstunden).

- Das Ziel der vorausschauenden Kapazitätssteuerung ist es, blockierte Bestände zu vermeiden, die Durchlaufzeitstreuungen zu reduzieren und den getakteten Auftragsdurchlauf zu gewährleisten. Hierzu ist das Kapazitätsangebot auf den -bedarf, der sich aus einem streng getakteten Durchlauf der Aufträge ergibt, abzustimmen.



a) bei Auftragsfreigabe

- Regelgröße: Auftragsdehnung
- zentral und vorausschauend

⇒ ermöglicht Taktprinzip und vermeidet blockierte Bestände

b) bei Arbeitspaketbearbeitung

- Regelgröße: Abarbeitungsrückstand
- lokal und gegenwartsbezogen

⇒ stellt Takteinhaltung sicher und vermeidet Rückstand

Bild 6.14: Kapazitätsregelkreise der RWS bei Auftragsfreigabe und Arbeitspaketbearbeitung

- Die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung (Bild 6.14 b) an den Kapazitätseinheiten sichert die arbeitsvorgangsbezogene Einhaltung der Taktgrenzen und vermeidet den Aufwand für Um- oder Neuplanungen von verspäteten Aufträgen.
- Die Aufgabe des zentralen Regelkreises (Bild 6.14 a) ist es, die Regelgröße Auftragsdehnung bei Überschreiten des Schwellwerts mit Hilfe von vorausschauenden Kapazitätsanpassungen zielgerichtet zu reduzieren.

- Die Aufgabe der lokalen Regelkreise (Bild 6.14 b) ist es, die Regelgröße Abarbeitungsrückstand an den jeweiligen Kapazitätseinheiten bei Überschreiten des Schwellwerts mit Hilfe von gegenwartsbezogenen Kapazitätsanpassungen zu reduzieren.

6.4.3.1 Vorausschauende Kapazitätssteuerung

Die vorausschauende Kapazitätssteuerung findet bei der Auftragsfreigabe statt. In Bild 6.15 sind die unterschiedlichen Reifegradstufen für den Ablauf dargestellt. Die vorausschauende Kapazitätssteuerung setzt voraus, dass an jeder Kapazitätseinheit der Kapazitätsbedarf eines Auftrags ermittelbar ist. Aus diesem Grund kann die Durchführung der vorausschauenden Kapazitätssteuerung nicht immer vorausgesetzt werden (siehe unterste Reifegradstufe). Die Reifegradstufen zwei und drei unterscheiden sich lediglich im Automatisierungsgrad durch IT-Unterstützung und werden deshalb nicht separat beschrieben. Die Ablauflogik ist in beiden Fällen dieselbe. Der Kapazitätsbedarf ergibt sich aus der Einlastung freigegebener Aufträge in die Takte an den einzelnen Kapazitätseinheiten. Der Belastungsabgleich an den Kapazitätseinheiten beeinflusst die Auftragsfreigabe wie in Abschnitt 6.4.2 beschrieben.

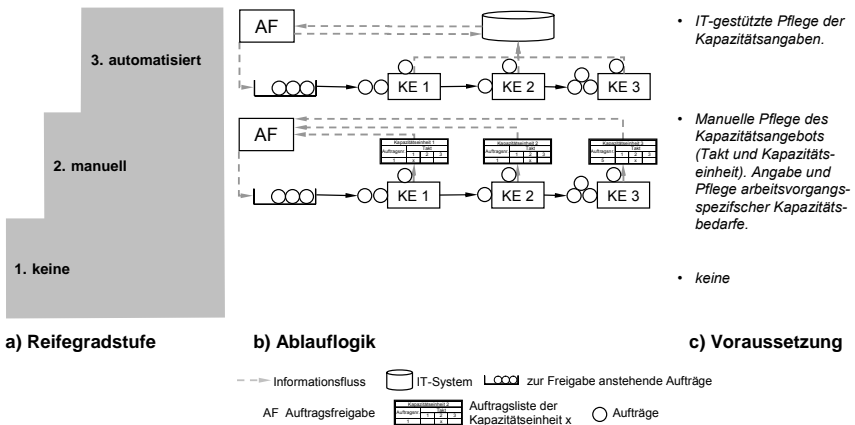


Bild 6.15: Reifegradstufen im Betrieb: vorausschauende Kapazitätssteuerung

Im Rahmen der vorausschauenden Kapazitätssteuerung sind vier Kapazitätsbedarfsbereiche festzulegen (s. Bild 6.16):

- **Unterlast:** Unterschreitet der Kapazitätsbedarf die Unterlastgrenze, sind Maßnahmen erforderlich, das bereitzustellende Kapazitätsangebot zu verringern.
- **Normalbetrieb:** Liegt der Kapazitätsbedarf über der Unterlast, aber noch unterhalb der Normalbetriebsgrenze, sind keine kapazitiven Anpassungen notwendig.
- **Flexibilitätskorridor:** Eine Einplanung über der Normalbetriebsgrenze, aber unter den Überlast-

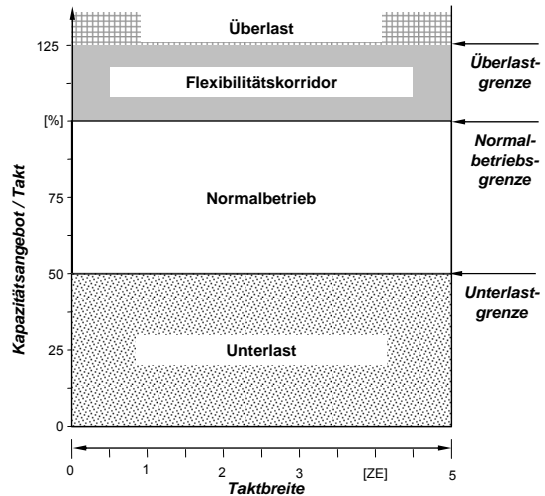


Bild 6.16: Darstellung des Kapazitätsangebots und -bedarfs mit Kapazitätsgrenzen

- **Überlast:** Übersteigt der Kapazitätsbedarf die Überlastgrenze, ist eine Einplanung des Bedarfs in den Takt nicht mehr möglich.

Die Kapazitätsgrenzen sind unternehmensspezifisch festzulegen. Haupteinflussfaktoren dabei sind die betrieblichen Arbeitszeitregelungen, die in der Regel die Höhe, die Dauer und die Vorankündigungszeit der Kapazitätsanpassungen regeln. Die Kapazitätssteuerung verfolgt das Ziel, Kapazitäten mit Hilfe der installierten Flexibilität bedarfsgerecht bereitzustellen, um eine möglichst geringe Auftragsdehnung zu erzielen und damit eine taktgerechte Abarbeitung zu ermöglichen.

In Bild 6.17 ist eine Plantafel als Hilfsmittel zur manuellen vorausschauenden Kapazitätssteuerung (Reifegradstufe 2) an den Kapazitätseinheiten zu Wochenbeginn dargestellt. In dem Beispiel beträgt die Taktbreite der betrachteten Kapazitätseinheit einen Arbeitstag. Jedem Wochentag (=Takt) sind die in Bild 6.16 beschriebenen Kapazitätsbedarfsbereiche zugeordnet. Bei der Auftragsfreigabe werden die Auftragskarten in den jeweiligen Takt an der Plantafel gehängt.

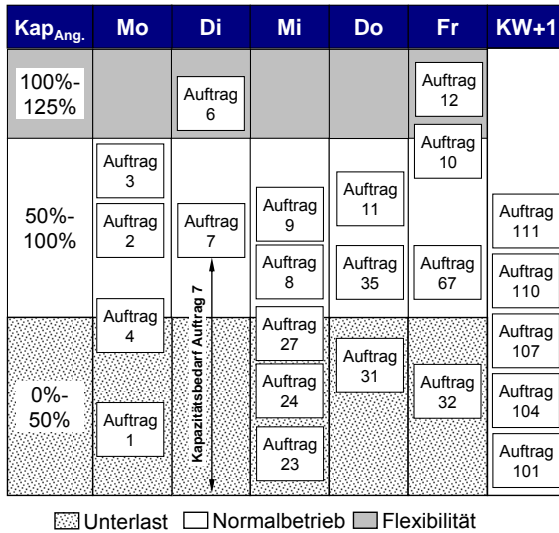


Bild 6.17: Plantafel zur manuellen Kapazitätssteuerung

Dabei sollte der vertikale Abstand zwischen den Auftragskarten dem Arbeitsinhalt des oberen Auftrags an der Kapazitätseinheit entsprechen (s. Bild 6.17 Auftrag 7). Sobald eine Karte im Flexibilitätskorridor hängt (in Bild 6.17: Di + Fr), erkennt man den Handlungsbedarf, die vereinbarte Kapazitätsflexibilität an diesen Tagen bereitzustellen. Die Kapazitätssteuerung beschränkt sich in dem Beispiel auf eine Woche. Auftragskarten für die Folgeweche werden in das Feld KW+1 gehängt. Um den manuellen Pflegeaufwand der Plantafel einzusparen, bieten sich IT-Systeme an, die die Plantafel-Darstellung automatisiert für die Kapazitätseinheiten aufbereiten. Wichtige Voraussetzung dafür ist, dass die Mitarbeiter nachvollziehen können, welche Aufträge in welchem Takt zu bearbeiten sind und welche Kapazitätsanpassungen für die Takte einzuleiten sind. Der Kapazitätsabgleich beeinflusst die Einlastung nur dann, wenn an Kapazitätseinheiten der Kapazitätsbedarf, das zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot überschreitet. Bei der Vorwärtseinlastung wird in diesem Fall ein späterer Takt ausgewählt. Die Auftragsdehnung beschreibt, wie stark der Kapazitätsabgleich die Auftragsdurchlaufzeit beeinflusst. Die Auftragsdehnung berechnet sich dabei folgendermaßen:

$$AD = \left(\frac{ZDA_{\text{begrenzt}}}{ZDA_{\text{unbegrenzt}}} - 1 \right) \cdot 100\% \tag{Gleichung 6-2}$$

- Mit AD : Auftragsdehnung [%]
 ZDA_{begrenzt} : Auftragsdurchlaufzeit mit Kapazitätsabgleich [BKT]
 $ZDA_{\text{unbegrenzt}}$: Auftragsdurchlaufzeit ohne Kapazitätsabgleich [BKT]

$$ZDA = TAE - TAS$$

Gleichung 6-3

- Mit **ZDA** : Auftragsdurchlaufzeit Starttakt bis letzter Takt [BKT]
TAE : Takt des letzten Bearbeitungsschrittes [BKT]
TAS : Takt des ersten Bearbeitungsschrittes [BKT]

Der „ideale“ Auftragsdurchlauf resultiert, wenn die Auftragsdehnung null ist. In diesem Fall entstehen keine durch die Auftragsfreigabe verursachten blockierten Bestände. Die Auftragsdehnung ist Regelgröße der vorausschauenden Kapazitätssteuerung. Die vorausschauende Kapazitätssteuerung sorgt dafür, dass sich das Kapazitätsangebot dem -bedarf für einen getakteten Auftragsdurchlauf anpasst.

6.4.3.2 Gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung

Für eine hohe Konsistenz, zwischen den Vorgaben der Auftragsfreigabe und der Bearbeitung der Arbeitspakete für den Takt, ist die Abarbeitungsphilosophie auf dieselben Zielgrößen auszurichten. Bild 6.18 stellt die Umsetzung dieser Leitlinie anhand eines Beispiels dar. Die betrachtete Kapazitätseinheit hat eine Taktbreite von einem Tag. In diesem Tag arbeitet die Kapazitätseinheit im 1-Schichtbetrieb, der acht Betriebsstunden umfasst. Dabei fallen Arbeitsbeginn, Schichtanfang und Taktanfang auf denselben Zeitpunkt, 6.00 Uhr morgens (s. Bild 6.18 a). Das Arbeitspaket setzt sich aus allen Aufträgen zusammen, die innerhalb des Taktes zur Bearbeitung anstehen. Der Abarbeitungsgrad des Arbeitspaketes beschreibt während des Taktes, ob die Kapazitätseinheit mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes im Plan liegt.

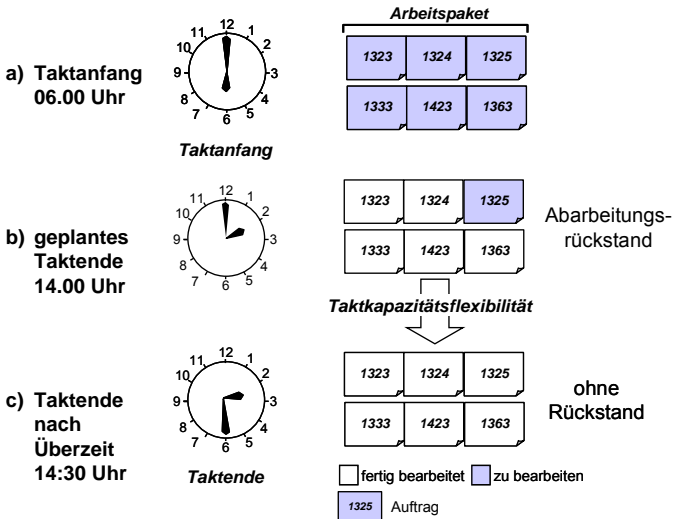


Bild 6.18: Gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung der RWS

Das Unternehmen in dem Beispiel sollte in der Lage sein bei einem Abarbeitungsrückstand (s. Bild 6.18 b) mit Kapazitätsanpassungen (im Beispiel eine halbe Überstunde) das Arbeitspaket termingerecht fertig zu stellen. Dies setzt voraus, dass sich die Arbeitszeit dem Abarbeitungsrückstand anpassen kann, um Rückstand zu vermeiden (s. Bild 6.18 c). Die Fertigstellung des Arbeitspaketes innerhalb eines vorgegebenen Taktes und die Verankerung dieser Zielvorgabe im Zielsystem der Verantwortlichen (z.B. Meister, Mitarbeiter) ist ein herausragendes Erfolgskriterium für den Ablauf der RWS.

Der Soll- und Istarbeitungsgrad berechnet sich für einen Takt an einer Kapazitätseinheit wie folgt:

$$ABG_t^{Soll} = \frac{(t - t_0)}{TB} \quad \text{Gleichung 6-4}$$

Mit	ABG_t^{Soll}	: Sollarbeitungsgrad zum Zeitpunkt t	[%]
	t_0	: Zeitpunkt Taktanfang	[BKT]
	t	: Messzeitpunkt	[BKT]
	TB	: Taktbreite	[BKT]

$$ABG_t^{Ist} = \frac{Arb_t}{Arb_{TB}} \quad \text{Gleichung 6-5}$$

Mit	ABG_t^{Ist}	: Istarbeitungsgrad zum Zeitpunkt t	[%]
	Arb_t	: geleistete Arbeit bis zum Zeitpunkt t	[h, Anz. Auftr.,...]
	Arb_{TB}	: Arbeitsinhalt Arbeitspaket	[h, Anz. Auftr.,...]

Mit dem Abarbeitungsgrad Soll und Ist berechnet sich der Abarbeitungsrückstand:

$$ABRS(t) = (ABG^{Soll}(t) - ABG^{Ist}(t)) \cdot Arb_{TB} \quad \text{Gleichung 6-6}$$

Mit	$ABRS$: Abarbeitungsrückstand	[h, Anz. Auftr., ...]
	ABG^{Soll}	: Sollarbeitungsgrad	[%]
	ABG^{Ist}	: Istarbeitungsgrad	[%]
	Arb_{TB}	: Arbeitsinhalt Arbeitspaket	[h, Anz. Auftr.,...]
	t	: Zeitpunkt t	[BKT].

Der Abarbeitungsrückstand beschreibt die Abweichung zwischen Soll- (ABG^{Soll}) und Istarbeitungsgrad (ABG^{Ist}) innerhalb des Taktes. Der Abarbeitungsrückstand zeigt, ob die Bearbeitung des Arbeitspaketes für den Takt im Plan liegt. Der Abarbeitungsrückstand beschreibt die Abweichung zwischen Soll- (ABG^{Soll}) und Istarbeitungsgrad (ABG^{Ist}) innerhalb des Taktes. Der Abarbeitungsrückstand zeigt, ob die Bearbeitung des Arbeitspaketes für den Takt im Plan liegt. In Bild 6.19 ist die Berechnung und der Verlauf des Abarbeitungsrückstandes während eines Taktes dargestellt.

Ziel ist es, 100% des Arbeitspaketes, innerhalb der Taktgrenzen abzuarbeiten. Hieraus ergibt sich ein idealisierter linearer Verlauf für den ABG^{Soll} . Der ABG^{Ist} wird im Beispiel nach rück gemeldeter Fertigstellung eines Auftrags neu berechnet. Hieraus ergibt sich der in Bild 6.19 oben dargestellte treppenförmige Verlauf.

An der Regelgröße Abarbeitungsrückstand Bild 6.19 unten richtet sich der Einsatz der Taktkapazitätsflexibilität aus. In Bild 6.19 unten beträgt der Abarbeitungsrückstand am Taktende ~ 3 h, so dass die Erhöhung des Kapazitätsangebots am Taktende ~ 3 h betragen sollte, um Rückstand abzubauen. Der Abarbeitungsrückstand hat als Regelgröße Vorteile gegenüber den sonst üblichen Regelgrößen der Kapazitätssteuerung, Rückstand [Bre01] und Abgangsterminabweichung [Beg05]. Die Erfassung dieser Regelgrößen ist bei der RWS prinzipbedingt nur am Taktende möglich, da alle Aufträge des Arbeitspaketes denselben Planabgangstermin (= Taktende) haben. Eine einmalige Anpassung der Kapazitäten am Taktende würde jedoch das Potenzial von Kapazitätsanpassungen während des Taktes (z.B. Einsatz von Springern, Überstunden) nur unzureichend nutzen. Je größer die Taktbreite ist, desto wichtiger ist es, mit Hilfe des Abarbeitungsrückstandes, Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung während des Taktes anzustoßen. Die laufende Messung und transparente Darstellung des Abarbeitungsrückstandes ist entscheidend, um bei Abweichungen zeitgerecht mit der Taktkapazitätsflexibilität reagieren zu können. In Bild 6.20 sind die verschiedenen Reifegradstufen der gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung dargestellt. Die Reifegradstufen unterscheiden sich hauptsächlich in der Messmethode des Abarbeitungsrückstandes.

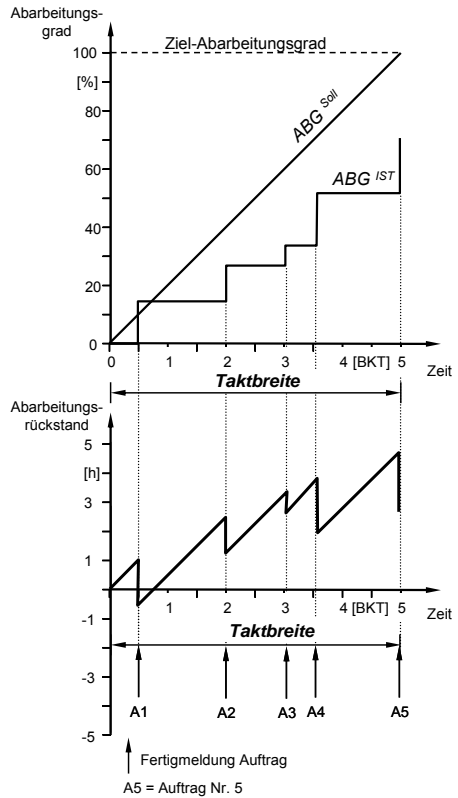


Bild 6.19: Abarbeitungsgrad und Abarbeitungsrückstand

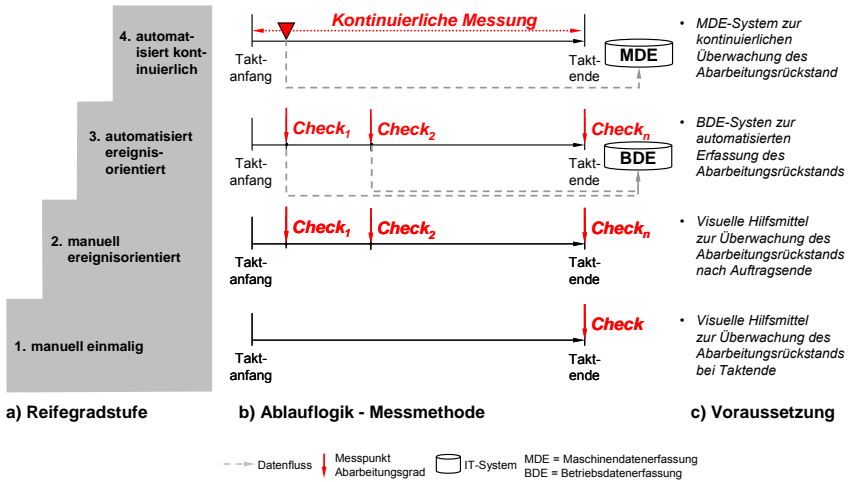


Bild 6.20: Reifegradstufen im Betrieb: gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung

1. manuell einmalig:

In der niedrigsten Reifegradstufe wird der Abarbeitungsrückstand nur bei Taktende überprüft. Der Aufwand zur Messung und Aktualisierung des Abarbeitungsrückstands ist in dieser Stufe stark reduziert. Allerdings verhindert die Messmethode ein vorzeitiges Reagieren auf Abweichungen innerhalb des Taktes.

2. manuell ereignisorientiert

In der zweiten Reifegradstufe erfolgt die Aktualisierung des Abarbeitungsrückstandes nach Fertigstellung eines Auftrags an der Kapazitätseinheit. Bei der manuellen gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung dienen Hilfsmittel wie die Plantafel (siehe Bild 6.17) oder andere Visualisierungsinstrumente im Shop-Floor dazu, den Abarbeitungsgrad nach Fertigstellung eines Auftrags zu visualisieren. Aus dem Abarbeitungsgrad leitet sich dann wie beschrieben der Abarbeitungsrückstand ab.

3. automatisch ereignisorientiert:

Analog zur vorausschauenden Kapazitätssteuerung erfolgt in der dritten Reifegradstufe mit Hilfe von IT-Systemen (z.B. Betriebsdatenerfassungssysteme) die Aktualisierung des Abarbeitungsrückstandes, automatisiert nach dem Rückmeldevorgang. Bei dem Einsatz des IT-Systems ist es wichtig, die Rückmeldungen zeitnah zu verarbeiten, so dass der Abarbeitungsrückstand im System mit der Realität vor Ort übereinstimmt.

4. automatisch kontinuierlich:

Bei sehr großen Aufträgen können die Zeitintervalle zwischen den Auftragsrückmeldungen sehr groß werden, so dass eine Überprüfung des Abarbeitungsrückstandes

während der Durchführung sinnvoll erscheint. So genannte MDE-Systeme (Maschinentatenerfassungssysteme) ermöglichen es, den Abarbeitungsrückstand kontinuierlich zu überwachen.

Bei der Auswahl der geeigneten Messmethode für den Abarbeitungsrückstand ist zu beachten, welche *Häufigkeit der Informationsbereitstellung* die Organisation überhaupt verarbeiten kann, und in welcher *Genauigkeit Arbeitsaufwände planbar* sind. Hohe Planabweichungen, in Verbindung mit häufiger Aktualisierung des Abarbeitungsrückstandes, sorgen für vielleicht überflüssige Kapazitätsanpassungen im Rahmen der Kapazitätssteuerung, die zu Akzeptanzverlust bei den Mitarbeitern führen können. Die rückstandsfreie Abarbeitung der Arbeitspakete setzt voraus, dass sich die Höhe der Taktkapazitätsflexibilität auf die möglichen Störungen und Planabweichungen innerhalb eines Taktes anpasst. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Höhe der Taktkapazitätsflexibilität sind die betrieblichen Arbeitszeitregelungen für kurzfristige Kapazitätsanpassungen (z.B. Überstunden, flexibler Mitarbeiterinsatz) und die Festlegung der Kapazitätsgrenzen bei der vorausschauenden Kapazitätssteuerung.

6.4.4 Korrespondierende Funktion der Auftragsübergabe

Das Produzieren im Takt in einer Werkstattfertigung stellt spezifische Anforderungen an die Schnittstellenregelung und das Übergabeprinzip zwischen den Kapazitätseinheiten. Vor Taktanfang müssen sämtliche im folgenden Takt zu bearbeitenden Aufträge mit Materialien physisch verfügbar sein. Das Übergabeprinzip regelt die Übergabe von Information und Material [WieH02: 63]. Grundsätzlich sind die Ausprägungen *Holpflicht* und *Bringschuld* denkbar (s. Bild 6.21). Bei bekannten Übergabezeitpunkten sieht H.-H. Wiendahl

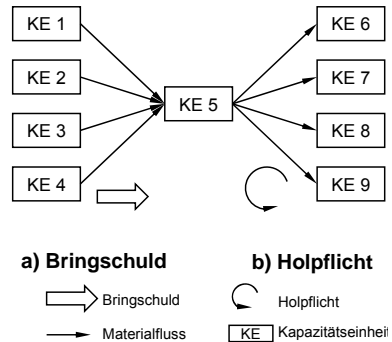


Bild 6.21: Bringschuld und Holpflicht

als wesentliches Entscheidungskriterium die *Anzahl möglicher Stellen*, die der Verantwortliche jeweils abfragen muss.

- Für die Übergabe von Material und Information an einen Materialflussknoten, bietet sich demnach die Bringschuld an, da der Verantwortliche bei der Übergabe nur eine Kapazitätseinheit abfragen muss (s. Bild 6.21 a).
- Für die Übergabe von Material von Information von einem Materialflussknoten, eignet sich die Holpflicht, da die Verantwortlichen bei der Übergabe nur einen Vorgänger abfragen müssen (s. Bild 6.21 b).

In einer klassischen Werkstattfertigung lassen sich einzelne Materialflussknoten jedoch nur schwer identifizieren, so dass eine Festlegung des Übergabeprinzips ent-

sprechend schwerfällt. Eine Anwendung verschiedener Übergabeprinzipien in einer Produktionsorganisation erhöht die Komplexität und ist deshalb zu vermeiden. Für die Auswahl des für die RWS geeigneten Übergabeprinzips existieren folgende Kriterien:

- **Übergabeauslösung:** Bei der RWS löst die Fertigstellung eines Auftrags die Übergabe zu der nachfolgenden Kapazitätseinheit aus. Die Fertigstellung eines Auftrags gibt den Transport zur nächsten Kapazitätseinheit frei. Die Information über die Fertigstellung eines Auftrags ist zuerst an der Kapazitätseinheit verfügbar, die den Auftrag gerade abgeschlossen hat.
 - ➔ Die *Bringschuld* ist das für die RWS geeignete Übergabeprinzip.
- **Übergabefrequenz:** Der Transport der Aufträge kann einzeln während des Taktes oder gesammelt nach Taktende erfolgen. Die *regelmäßige Weitergabe* von Aufträgen hat den Vorteil, dass die Nutzung zum Transport benötigter Förderhilfsmittel gleichmäßiger erfolgt, und ein kontinuierlicher Austausch mit den Nachfolge- und Vorgängerkapazitätseinheiten über den Bearbeitungsfortschritt stattfinden kann. Der Informationsaustausch zwischen den Kapazitätseinheiten ermöglicht Absprachen über abgestimmte Auftragsreihenfolgen, frühzeitige Vorbereitung auf Aufträge und Kapazitätsaustausch bei Störungen.
 - ➔ Die Weitergabe von Material und Informationen sollte *regelmäßig* während des Taktes erfolgen.

Die Übergabe von Material und Informationen während des Taktes erfordert eine Unterscheidung der Umlaufbestände vor den Kapazitätseinheiten. Während des Taktes weitergegebene Aufträge sind an der Nachfolgekapazitätseinheit für die Bearbeitung gesperrt. Ein Beispiel für die Visualisierung der Umlaufbestandstrennung und physischen Verankerung im Shop-Floor ist in Bild 6.22 dargestellt. Vorgelagerte Kapazitätseinheiten stellen ihre fertig gestellten und an der Kapazitätseinheit in einem der nächsten Takte zu bearbeitenden Aufträge in dem Bereich „Folge-Takt“ bereit. In dem Bereich „Aktueller Takt“ sind die Aufträge bereitgestellt, die im aktuellen Takt zur Bearbeitung anstehen. Somit können die Verantwortlichen anhand des Füllgrades des Bereichs „Aktueller Takt“ ablesen, wie die Abarbeitung voran schreitet. Am Taktende sollten bei einer termingerechten Abarbeitung keine Aufträge in dem Bereich „Aktueller Takt“ übrig

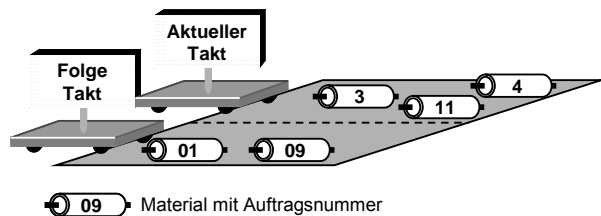


Bild 6.22: Trennung von blockierten und frei gegebenen Beständen an einer Kapazitätseinheit

bleiben. Die klare Trennung der Materialbereitstellung eignet sich demnach auch als Hilfsmittel für die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung, indem die Entscheider im Shop-Floor nachvollziehen können, wie die Bearbeitung des Arbeitspaketes voran schreitet.

Im Gegensatz zu den anderen Funktionsbausteinen ist das Übergabeprinzip reifegradunabhängig. Der Einsatz von Software kann den Informationsfluss zwischen den Kapazitätseinheiten unterstützen, ersetzt aber nicht die physische Trennung des Umlaufbestands und Visualisierung im Shop-Floor.

6.4.5 Korrespondierende Funktion der Reihenfolgebildung

Die Reihenfolgebildung beschränkt sich bei der RWS auf die Aufträge eines Taktes. Der Einfluss der Reihenfolgebildung auf die logistische Zielerreichung ist umso höher, je höher der Umlaufbestand an der Kapazitätseinheit ist und je mehr Aufträge die Warteschlange bilden [WieP97b: 305]. Die Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge in einem Arbeitspaket ist nicht Planungsgegenstand, so dass Reihenfolgeabweichungen nur über die Taktgrenzen hinaus messbar sind. Die Reihenfolgebildung von Aufträgen bei der RWS beschränkt sich an einer Kapazitätseinheit auf das Arbeitspaket des Taktes. Im Vergleich zu anderen Werkstattsteuerungsverfahren ist dadurch der Entscheidungsspielraum für die Reihenfolgebildung stärker eingeschränkt. Je kürzer die Taktbreite, desto weniger Entscheidungsspielraum hat die Reihenfolgebildung. Kurze Taktbreiten setzen deshalb eine hohe Flexibilität beim Auftragswechsel und rüstkfreundliche Betriebsmittel voraus [WieP97b: 304].

Geeignete Reihenfolgeregeln unterstützen die logistischen Ziele: Erhöhung der Liefertreue und Erhöhung der Leistung [Löd05: 443ff].

- *Rüstzeitoptimierende Reihenfolgebildung (kurz: Rz. opt.):* Die Anwendung von Rz. opt. auf das Arbeitspaket eines Taktes reduziert die Belastung der Kapazitätseinheit, indem sich Rüstzeiten durch eine geeignete Bearbeitungsreihenfolge reduzieren. Dies setzt voraus, dass die Rüstzeiten der Aufträge reihenfolgeabhängig sind. Die Reduzierung der Rüstzeiten führt bei der RWS jedoch nicht zwangsläufig zu einer Leistungserhöhung. Das oberste Ziel ist die termingerechte Fertigstellung des Arbeitspaketes. Demnach setzt die Belastungsreduzierung durch die Reihenfolgeregel Rz. opt. zusätzliche Kapazität frei, die das Potenzial der gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung zur Rückstandsvermeidung erhöht. Ein taktübergreifendes Vorziehen von Aufträgen zur Leistungserhöhung ist bei der RWS nicht vorgesehen.
- *Schlupf:* Die Priorisierung von Aufträgen mit dem geringsten Schlupf erhöht die Liefertreue. Der Schlupf bezeichnet die Zeitdauer bis zum Plan-Fertigstellungstermin des Auftrags, die nicht für die Bearbeitung oder Mindestübergangszeiten benötigt wird. Die Schlupf-Berechnung lässt sich für die RWS stark vereinfachen.

chen, indem sich der Schlupf ohne Durchführungs- und Mindestübergangszeiten folgendermaßen berechnet:

$$\text{Schlupf}_i = \text{TAE}_i - \text{TP}_0 \quad \text{Gleichung 6-7}$$

Mit Schlupf_i : Schlupf des Auftrags i [BKT]

TAE_i : Plan-Ende des Auftrags i [BKT]

TP_0 : Planungszeitpunkt [BKT]

Die Grundidee ist, dass Verzögerungen bei einem Auftrag mit geringem Schlupf eher zu einer verspäteten Fertigstellung führen, als bei Aufträgen mit einem hohen Schlupf [Löd05: 447]. Die Anwendung anderer Reihenfolgeregeln zur Erhöhung der Liefertreue (z.B. First in - First out, Frühester Plan-Starttermin, Frühester Planendtermin) sind bei der RWS prinzipbedingt nicht möglich²⁰.

Die Reihenfolgebildung der RWS an den Kapazitätseinheiten erfolgt mit den in Bild 6.23 dargestellten Reifegradstufen.

1. keine Reihenfolgeregeln

In der ersten Reifegradstufe ist den Mitarbeitern freigestellt nach welchen Reihenfolgekriterien sie die Aufträge abarbeiten.

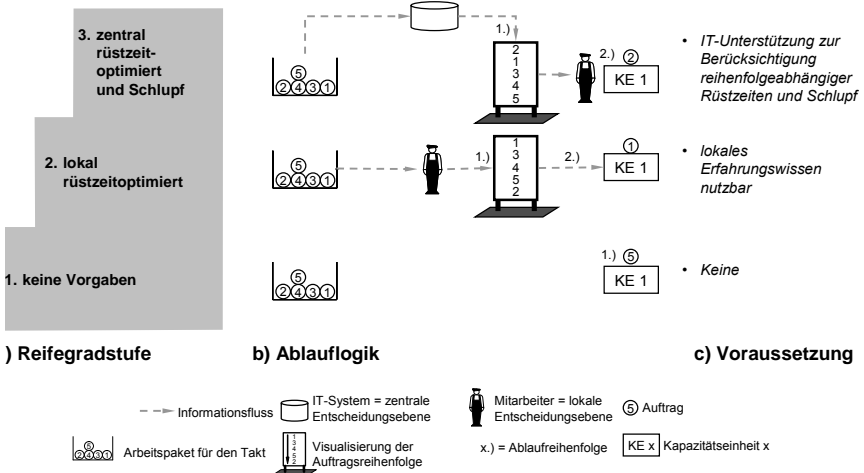


Bild 6.23: Reifegradstufen im Betrieb: Reihenfolgebildung

²⁰ First in – First out setzt voraus, dass die Aufträge einzeln bereit gestellt werden, Frühester Plan-Starttermin und Frühester Planendtermin setzen voraus, dass für die Arbeitsvorgänge an einer Kapazitätseinheit individuelle Zwischentermine existieren. Diese Voraussetzungen sind bei der RWS nicht gegeben.

2. lokal rüstzeitoptimiert

Ablauflogik: Die Bereitstellung sämtlicher Aufträge und Materialien vor Taktanfang vereinfacht es für die lokale Entscheidungsebene mit den physisch verfügbaren Aufträgen anhand des Erfahrungswissens eine geeignete Reihenfolge festzulegen. Eine Rüstoptimierung über Taktgrenzen hinweg ist nicht möglich.

Voraussetzung: Als einzige Voraussetzung sollte gewährleistet sein, dass das Erfahrungswissen der Mitarbeiter ausreicht, um mit den Aufträgen im Arbeitspaket eine rüstoptimale Reihenfolge festzulegen. Eine angemessen kurze Taktbreite trägt dazu bei, die Anzahl Aufträge überschaubar zu halten.

3. zentral rüstzeitoptimiert und Schlupf

Ablauflogik: In dritten Reifegradstufen ergänzt die auftragsspezifische Schlupf-Regel die ressourcenspezifische Reihenfolgeregel Rüstzeitoptimierung. Die Berechnung des Schlupf ist ab einer gewissen Anzahl freigegebener Aufträge nur noch mit IT-Unterstützung möglich. IT-Systeme können dann auch die rüstoptimale Reihenfolge der Aufträge berechnen. Die Reihenfolgevorgaben der Schlupf- und Rüstzeitoptimierungsregel sind mit Hilfe des IT-Systems zu bewerten und vor der Bearbeitung der Ausführungsebene bekannt zu geben.

Voraussetzung: Das IT-System kann die rüstoptimale Reihenfolge nur mit Hilfe von sogenannten Rüstzeitmatrizen²¹ berechnen. Außerdem erfordert die Anwendung der Schlupf-Regel eine zentrale Auftragverfolgung. Der Aufwand für die Pflege von Rüstmatrizen sollte den Nutzen einer rechnergestützten Reihenfolgeregel nicht übersteigen.

6.5 Grundkonfiguration und Parametrierung der RWS

Aus Prozesssicht eignet sich der Deming-Kreis [Dem92] zur Einordnung der RWS-Betriebs- und Gestaltungsaufgaben. Der Deming-Kreis besteht aus den vier Phasen Plan, Do, Check und Act. Die Gestaltung von Unternehmensprozessen anhand dieser vier Elemente hilft geschlossene Regelkreise zu verankern, kontinuierliche Verbesserung zu ermöglichen, und das Zusammenwirken von Planungs- und Ausführungsebene zu untersuchen. H.-H. Wiendahl erweitert den Deming-Kreis zu einem PPS-Zyklus [WieH06c], in dem die Betriebs- und Gestaltungsaufgaben der Planung und Steuerung abgebildet sind. Der PPS-Zyklus (s. Bild 6.24 a) zeigt wie die Planungs- und Ausführungsebene zusammenspielen und voneinander abhängen. Bild 6.24 unterscheidet die wesentlichen Gestaltungsaufgaben in Grundkonfiguration und Parametrierung. Die Grundkonfiguration (Act 2) umfasst Aufgaben, die mit dem Aufbau des Planungsmodells für die RWS zusammenhängen (s. Abschnitt 6.5.1).

²¹ Rüstzeitmatrizen geben an jeder Kapazitätseinheit die Rüstzeit bei einem Wechsel von Material x auf Material y vor. Der Datenpflegeaufwand steigt mit der Anzahl Kapazitätseinheiten und Materialnummern exponentiell an.

Dabei ist insbesondere der Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte und der Zeit- und Mengeninformationen festzulegen.

Die Parametrierung (Act 1) legt die Verfahrensparameter der RWS fest (Abschnitt 6.5.2). Die Taktbreiten der jeweiligen Kapazitätseinheiten, die Kapazitätsgrenzen der Takte und die Taktkapazitätsflexibilität bestimmen dabei die Verfahrensabläufe. In Bild 6.24 b sind beispielhaft zwei wesentliche RWS-Abläufe vereinfacht dargestellt. Der Auftragsfreigabeablauf legt auf Basis der Parameter Taktbreite und Kapazitätsgrenze, Arbeitspakete für die Takte fest. Bei der Arbeitspaketbearbeitung trägt der Verfahrensparameter Taktkapazitätsflexibilität dazu bei Rückstand zu vermeiden.

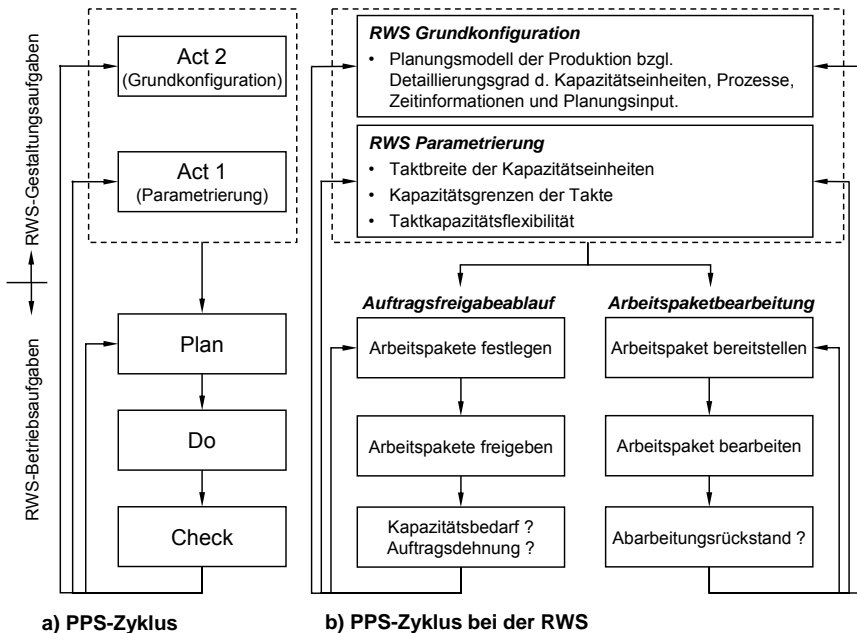


Bild 6.24: Grundkonfiguration und Parametrierung der RWS strukturiert nach dem PPS-Zyklus

6.5.1 Grundkonfiguration der RWS

Die Grundkonfiguration der RWS legt den Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte für den Verfahrensablauf fest. Insbesondere der Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheiten und Prozesse ist für den Verfahrensablauf der RWS von besonderem Interesse.

6.5.1.1 Festlegung Detaillierungsgrad Kapazitätseinheiten

Unter dem Begriff Kapazitätseinheit versteht man eine Gesamtheit von Betriebsmittel und Personal [WieH02: 49] (s. Abschnitt 5.1.3). Die Festlegung von Kapazitätseinheiten orientiert sich in funktionsorientierten Strukturen an den Betriebsmitteln, da der Personaleinsatz dann klassischerweise auch betriebsmittelspezifisch erfolgt. Die nachfolgend beschriebene, vereinfachte Prozess- und Ressourcenanalyse hilft dabei, einzelne Betriebsmittel zu Kapazitätseinheiten zusammenzufassen. Der Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheit bestimmt den Aufwand für den Aufbau und die Pflege des für die RWS relevanten Planungsinputs. Ein Arbeitsplan muss für die Durchlaufterminierung alle notwendigen Kapazitätseinheiten in der richtigen Reihenfolge beinhalten. Der Umfang der ressourcenspezifischen Stammdaten (z.B. Übergangszeiten, Kapazitätsangebot) ist ebenfalls vom Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheiten abhängig. Die RWS bietet jedoch den Vorteil, dass außer der ressourcenspezifischen Taktbreite, keine weiteren Zeitparameter (z.B. Übergangszeiten, Wartezeiten, Durchführungszeiten) zu beachten sind. Dadurch resultiert eine Vereinfachung des Planungsinputs gegenüber herkömmlichen Werkstattsteuerungsverfahren. Für das Zusammenfassen von Betriebsmitteln zu Kapazitätseinheiten gelten folgende Leitlinien:

- Ablaufprinzip sowie planungs- und steuerungsrelevante Prozessabschnitte bestimmen den Detaillierungsgrad von Kapazitätseinheit und Prozess [WieH02: 111 ff].
 - Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheit beeinflusst Komplexität und Aufwand der Planungs- und Steuerungsaufgaben (s. Abschnitt 5.1.3). Deshalb gilt verallgemeinert: so grob wie möglich und so fein wie nötig.
1. *Zusammenfassen ähnlicher Funktionen (aus Ressourcensicht)*

Die RWS ist für Produktionen konzipiert, die funktionsorientiert organisiert sind. Ähnliche Technologien sind demnach zusammengefasst. Bild 6.25 visualisiert diese Vorgehensweise anhand von geometrischen Figuren beispielhaft. Die Geometrie stellt die Funktion der Betriebsmittel dar. Die Kriterien Anzahl und Form der Ecken der geometrischen Formen legen fest welche Betriebsmittel zu welchen Kapazitätseinheiten passen. Im Beispiel lassen sich die sechs Betriebsmittel zu drei Kapazitätseinheiten mit je zwei Betriebsmitteln zusammenfassen.

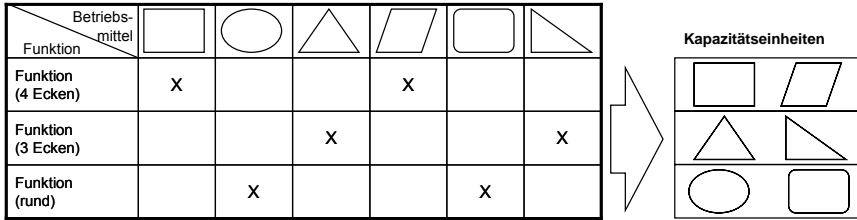


Bild 6.25: Zusammenfassen ähnlicher Betriebsmittel nach Funktionen

Folgende Analyse hilft den Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheit aus Ressourcen-sicht zu überprüfen:

Austauschbarkeit des Kapazitätsbedarfs: Das Zusammenfassen einzelner Betriebsmittel zu Kapazitätseinheiten unterstellt, dass sich der Kapazitätsbedarf gleichmäßig auf die Betriebsmittel der Kapazitätseinheit verteilt. Zeigt eine Analyse des Kapazitätsbedarfs starke Abweichungen von dieser Annahme, ist der Detaillierungsgrad zu überprüfen und ggf. zu erhöhen.

2. Zusammenfassen ähnlicher Prozessfolgen (aus Prozesssicht)

Die zweite Möglichkeit Kapazitätseinheiten zu bilden, ist es Betriebsmittel produktorientiert zusammenzufassen. Hierfür ist eine Analyse der Produkte aus Prozesssicht erforderlich. Die Produkt-Technologiematrix [RS00: 6] (s. Bild 6.26) hilft dabei Betriebsmittel mit denselben Betriebsmittelsequenzen zu Kapazitätseinheiten zusammenzufassen. Im Idealfall ergeben sich Kapazitätseinheiten, die Produkte autonom herstellen können.

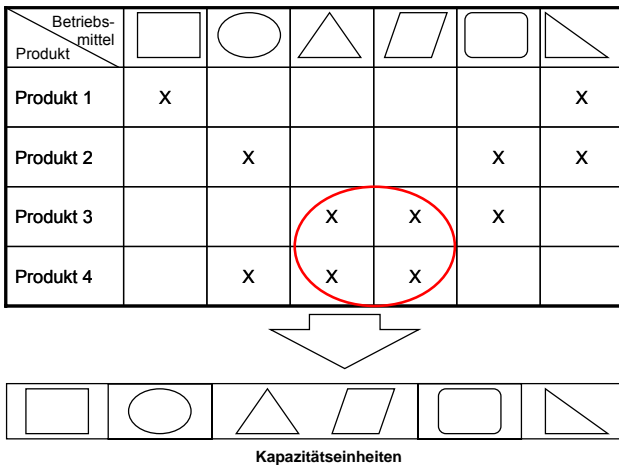


Bild 6.26: Zusammenfassung von Betriebsmitteln mit denselben Prozessfolgen

Folgende Analyse hilft den Detaillierungsgrad der Kapazitätseinheit aus Prozesssicht zu überprüfen:

Exklusivität der Belastung: das Zusammenfassen von Betriebsmitteln aus Prozesssicht erfordert, dass die Belastung der Betriebsmittel ausschließlich durch Produkte erfolgt, die dieselbe Prozesssequenz besitzen. Benötigen Produkte nur einzelne Betriebsmittel der Kapazitätseinheit ist der Detaillierungsgrad zu überprüfen ggf. zu verfeinern.

6.5.1.2 Festlegung Detaillierungsgrad Mengeninformatoren

Im Rahmen der RWS-Grundkonfiguration ist vor allem für die Kapazitätssteuerung festzulegen, in welcher Einheit sich Kapazitätsbedarf und -angebot messen lassen. Die RWS bietet die Möglichkeit sogenannte Zeitäquivalente einzusetzen. Kapazitätsbedarf und -angebot messen sich dann in Anzahl Aufträgen, Stück, Kilogramm, €, etc. Das Regeln, Steuern und Messen mit Hilfe der relevanten Regel-, Stell-, und Zielgrößen ist dementsprechend anzupassen. Die logistischen Größen Zugang und Abgang, Bestand und Rückstand lassen sich dann dementsprechend auch in Anzahl Aufträgen, Stück, Kilogramm, €, etc. messen. Der Vorteil für den Einsatz von Zeitäquivalenten liegt darin, den Aufwand für die Einführung und Pflege einer Arbeitsplanung [Wes06: 155 f] zu reduzieren. Folgende Punkte sind dagegen kritisch zu prüfen:

- Für die angemessene Anwendung von Zeitäquivalenten ist ein konstanter Produktmix eine wichtige Voraussetzung. Bei größeren Schwankungen nehmen die Abweichungen zwischen Plan- und Istbelastung prinzipbedingt zu (die Angabe des Kapazitätsangebots in Anzahl Aufträgen, setzt einen bestimmten Produktmix voraus. Weicht die aktuelle Nachfrage stark von diesem Produktmix ab, kann es zu Planabweichungen kommen).
- Die Abbildung reihenfolgeabhängiger Rüstaufwände ist nicht möglich, da Zeitäquivalente nicht zwischen Rüst- und Bearbeitungsaufwand differenzieren.

Für die Festlegung des Detaillierungsgrads der Mengeninformatoren und des Planungsinput für die vorausschauende Kapazitätssteuerung gilt:

- ☉ *Eine Abweichung in den Kapazitätsaussagen (Vergleich Plan- zu Istbelastung) von $\pm 30\%$ je Takt, liegt für eine Werkstattfertigung mit komplexen Bearbeitungsprozessen im üblichen Bereich [VDM02: 12]. Die Verwendung von Zeitäquivalenten ist in Frage zu stellen, wenn die Belastungsabweichungen, verursacht durch Auftragsmixschwankungen, diesen Toleranzbereich überschreiten und die lokale Kapazitätsflexibilität für den Ausgleich der Abweichungen nicht mehr ausreicht.*

6.5.2 Verfahrensparameter der RWS

Zentraler Verfahrensparameter der RWS ist die Taktbreite je Kapazitätseinheit. Abschnitt 6.5.2.1 gibt Hinweise auf dessen Festlegung. Die Verfahrensparameter Kapazitätsgrenzen (s. Abschn. 6.5.2.3) und Taktkapazitätsflexibilität (s. Abschn. 6.5.2.4) beschreiben vor allem den Freiheitsgrad der Kapazitätssteuerung. Die Abläufe zur Festlegung der drei Verfahrensparameter können in unterschiedlichen Reifegradstufen erfolgen, um Unternehmen mit unterschiedlichen Voraussetzungen (Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte, Einsatz von Hilfsmittel und vorhandenes Datenfundament) eine sinnvolle Parametrierung zu ermöglichen.

6.5.2.1 Festlegung Taktbreite der Kapazitätseinheiten

Die Festlegung der Taktbreite erfolgt für jede Kapazitätseinheit individuell. Dabei orientiert sich die Taktbreite aus einer *Außensicht* an den Kundenanforderungen bzgl. Lieferzeit und Liefertoleranz. Aus der *Innensicht* beeinflusst die Taktbreite die logistischen Ziele Umlaufbestandshöhe, mittlere Durchlaufzeit und mittlere Leistung einer Kapazitätseinheit.

Für eine hohe Konsistenz zwischen Planung und Steuerung sollten die Parameter zur Plandurchlaufzeiterminierung²² auf die Taktbreite abgestimmt sein. Als Eingangsgröße für die *Planung* beeinflusst die Taktbreite die Plan-Durchlaufzeit, den Plan-Auftragsstarttermin und den Plan-Umlaufbestand in der Produktion. In der *Steuerung* beeinflusst die Taktbreite den Auftragsstart, die Auftragsübergabe und den Entscheidungsspielraum der Steuerungsebene.

Bild 6.27 stellt für ausgewählte PPS-Aufgaben den Detaillierungsgrad der Zeitinformationen dar. In einer klassischen Werkstattfertigung mit langen und stark streuenden Auftragszeiten ist für die in dieser Arbeit betrachteten PPS-Aufgaben ein Detaillierungsgrad Schicht, Arbeitstag oder sogar Woche vollkommen ausreichend. Aus diesem Grund sollte die Taktbreite auch in diesem Detaillierungsgrad liegen. Bei Taktbreiten im Stundenbereich besteht die Gefahr, dass sich einzelne Aufträge über mehrere Takte verteilen. Darüber hinaus steigt der Aufwand für das regelmäßige Überprüfen der Takteinhaltung stark an.

²² für verschiedene Verfahren zur Plandurchlaufzeiterminierung s. [Yu01: 79]

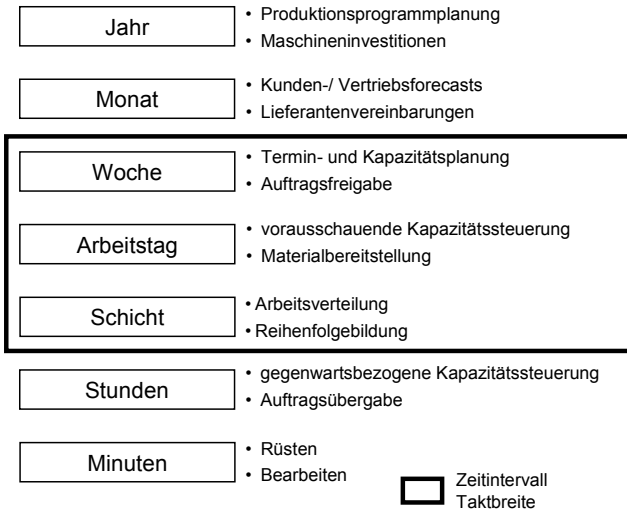
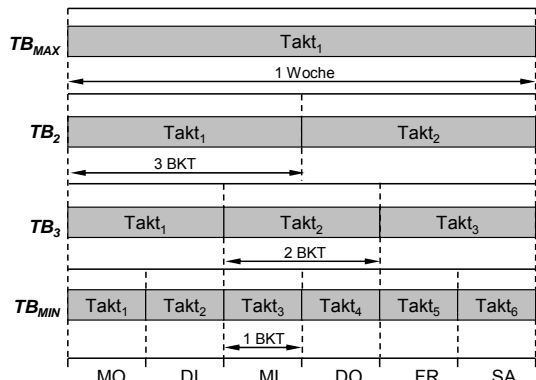


Bild 6.27: Detaillierungsgrad der Zeitinformationen für ausgewählte PPS-Aufgaben

Eine Freigabefrequenz und Termintoleranz im Stundenbereich erscheint für viele Werkstattfertiger unrealistisch. Die minimale Taktbreite der RWS in funktionsorientierten Strukturen liegt deshalb eher bei einer Schicht oder bei einem Arbeitstag. Die Festlegung der Taktbreiten sollte den unternehmensspezifischen Detaillierungsgrad der Zeitinformationen berücksichtigen. Die Taktbreiten der Kapazitätseinheiten sind außerdem auf einander abzustimmen, damit nach einem gewissen Zeitintervall (z.B. 1 Woche) der Taktanfang aller Kapazitätseinheiten auf denselben Zeitpunkt fällt.

Bild 6.28 zeigt beispielhaft die Festlegung der zur Auswahl stehenden Taktbreiten. Zu Beginn jeder Woche beginnt unabhängig von der Taktbreite an einer Kapazitätseinheit ein Takt (einheitlicher Ausgangspunkt Montag). Die betrachtete Produktion arbeitet bis zu 6 Tage in der Woche im 1-Schicht-Betrieb. Die kleinste zur Auswahl stehende Taktbreite entspricht in diesem



$TB_{MAX} = 6 \text{ BKT}, TB_{MIN} = 1 \text{ BKT}, TB_2 = TB_{MAX} / 2 = 3 \text{ BKT}, TB_3 = TB_{MAX} / 3 = 2 \text{ BKT}$

Bild 6.28: Festlegung der zur Auswahl stehenden Taktbreiten

Fall einem Betriebskalendertag (BKT). Die maximale Taktbreite bestimmt sich anhand der längsten zu erwartenden Durchführungszeiten an der Kapazitätseinheit. In diesem Fall reicht eine maximale Taktbreite von 1 Woche aus. Mit Festlegung der maximalen und minimalen Taktbreite ist das Raster für die zur Auswahl stehenden Taktbreiten definiert. Dabei muss für alle Taktbreiten gelten:

aus $TB_n = \frac{TB_{MAX}}{i}$ und $TB_n = TB_{MIN} \cdot k$ folgt

$$\frac{TB_{MAX}}{TB_{MIN}} = k \cdot i \quad \text{Gleichung 6-8}$$

Mit	TB_n	: n zur Auswahl stehende Taktbreiten	[BKT]
	TB_{MAX}	: maximale Taktbreite	[BKT]
	TB_{MIN}	: minimale Taktbreite	[BKT]
	i	: ganze Zahl zwischen 1 und i_{MAX}	
	k	: ganze Zahl zwischen k_{MAX} und 1	

dabei muss gelten:

$$i_{MAX} = \frac{TB_{MAX}}{TB_{MIN}} = k_{MAX}$$

Aus Gleichung 6-8 folgt, dass in dem Beispiel von Bild 6.28 als Taktbreiten nur $TB_{MAX} = TB_1 = 1$ Woche = 6 BKT, $TB_{MIN} = 1$ BKT, $TB_2 = 3$ BKT und $TB_3 = 2$ BKT in Frage kommen. Als Ergebnis erhält man ein Wochenraster, in das sich alle Taktbreiten einordnen lassen.

Die RWS zielt darauf ab, im ersten Schritt die Terminalsicherheit und -transparenz zu stabilisieren und darauf aufbauend die Durchlaufzeiten zu verkürzen. Diese Vorgehensweise bietet sich aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die Planung und Steuerung, die aus Durchlaufzeitverkürzungen resultieren an [WieH06d]. Für die Festlegung der Taktbreiten gilt deshalb unabhängig vom Reifegrad, dass sich die Taktbreiten bei der Einführung an den Ist-Durchlaufzeiten orientieren sollten.

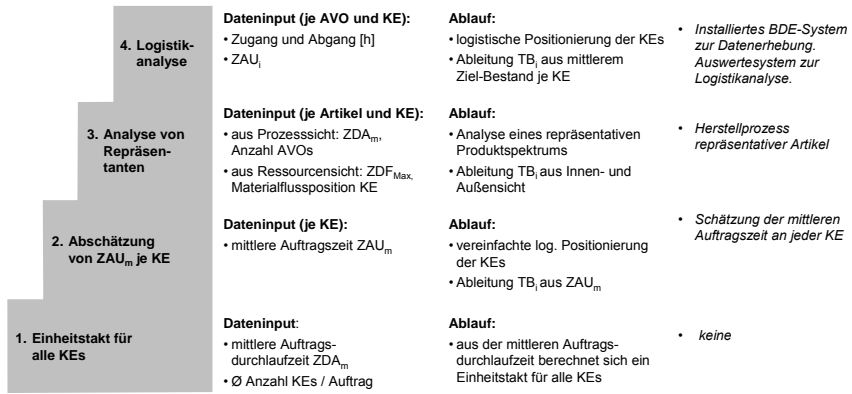
6.5.2.2 Reifegradbasierte Festlegung der Taktbreite

Bild 6.29 zeigt die verschiedenen Reifegradstufen für die Festlegung der Taktbreite. Die Reifegradstufen unterscheiden sich vor allem im Umfang des Dateninputs zur Berechnung der Taktbreite und den resultierenden Voraussetzungen bzgl. Hilfsmittel und Datenfundament.

1. Einheitstakt für alle KEs

Ablauf: In der ersten Reifegradstufe erfolgt keine ressourcenspezifische Differenzierung der Taktbreiten. Stattdessen resultiert aus der mittleren Auftragsdurchlaufzeit eine einheitliche Taktbreite für alle Kapazitätseinheiten. Teilt man die Auftragsdurchlaufzeit durch die Anzahl durchlaufener KEs, ergibt sich die ungefähre Taktbreite je

KE. Diese Verallgemeinerung reduziert den Berechnungs- und Pflegeaufwand und stellt minimale Anforderungen an den notwendigen Dateninput.



a) Reifegradstufe	b) Dateninput - Ablauflogik	c) Voraussetzung
AVO : Arbeitsvorgang	ZAU : Auftragszeit	TB : Taktbreite
KE : Kapazitätseinheit	BDE : Betriebsdatenerfassung	ZUE : Übergangszeit
	ZDA : Durchlaufzeit Auftrag	ZDF : Durchführungszeit

Bild 6.29: Reifegradstufen in der Parametrierung: Festlegung der Taktbreiten

2. Abschätzung von ZAU_m je KE

Abschnitt 5.2.3 zeigt mit Hilfe der Produktionskennlinien, dass sich das ideale Umlaufbestandsniveau in einer Werkstattfertigung im Wesentlichen durch die mittlere Auftragszeit und die Auftragszeitstreuung bestimmen. Eine differenzierte Festlegung der Taktbreite je Kapazitätseinheit sollte diese Zusammenhänge beachten. Im Folgenden soll sich mit Hilfe der abgeschätzten mittleren Auftragszeit je Kapazitätseinheit der ideale Mindestbestand berechnen und daraus abgeleitet die ressourcenspezifischen Taktbreiten ergeben. Zur Vereinfachung misst sich in der zweiten Reifegradstufe der ideale Mindestbestand nicht in Stunden sondern in Anzahl Aufträgen:

$$AnzAuf_{Min} \approx \frac{BI_{Min}}{ZAU_m} \quad \text{Gleichung 6-9}$$

Mit $AnzAuf_{Min}$: idealer Mindestbestand [Anz. Aufträge]
 BI_{Min} : idealer Mindestbestand [Stunden]
 ZAU_m : mittlere Auftragszeit [Stunden]

Ersetzt man in Gleichung 6-9 BI_{Min} durch Gleichung 5-2 folgt unter der Annahme, dass die Mindestübergangszeit im Verhältnis zur mittleren Auftragszeit bei Werkstattfertigern sehr gering ist ($ZUE_{Min} \approx 0$) gilt:

$$AnzAuf_{Min} \approx (1 + ZAU_v^2) \cdot AnzAPL \quad \text{Gleichung 6-10}$$

Mit ZAU_v : Variationskoeffizient der Auftragszeit
 $AnzAPL$: Anzahl Arbeitsplätze

Datenauswertungen von Kapazitätseinheiten in funktionsorientierten Strukturen zeigen, dass für den Variationskoeffizient der Auftragszeit folgende Abschätzungen zulässig sind [NW03: 200 f]:

$$ZAU_v^{normal} \approx 1, \quad \text{Gleichung 6-11}$$

$$ZAU_v^{hoch} > 1, \quad \text{Gleichung 6-12}$$

$$ZAU_v^{niedrig} < 0,5 \quad \text{Gleichung 6-13}$$

Hinsichtlich des Bestandsniveaus lassen sich 3 Bereiche für Kapazitätseinheiten unterscheiden (s. Abschnitt 5.2.3): Bei Kapazitätseinheiten im Unterlastbereich können bestandsbedingte Leistungsverluste auftreten, um kurze Durchlaufzeiten zu realisieren. Kapazitätseinheiten im Übergangsbereich zeichnen sich durch niedrige Durchlaufzeiten bei gleichzeitig hoher Leistung aus. Im Überlastbereich positionieren sich Kapazitätseinheiten, um keine bestandsbedingten Auslastungsverluste zu riskieren. Hieraus leitet sich für den jeweiligen Zielbestand (BI_{Ziel}) ab:

$$BI_{Ziel}^{Unterlast} \leq 2 \cdot BI_{Min}, \quad \text{Gleichung 6-14}$$

$$2 \cdot BI_{Min} < BI_{Ziel}^{Übergangsbereich} < 3 \cdot BI_{Min}, \quad \text{Gleichung 6-15}$$

$$BI_{Ziel}^{Überlast} \geq 3 \cdot BI_{Min} \quad \text{Gleichung 6-16}$$

Für Kapazitätseinheiten mit einem für Werkstattfertiger normalen Variationskoeffizient von ~ 1 ist nachfolgend dargestellt, wie sich durch Einsetzen der Gleichung 6-11 in 6-10 der Ziel-Bestand in Anzahl Aufträgen messen lässt:

$$AnzAuf_{Ziel}^{Unterlast} \leq 4 \cdot AnzAPL, \quad \text{Gleichung 6-17}$$

$$4 \cdot AnzAPL < AnzAuf_{Ziel}^{Übergang} < 6 \cdot AnzAPL \quad \text{Gleichung 6-18}$$

$$AnzAuf_{Ziel}^{Überlast} \geq 6 \cdot AnzAPL \quad \text{Gleichung 6-19}$$

In einer Werkstattfertigung sollte sich demnach bei einer Kapazitätseinheit mit einem Arbeitsplatz zwischen vier und sechs Aufträge im Umlaufbestand befinden, damit die Kapazitätseinheit im Übergangsbereich arbeiten kann. Die Umrechnung des Ziel-Bestandes in die mittlere Durchlaufzeit je Kapazitätseinheit (= Taktbreite) erfolgt mit Hilfe von Gleichung 5-3. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass die mittlere Durchführungszeit im Gegensatz zur bestandsabhängigen mittleren Übergangszeit einen eher vernachlässigbaren Durchlaufzeitanteil darstellt. Für die Berechnung der Ziel-Taktbreite in BKT gilt deshalb:

$$TB_{Ziel}^{Unterlast} \leq 4 \cdot AnzAPL \cdot \frac{ZAU_m}{L_m^{EinzelAPL} \cdot AnzAPL} = 4 \cdot \frac{ZAU_m}{L_m^{EinzelAPL}} \quad \text{Gleichung 6-20}$$

$$4 \cdot \frac{ZAU_m}{L_m^{EinzelAPL}} < TB_{Ziel}^{Übergangsbereich} < 6 \cdot \frac{ZAU_m}{L_m^{EinzelAPL}} \quad \text{Gleichung 6-21}$$

$$TB_{Ziel}^{Überlast} \geq 6 \cdot \frac{ZAU_m}{L_m^{EinzelAPL}} \quad \text{Gleichung 6-22}$$

Mit	TB_{Ziel}^x	: Taktbreite in Abh. des Bestandsniveaus x	[BKT]
	ZAU_m	: mittlere Auftragszeit	[Stunden]
	$L_m^{EinzelAPL}$: mittlere Leistung Einzelarbeitsplatz	[Stunden / BKT]
	$AnzAPL$: Anzahl Arbeitsplätze	

Aus den Gleichungen 6-20 bis 6-22 folgt, dass es möglich ist für Kapazitätseinheiten eine logistisch sinnvolle Taktbreite mit Hilfe der abgeschätzten mittleren Auftragszeit festzulegen. Die getroffenen Annahmen bezüglich Mindestübergangszeit, Auftragszeitstreuung und Durchlaufzeitanteile dienen zur Vereinfachung und gelten nur unter den Voraussetzungen einer klassischen Werkstattfertigung.

3. Analyse von Repräsentanten

In Bild 6.30 ist die Festlegung der Taktbreiten für jede Kapazitätseinheit anhand einer Produktion mit 10 Kapazitätseinheiten und 5 repräsentativer Materialien beispielhaft dargestellt. Die Vorgehensweise erfordert sowohl die Analyse der Ressourcen- als auch der Prozesssicht auf eine Produktion mit Hilfe von Repräsentanten. Aus *Prozesssicht* ergibt sich folgende Vorgehensschritte (s. Bild 6.30 Schritt 1-3):

1. *Auswahl von Materialien (Repräsentanten)*, die das derzeitige Produktionsprogramm widerspiegeln und an den jeweiligen Kapazitätseinheiten der Produktion einen signifikanten Kapazitätsbedarf verursachen.
2. *Ermittlung / Abschätzung der Ist-Auftragsdurchlaufzeit (ZDA_{IST})* für diese Materialien.
3. *Festlegung einer akzeptablen mittleren Auftragsdehnung*. Durchläuft eine Materialnummer besonders viele Engpassressourcen nimmt die mittlere Auftragsdehnung aufgrund von Kapazitätsrestriktionen zu.

Aus *Ressourcensicht* ergeben sich folgende Vorgehensschritte:

4. *Abschätzung der Materialflussposition für jede Kapazitätseinheit*. Zur Vereinfachung unterscheidet man lediglich die 5 unterschiedlichen Positionen (1 = am Anfang, 2 = eher am Anfang, 3 = Mitte, 4 = eher am Ende, 5 = Ende).

		Ressourcensicht											ZDA _{RWS} + DLZ _{inh.TB} ≤ ZDA _{IST} ⁸⁾		
		Auftragsdehnung	je Kapazitätseinheit (KE)												DLZ _{inh.TB} [BKT]
			KE 1	KE 2	KE 3	KE 4	KE 5	KE 6	KE 7	KE 8	KE 9	KE 10			
Pos. im Materialfluss ¹⁾		3	4	2	1	1	1	5	5	4	2	3	1		
Material 1	ZDA _{IST}	10	Anzahl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ZDA _{RWS}	8,4	TB _i	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Material 2	ZDA _{IST}	20	Anzahl	1				1	1	1	1	1	1	1	1
	ZDA _{RWS}	16,8	TB _i	3				7	7	7	7	7	7	7	7
Material 3	ZDA _{IST}	20	Anzahl			1		1	1	1	2				
	ZDA _{RWS}	18	TB _i			3		7	7	7	3			2	2
Material 4	ZDA _{IST}	20	Anzahl				1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ZDA _{RWS}	20,8	TB _i				5	7	7	7	5	5	5	0	*
Material 5	ZDA _{IST}	20	Anzahl		1			1	1	1					
	ZDA _{RWS}	16,8	TB _i		5			5	7	3				0	✓
TB _i [BKT]				3	5	3	3	5	7	3	5	3	5		
ZDF _{MAX} [BKT]				0,1	2	3,2	1	1	0,05	0,5	2	0,2	3		
ZDF _{MAX} < TB _i				✓	✓	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

¹⁾ 1 = am Anfang, 2 = eher am Anfang, 3 = Mitte, 4 = eher am Ende, 5 = am Ende
 ✓ Check erfüllt
 * Check nicht erfüllt
 ZDA_{IST} abgeschätzte Auftragsdurchlaufzeit für Material x [BKT]
 ZDA_{RWS} Auftragsdurchlaufzeit für Material x bei Anwendung der RWS mit den Taktbreiten i [BKT]
 TB_i Taktbreite an Kapazitätseinheit i [BKT]
 ZDF_{MAX} maximale Durchführungszeit [BKT]
 DLZ_{inh.TB} Durchlaufzeitverluste durch eine inhomogene Verteilung der Taktbreiten

Bild 6.30: Vorgehensweise zur Festlegung der ressourcenspezifischen Taktbreiten

- Identifikation von Kapazitätseinheiten mit definierten Liefertoleranzanforderungen. Die Taktbreite einer Kapazitätseinheit legt die Liefertoleranz bzgl. des Fertigstellungstermins eines Auftrags fest, da alle Aufträge in einem Takt denselben Planendtermin besitzen. Kapazitätseinheiten mit definierten Anforderungen sind z.B. Warenausgang, Verpacken & Versand. In Bild 6.30 muss Kapazitätseinheit Nr. 6 (Versand) tagesgenau abliefern. Die Taktbreite an dieser Kapazitätseinheit darf also maximal ein Arbeitstag sein.
- a) Festlegung der materialabhängigen Taktbreiten für die durchlaufenen Kapazitätseinheiten: Die Taktbreite der Kapazitätseinheiten orientiert sich an der maximalen Durchführungszeit als Obergrenze. Nach Festlegung der Taktbreiten berechnet sich die zu erwartende Auftragsdurchlaufzeit für die ausgewählten Repräsentanten wie folgt:

$$ZDA_{RWS}^m = (1 + AD_m) \cdot \sum_{i=1}^n TB_i \quad \text{Gleichung 6-23}$$

- Mit ZDA_{RWS}^m : RWS-Durchlaufzeit für Material m [BKT]
 AD_m : mittlere Auftragsdehnung für Material m
 TB_i : Taktbreite der Kapazitätseinheit i [BKT]
 n : Anzahl durchlaufener Kapazitätseinheiten

b) Festlegung der materialunabhängigen Taktbreiten für die Kapazitätseinheiten: In diesem Schritt werden evtl. unterschiedliche Taktbreiten je Kapazitäts-

einheit harmonisiert, so dass am Ende jeder Spalte für jede Kapazitätseinheit eine materialunabhängige Taktbreite resultiert.

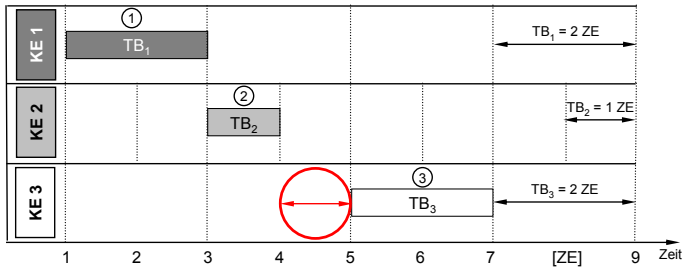
Nach der ersten Festlegung der Taktbreiten je Kapazitätseinheit erfolgt eine Überprüfung aus Ressourcen- und Prozesssicht:

7. *Ressourcenspezifischer Check*: Die Funktionslogik der RWS unterstellt eine eindeutige Zuordnung der Arbeitspakete zu einem Takt. Deshalb sollte keine Durchführungszeit eines Auftrags größer als die festgelegte Taktbreite der Kapazitätseinheit sein. Falls ZDF_{MAX} die Taktbreite überschreitet, ermöglicht entweder die Vergrößerung der Taktbreite oder das Reduzieren von ZDF_{MAX} (z.B. durch Losgrößenreduzierung) das Taktprinzip.
8. *Prozessspezifischer Check*: Unterschiedliche Taktbreiten der Kapazitätseinheiten führen dazu, dass bei der Terminierung prinzipbedingt zusätzliche Wartezeiten und blockierte Bestände auftreten können. Die Möglichkeit besteht bei der Auftragsübergabe von Kapazitätseinheiten zu längeren Taktbreiten. In Bild 6.31 a beträgt beim Übergang von KE2 zu KE3 die zusätzliche Wartezeit eine Zeiteinheit. Zur Vermeidung von blockierten Beständen ist deshalb empfehlenswert:

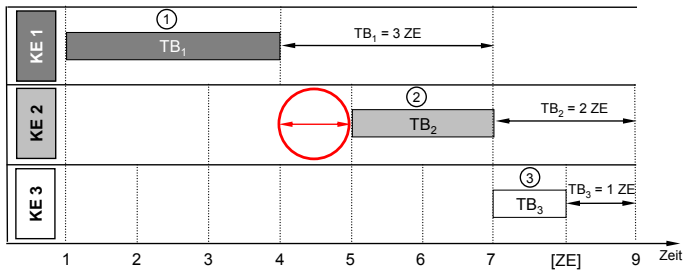
☞ *Die Taktbreiten der Kapazitätseinheiten sollten in Materialflussrichtung konstant oder abnehmend festgelegt werden.*

Zusätzliche Wartezeiten können auch entstehen, wenn Taktgrenzen von Kapazitätseinheiten mit unterschiedlichen Taktbreiten nicht auf denselben Zeitpunkt fallen. Beim Übergang von KE1 zu KE2 in Bild 6.31 b tritt diese zusätzliche Wartezeit auf. KE 1 hat eine Taktbreite von 3 ZE, die im Beispiel bei ZE 1 startet und bei ZE 4 endet. Der nächste für die Durchlaufterminierung erreichbare Takt an KE 2 (Taktbreite = 2 ZE) startet bei ZE 5. Hieraus resultiert eine zusätzliche Wartezeit von einer ZE für den Auftrag an KE2. Der Check aus Prozesssicht überprüft im ersten Schritt, wie groß die zusätzliche Wartezeit durch inhomogene Taktbreiten für jedes Material ist (s. Bild 6.30 Punkt 8). Die resultierende Gesamtauftragsdurchlaufzeit ZDA_{RWS} sollte auf keinen Fall größer sein, als die derzeitige Ist-Durchlaufzeit. Als Leitlinie zur Dimensionierung der unterschiedlichen Taktbreiten gilt deshalb:

☞ *Taktbreiten sind über die Kapazitätseinheiten hinweg möglichst homogen zu wählen.*



a) zusätzliche Wartezeit durch den Übergang von kurz nach lang



b) zusätzliche Wartezeit beim Übergang lang nach kurz

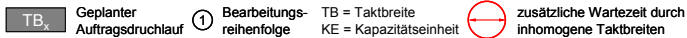


Bild 6.31: Zusätzliche Wartezeiten durch inhomogene Taktbreiten

4. Logistikanalyse

Diese Reifegradstufe zur Taktbreitenfestlegung ist für Unternehmen geeignet, die über ein Monitoringsystem (z.B. BDE- oder MES-System) verfügen, das den Aufwand für die Datenerhebung reduziert. Die Verarbeitung der Daten aus dem Monitoringsystem setzt voraus, dass die Rückmeldungen vollständig und fehlerfrei sind.

Darüber hinaus setzen die Logistikanalysen hohe Anforderungen an die Logistikkompetenz der Organisation. Falsche Rückmeldungen, unvollständige Arbeitspläne oder eine unvollständige Erfassung der Arbeitsleistung mindern die Aussagefähigkeit der Analysen. Folgende Angaben sind für die Engpassorientierte Logistikanalyse zur Festlegung der Taktbreiten notwendig [WN98: 77]:

Basisdaten:

- Betriebskalender (Arbeitstage im Jahr),
- Arbeitszeitmodell (Schichtmodell, Nutzungsgrad der Kapazitätseinheiten),
- Arbeitssystemdaten (Leistung der Kapazitätseinheit)

Ablaufdaten:

- Rückmeldungen (rückgemeldeter Auftragsstart und -ende je Kapazitätseinheit),
- Auftragszeiten (geplante Auftragszeit je Arbeitsvorgang),

Aus diesen Daten lassen sich Kennlinien berechnen und in Abhängigkeit des Ziel-Bestandsniveaus angemessene arbeitssystemspezifische Plan-Durchlaufzeiten ableiten. Die arbeitssystemspezifischen Plan-Durchlaufzeiten entsprechen der Taktbreite bei der RWS.

6.5.2.3 Festlegung Kapazitätsgrenzen

Kapazitätsgrenzen können für jede Kapazitätseinheit und Takt variieren. Für den Kapazitätsabgleich sind insbesondere die Normalbetriebsgrenze und Überlastgrenze von besonderer Bedeutung (s. Abschnitt 6.4.3.1). Aufträge, deren zusätzlicher Kapazitätsbedarf eine der beiden Grenzen überschreitet, lösen kapazitiven Handlungsbedarf aus. Die Normalbetriebsgrenze regelt, wie viele Aufträge ohne zusätzliche Maßnahmen eingelastet werden können. Die Differenz zwischen Überlast- und Normalbetriebsgrenze stellt die vorausschauende Kapazitätsflexibilität dar (vgl. Bild 6.32 unten):

$$\text{Kapaflex}_i = \text{Überlastgrenze}_i - \text{Normalgrenze}_i \quad \text{Gleichung 6-24}$$

Mit Kapaflex_i : Kapazitätsflexibilität in Takt i [% , h , ...]
 Überlastgrenze_i : max. Kapazitätsangebot für Takt i [% , h , ...]
 Normalgrenze_i : Standardkapazitätsangebot für Takt i [% , h , ...]

Die Überlastgrenze stellt für die vorausschauende Kapazitätssteuerung eine Obergrenze für die Auftragseinlastung dar. Die Überschreitung der Normalbetriebsgrenze setzt voraus, dass die daraus resultierenden Kapazitätserweiterungsmaßnahmen realisierbar sind.

Die Kapazitätsflexibilität für eine Kapazitätseinheit kann von Takt zu Takt unterschiedlich hoch sein. Dabei hängt die Höhe von den betrieblichen Arbeitszeitregelungen und der Reaktionszeit für die Bereitstellung veränderter Kapazitätsbeträge ab (s. Abschnitt 5.2.2). Jede Maßnahme zur Veränderung des Kapazitätsangebots erfordert eine Reaktionszeit, die an die unternehmensspezifischen Vereinbarungen gekoppelt ist.

Die Festlegung der Kapazitätsgrenzen für die vorausschauende Kapazitätssteuerung sollte folgende Kriterien mit einbeziehen:

1. *Turbulenzkeime Bedarfsschwankungen / heterogene Lieferzeitanforderungen* (s. Abschnitt 5.2.1): Je höher die Bedarfsschwankungen an der Kapazitätseinheit sind, desto höher muss der Flexibilitätskorridor sein, um konstante Wiederbeschaffungszeiten zu ermöglichen. Eine wesentliche Rolle dabei spielt auch, wie viel Spielraum die vorausschauende Kapazitätssteuerung hat, um Bedarfsschwankungen durch Vorziehen oder Verschieben von Aufträgen zu glätten (=Belastungsflexibilität s. Abschnitt 3.1.3). Der Spielraum wird bei kundenspezifischer Produktion durch die Lieferzeitanforderungen der Kunden, und bei kun-

denanonymer Produktion durch die Bestandshöhe und Wiederbeschaffungszeiten festgelegt.

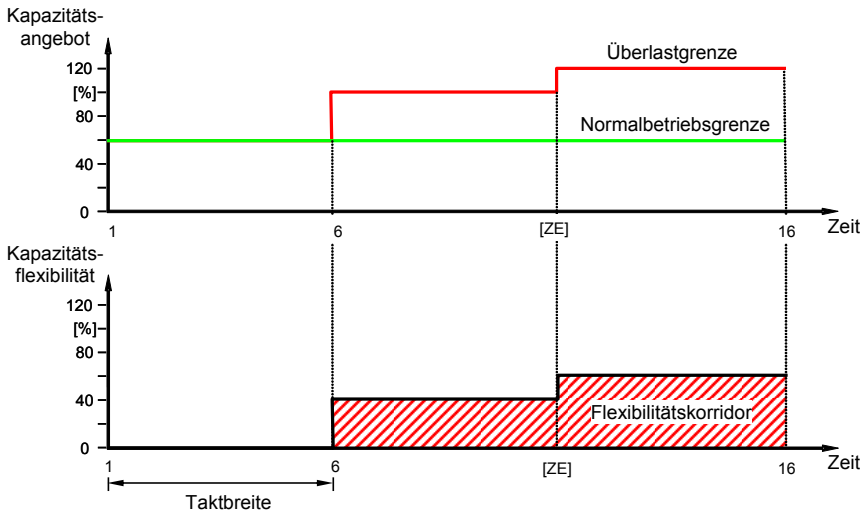


Bild 6.32: Überlast-, Normalbetriebsgrenze und resultierende Kapazitätsflexibilität

2. *Regelgröße Auftragsdehnung*: Die Auftragsdehnung ist bei der RWS die Regelgröße der vorausschauenden Kapazitätssteuerung. Bei stark schwankendem Bedarf und kleinem Flexibilitätskorridor nimmt die Auftragsdehnung zu. Dies ist ein Indiz dafür, dass an den Kapazitätseinheiten, die die Auftragsdehnung verursachen, der Flexibilitätskorridor vergrößert werden sollte.
3. *Strukturgröße Materialflussposition der Kapazitätseinheit*: Der Zeitraum zwischen Freigabe und Bearbeitung eines Auftrags ist bei Start-Kapazitätseinheiten in Abhängigkeit von der Produktionsdurchlaufzeit wesentlich geringer als bei Kapazitätseinheiten, die immer die letzten Bearbeitungsschritte ausführen. Da die Höhe des Flexibilitätskorridors mit der Reaktionszeit für die Bereitstellung korreliert, ist der Kapazitätsflexibilitätsbedarf bei Kapazitätseinheiten am Beginn des Materialflusses besonders groß.

6.5.2.4 Festlegung Taktkapazitätsflexibilität

Der wichtigste Eingangsparameter für Kapazitätssteuerungsverfahren ist die Kapazitätsflexibilität [Beg05: 72]. In der RWS ist insbesondere die Taktkapazitätsflexibilität von hoher Bedeutung. Die für die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung relevante Taktkapazitätsflexibilität erfordert, dass die Kapazitätseinheiten ihre Kapazität während des Taktes erhöhen bzw. verringern können. Die Reaktionszeit für diese Ka-

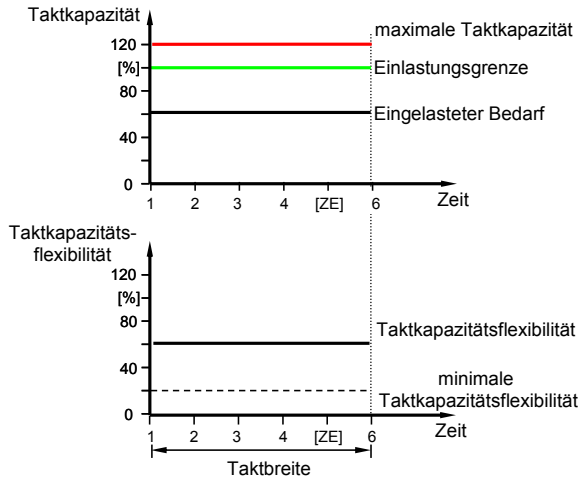


Bild 6.33: Taktkapazität und -flexibilität

pacitätsanpassungen hängt von den jeweiligen Taktbreiten ab. In einem Tagestakt ist die Reaktionszeit im Stundenbereich, während bei einem Wochentakt eventuell mehrere Tage bleiben. Die minimale Taktkapazitätsflexibilität ergibt sich aus der Differenz zwischen maximaler Taktkapazität und Einlastungsgrenze (s. Bild 6.33). Die Taktkapazitätsflexibilität steht der Kapazitätseinheit an einem Takt ohne Reaktionszeit zur Verfügung. Ihre Höhe ergibt sich aus der Differenz zwischen maximaler Taktkapazität und eingelastetem Bedarf (vgl. Bild 6.33):

$$\text{Taktkapflex} = \text{Kapangebot}_{MAX} - \text{Kapbedarf}_{eingelastet} \quad \text{Gleichung 6-25}$$

Mit Taktkapflex : Taktkapazitätsflexibilität [% , h , ...]

Kapangebot_{MAX} : maximale Taktkapazität [% , h , ...]

$\text{Kapbedarf}_{eingelastet}$: eingelasteter Kapazitätsbedarf [% , h , ...]

Die Taktkapazitätsflexibilität hat wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung. Die Güte der Kapazitätssteuerung zeigt sich bei der RWS anhand des Abarbeitungsrückstandes am Taktende. Das Ziel ist es, das komplette Arbeitspaket mit flexiblen Kapazitäten abzuarbeiten. Die Höhe der Taktkapazitätsflexibilität ist die wesentliche Stellgröße, die den Handlungsspielraum der gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung festlegt. Der Bedarf an Taktkapazitätsflexibilität hängt hauptsächlich von zwei Kriterien ab (Erweiterung zu [Beg05: 74]):

1. *Turbulenzkeim Planabweichungen (Kapazitätsangebot/ -bedarf):* Planabweichungen treten unvorhersehbar auf und beeinflussen das Kapazitätsangebot und den Kapazitätsbedarf. Zum Beispiel führt der kurzfristige Ausfall einer Ressource zu Planabweichungen beim Kapazitätsangebot (es steht weniger Kapazität als geplant zur Verfügung). Probleme beim Rüsten oder Bearbeiten führen zu Planabweichungen beim Kapazitätsbedarf (es wird mehr Kapazität als geplant benötigt). In beiden Fällen hilft die Taktkapazitätsflexibilität diese Planabweichungen zu kompensieren, ohne die Taktgrenzen zu verletzen. Je größer die Planabweichungen bei Kapazitätsbedarf und -angebot sind, desto größer sollte die zur Verfügung stehende Taktkapazitätsflexibilität sein. Kennzahlen, die bei der quantitativen Festlegung helfen, sind beim
 - *Kapazitätsangebot:* Anlagen-, Materialverfügbarkeit, Personalausfallquote
 - *Kapazitätsbedarf:* Ausschuss, Anteil ungeplanter Kapazitätsbedarfe (z.B. für Versuche, Tests, etc.), Anteil Arbeitsvorgänge mit Kapazitätsbedarfsabweichungen.
2. *Strukturgröße Materialflussposition der Kapazitätseinheit:* Der Einfluss von Abgangsterminabweichungen auf die Liefertermintreue nimmt in Richtung des Materialflusses zu. Abgangsterminabweichungen an den Start-Kapazitätseinheiten können sich im Laufe der Auftragsbearbeitung durch lokale Absprachen und Umlanungen eher auflösen als bei Kapazitätseinheiten am Ende des Materialflusses. Für die Liefertermineinhaltung sollte deshalb die Höhe der Taktkapazitätsflexibilität in Richtung des Materialflusses zunehmen.

6.5.2.5 Reifegradbasierte Festlegung der Kapazitätsparameter

Abschnitte 6.5.2.3 und 6.5.2.4 erläutern die Kriterien zur Festlegung der Kapazitätsgrenzen und der Taktkapazitätsflexibilität. Beide sollten aufeinander abgestimmt sein, da die sie voneinander abhängen. Bild 6.34 stellt unterschiedliche Reifegradstufen zur Festlegung der Kapazitätsparameter dar. Die Reifegradstufen unterscheiden sich bzgl. der unterschiedlichen Vorgehensweise bei der Aufnahme der Anforderungen und dem jeweils notwendigen Dateninput.

1. *übernehmen der vorhandenen Stufen:*

In der niedrigsten Reifegradstufe werden die vorhandenen betrieblichen Arbeitszeitregelungen übernommen und die Kapazitätsgrenzen und Taktkapazitätsflexibilität entsprechend festgelegt.

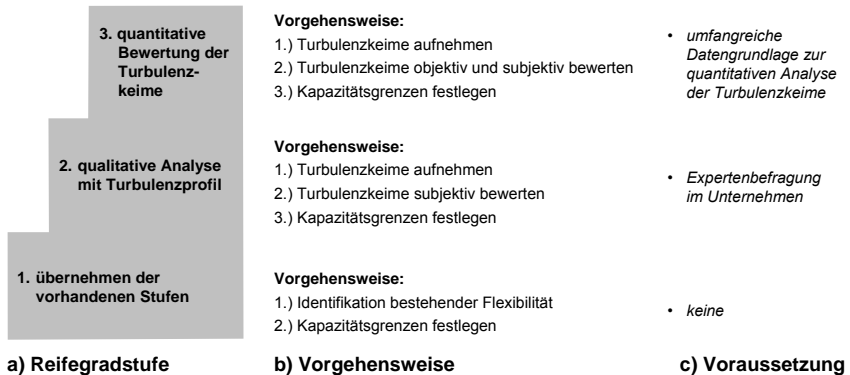


Bild 6.34: Reifegradstufen in der Parametrierung: Vorgehensweisen zur Festlegung der Kapazitätsgrenzen und Taktkapazitätsflexibilität

2. qualitative Analyse mit Turbulenzprofil:

In den zweiten Reifegradstufe startet zuerst die unternehmensspezifische Aufnahme der Anforderungen mit Hilfe des Turbulenzprofils (s. Abschnitt 5.2.1). Die Turbulenzkeime Bedarfsschwankungen und heterogene Lieferanforderungen beeinflussen die Festlegung der Kapazitätsgrenzen (Turbulenzkeime der Planung relevant für vorausschauende Kapazitätssteuerung). Turbulenzkeime, die unternehmensspezifisch für Planabweichungen beim Kapazitätsangebot oder -bedarf sorgen, beeinflussen die Höhe der Taktkapazitätsflexibilität (Turbulenzkeime der Steuerung sind relevant für gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung).

Ablauflogik: In einem ersten Schritt werden die unternehmensspezifischen Turbulenzkeime aufgenommen. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Bewertung der Turbulenzkeime. In der zweiten Reifegradstufe bewerten Experten im Unternehmen die Turbulenzkeime auf einer Skala von 1 bis 10.

Voraussetzung: In der zweiten Reifegradstufe sollte die Befragung unterschiedliche Produktionsexperten des Unternehmens umfassen. Starke Abweichungen in der Situationsbewertung sollten in der gemeinsamen Diskussion vereinheitlicht werden.

3. quantitative Bewertung der Turbulenzkeime:

Die dritte Reifegradstufe beinhaltet eine quantitative Analyse der Turbulenzkeime für eine objektivere Bewertung. Die Ablauflogik lehnt sich an Reifegradstufe 2 an. Die quantitative Analyse der Turbulenzkeime setzt ein verlässliches Datenfundament voraus. Die quantitative Analyse dient dazu, die Einschätzung der Experten zu versachlichen, ersetzt aber keinesfalls die qualitative Einschätzung.

Die Festlegung der Kapazitätsgrenzen und der Taktkapazitätsflexibilität, angepasst auf die unternehmensspezifischen Turbulenzkeime hilft dabei die vorhandene Turbu-

lenz zu beherrschen und gewährleistet eine auf die Anforderungen abgestimmte Parametrierung der RWS.

6.6 Unternehmensspezifische Konfiguration der RWS

Die Beschreibung der Funktionsbausteine, der korrespondierenden Funktionen und der Parametrierung der RWS beinhaltet jeweils unterschiedliche Reifegradstufen. Bild 6.35 stellt die einzelnen Reifegradstufen im Überblick dar. Die definierte Ablauflogik und Voraussetzungen je Reifegradstufe ermöglichen es den Unternehmen, sich entsprechend zu positionieren. Wesentliche Entscheidungskriterien dabei sind:

externe Anforderungen:

- Lieferanforderungen: Lieferzeit, Liefertoleranz, Liefertreue,
- Turbulenzkeime: Bedarfs- und Auftragsmixschwankungen

Aufgaben		Reifegrad			
		niedrig ←			→ hoch
Gestaltung	Festlegung Taktbreiten	Einheitstakt für alle KEs	Abschätzung ZAU _m je KE	Analyse von Repräsentanten	quantitative Logistikanalysen
	Festlegung Kapazitätsparameter	vorhandene Kapazitätsstufen	qual. Analyse Turbulenz	quan. Analyse Turbulenz	
Betrieb	Auftragszerzeugung	RT mit artikel-spez. WBZ	RT mit Takten	RT gegen begrenzte Kapa.	
	Reihenfolgebildung	ohne	lokal Rüstz.opt.	zentral Rüstz.opt. und Schlupf	
	Auftragsfreigabe	terminorientiert	bestands-regelnd grob	bestands-regelnd fein	
	Materialbereitst. und MV	vergrößert mit Repräsentant	undifferenziert alle Materialien	örtlich und zeitlich differenziert	
	voraus-schauende KS	keine	manuell	automatisiert	
	gegenwarts-bezogene KS	manuell einmalig	manuell ereignisorientiert	automatisiert ereignisorientiert	automatisiert kontinuierlich

beispielhafte Konfiguration der RWS

Kernaufgaben, korrespondierende Aufgaben

KE = Kapazitätseinheit, RT = Rückwärtsterminierung, WBZ = Wiederbeschaffungszeit, Rüstz.opt. = Rüstzeit optimiert, LT = Liefertermin, KS = Kapazitätssteuerung, MV = Materialverfügbarkeitsprüfung, ZAU_m = mittlere Auftragszeit

Bild 6.35: Merkmalschema zur unternehmensspezifischen Konfiguration der RWS in unterschiedlichen Reifegradstufen.

interne Fähigkeiten:

- Logistikorganisation: Logistikkompetenz, Verfügbarkeit von Personalkapazität zur Ausführung der zentralen und lokalen RWS-Funktionen, organisatorische Verankerung der RWS-Funktionen.
- Hilfsmittel und Werkzeuge: IT-Systeme in der Planung und Steuerung
- Qualität und Umfang Datenbasis: Arbeitspläne, Stücklisten, Messeinheit von Kapazitätsbedarf und -angebot, Bewegungsdaten,
- Produktion: Kapazitätsflexibilität, schnelle Rüstwechsel, kleine Losgrößen, etc.

Aus den externen Anforderungen und den internen Fähigkeiten lassen sich die jeweils geeigneten Reifegradstufen für die unterschiedlichen Funktionen ableiten. Die ausgewählte Reifegradstufe ist regelmäßig zu überprüfen, da sich Voraussetzungen (z.B. Datenfundament) ändern. Dabei stößt erfahrungsgemäß ein unbefriedigendes Verhältnis zwischen Aufwand für den Betrieb der Reifegradstufe und dem logistischem Nutzen der Reifegradstufe die Überprüfung an [Bor07]. Eine praxisgerechte Anwendung setzt voraus, dass die gewählten Reifegradstufen einen robusten Betrieb der RWS ermöglichen. Nur wenn die RWS-Prozesse standardisiert und stabil ablaufen, sind die Potenziale über einen Wechsel der Reifegradstufe erschließbar.

6.7 Qualitative Bewertung der RWS

Die erste qualitative Bewertung der RWS erfolgt anhand der im dritten Kapitel abgeleiteten Anforderungen. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung ist für funktionsorientierte Strukturen konzipiert. Damit ist das Verfahren in der Lage, Artikel und Aufträge mit unterschiedlichen technologischen Prozessen zu steuern (Anf. 1). Die resultierenden komplexen Materialflüsse und wechselnde Kapazitätsbelastungen integriert die getaktete Auftragsfreigabe in Verbindung mit der vorausschauenden Kapazitätssteuerung in den Verfahrensablauf. Damit berücksichtigt die RWS die Materialflusskomplexität bei Auftragsfreigabe und entschärft wechselnde Kapazitätsengpässe vorausschauend. Nach der Auftragsfreigabe sorgen die transparente Bereitstellung der Aufträge und der getaktete Auftragsdurchlauf für ausreichend Transparenz (Anf. 2). Das Taktprinzip und die gezielte Nutzung der Kapazitätsflexibilität ermöglichen es der RWS, auch bei schwankenden Bedarfssituationen, konstante Durchlaufzeiten zu erzielen. Der Regelkreis der vorausschauenden Kapazitätssteuerung bei Auftragsfreigabe regelt deshalb anhand der voraussichtlichen Auftragsdehnung das Kapazitätsangebot der Engpasskapazitäten (Anf. 3).

Nr.	Anforderung (kurz: Anf.) + : erfüllt, o : teilweise erfüllt, - : nicht erfüllt	Erfüllungsgrad
abgeleitet aus der Betriebstypologie:		
1	Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt unterstützen und Artikel mit einer mittleren Stücklistentiefe steuern können.	+
2	Hohe Materialflusskomplexität und wechselnde Engpässe in funktionsorientierten Strukturen angemessen berücksichtigen.	+
3	Bei einem hohen Kundenbezug der Aufträge dazu beitragen, Bedarfsschwankungen durch den Einsatz flexibler Kapazitäten zu beherrschen. Hohe Transparenz im Auftragsdurchlauf und effiziente Regelmechanismen.	+

Tabelle 6-1: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen 1-3.

Die Auftragsfreigabe nivelliert den freigegebenen Umlaufbestand für die Produktion mit Hilfe der Takte über die Zeit. Die vorausschauende Kapazitätssteuerung sorgt dafür, dass für die freigegebenen Aufträge ausreichend Kapazität zur Verfügung steht. Nach der Auftragsfreigabe sorgt die Einhaltung der Taktgrenzen dafür, dass die Bestände nicht ungeplant ansteigen (Anf. 4). Das Einhalten der Taktgrenzen als Verfahrensleitlinie implementiert ein hohes Verantwortungsgefühl auf allen Entscheidungsebenen der RWS (Anf. 5). Hauptangriffspunkt der reifegradbasierten Werkstattsteuerung sind die Kapazitätseinheiten mit den ressourcenspezifischen Parametern: Taktbreite, Kapazitätsgrenzen und Taktkapazitätsflexibilität. Das Zusammenfassen mehrerer Aufträge zu einem ressourcenspezifischen Arbeitspaket vereinfacht dabei das Steuern weniger Zwischentermine (Anf. 6). Eine zunehmende Auftragsdehnung identifiziert Engpässe bereits bei der Auftragsfreigabe. Der vorausschauende Einsatz flexibler Kapazitäten richtet sich dabei nach der Kundennachfrage. Das Vorziehen von Aufträgen zur Sicherung der Auslastung oder Verschieben von Aufträgen zur konstanten Auslastung widerspricht dem Taktprinzip und ist deshalb nicht Verfahrensbestandteil (Anf. 7).

abgeleitet aus den Zielgrößen der Werkstattsteuerung:		
4	Die RWS sollte über die Auftragsfreigabe und die Kapazitätssteuerung den Umlaufbestand auf einem angemessenen Niveau regeln.	+
5	Die RWS sollten dazu beitragen für Termine das gleiche Verantwortungsgefühl wie für die Produktqualität und Kosten zu vermitteln.	+
6	Die RWS sollte Unternehmen dabei unterstützen, Plantermine durch das Steuern der Kapazitäten anstatt Arbeitsvorgängen zu sichern.	+
7	Die RWS sollte dazu beitragen, Engpässe zu identifizieren und die Auslastung an den Bedarf anzupassen.	+

Tabelle 6-2: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen 4-7.

Die Integration der korrespondierenden Funktionsbausteine Auftragserzeugung und Reihenfolgebildung ermöglicht eine ganzheitliche Konfiguration der reifegradbasierten Werkstattsteuerung. Die getaktete Auftragsfreigabe, vorausschauende und gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung sind mit Hilfe des Taktprinzips eng synchronisiert und ergänzen sich weitgehend (Anf. 8). Die Kapazitätssteuerung ist zentraler Funktionsbaustein der RWS und bestimmt maßgeblich die Leistungsfähigkeit des Verfahrens (Anf. 9). Bei der Auftragsfreigabe und der gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung sind geschlossene Regelkreise implementiert, um die Planungs- und Ausführungsaktivitäten eng miteinander zu koppeln (Anf. 10).

abgeleitet aus dem Wirkmodell der Werkstattsteuerung:		
8	Auftragserzeugung, Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung sollten bei der RWS aufeinander abgestimmt sein.	+
9	Die Kapazitätssteuerung sollte den funktionalen Schwerpunkt der RWS darstellen.	+
10	Bei der Konfiguration der RWS sollten geschlossene Regelkreise festgelegt werden, die es ermöglichen die Planungs- und Steuerungsaktivitäten eng miteinander zu koppeln.	+

Tabelle 6-3: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen 8-10.

Das Taktprinzip beinhaltet den gleichmäßigen Auftragsstrom als logistisches Leitbild. Die flexiblen Kapazitäten ermöglichen den gleichmäßigen Auftragsstrom auch bei schwankendem Bedarf (Anf. 11). Lokaler Entscheidungsspielraum hilft bei der RWS den getakteten Auftragsdurchlauf zu ermöglichen. Hierzu setzt die RWS den beschriebenen Kunden-Lieferanten Gedanken um, indem die Arbeitspakete eines Taktes termingerecht abzuliefern sind (Anf. 12).

abgeleitet aus dem logistischen Leitbild und Dezentralität:		
11	Die RWS sollte das logistische Leitbild des gleichmäßigen Auftragsstroms mit einer vorausschauenden und gegenwartsbezogenen Kapazitätssteuerung ermöglichen.	+
12	Die RWS sollte festlegen, welche Aufgaben zentral oder dezentral (lokal) wahrgenommen werden. Die Dezentralisierung erfordert die Vorgabe von lokalen Zielen, die auf die überlagerten Zielsetzungen abgestimmt sind. Die lokalen Organisationseinheiten sollten durch entsprechende Freiheitsgrade in der Lage sein, die zentral vorgegebenen Zielsetzungen einzuhalten.	+

Tabelle 6-4: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen 11-12.

Mit Hilfe der ressourcenspezifischen Takte richtet sich jede Kapazitätseinheit an der Erfüllung der Kundenwünsche aus und leistet ihren Beitrag durch die Einhaltung der Taktgrenzen (Anf. 13). Die Vorgabe von ressourcenspezifischen Takten und die sich danach orientierende Freigabe von Arbeitspaketen ermöglicht eine zeitlich geglättete Auftragsfreigabe (Anf. 14). Die feste Verkettung der Kapazitätseinheiten erfolgt über die Takte (Anf. 15). Die Visualisierung von Abarbeitungsgrad und aktuellem Arbeitspaket unterstützt dabei die ausführungsnahen Steuerung der Produktion im Takt (Anf. 16).

abgeleitet aus den auf funktionsorientierte Strukturen übertragenen Lean Leitlinien:		
13	Die RWS sollte die Ausrichtung der Produktion an einem Takt ermöglichen, um die Kundenorientierung in die Produktion zu tragen und eine am Kunden ausgerichtete Zielvorgabe zu implementieren.	+
14	Die RWS sollte die Zeitcluster für eine geglättete Freigabe von Arbeitspaketen ressourcenspezifisch festlegen	+
15	Die RWS sollte die feste Verkettung von Prozessen nach Auftragsfreigabe zur aufwandsarmen Planung und die ausführungsnahen Steuerung nach Auftragsfreigabe angemessen umsetzen.	+
16	Die RWS sollte das Visualisieren der Abläufe und Ziele in der Ausführungsebene ermöglichen	+

Tabelle 6-5: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen 13-16.

Wesentliche Funktionsbausteine und Parameter der reifegradbasierten Werkstattsteuerung sind in unterschiedlichen Reifegradstufen beschrieben. Dies ermöglicht eine reifegradbasierte Konfiguration der Werkstattsteuerung, die die aktuelle Unternehmenssituation angemessen berücksichtigt, und eine schrittweise Umsetzung des Verfahrens ohne umfangreiche Vorarbeiten ermöglicht (Anf. 17). Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung erfüllt damit alle in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen.

abgeleitet aus dem unternehmensspezifischen logistischen Reifegrad:		
17	Für eine reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte die Ausführung der Werkstattsteuerungsaufgaben und die Parametrierung des Verfahrens in unterschiedlichen Reifegradstufen möglich sein, um eine auf den aktuellen Rahmenbedingungen des Unternehmens angepasste Einführung zu ermöglichen.	+

Tabelle 6-6: Bewertung der RWS anhand der in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderung 17.

7 Evaluation der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung konnte bei einem mittelständischen Komponentenhersteller evaluiert werden. Abschnitt 7.1 ordnet den Komponentenhersteller anhand der in Kapitel 3 vorgestellten Betriebsmorphologie ein. Abschnitt 7.2 beschreibt die Anwendungserfahrungen in dem realen Industrieunternehmen in zwei unterschiedlichen Gesamtkonfigurationen.

7.1 Einordnung des Anwendungsfalls

Das Unternehmen produziert technische Walzen für die Investitionsgüterindustrie. Typische Anwendungen finden sich bei Druck- und Verpackungsmaschinen. Das Unternehmen zeichnet sich durch ein hohes Umsatzwachstum und einen hohen Anteil neuer Produkte am Umsatz aus. Kennzeichnend für die Belieferung von Maschinen- und Anlagenbauern ist das Projektgeschäft mit Einmalcharakter, das sich in einem starken Kundenbezug der Aufträge widerspiegelt. Die grobe Produktionsstruktur ist in Bild 7.1 dargestellt.

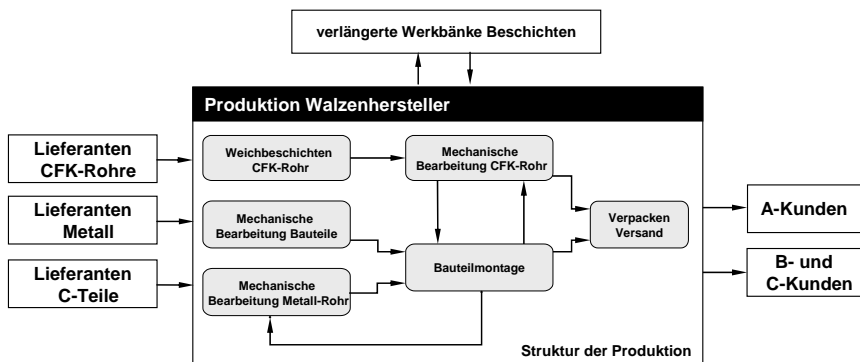


Bild 7.1: Produktionsstruktur des Anwendungsbeispiels

Die Herstellung von Bahnführungswalzen aus Metall oder Carbonfaser verstärkten Kunststoffen (kurz: CFK) ist technologisch anspruchsvoll. Die Produktion umfasst die Prozesse Drehen (CFK und Metall), Schleifen, Beschichten (spezielle Oberflächen je nach Anwendungsfall), Fräsen, Richten und Wuchten. Sie decken die unterschiedlichsten Walzengeometrien ab (Länge: 100 mm bis 14.000 mm, Durchmesser: 5 mm bis 1.000 mm). Bild 7.2 zeigt den konstruktiven Aufbau einer außen gelagerten Bahnführungswalze mit Zapfen (Bild 7.2 a) und einer innen gelagerten Bahnführungswalze mit Achse (Bild 7.2 b). Der typische Aufbau einer Walze ergibt sich aus dem Außenrohr und zwei Böden, an die sich je nach Kundenwunsch Zapfen oder eine Achse fügen. Varianten entstehen durch den Einbau von zusätzlichen Bauteilen, wie Innenrohren, Naben, Luftkanälen und Lagern, sowie durch Normteile wie zum Beispiel

Schrauben und Sicherungsringe. Das Unternehmen hat eine große Produktkomplexität zu bewältigen, die zum einen durch die Produktvarianz gekennzeichnet ist und zum anderen durch die komplexen Abhängigkeiten einzelner Produktmerkmale untereinander.

Die Hauptvariantentreiber bei einer Bahnführungswalze sind die Walzengeometrie, der Werkstoff des Außenrohrs, die Lagerung der

Walze, die Oberflächenausführung, die Geometrie der Bauteile und die Toleranzanforderungen des Kunden. Der Großteil des Produktspektrums ist kundenspezifisch, so dass das Unternehmen ca. 40.000 Walzenvarianten verwaltet. Für das Unternehmen gibt es zwei wichtige Teilmärkte:

- Im *CFK-Bereich* dominieren Aufträge mit einem hohen Umsatzvolumen den Markt. Hier konkurriert das Unternehmen um Großaufträge bei den namhaften Druckmaschinenherstellern mit einem überschaubaren Kreis an Wettbewerbern.
- Im *Metall-Bereich* ist der Markt vor allem bei den Standardwalzen zersplittert, und es gibt viele kleine Wettbewerber.

Eine Analyse des Auftragseingangs zeigt, dass in beiden Bereichen Mengen- und Produktmix stark schwanken.

7.1.1 Betriebstypologische Einordnung des Komponentenherstellers

Die Betriebsmorphologie hilft bei der Charakterisierung des Unternehmenstyps. Bild 7.3 zeigt die Einordnung des Walzenherstellers in die Morphologie, strukturiert nach artikel-, ressourcen- und auftragsspezifischen Merkmalen.

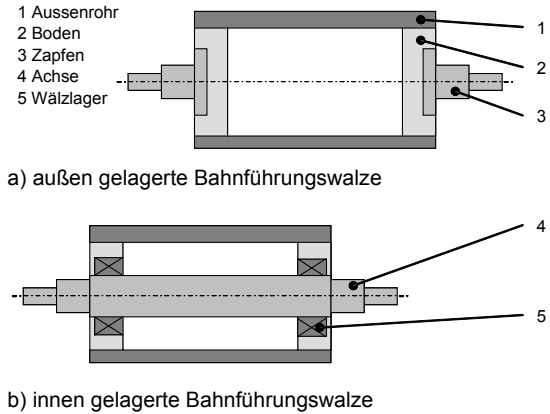


Bild 7.2: Konstruktiver Aufbau einer innen und außen gelagerten Bahnführungswalze

Merkmale		Ausprägungen			
Artikel	Kundenbezug des Produktes	kunden-spezifisch	Produktfamilien (variantenreich)	Standardprodukt (mit Varianten)	Standardprodukt
	Stücklistentiefe / Dispositionsstufen	viele	wenige	einstufig	Handel (inkl. externe Produktion)
Ressource	Fertigungsprinzip	Werkstatt	Insel	Linie	Handel
	Materialfluss-komplexität	komplex mit Rückflüssen	komplex	überschaubar	einfach
	Engpass	wechselnd	stabil	kein	Handel
Auftrag	Bevorratungs-strategie	engineer-to-order	make-to-order	assemble-to-order	make-to-stock
	Auftragstyp	Einzelstück	Kleinserie	Serie	Großserie Massenfertigung
	Teilefluss	Chargen	Losweiser Transport	überlappte Fertigung	One-Piece Flow

■ Anwendungsbeispiel

Bild 7.3: Einordnung des Walzenherstellers in die Betriebsmorphologie

7.1.1.1 Artikelspezifische Merkmale

Im Unternehmen lassen sich die Produktvarianten nur in geringem Umfang standardisieren. Der Großteil der Aufträge bedingt eine Konstruktion und Produktion nach *Kundenwunsch*. Auf Basis der bereits produzierten Produkthistorie bilden sich Produktfamilien heraus, die sich jeweils in typisierte Produktvarianten aufteilen. Walzen umfassen in der Regel *drei bis vier Stücklistenebenen* und bestehen aus vier bis sechs Baugruppen (s. Bild 7.4).

7.1.1.2 Ressourcenspezifische Merkmale

In der Produktion sind Maschinen funktionsorientiert zu Kapazitätseinheiten und Fertigungsabteilungen zusammengefasst. Die Kapazitätseinheiten bearbeiten flexibel unterschiedlichste Produktvarianten. Das *Werkstattprinzip* gibt keine festen Materialfluss- oder Transportbeziehungen vor. Gruppierungskriterien für die Fertigungsbereiche sind die Fertigungstechnologien (Drehen, Schleifen, etc.), der Produktaufbau (Bauteil-Drehen, Walzen-Drehen, etc.) und das Rohmaterial des Walzenrohrs (Metall, CFK). Die funktionsorientierte Segmentierung der Fertigung und die hohe Variantenvielfalt verursachen eine hohe *Materialflusskomplexität*. Die Materialflusskomplexität (s. Abschnitt 3.1.2) aus Planungssicht ist gekennzeichnet durch ca. 30 Kapazitätseinheiten, die im Monat ca. 400 Auftragspositionen (~ 2.000 Walzen) bewältigen. Der Desintegrationsgrad < 40% und Richtungskoeffizient von ca. 50%, beständigen aus Steuerungssicht die hohe Materialflusskomplexität.

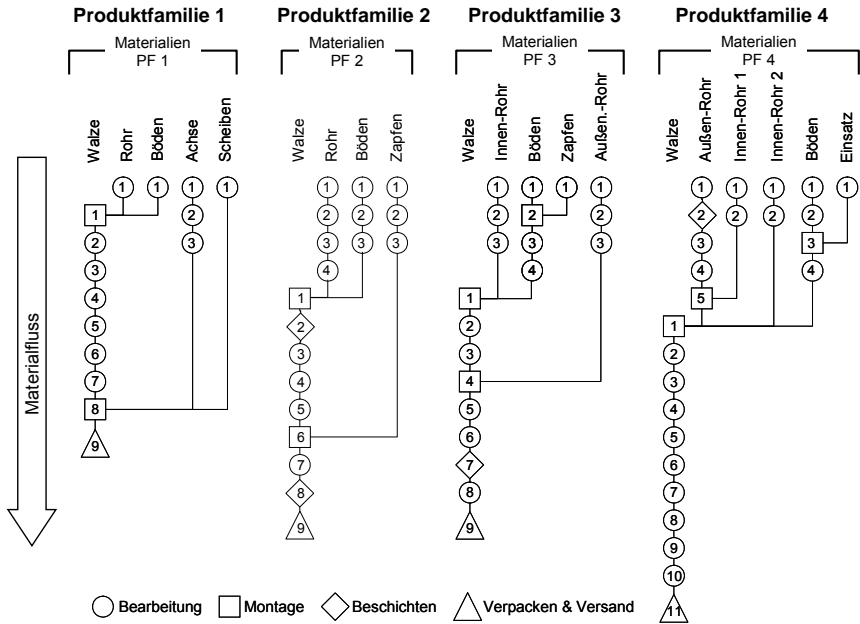


Bild 7.4.: Produktaufbau und Herstellprozess am Beispiel von 4 Produktfamilien

Die unterschiedliche Abfolge der Herstellprozesse und die stark schwankenden Bearbeitungszeiten je Produktvariante sorgen bei zeitlich schwankendem Bedarf und Produktmix für *wechselnde Engpässe* in der Produktion.

7.1.1.3 Auftragspezifische Merkmale

Die Erzeugung der Fertigungsaufträge erfolgt ausschließlich auf Basis eines Kundenauftrags (*bedarfsorientierte Auftragserzeugung*).

Im CFK-Bereich sind auch die Bestellaufträge für die Rohrlieferanten kundenspezifisch (*bedarfsorientierte Bestellungen*). Eine Ausnahme stellt die Bauteilfertigung dar, die in geringem Umfang vorgefertigte Böden verbrauchsorientiert vorfertigt und zwischenlagert. Im Metall-Bereich existiert auf Rohmaterialebene eine Bevorratungsebene für Stangenmaterial, Metallrohre und vorgefertigte Böden.

Der Großteil der Aufträge enthält Produkte, bei denen die Kundenspezifikation einmalige Konstruktionssaufwände oder Anpassungskonstruktionen erfordert. Jeder Kundenauftrag hat somit einen einmaligen Satz von Teilenummern, Stücklisten und Arbeitsplänen zur Folge („*engineer to order*“). Bei der Walzenfertigung in dem betrachteten Unternehmen spielt der Fremdbezug eine wesentliche Rolle. Vor Produktionsstart beschafft der Einkauf die Rohmaterialien (z.B. Metall-, CFK-Rohre) von Lieferanten auf Basis der auftragspezifischen Geometrien. Im Produktionsverlauf

werden unterschiedliche externe verlängerte Werkbänke zum Teil mehrmals miteinander bezogen. Der Fremdbezug beschränkt sich auf spezielle Walzenbeschichtungen. Die kleine Auflagenhöhe (Definition s. Abschnitt 3.1.3) (im Durchschnitt 5 Walzen je Auftragsposition und 2 Auftragspositionen je Kundenauftrag) und die geringe Wiederholhäufigkeit gleicher oder ähnlicher Walzen kennzeichnen das Unternehmen als *Einzel- und Kleinserienfertiger*. Der Transport der Auftragspositionen durch die Produktion erfolgt *losweise*. Das hohe Gewicht und die Größe der Walzen erfordern teilweise den Einsatz von Deckenkränen zum Transport. Die Bereitstellung der Auftragspositionen erfolgt ohne Flächenkennzeichnungen oder sonstige Visualisierungen des aktuellen Arbeitsvorrats.

7.1.2 Ausgangssituation in der Werkstattsteuerung

Das Unternehmen war aufgrund des starken Wachstums nicht mehr in der Lage, den Kundenanforderungen vor allem bzgl. Liefertreue zu entsprechen. Der minimale PPS-Aufwand (eine verantwortliche Person für die Werkstattsteuerung, keine Arbeitsplanerstellung und -pflege, etc.) führte zu einer unbefriedigenden Logistikleistung. Hieraus leitete sich der Bedarf ab, den aktuellen logistischen Reifegrad zu überprüfen. Die Ist-Aufnahme in dem Unternehmen identifizierte einige Schwächen im Bereich der Werkstattsteuerung. Die Beschreibung der Ausgangssituation erfolgt im Folgenden anhand den Kriterien zur Beurteilung des logistischen Reifegrads einer Werkstattsteuerung (s. Bild 7.5).

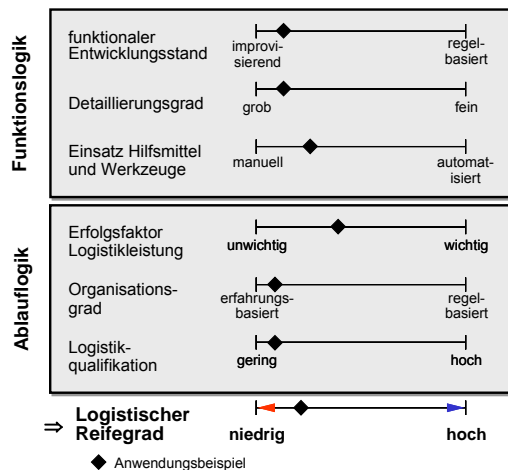


Bild 7.5: Ausgangssituation logistischer Reifegrad der Werkstattsteuerung

Die Beschreibung der Ausgangssituation erfolgt im Folgenden anhand den Kriterien zur Beurteilung des logistischen Reifegrads einer Werkstattsteuerung (s. Bild 7.5).

7.1.2.1 Funktionale Logik

Die funktionale Logik lässt sich durch die vier Werkstattsteuerungsfunktionen, den Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte und den Hilfsmitelesatz beschreiben (s. Abschnitt 3.4.4).

Auftragserzeugung: Die Lieferterminermittlung erfolgte mit Hilfe eines groben Meilensteinkatalogs. Der Meilensteinkatalog stellte bereichsspezifische Wiederbeschaffungszeiten (z.B. Konstruktion, Beschaffung, Produktion, verlängerte Werkbank) dar.

Die Wiederbeschaffungszeiten berücksichtigten jedoch nicht die aktuelle Auslastung der einzelnen Bereiche. Nach Abschluss der technischen Spezifikation und konstruktiven Anpassungen erfolgte die bedarfsorientierte Auftragserzeugung. Terminlich kritische Rohmaterialien bestellte der Einkauf zum Teil schon vor der Auftragserzeugung, auf Basis der technischen Spezifikation. Die Fertigungsaufträge gingen zusammen mit den notwendigen Auftragspapieren (technische Zeichnungen, Meilensteintermine, Qualitätsdokumentation) anschließend in den Verantwortungsbereich der Produktion über.

☞ *Meilensteinterminierung ohne Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen.*

Auftragsfreigabe: Die erzeugten Fertigungsaufträge wurden sofort nach Abschluss der technischen Spezifikation für die Produktion freigegeben. Bei der Auftragsfreigabe fand keine Überprüfung der Kapazitäts- oder Materialverfügbarkeit statt.

☞ *Sofortige Auftragsfreigabe ohne Überprüfung von Material- und Kapazitätsrestriktionen.*

Kapazitätssteuerung: Die Kapazitätsflexibilität der Mitarbeiter war eher gering. Es existierte kein flexibles Arbeitszeitmodell, das es ermöglichte, auf Bedarfsschwankungen zu reagieren. Die meisten Maschinen wurden ein oder zweischichtig betrieben, so dass die Kapazitätsflexibilität der Maschinen vorhanden war, aber aufgrund der fehlenden Personalflexibilität kaum genutzt wurde. Kapazitätsanpassungen erfolgten ereignisgetrieben ohne standardisierte Regelgrößen oder Abweichungsanalysen. Bei der Terminalsicherung dominierte die Auftragssicht. Die Koordination der vielen freigegebenen Arbeitsvorgänge in der Produktion überforderte den verantwortlichen Werkstattsteuerer, so dass er nicht die Einhaltung sämtlicher Zwischentermine prüfen konnte und sich deshalb ausschließlich auf den Endtermin konzentrierte.

☞ *Unsystematischer Einsatz geringer Kapazitätsflexibilität. Dominierende Auftragssicht erschwert Terminalsicherung.*

Reihenfolgebildung: Die Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge erfolgte lokal anhand der Rüstrestriktionen und der Auftragsendtermine. Die Auftragsendtermine waren gut sichtbar an den Auftragsmappen angebracht. Die Priorisierung nach Auftragsendtermin führte dazu, dass Aufträge mit vielen ausstehenden Arbeitsvorgängen unter Umständen niedriger priorisiert wurden als Aufträge mit wenigen offenen Arbeitsvorgängen. Reihenfolgevertauschungen waren aufgrund der fehlenden Transparenz über den anstehenden Arbeitsvorrat gängige Praxis. Jeder Arbeitsplatz optimierte sich aus der Arbeitsvorratsliste, die alle freigegebenen Aufträge anzeigte.

☞ *Reihenfolgebildung nach Auftragsendtermin und nicht vorhersehbarer lokaler Prioritäten mit großem Arbeitsvorrat.*

Detailierungsgrad Kapazitätseinheit: Die Planung betrachtete die Ressourcen der Produktion sehr grob. In der Durchlaufterminierung stellte die gesamte Produktion eine Kapazitätseinheit dar.

Detailierungsgrad Zeit- und Mengeninformationen: Liefertermine wurden in Kalenderwochen angegeben. Die Einhaltung der Anliefertermine zu verlängerten Werkbänken erforderte teilweise Tagetermine. Der Arbeitsinhalt eines Auftrags war weder in Stunden noch in Kapazitätsäquivalenten angegeben. Damit fehlten zukunftsbezogene Aussagen über die Auslastung der Produktion.

Einsatz von Hilfsmitteln und Werkzeugen: Die Auftragserzeugung erfolgte mit Hilfe eines ERP-Systems, das auf Basis der technischen Zeichnungen aus der Konstruktion die Stücklistenauflösung durchführte. Außerdem unterstützte es den Einkauf bei der Bestellabwicklung. Auftragsterminierung, Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung erfolgten vollständig manuell. Es existierten keine Arbeitspläne für eine differenzierte Termin- und Kapazitätsplanung. Rückmeldungen aus der Produktion umfassten lediglich den Fertigstellungstermin für die Erstellung der Versandpapiere. Bei ca. 5.000 Fertigungsaufträgen pro Jahr mit durchschnittlich 32 Tagen Durchlaufzeit, ca. 60 Einzelarbeitsplätzen mit 66 Mitarbeitern in der Produktion und 40.000 verschiedenen Produktvarianten stieß die rein manuelle Werkstattsteuerung an ihre Grenzen.

- ☞ *Das fehlende Datenfundament und keine automatisierte Aktualisierung des Auftragsfortschritts führten zu einer weitgehend manuellen Werkstattsteuerung.*

7.1.2.2 Ablauflogik

Der Reifegrad der Ablauflogik (s. Bild 7.5) lässt sich durch die Bedeutung der Logistikleistung im Unternehmen, den Organisationsgrad und das logistische Qualifikationsniveau der Mitarbeiter beschreiben:

Aktuelle Logistikleistung: Das Unternehmen hielt lediglich 44% der zugesagten Liefertermine (wochengenau) ein. Vor allem Aufträge mit komplexem Herstellungsprozess und vielen Arbeitsvorgängen hatten Terminverzug. Mit einer Produktionsdurchlaufzeit von durchschnittlich 32 Arbeitstagen traf man ebenfalls nicht die Kundenanforderungen von ca. 10-20 Arbeitstagen. Expertenschätzungen ergaben einen Flussgrad >30. Der Eindruck hoher Umlaufbestände bestätigte diese Abschätzung.

Erfolgsfaktor Logistikleistung: Die unbefriedigende Logistikleistung führte dazu, dass das Unternehmen einige Großkunden zu verlieren drohte. Damit hatte die Verbesserung der Logistikleistung für das Unternehmen eine sehr hohe Bedeutung.

- ☞ *Die fehlende terminliche Zuverlässigkeit bedrohte das Unternehmenswachstum und verschärfte die Forderung nach schnellen Verbesserungen.*

Organisationsgrad: Das Unternehmen stieß mit seiner erfahrungsbasierten Organisation der Abläufe an Grenzen (siehe aktuelle Logistikleistung). Die Werkstattsteuerung lag im Verantwortungsbereich des Produktionsleiters, der ohne Hilfsmittel die Aufträge an den Startarbeitsplätzen freigab, die Auftragsendtermine überwachte und das Kapazitätsangebot steuerte. Das starke Unternehmenswachstum und die vorhandene Komplexität (Anzahl Aufträge und Arbeitsplätze) erforderte den Wechsel zu einer industriellen Organisationsform, bei der Prozesse standardisiert ablaufen und weitgehend personenunabhängig funktionieren.

Logistikqualifikation: Die handelnden Personen zeichneten sich durch ein hohes technisches Know-how über die Produktionsprozesse aus. Von den Mitarbeitern wurde erwartet, auf Basis einer technischen Zeichnung Produktionsprozesse richtig auszuführen. Allerdings waren den Handelnden die grundlegenden Zusammenhänge der Produktionslogistik unklar. Die Zielsetzungen widersprachen sich zum Teil.

- ☞ *Die erfahrungsbasierte Organisation und fehlende Logistikqualifikation verhindern regelbasierte Logistikprozesse mit klaren Verantwortlichkeiten und abgestimmten logistischen Zielprioritäten.*

7.2 Reifegradbasierte Konfiguration der Werkstattsteuerung

Die Reifegradbasierte Werkstattsteuerung sollte dazu beitragen, die Logistikleistung schnell zu steigern. Hierzu war es notwendig, unabhängig vom Werkstattsteuerungsverfahren einige Maßnahmen mit unterschiedlichem Zeithorizont einzuleiten. Folgende Maßnahmen konnten kurzfristig umgesetzt werden:

- Investitionen in Engpassressourcen: Einige Arbeitsplätze waren seit längerem langfristig überlastet, so dass lediglich Maschineninvestitionen und Personaleinstellungen diese Engpasssituation entschärfen konnten.
- Erhöhung der Kapazitätsflexibilität:
 - Einführung eines flexiblen Arbeitszeitmodells mit der Möglichkeit, kurzfristig Samstagarbeit und Überstunden anzuordnen.
 - Einführung einer Nachtschicht mit mehreren Mitarbeitern, die flexibel nach Bedarf an verschiedenen Kapazitätseinheiten eingesetzt werden können.

Außerdem erkannte das Unternehmen, dass der Aufbau einer Zeitwirtschaft in Verbindung mit einem Softwarewerkzeug zur Planung mit Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen notwendig ist, um realistische Liefertermine abgeben zu können. Die Umsetzung dieser Maßnahme war jedoch kurzfristig nicht möglich, so dass die reifegradbasierte Werkstattsteuerung in der Gesamtkonfiguration 1 (s. Abschnitt 7.2.1) ohne Arbeitspläne und zusätzliche Softwareunterstützung eingeführt wurde, bevor in der Gesamtkonfiguration 2 (s. Abschnitt 7.2.2) Arbeitspläne und Software für eine differenziertere Werkstattsteuerung zur Verfügung standen.

7.2.1 Gesamtkonfiguration 1

Die Gesamtkonfiguration besteht aus der Grundkonfiguration und der Auslegung der Gestaltungs- und Betriebsaufgaben (s. Bild 7.6).

		Aufgaben	Reifegrad		
			niedrig ←		→ hoch
Gestaltung	Festlegung Taktbreiten	Einheitstakt für alle KEs	Abschätzung ZAU _m je KE	Analyse von Repräsentanten	quantitative Logistikanalysen
	Festlegung Kapazitätsparameter	vorhandene Kapazitätsstufen	qual. Analyse Turbulenz	quan. Analyse Turbulenz	
Betrieb	Auftragszerzeugung	RT mit artikel-spez. WBZ	RT mit Takten	RT gegen begrenzte Kapa.	
	Reihenfolgebildung	ohne	lokal Rüstz.opt.	zentral Rüstz.opt. und Schlupf	
	Auftragsfreigabe	terminorientiert	bestandsregelnd grob	bestandsregelnd fein	
	Materialbereitst. und MV	vergrößert mit Repräsentant	undifferenziert alle Materialien	örtlich und zeitlich differenziert	
	voraus-schauende KS	keine	manuell	automatisiert	
	gegenwarts-bezogene KS	manuell einmalig	manuell ereignisorientiert	automatisiert ereignisorientiert	automatisiert kontinuierlich

Gesamtkonfiguration 1 der RWS

Kernaufgaben, korrespondierende Aufgaben

KE = Kapazitätseinheit, RT = Rückwärtsterminierung, WBZ = Wiederbeschaffungszeit, Rüstz.opt. = Rüstzeit optimiert, LT = Liefertermin, KS = Kapazitätssteuerung, MV = Materialverfügbarkeitsprüfung, ZAU_m = mittlere Auftragszeit

Bild 7.6: Gesamtkonfiguration 1 der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

Zur Grundkonfiguration gehört die Festlegung der Kapazitätseinheiten. Zu den Gestaltungsaufgaben gehören die Festlegung der Verfahrensparameter Taktbreite und Kapazitätsgrenzen. Die qualitative Analyse des Turbulenzprofils bestätigte die Notwendigkeit zusätzlicher Kapazitätsflexibilität (s. Bild 7.7). Auf der Planungsseite sorgen die hohe Bewertung der konjunkturellen Bedarfs- und Auftragsmixschwankungen bei gleichzeitig enger Marktkopplung dafür, dass das Unternehmen die Atmungsmöglichkeiten in der auftragspezifischen Konstruktion und der Produktion erhöhen musste. Die heterogenen Wiederbeschaffungszeiten resultierten aus einem begrenzten Angebot an CFK-Rohmateriallieferanten, die vom Einkauf eine differenziertere Berücksichtigung begrenzter Kapazitäten über variable Wiederbeschaffungszeiten erforderte. Diese Maßnahme führte dazu, die Auswirkungen des Turbulenzkeims unzuverlässige Lieferanten/ Fehlteile, auf der Steuerungsseite deutlich zu reduzieren. Das Turbulenzprofil zeigte auf der Steuerungsseite ebenfalls den Bedarf, kurzfristig mit Kapazitätsanpassungen auf den Turbulenzkeim ungeplante Mehrarbeit/ Ausschuss zu reagieren. Technologische Probleme (z.B. unsichere Beschichtungsprozesse) und Qualitätsabweichungen bei den Vormateriallieferanten sorgten dafür, dass kurzfristig Mehrarbeit anfiel. Die ergriffenen Maßnahmen zur Erhöhung der mittel- und kurzfristigen Kapazitätsflexibilität richteten sich deshalb an den subjektiv bewerteten Turbulenzkeimen aus.

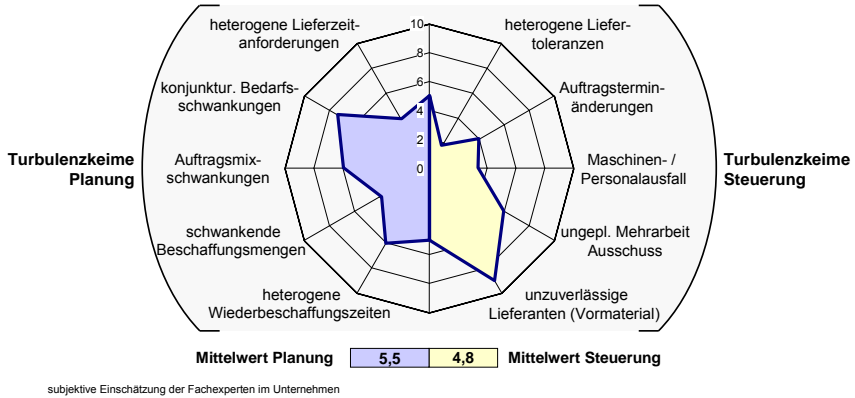


Bild 7.7: Turbulenzprofil Praxisbeispiel (nach H.-H. Wiendahl)

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die unternehmensspezifische Vorgehensweise bei der Grundkonfiguration, der Festlegung der Verfahrensparameter und der Konfiguration der Werkstattsteuerungsfunktionen:

Festlegung der Kapazitätseinheiten:

Die Kapazitätseinheiten wurden aus Ressourcensicht gebildet. Betriebsmittel mit ähnlichen Funktionen wurden dabei zu Kapazitätseinheiten zusammengefasst (s. Abschnitt 6.5.1 Bild 6.25). Hieraus resultierten 26 Kapazitätseinheiten, die in der Werkstattsteuerung zu betrachten sind. Die Meister verantworteten die Kapazitätssteuerung an den Kapazitätseinheiten. Der Einkauf, die Konstruktion und die Arbeitsvorbereitung bildeten jeweils eine Kapazitätseinheit, um auch die kundenauftragsgetriebenen indirekten Tätigkeiten zu erfassen. Dies ermöglichte eine vollständige Abbildung des Auftragsdurchlaufs für die Planung und Steuerung, von der Auftragserfassung bis zum Versand.

Festlegung der Taktbreiten:

Die Festlegung der Taktbreiten wurde mit Hilfe der Analyse von Repräsentanten durchgeführt. Die Abschätzung der mittleren Auftragszeit je Kapazitätseinheit fiel den Mitarbeitern relativ schwer, da bisher keine Datenaufnahmen existierten und sich das Produktspektrum in den letzten Jahren stark veränderte. Das fehlende BDE-System und der hohe Aufwand für eine manuelle Datenaufnahme verhinderten die quantitative Logistikanalyse zur Taktbreitenbestimmung. Die in Abschnitt 6.5.2.2 erläuterte und in Bild 6.30 dargestellte Vorgehensweise wurde anhand von 19 Produktfamilien mit je 2 repräsentativen Arbeitsplänen im Unternehmen durchgeführt. Die Arbeitspläne mussten zuerst für die 38 Repräsentanten in der Produktion erhoben und abgeschätzt werden (Aufwand: ca. 2 Mannwochen). Die Arbeitspläne bildeten die Grund-

lage für den angestrebten Aufbau einer Zeitwirtschaft. In einem Wochenraster standen folgende Taktbreiten zur Auswahl: 1 Woche, 3 Arbeitstage, 2 Arbeitstage und 1 Arbeitstag. Die Analyse ergab für 25 Kapazitätseinheiten eine Taktbreite von 2 Arbeitstagen und für eine CNC-Schleifmaschine mit großen Auftragszeiten eine Taktbreite von 1 Woche. Die daraus resultierenden Plandurchlaufzeiten je Produktfamilie unterschritten die aktuellen Produktionsdurchlaufzeiten um ca. 30-50%.

Korrespondierende Funktion der Auftragserzeugung:

Die Auftragserzeugung erfolgte nach wie vor in dem überlagerten ERP-System. Die im ERP-System hinterlegten, auftragsspezifischen Wiederbeschaffungszeiten wurden an die zuvor festgelegten Taktbreiten angepasst. Dadurch erhöhte sich die Qualität der resultierenden Auftragsstarttermine. Eine manuelle Kapazitätsbedarfsrechnung auf Euro-Basis ergänzte die Durchlaufterminierung. Der Verkaufswert eines Auftrags stellte dabei den Kapazitätsbedarf dar. Der für eine Lieferwoche aufsummierte Kapazitätsbedarf in Euro gab einen groben Hinweis auf Überlastsituationen für die gesamte Produktion und zeigte als Frühindikator Handlungsbedarf für den Einsatz der Kapazitätsflexibilität auf.

Auftragsfreigabe:

Die Aufträge wurden zum auf Basis der Taktbreiten berechneten Starttermin freigegeben. Bei Auftragsfreigabe wurden die Aufträge manuell in die Auftragslisten ausgewählter Kapazitätseinheiten eingetragen. Dadurch bildeten sich für jeden Takt an den einzelnen Kapazitätseinheiten Arbeitspakete.

Physische Materialverfügbarkeitsprüfung:

Die Überprüfung der physischen Materialverfügbarkeit erfolgte für das durchlaufzeitkritische Material an der ersten Kapazitätseinheit. Der Repräsentant für die Überprüfung der Materialverfügbarkeit stellte in dem Unternehmen das Metall- oder CFK-Rohr dar. Nur wenn dieser Repräsentant physisch verfügbar war, buchte man den Auftrag in die Auftragslisten ein.

Gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung:

Die zusätzliche Nachschicht und die Umsetzung des flexiblen Arbeitszeitmodells erhöhten die Taktkapazitätsflexibilität deutlich. Bild 7.8 zeigt für eine Kapazitätseinheit mit 2 Arbeitsplätzen beispielhaft die zur Verfügung stehende Taktkapazitätsflexibilität. Jeder Kalenderwoche standen in der Regel drei 2-Tages-Takte zur Verfügung. Die betrachtete Kapazitätseinheit (CNC-Drehen Bauteile) arbeitete mit vier Mitarbeitern und zwei Arbeitsplätzen im 2-Schicht Betrieb von Montag bis Freitag. Hieraus ergab sich ein Kapazitätsangebot in Personalstunden (bei einem Nutzungsgrad von 90% und 7 Stunden / Schicht) von 50,4 Stunden in den Takten Mo-Di und Mi-Do und 25,2 Stunden im Takt Fr-Sa.

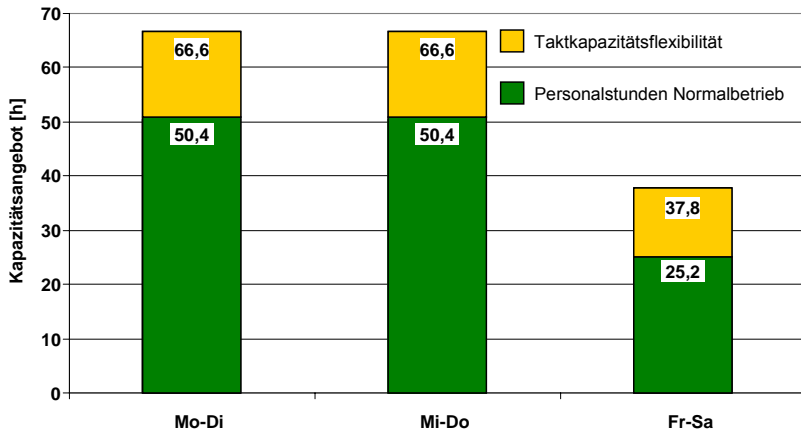


Bild 7.8: Taktkapazitätsflexibilität in Personalstunden an einer ausgewählten Kapazitätseinheit

Die Taktkapazitätsflexibilität betrug in den Takten Mo-Di und Mi-Do 32% und im Takt Fr-Sa 50% des Kapazitätsangebots im Normalbetrieb. Die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung stellte ein hohes Potenzial bereit, die Arbeitspakete im Takt abzuarbeiten. Die Visualisierung des Abarbeitungsgrads erfolgte mit Hilfe der in Abschnitt 6.4.4 erläuterten und in Bild 6.22 dargestellten Bereitstellungslogik an jeder Kapazitätseinheit. Damit konnte die Taktkapazitätsflexibilität zielgerichtet auch ohne Softwareinsatz genutzt werden, um Abarbeitungsrückstand zu vermeiden.

Ergebnisse aus der Anwendung Gesamtkonfiguration 1

Die Bewertung der Ergebnisse aus der Anwendung der reifegradbasierten Werkstattsteuerung in der Gesamtkonfiguration 1 erfolgte aufgrund fehlender Bewegungsdaten vor allem qualitativ. Der *Umlaufbestand* reduzierte sich spürbar. Die Fachexperten (Produktionsleiter, Meister) bestätigten die höhere Transparenz durch weniger Umlaufbestände in der Produktion. Vor allem die getaktete Auftragsfreigabe sorgte für eine zeitliche Glättung des Auftragseingangs. Die niedrigeren Umlaufbestände führten zu einer im Mittel um 30% reduzierten Produktionsdurchlaufzeit. Die interne Termintreue zwischen den Kapazitätseinheiten wurde nicht gemessen, dennoch zeigte sich durch den schnell zurückgehenden Rückstand²³ eine deutliche Verbesserung. Bild 7.9 zeigt den Verlauf der Rückstandsreichweite und Produktivität²⁴. Die dargestellte Rückstandsreichweite gilt für die gesamte Produktion.

²³ Der Rückstand wurde aufgrund der fehlenden Auftragszeiten in € gemessen. Dabei wurden jede Woche die zur Auslieferung anstehenden Aufträge [€] und die offenen Aufträge [€] aufsummiert und mit dem in der Woche ausgelieferten Auftragsvolumen verglichen. Zur Berechnung der Rückstandsreichweite wurde die Leistung der Produktion ebenfalls in € gemessen.

²⁴ Produktivität berechnet sich aus dem Rohertrag [€] eines Monats dividiert durch die Nettostunden der Mitarbeiter in dem Monat (= Normal- + Überstunden).

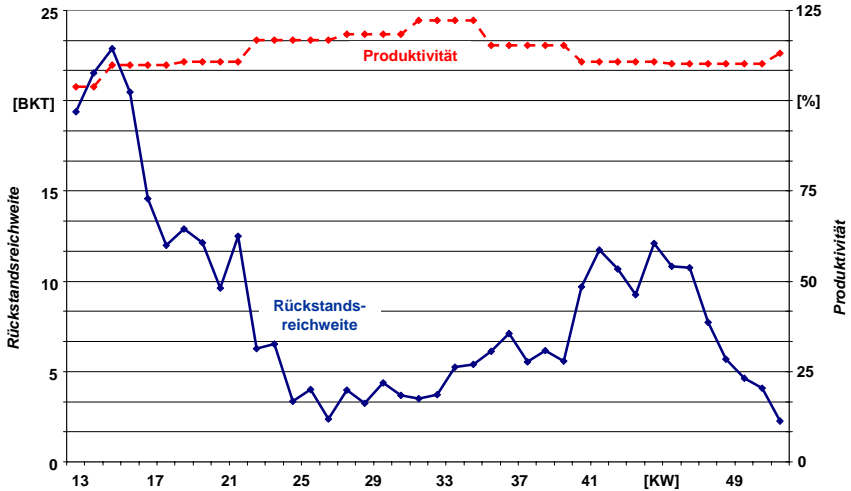


Bild 7.9: Entwicklung der Rückstandsreichweite und Produktivität nach Einführung von Gesamtkonfiguration 1

Der Rückstand nahm vor allem durch die Erhöhung der Kapazitätsflexibilität schnell ab. Der Anstieg der Rückstandsreichweite ab KW40 resultierte aus einer stark ansteigenden Nachfrage in Verbindung mit einer fehlenden Kapazitätsprüfung bei Lieferterminabgabe.

7.2.2 Gesamtkonfiguration 2

Während der Einführung und des Betriebs der Gesamtkonfiguration 1 baute das Unternehmen parallel eine Zeitwirtschaft auf, um eine differenziertere Kapazitätsplanung und -steuerung realisieren zu können. Die Einführung eines Feinplanungssystems sollte die reifegradbasierte Werkstattsteuerung im Bereich der Planung, automatisierten Rückmeldung und Überwachung der Takteinhaltung unterstützen. Die Kapazitätseinheiten mit den Taktbreiten und der Taktkapazitätsflexibilität übernahm man aus der Gesamtkonfiguration 1. Die Betriebsaufgaben stellte das Unternehmen mit dem verbesserten Planungsinput und höheren Automatisierungsgrad auf einen höheren logistischen Reifegrad (s. Bild 7.10). Die hohe Produktvarianz mit stark unterschiedlichem Kapazitätsbedarf an den einzelnen Kapazitätseinheiten erforderte eine differenziertere Kapazitätsplanung in Stunden anstatt in Kapazitätsäquivalenten.

Aufgaben		Reifegrad			
		niedrig ←			→ hoch
Gestaltung	Festlegung Taktbreiten	Einheitstakt für alle KEs	Abschätzung ZAU _m je KE	Analyse von Repräsentanten	quantitative Logistikanalysen
	Festlegung Kapazitätsparameter	vorhandene Kapazitätsstufen	qual. Analyse Turbulenz	quan. Analyse Turbulenz	
Betrieb	Auftragserzeugung	RT mit artikel-spez. WBZ	RT mit Takten	RT gegen begrenzte Kapa.	
	Reihenfolgebildung	ohne	lokal Rüstz.opt.	zentral Rüstz.opt. und Schlupf	
	Auftragsfreigabe	terminorientiert	bestandsregelnd grob	bestandsregelnd fein	
	Materialbereitst. und MV	vergrößert mit Repräsentant	undifferenziert alle Materialien	örtlich und zeitlich differenziert	
	voraus-schauende KS	keine	manuell	automatisiert	
	gegenwarts-bezogene KS	manuell einmalig	manuell ereignisorientiert	automatisiert ereignisorientiert	automatisiert kontinuierlich

☐ Gesamtkonfiguration 1 der RWS

■ Gesamtkonfiguration 2 der RWS

Kernaufgaben, korrespondierende Aufgaben

KE = Kapazitätseinheit, RT = Rückwärtsterminierung, WBZ = Wiederbeschaffungszeit, Rüstz.opt. = Rüstzeit optimiert, LT = Liefertermin, KS = Kapazitätssteuerung, MV = Materialverfügbarkeitsprüfung, ZAU_m = mittlere Auftragszeit

Bild 7.10: Gesamtkonfiguration 1 und 2 der reifegradbasierten Werkstattsteuerung

Der einmalige Aufwand für das Ermitteln der Vorgabezeiten und der kontinuierliche Pflegeaufwand für das wechselnde Produktspektrum sollten möglichst gering ausfallen. Deshalb investierte das Unternehmen in einen sogenannten Produktkonfigurator, der auf Basis eingegebener Produktmerkmale Stücklisten und Arbeitspläne automatisch generiert. Aufbau, Test und Inbetriebnahme des Produktkonfigurators dauerten ca. 1 Jahr (19 Produktfamilien mit ~40.000 Produktvarianten). Ein Mitarbeiter passt heute die hinterlegten Berechnungsformeln im Regelwerk des Produktkonfigurators an, was dem erwarteten Aufwand entspricht.

Korrespondierende Funktion der Auftragserzeugung:

Das neue Feinplanungssystem beeinflusst vor allem die Auftragserzeugung. Bereits im Anfragestadium können dem Kunden automatisiert kapazitätsgeprüfte Liefertermine mitgeteilt werden. Hierzu wählt der Produktkonfigurator auf Basis weniger Produktparameter repräsentative Arbeitspläne aus, und das Feinplanungssystem plant diese probeweise ein. Dadurch stieg die Qualität der zugesagten Liefertermine deutlich an. Nach Abschluss der technischen Klärung wurden produktspezifische Arbeitspläne mit Vorgabezeiten erzeugt, die über eine Schnittstelle aus dem Produktkonfigurator an das Feinplanungssystem zur Termin- und Kapazitätsplanung übergeben werden. Das Feinplanungssystem terminiert den Auftrag unter Berücksichtigung der eingestellten Kapazitätsgrenzen ausgehend vom Liefertermin rückwärts (s. Bild 7.11 a). Als Ergebnis erhält man zum vorgegebenen Liefertermin den spätesten Auftragsstarttermin. Ein Auftragsstarttermin in der Vergangenheit löst eine Vor-

wärtsterminierung aus. Als Ergebnis erhält man dann zum Auftragsstarttermin heute den frühesten Liefertermin (s. Bild 7.11 b).

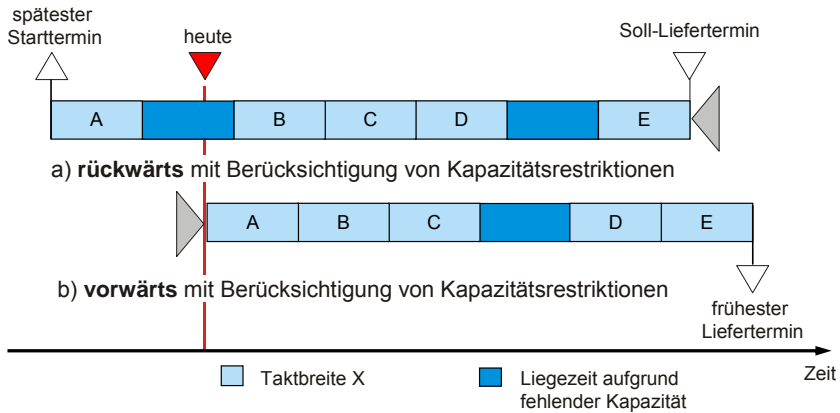


Bild 7.11: Terminierungsarten des Feinplanungswerkzeuges

Die erhöhte Qualität der abgegebenen Liefertermine sorgte für eine deutlich gleichmäßigere Auslastung der Kapazitäten, sowohl in der Produktion als auch in der Konstruktion und im Einkauf.

Auftragsfreigabe:

Die Auftragsfreigabe beinhaltet eine differenzierte Materialverfügbarkeitsprüfung und vorausschauende Kapazitätssteuerung.

- **Materialverfügbarkeitsprüfung:** Aufträge wurden an ihrem ersten Arbeitsvorgang nach Rückmeldung der physischen Materialverfügbarkeit freigegeben. Plan-Zugangstermine von Materialien, die bei einem der nachfolgenden Arbeitsfolgen benötigt wurden, konnten durch den im Feinplanungssystem eingebundenen Einkauf ebenfalls berücksichtigt werden. Der Einkauf dämpfte durch die Pflege der aktuellen Materialzugangstermine die Auswirkungen des Turbulenzkeims Fehlteile (s. Bild 7.7).
- **vorausschauende Kapazitätssteuerung:** Die in Bild 7.8 dargestellten Kapazitätsgrenzen wurden für jede Kapazitätseinheit in dem Feinplanungssystem entsprechend abgebildet. Normalbetrieb und Flexibilitätskorridor berechneten sich in Abhängigkeit von der Anzahl Betriebsmittel, der Anzahl Personen und vom Schichtmodell an den Kapazitätseinheiten. Der Flexibilitätskorridor sollte dazu dienen, eine möglichst geringe Auftragsdehnung zu realisieren. Nach Einführung der Zeitwirtschaft hatte das Unternehmen zunächst mit hohen Vorgabezeitabweichungen zu kämpfen, da die im Produktkonfigurator hinterlegten Formeln z.T. auf groben Schätzungen basierten. Das Feinplanungssystem mit in-

tegrierter Auftragsrückmeldung und entsprechenden Kontrollauswertungen half dabei die Qualität der Vorgabezeiten schrittweise zu verbessern.

Gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung:

Das Feinplanungswerkzeug ermöglichte es den Meistern und Mitarbeitern, die Arbeitspakete für den jeweiligen Takt in der Software zu visualisieren. Der Abarbeitungsgrad während des Taktes berechnete sich softwaregestützt mit jeder Auftragsrückmeldung neu. Die damit verbundene Transparenz half dabei die Taktkapazitätsflexibilität gezielt einzusetzen. Abarbeitungsrückstand führte dazu, dass am Taktende Überstunden anfielen oder die flexible Nachtschicht für die Einhaltung der Taktgrenzen sorgte. Dadurch erhöhte sich die Termintreue deutlich, und zwar sowohl zum Taktende als auch die des gesamten Auftrags.

Korrespondierende Funktion der Reihenfolgebildung:

Die Berücksichtigung von Rüstzeitrestriktionen beschränkte sich zeitlich auf einen Takt und erfolgte lokal an der Kapazitätseinheit nach dem Zugang des Arbeitspaketes. Die durchschnittliche Taktbreite von 2 Arbeitstagen gab den Mitarbeitern ausreichend Freiheitsgrade, um die Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge unter dem Gesichtspunkt der Rüstzeitminimierung festzulegen. Die klar definierten Taktgrenzen sorgten dafür, dass die Termineinhaltung oberste Priorität besaß und dadurch definierte Grenzen zur Rüstzeitoptimierung darstellten.

Ergebnisse aus der Anwendung der Gesamtkonfiguration 2

Mit der Anwendung der RWS verfolgte das Unternehmen vorrangig das Ziel, die Kundenauftragstermine besser einhalten zu können und damit als zuverlässiger Lieferant neues Umsatzpotenzial zu generieren. Der Aufwand für den Betrieb und die kontinuierliche Parametrierung der RWS sollte mit der vorhandenen Personalstärke aufgefangen werden. Personalaufbau in den arbeitsvorbereitenden Tätigkeiten war zu vermeiden. 1,5 Jahre nach Einführung der RWS und der Hilfsmittel im Bereich Produkt-

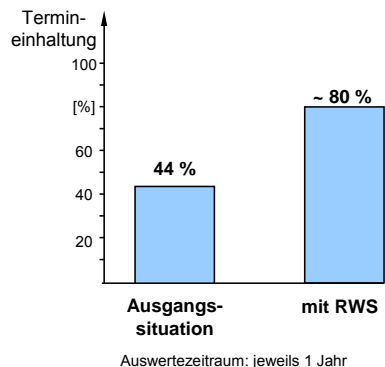


Bild 7.12: Entwicklung der Termineinhaltung

konfiguration und Feinplanung konnte ein gezogen werden. Die Termineinhaltung der Lieferwochen für die Kundenauftragspositionen stieg von 44% auf ~ 80% (s. Bild 7.12). Das Unternehmen realisierte die Verbesserungen bei einem hohen (~ 30 - 50%) jährlichen Umsatzwachstum. In der Arbeitsvorbereitung und Werkstattsteue-

rung verursachten die Veränderungen keinen zusätzlichen Personalbedarf. Insbesondere der Wegfall von zahlreichen Terminbesprechungen zwischen den Abteilungen und die Transparenz über Handlungsbedarfe erhöhten die Effizienz in der Auftragsabwicklung.

7.2.3 Diskussion der Anwendungserfahrungen

Die Praxisanwendung bestätigt die Eignung der RWS:

Die unterschiedlichen Reifegradstufen der Werkstattsteuerungsfunktionen ermöglicht eine *schrittweise Einführung und Verbesserung der Logistikleistung*. Die Reifegradstufen passen sich den Unternehmensvoraussetzungen an und setzen für die Implementierung keine größeren Vorleistungen (z.B. Ausbau des Datenfundaments) voraus. Dadurch ermöglicht es die RWS *schnelle Verbesserungen zu erzielen*.

Das Praxisbeispiel mit komplexen Materialflüssen und vielen unterschiedlichen Aufträgen mit einem hohen Kundenbezug validiert die Einsatzfähigkeit der RWS in *funktionsorientierten Strukturen*.

Das Taktprinzip *vereinfacht die Auftragszerzeugung* durch die Planung von wenigen ressourcenspezifischen Taktgrenzen anstatt vieler auftragsspezifischer Zwischentermine. Die regelmäßige Freigabe kapazitäts- und materialgeprüfter Arbeitspakete ermöglicht es den Umlaufbestand und damit die Durchlaufzeit an den Kapazitätseinheiten zu kontrollieren.

Der Verfahrensparameter *Taktbreite je Kapazitätseinheit* stellt die zentrale Größe zur Festlegung der Höhe des *Umlaufbestands* und der *Plandurchlaufzeiten* dar. Darüber hinaus steuert sie die *Freigabefrequenz von Arbeitspaketen* und den *Rhythmus der regelmäßigen Überprüfung der Produktionsziele*. Nur wenn am Taktende alle Aufträge des Arbeitspakets bei den jeweils nachfolgenden Kapazitätseinheiten sind, produziert die Kapazitätseinheit im Takt. Dieses Produktionsziel überlagert beim Taktprinzip alle anderen Zielgrößen und verbessert dadurch *die interne Termintreue zwischen den Kapazitätseinheiten*. Im Praxiseinsatz zeigte sich, dass das Taktprinzip von den Beteiligten einfach zu verstehen ist, die organisatorische Durchsetzung jedoch einige Zeit benötigt. Vor allem die regelmäßige Überprüfung der Takteinhaltung und der Arbeitsleistung, stellt für Organisationen eine große Veränderung dar. Viele Organisationen sind daran gewöhnt vergangenheitsbasiert in der Regel monatlich logistische Kennzahlen zu monitoren und daraus Handlungsbedarfe abzuleiten. Die RWS setzt darauf, an jeder Kapazitätseinheit nach jedem Takt die Produktionsziele zu überwachen und angemessen zu reagieren. Dadurch ist der Zusammenhang zwischen der gemessenen Kennzahl und dem eigenen Handeln für die Mitarbeiter besser nachzuvollziehen. Der Erfolg des Taktprinzips hängt deshalb im Wesentlichen von der *organisatorischen Durchsetzung* und einer *einheitlichen Zielausrichtung* ab.

Hierfür sind ausreichende Schulungsmaßnahmen bei der Einführung der RWS vorzusehen.

Mit Hilfe der Regelgröße Auftragsdehnung existiert die Möglichkeit, bei der Auftragsfreigabe durch den vorausschauenden Einsatz der Kapazitätsflexibilität blockierte Bestände zu vermeiden und das Produzieren im Takt zu ermöglichen. Der Einsatz flexibler Kapazitäten, um *gedehnte Aufträge* und daraus resultierende Steuerungskomplexität zu vermeiden, erfordert vor allem dann ein *Umdenken* aller Beteiligten, wenn zuvor eine gleichmäßige Auslastung angestrebt wurde. Nach der Freigabe der Arbeitspakete regelt die gegenwartsbezogene Kapazitätssteuerung das Kapazitätsangebot jeder Kapazitätseinheit anhand des Abarbeitungsrückstands. Die Anwendung verdeutlichte, dass die Kapazitätssteuerung maßgeblich das Einhalten der Taktgrenzen beeinflusst und deshalb eine ausreichende Taktkapazitätsflexibilität notwendig ist. Ansonsten fehlt die Flexibilität, um die Taktgrenzen trotz Störungen einzuhalten, und es entsteht ein erhöhter dispositiver Aufwand durch das Umplanen rückständiger Aufträge.

Dem durch die Taktgrenzen eingeschränkten Freiheitsgrad in der Reihenfolgebildung standen vor allem die Meister des Unternehmens anfangs skeptisch gegenüber, da sie einen deutlich erhöhten Rüstaufwand befürchteten. Nach der Einführung stellte sich jedoch heraus, dass vor allem durch die zuverlässigere Anlieferung eine bessere Vorbereitung der Rüsttätigkeiten möglich wurde. Außerdem reduzierte sich die Anzahl der Eilaufträge spürbar, so dass die dadurch gewonnene Planstabilität ebenfalls zur Verbesserung der Produktivität beitrug.

Fazit: Die RWS ermöglicht in funktionsorientierten Produktionsstrukturen, im Vergleich zu einem für kleine und mittlere Unternehmen (kurz: kmU) typischen Ausgangssituation, erhebliche Verbesserungen. Die RWS unterstützt kmU beim Übergang von einer erfahrungs- zu einer regelbasierten Logistikorganisation. Die einfachen Verfahrensabläufe und die schrittweise Einführung der RWS eignen sich vor allem für kmU mit wenig Personal im Bereich der PPS.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Globalisierte Märkte und zunehmender Wettbewerb aus sogenannten Billiglohnländern stellen die Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen am Standort Deutschland auf den Prüfstand. Eine Differenzierung über Qualität- und technologische Innovationen fällt dabei immer schwerer. Erfolgreiche Produktionsunternehmen haben deshalb erkannt, dass exzellente Logistikleistungen ein nur schwer kopierbares Differenzierungsmerkmal darstellen. Sie schaffen es, kundenspezifische Produkte in kürzester Zeit zuverlässig zu liefern und bieten dem Kunden damit Leistungen, die im Wettbewerb ein wichtiges Entscheidungskriterium darstellen. Um diese Fähigkeiten in komplexen Produktionsstrukturen zu entwickeln, stellen Unternehmen ihre bestehende Produktionslogistik in Frage und suchen nach Verfahren, die diese nachhaltig verbessern. Werkstattsteuerungsverfahren nehmen unmittelbaren Einfluss auf die logistische Leistungsfähigkeit und sind deshalb Hauptangriffspunkt für Verbesserungen in der Produktionslogistik. Die Einführung und der Betrieb moderner Werkstattsteuerungsverfahren und -systeme mit immer umfangreicheren Funktionen sind vor allem bei kmUs problematisch. Viele kmUs erfüllen nicht die Anwendungsvoraussetzungen: Fehlende oder unvollständige Stamm- und Bewegungsdaten, mangelhafter Einsatz von Hilfsmitteln und eine unzureichende Logistikqualifikation der Mitarbeiter verhindern oder verzögern die Einführung, und damit den Nutzen einer hohen Logistikleistung durch den Einsatz moderner Werkstattsteuerungsverfahren.

In dieser Arbeit wurde deshalb ein Werkstattsteuerungsverfahren entwickelt, das eine auf die Unternehmensvoraussetzungen angepasste Einführung ermöglicht und sich dann schrittweise über mehrere Reifegradstufen weiterentwickeln lässt. Die reifegradbasierte Werkstattsteuerung für funktionsorientierte Strukturen beinhaltet dafür die Aspekte: getakteter Auftragsfluss, bedarfsgesteuerte Produktion, Verbesserung in kleinen Schritten, sowie einfache Adaptierbarkeit:

Getakteter Auftragsfluss: Das logistische Leitbild des *gleichmäßigen Auftragsstroms* setzt wesentliche Leitlinien einer *schlanken Produktion* um und harmonisiert mit dem *mittelwertbasierten MRP-Ansatz*. In funktionsorientierten Strukturen erfordert die Umsetzung dieser Prinzipien eine *Werkstattsteuerung aus Ressourcensicht*. Anstatt viele Arbeitsvorgänge durch die Produktion zu steuern, konzentriert sich die RWS auf die Regelung weniger Kapazitätseinheiten. Als ressourcenspezifische Regelgrößen dienen der RWS Umlaufbestand und Rückstand. Die RWS überträgt die Vorteile getakteter Produktlinien auf funktionsorientierte Strukturen, indem sogenannte Ressourcentakte die Frequenz der Auftragsfreigabe festlegen und den gleichmäßigen Produktionsfluss von definierten Arbeitspaketen steuern. Die Auftragsfreigabe legt

die Größe der Arbeitspakete für die Kapazitätseinheiten fest, und die Kapazitätssteuerung regelt die Takteinhaltung mit flexiblen Kapazitäten. Die Taktbreite je Kapazitätseinheit steuert den Umlaufbestand und bestimmt die Frequenz der Produktionszielüberwachung. Die Produktionsziele konzentrieren sich auf die Takteinhaltung, damit sich die interne Termintreue einer Produktion erhöht und damit die Zuverlässigkeit steigt.

Bedarfsgesteuerte Produktion: Die Werkstattsteuerungsfunktion *Kapazitätssteuerung* beeinflusst alle logistischen Zielgrößen einer Produktion und ist deshalb ein Funktionsschwerpunkt der RWS. Voraussetzung für eine leistungsfähige Kapazitätssteuerung sind Kapazitätseinheiten, die mit geringer Vorlaufzeit Ihr Kapazitätsangebot deutlich verändern können. Unternehmen erkannten die hieraus resultierenden Potenziale und erhöhten in den letzten Jahren Ihre Kapazitätsflexibilität z.T. deutlich. Die RWS unterstützt den systematischen Einsatz der Kapazitätsflexibilität, um einerseits vorausschauend bei Auftragsfreigabe blockierte Bestände durch gedehnte Aufträge zu vermeiden und andererseits gegenwartsbezogen die Takteinhaltung sicherzustellen. Die Kapazitätssteuerung ermöglicht dadurch das Taktprinzip der RWS.

Verbesserung in kleinen Schritten: Die Vorteile einer schrittweisen Einführung zeigt Bild 8.1. Bei der klassischen „Big Bang“-Einführung (Bild 8.1 a) steht vor allem zu Beginn der Einführung ein hoher Aufwand keinem Nutzen entgegen. Dadurch besteht die Gefahr übertriebener Erwartungen an Nutzen und Umsetzungsgeschwindigkeit. Dieser Druck und die abrupten Veränderungen belasten die Organisation und bergen ein hohes Abbruchrisiko. Die schrittweise Einführung (Bild 8.1 b) zielt deshalb darauf ab, Nutzen und Veränderungen schrittweise und dadurch nachhaltiger zu realisieren. Voraussetzung hierfür sind Verfahren, die sich an die funktionalen und organisatorischen Rahmenbedingungen eines Unternehmens anpassen lassen.

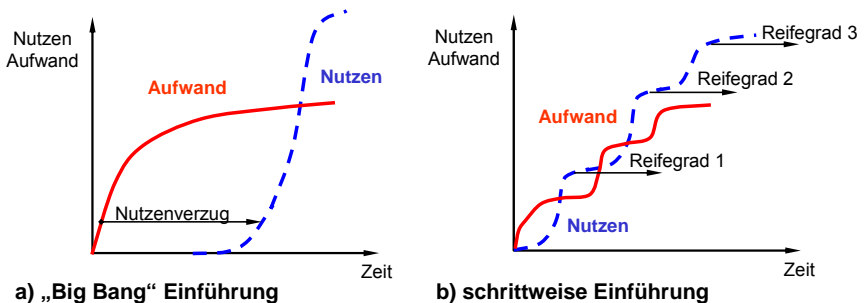


Bild 8.1: Aufwand- Nutzenverlauf bei der „Big Bang“ versus schrittweisen Einführung von Werkstattsteuerungsverfahren

Einfache Adaptierbarkeit: Die Werkstattsteuerungsfunktionen der RWS lassen sich in unterschiedlichen Reifegradstufen betreiben. Die Reifegrade stellen dabei Entwicklungsstufen dar, die sich aus funktionaler Sicht durch den Detaillierungsgrad der Werkstattsteuerungsobjekte und Zeit- und Mengeninformationen und die eingesetzten Hilfsmittel und Werkzeuge und aus Prozesssicht durch den Organisationsgrad und die Logistikqualifikation der Mitarbeiter differenzieren. Die RWS überträgt den Reifegradgedanken auf die Parametrierung, indem sich die RWS-Parameter Taktbreite und Kapazitätsgrenzen ebenfalls in unterschiedlichen Reifegradstufen festlegen lassen. Die Skalierbarkeit im Betrieb und der Parametrierung ermöglichen somit eine *schrittweise Entwicklung der RWS*.

Als Ergebnis liegt die reifegradbasierte Werkstattsteuerung vor, die unter Berücksichtigung der jeweiligen Unternehmensvoraussetzungen schrittweise Logistikverbesserung in funktionsorientierten Strukturen ermöglicht.

8.2 Ausblick

Aus der Arbeit zur reifegradbasierten Werkstattsteuerung für funktionsorientierte Strukturen ergeben sich folgende Ansatzpunkte für Weiterentwicklungen:

Die Kapazitätssteuerung stellt ein noch junges und vielversprechendes Forschungsthema dar. Die geringe Anzahl der Verfahren und die z.T. fehlenden Anwendungserfahrungen aus der Praxis lassen noch genug Freiräume für Weiterentwicklungen. Der Aufbau sogenannter Kapazitätsregelkreise, abgeleitet aus der Regelungstheorie, erscheint dabei besonders vielversprechend. Die theoretische Untersuchung und Übertragung *vermaschter Regelkreise* auf die PPS bietet die Möglichkeit, das Zusammenwirken mehrerer Regelkreise zu untersuchen. Insbesondere zeitlich differenzierte Regelkreise, wie die in dieser Arbeit dargestellten, vorausschauenden und gegenwartsbezogenen Kapazitätsregelkreise, bieten sich aufgrund der Abhängigkeiten für diese Untersuchungen an. Neben der theoretischen Erweiterung aus der Regelungstheorie sind für die dargestellten Kapazitätsregelkreise mit den Regelgrößen Auftragsdehnung und Abarbeitungsrückstand weitere Praxisuntersuchungen notwendig. Es fehlen noch *Empfehlungen für geeignete Schwellwerte* der Regelgrößen auf Basis der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen.

Die Werkstattsteuerung ist eine Teilfunktion in der PPS-Aufgabenstruktur. Andere PPS-Hauptfunktionen wie z.B. die Mengen- und Programmplanung bieten sich ebenfalls für eine reifegradbasierte Konfiguration an. Insbesondere die Einführung sogenannter stücklisten- und arbeitsplanbasierter Funktionalitäten setzen in der Regel umfangreiche Vorarbeiten zum Aufbau des Datenfundaments für eine funktionierende Planung voraus. Die schrittweise Einführung mit Hilfe von *Reifegradstufen* erscheint deshalb auch bei *anderen PPS-Funktionen* sinnvoll. Die Funktionssicht deckt

dabei nur einen Teilaspekt eines PPS-Systems ab. Für den erfolgreichen Praxiseinsatz ist auch zu überprüfen, ob existierende *Hilfsmittel* (z.B. Softwaresysteme) die *reifegradbasierte Konfiguration angemessen unterstützen*. Gegebenenfalls sind bestehende Hilfsmittel daraufhin zu ergänzen oder neu zu entwickeln.

Um die Leistungsfähigkeit der RWS im Vergleich mit anderen Werkstattsteuerungsverfahren besser beurteilen zu können, fehlen entsprechende Untersuchungen. Der modellbasierte Vergleich mit Hilfe der Simulation eignet sich bisher für den durch Algorithmen abgedeckten Verfahrensablauf. Komplexe Wechselwirkungen zwischen Planung und Steuerung, unterschiedliche Voraussetzungen bei der Datengrundlage, und der organisatorische Aufwand für die Umsetzung und den Betrieb des Verfahrens, lassen sich dabei oftmals nur unzureichend abbilden. Bestehende *Simulationswerkzeuge* sind entsprechend zu *erweitern*, um den Nutzen einer realitätsnahen Simulation verschiedener Werkstattsteuerungsverfahren zu ermöglichen.

9 Summary

In the face of globalized markets and increased competition from low wage countries, the efficiency of German manufacturing companies is put to the test. At the same time, it is getting more difficult to differentiate on the basis of quality and innovative technology. Successful manufacturing companies, therefore, have recognized that excellent logistics services provide them with a distinguishing feature that cannot easily be copied. They manage to deliver customized products very quickly and reliably, providing services to the customer that are a major deciding factor in competition. To develop this capability for complex production structures, companies challenge existing production logistics operations and look for ways to improve them in a lasting way. Since shop floor control systems are directly affecting the logistical performance, they are used as a key starting point for improving production logistics. The introduction and operation of modern shop floor control methods and systems with ever more sophisticated functions is particularly problematic for SME because they often do not meet the requirements of such applications. This may refer to missing or incomplete master and transaction data, the poor use of resources, as well as insufficient qualification of the logistical staff, which all prevent or delay the introduction of a state-of-the-art shop floor control system and the benefits of high logistical performance that come with it.

In this work, a shop floor control method is developed which - during the introductory phase - can be adapted to the individual business situation before being gradually improved in several maturity stages. The main features of this shop floor control method that is based on maturity stages and intended for function-oriented structures are the following: Takt order flow, demand-driven production, step-by-step improvement, and easy adaptability.

Takt order flow: A *steady order flow* as logistical guideline implements key principles of *lean production* and is in sync with the *average-based MRP approach*. To apply these principles to function-oriented structures requires a *shop floor control method that is based on the resource perspective*. Instead of controlling a large number of shop floor operations, the RWS (**Reifegradbasierte Werkstattsteuerung** = Maturity based shop floor control) focuses on regulating only a few resource units. The RWS uses 'WIP' and 'backlog' as resource-specific control variables. To transfer the benefits of a takt production line to function-oriented structures, the RWS makes use of so-called resource takts which determine the order release cycle and control the smooth production flow of pre-defined work packages. While the order release function sets out the size of the work packages of the resource units, the capacity control function deploys flexible capacity to ensure that takt time is met. The

length of the takt time of each resource unit determines the work in process and how often the achievement of production targets is monitored. The production targets centre on the observance of takt times in order to improve internal delivery performance on the shop floor and to increase reliability.

Demand-driven production: The shop floor control function of *capacity control* affects any of the logistical goals of a production system and is therefore the functional focus of the RWS. Prerequisite for an efficient capacity control are resource units with spare capacity that can be quickly and considerably modified. Companies recognizing the opportunities this brings have increased the flexibility of their capacity over the past years - often to a greater extent. The RWS supports the systematic and flexible use of capacity in two ways: Firstly, in a forward-looking manner to avoid inventories being blocked at the point of order release due to prolonged order lead times and, secondly, by ensuring at the present moment that takt time is being observed. In this way, capacity control enforces the takt time principle of the RWS.

Step-by-step improvement: The traditional 'big bang' introduction involves considerable costs that are not offset by any benefits, especially at the beginning of the introduction. This entails the risk of exaggerated expectations regarding potential benefits and the speed of implementation. This pressure as well as abrupt changes put a strain on the organization and carry a high risk of project failure. This is why a step-by-step introduction aims to gradually achieve benefits and changes in order to make them last. This requires methods that can be adapted to the functional and organizational framework of an enterprise.

Easy adaptability: The RWS shop floor control functions can be used at different maturity stages. The maturity levels symbolize development stages which differ, from a functional point of view, by the level of detail used to describe the shop floor control objects, the time and the quantity information, as well as by the resources and tools in use, and from a process point of view by the level of organization and the logistics qualification of the staff members. The RWS also applies the idea of maturity stages to parameterization by specifying different maturity stages for the RWS parameters of takt time and capacity limits, too. Its operational scalability and parameterization thus allows a *step-by-step development of the RWS*.

All this adds up to the maturity based shop floor control, which takes account of the individual business environment and allows for gradually improving logistics in function-oriented structures.

10 Literatur

- [AH88] Ackermann, K.-F.; Hofmann, M.:
Systematische Arbeitszeitgestaltung.
Köln: Dt. Inst. Verl., 1988
- [AK88] Aue-Uhlhausen, H.; Kühnle, H.:
Von ABS bis OPT. PPS-Methoden im Vergleich.
In: Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung u.a., PPS 88, 2.-4. November 1988, Böblingen. Eschborn: AWF, 1988, S. 179 -230.
- [Aki99] Akin, B.:
Festlegung der Bevorratungsstrategie in fertigungstechnischen Unternehmen.
Wiesbaden: Gabler, 1999.
Zugl. Mannheim, Univ., Diss., 1998
- [AST05] Ahlemann, F.; Schröder, S.; Teuteberg F.:
Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement - Grundlagen, Vergleich und Einsatz.
Osnabrück: ISPRI, 2005.
- [Bar01] Barrho, T.:
Flexible, zeifenstergesteuerte Auftragseinplanung in segmentierten Fertigungsstrukturen: Ein Beitrag zur Nutzung der Potentiale dezentraler Fertigungsstrukturen in der Auftragsabwicklung.
Karlsruhe : Grässer, 2001.
Zugl. Karlsruhe, Univ., Diss. 2001.
- [Bec84] Bechte, W.:
Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1984.
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 1984.

- [Beg05] Begemann, C.:
Terminorientierte Kapazitätssteuerung in der Fertigung.
Hannover: PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2005
(Berichte aus dem IFA, 02/2005)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 2005.
- [BHR05] Begemann, C.; Hasenfuß, K.; Rybarczyk, A.:
Rekonfiguration der Fertigungssteuerung in einem Kompo-
nentenwerk.
In: PPS-Management 10 (2005), Nr. 4, S. 40-43.
- [BLW05] Bornhäuser, M.; Lickefett, M.; Westkämper, E.:
Taktorientierte Fertigungssteuerung : Ein Verfahren zur Ferti-
gungssteuerung einer kundenauftragsbezogenen Werkstattferti-
gung.
In: wt Werkstattstechnik 95 (2005), Nr. 5, S. 396-404.
- [BN93] Bakke, N.A.; Nyhuis, F.:
Kurzarbeit = Zeit für Überstunden.
In: VDI-Z 135 (1993), Nr. 6, S. 65-72.
- [Bor06] Bornhäuser, M.:
Taktorientierte Produktion - überträgt die Vorteile der Lean-
Production Methoden in die Werkstattfertigung.
In: Schraft, Rolf Dieter (Hrsg.) u.a.: Mit Wertstromdesign zur
schnellen Fabrik. Fraunhofer-IPA Seminar F 141, 1. Dezember
2006, Stuttgart.
Stuttgart : FpF, 2006, S. 76-88.
- [Bor07] Bornhäuser, M.:
Taktorientierte Produktion - das Kernelement des Produktionssys-
tems für Werkstattfertiger.
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u.a.: PIT - Produzieren im
Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelstän-
dische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 146, 22. März
2007, Stuttgart.
Stuttgart : FpF, 2007, S. 37-51.

- [Bre01] Breithaupt, J.-W.:
Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen: Grundlagen und Anwendung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 571)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 2000.
- [Büd91] Büdenbender, W.:
Ganzheitliche Produktionsplanung und -steuerung : Konzepte für Produktionsunternehmen mit kombinierter kundenanonymer und kundenbezogener Auftragsabwicklung.
Berlin u.a.: Springer, 1991.
Zugl. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1990.
- [Bun07] Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung / Referat Information, Publikation, Redaktion:
Statistisches Taschenbuch 2007: Arbeits- und Sozialstatistik
Stand: Juni 2007
Bonn, 2007
- [Dem92] Deming, W. E.:
Out of the Crisis.
18. Aufl.
Cambridge/Mass, USA: Cambridge University Press, 1992.
- [DIN 19226] DIN 19226-1 1994-02: Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Allgemeine Grundbegriffe.
- [DIN 69901-5 E] DIN 69901-5 Entwurf 2007-10: Projektmanagement- Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe.
- [DIN 69901] DIN 69901 1987-08: Projektwirtschaft - Projektmanagement - Begriffe

- [DLR94] Bullinger, H.-J.; Hirsch, B. E.; Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt / Projektträgerschaft "Arbeit und Technik" (AUT):
Leitstände für die Werkstattsteuerung : Erfahrungen, Konzepte und Realisierungsbeispiele. Ergebnisse des Verbundprojektes PLANLEIT.
Bremerhaven : Wirtschaftsverlag NW, 1994.
- [Dom88] Dombrowski, U.:
Qualitätssicherung im Terminwesen der Werkstattfertigung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1988.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 159)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 1988.
- [Dym02] Dymond, K. D.:
CMM Handbuch. Das Capability Maturity Model für Software.
Berlin u.a.: Springer, 2002.
- [Erl07] Erlach, K.:
Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik.
Berlin u.a.: Springer, 2007.
- [ERZ05] Erlach, K.; Rist, T.; Zeh, K.-P.:
Produktion in Deutschland oder Osteuropa?: Fundierte Standortentscheidung durch Vergleich von Produktionsverlagerung und Standortoptimierung.
In: wt Werkstattstechnik 95 (2005), Nr. 4, S. 186-190.
- [FD03] Fraunhofer-IPT; Droege & Comp. GmbH:
Stellhebel für den Markterfolg - Branchenanalyse Maschinenbau : Internationale Produktionsstudie 2003.
Aachen, 2003.
- [Gol81] Goldratt, E.:
The unbalanced plant.
In: 24th APICS annual international conference, Boston, Mass., 1981. Falls Church, (USA), 1981, S. 195-199.

- [Hac89] Hackstein, R.:
Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Ein Handbuch für die Betriebspraxis.
2., überarb. Aufl.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- [Hei74] Heinemeyer, W.:
Die Analyse der Fertigungsdurchlaufzeit im Industriebetrieb.
Hannover, Techn. Univ., Diss., 1974.
- [Hen04] Hennerkes, B.-H.:
Die Familie und ihr Unternehmen: Strategie, Liquidität, Kontrolle.
Frankfurt/Main; New York: Campus Verlag, 2004.
- [Heu05] Heuzeroth, T.:
Die letzte Fabrik, in der Deutschland Computer baut.
In: Welt am Sonntag 58 (2005), Nr. 14 vom 3.04.2005, S. 27
- [Hir00] Hirschberg, A. G.:
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung. München: Utz, 2000.
(iwb Forschungsberichte; 137)
Zugl. München, Techn. Univ., Diss., 2000.
- [HLT96] Higgins, P.; Le Roy, P.; Tierney, L.:
Manufacturing Planning and Control: Beyond MRP II.
1. Aufl.
London: Chapman & Hall, 1996.
- [HS96] Hopp, W. J.; Spearman, M. L.:
Factory physics : Foundations of Manufacturing Management.
2. Aufl.
Chicago u.a.: Irwin, 1996.

- [HS99] Heiderich, T.; Schotten, M.:
Prozesse.
In: Luczak, H.; Eversheim, W. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte.
2., korr. Aufl. Berlin u.a.: Springer, 1999, S: 75-143
- [HV98] Hernández, R.; Vollmer, L.:
Logistikgerechte Kapazitätsflexibilisierung - der Kunde bestimmt die Arbeitszeit.
In: Industrie Management 14 (1998), Nr. 4, S. 59-63.
- [IHK04] IHK Baden-Württemberg:
Mehr Luft zum Atmen. Beschäftigungspläne und Arbeitszeitstrategien der Unternehmen in Baden-Württemberg.
Stuttgart, November 2004.
- [Kir04] Kirchner, S.:
Ein Verfahren zur situationsgerechten Gestaltung der Bevorratungsebene in einer variantenreichen Serienproduktion.
Heimsheim : Jost-Jetter Verlag, 2004.
(IPA-IAO Forschung und Praxis; 396)
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 2004.
- [Kiv79] Kivenko, K.:
Reducing Work in Process .
In: Inventory Production Engineering 26 (1979), Nr. 3, S. 48-50.
- [KM05] Käßner, F.; Müller, U.:
Schwebende Karossen.
In: Die Welt (2005), Nr. 111 vom 14.05.2005, S. 16.
- [Kne03] Kneuper, R.:
CMMI: Verbesserung von Softwareprozessen mit Capability Maturity Model Integration.
Heidelberg: dpunkt verlag, 2003.

- [KWW03] Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E.:
Studie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen.
In: wt Werkstattstechnik 93 (2003), Nr. 4, S. 254-260.
- [Lik06] Liker, J. K.:
Der Toyota Weg - 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns.
München: FinanzBuch Verlag, 2006.
- [Lit61] Little, J. D. C.:
A Proof of the Queueing Formula: $L = \lambda W$
In: Operations Research 9 (1961), Nr. 3, S. 383-387.
- [LLB02] Lödding, H.; Lopitzsch, J.; Begemann, C.:
Rückstandsregelung erhöht die Termintreue.
In: wt Werkstattstechnik 92 (2002), Nr. 5, S. 248-252.
- [LNW00] Lödding, H.; Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.:
Durchlaufzeitcontrolling mit dem logistischen Ressourcenportfolio.
In: ZWF 95 (2000), Nr. 1-2, S. 46-51.
- [Löd01] Lödding, H.:
Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 587)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 2001.
- [Löd05] Lödding, H.:
Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration.
Berlin u.a.: Springer, 2005.
- [Lop05] Lopitzsch, J. R.:
Segmentierte Adaptive Fertigungssteuerung.
Hannover: PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2005.
(Berichte aus dem IFA; 03/2005)
Zugl. Hannover, Univ., Diss. 2005.

- [Lüc99] Lücke, O.:
Methodische Nutzung der betrieblichen Lernfähigkeit.
Essen: Vulkan-Verlag, 1999.
(Schriftenreihe des IWF)
Zugl. Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1999.
- [Lud94] Ludwig, E.:
Modellgestützte Diagnose logistischer Produktionsabläufe.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2; 362)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 1994.
- [Mon83] Monden, Y.:
Toyota Production System: Practical Approach to Production
Management.
Norcross/USA: Industrial Engineering and Management Press,
1983.
- [Mül91] Müller, J.:
Werkstattsteuerungsprinzipien im Vergleich : Schwerpunkt Belas-
tungsorientierte Auftragsfreigabe.
In: Anwendung der Belastungsorientierten Fertigungssteuerung /
Wiendahl, H.-P. (Hrsg.). München u.a.: Hanser, 1991, S. 339-360.
- [NBBH06] Nyhuis, P.; Begemann, C.; Berkholz, D.; Hasenfuß, K.:
Konfiguration der Fertigungssteuerung.
In: wt Werkstattstechnik 96 (2006), Nr. 4, S. 195-199.
- [NSM99] Nicolai, H.; Schotten, M.; Much, D.:
Aufgaben.
In: Luczak, H.; Eversheim, W. (Hrsg.): Produktionsplanung und -
steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte.
2., korr. Aufl. Berlin u.a.: Springer, 1999, S: 29-74.

- [NW03] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.:
Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen.
2., erw. und Neubearb. Aufl.
Berlin u.a.: Springer, 2003
- [Nyh91] Nyhuis, P.:
Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung.
Düsseldorf: VDI Verlag, 1991.
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 1991.
- [Ohn88] Ohno, T.:
Toyota Production System.
Toyota seisan hoshiki <engl.>
Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1988.
- [Orl73] Orlicky, J. A.:
Net change material requirements planning.
In: IBM Systems Journal 12 (1973), Nr. 1, S. 2.
- [Pet93] Petermann, D.:
Beherrschung der Produktionsprozesse - Warum regeln und nicht steuern?
In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Neue Wege der PPS :. IFA-Kolloquium, 25. und 26. Mai 1993, Hannover. München: gfmt, 1993, S. 405-430.
- [Pet96] Petermann, D.:
Modellbasierte Produktionsregelung. Düsseldorf:
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 20; 193)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 1995.
- [PMI04] Project Management Institute:
A Guide to the Project Management Body of Knowledge:
ANSI/PMI 99-001-2004. Dritte Ausgabe.
Newton Square, Penn., USA, 2004.

- [PSI07] PSIpenta Software Systems GmbH:
Der PSI Leitstand (2007).
<http://www.gsi-berlin.de/de/gsi-it-solutions/gsi-leitstand/>
(11.8.2007).
- [RBPEL93] Rumbaugh, J. u.a.:
Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen.
München; Wien: Hanser, 1993.
- [RBW02] Ramsauer, H.; Braun, B. J.; Waldau, J. P.:
ERP im Mittelstand - zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung im deutschen Mittelstand.
Berlin: cap Gemini & Ernst Young Mittelstandsberatung, 2002.
- [Rei00] Reinhart, G.:
Im Denken und Handeln wandeln.
In: ...nur der Wandel bleibt - Wege jenseits der Flexibilität: Münchener Kolloquium, 16./17. März 2000 / Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.).
München: Utz, 2000, S. 17-40.
- [Rop99] Ropohl, G.:
Allgemeine Technologie : eine Systemtheorie der Technik.
2. Aufl.
München u.a.: Hanser, 1999.
- [RS00] Rother, M.; Shook, J.; Fraunhofer IPA (Hrsg.):
Sehen lernen - mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen.
Stuttgart: Log_X Verlag, 2000.
- [RSLD05] Richter, P. G.; Stephan, U.; Lukes, M.; Dej, D.:
Entwicklung der Rahmenbedingungen für KMU in Sachsen zwischen 2002 und 2004.
Vortrag Dresden, 13.11.2005, FQMD Abschlusstagung,
http://mciiron.mw.tu-dresdden.de/cimtt/fqmd/abschluss_vortraege/rahmenbedingungen_fuer_kmu.pdf
(13.03.2008).

- [Sai75] Sainis, P.:
Ermittlung von Durchlaufzeiten in der Werkstattfertigung aus Daten des Fertigungsprogramms mit Hilfe der Warteschlangentheorie.
Hannover, Univ., Diss., 1975.
- [SB90] Sames, G.; Büdenbender, W.:
Das morphologische Merkmalsschema.
Aachen: FIR, 1990 (fir Sonderdruck; 4/90).
- [Schö07] Schönsleben, P.:
Integrales Logistikmanagement : Operations und Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken.
5., bearb. und erw. Aufl.
Berlin u.a.: Springer, 2007
- [Scho80] Schomburg, E.:
Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau.
Aachen, RWTH, Diss., 1980.
- [SCOR07] Supply Chain Council:
Supply Chain Operations Reference Model Version 8.0.
www.supply-chain.org (August 2007).
- [SEI02] Carnegie Mellon Software Engineering Institute (SEI):
Capability Maturity Model® Integration (CMMISM), Version 1.1, CMMISM for Systems Engineering, Software Engineering, Integrated Product and Process Development, and Supplier Sourcing. Continuous Representation.
Pittsburgh, Penn., USA, März, 2002.
- [SEI05] Carnegie Mellon Software Engineering Institute (SEI):
Software CMM 2005 End-Year Update Appraisal Results, 2005 Year End Update.
Pittsburgh, Penn., USA: Carnegie Mellon University, 2005.

- [SKS03] Scholtz, O.; Korge A.; Schlauß S.:
Was ein Produktionssystem ausmacht. Erfolgreiche Lösungsbau-
steine.
In: Spath, D. (Hrsg.): Ganzheitlich produzieren: Innovative Orga-
nisation und Führung.
Stuttgart : LOG X Verlag, 2003, S. 53-85.
- [Sod05] Soder, J.:
Materialflüsse reorganisieren heißt Unternehmensprozesse per-
fekt gestalten.
In: Erfolgs-Logistik für die Produktion : Best Practice für die verar-
beitende Industrie. 3. Fachtagung 10. und 11. Mai 2005, Stutt-
gart.München, 2005 , S. 35 ff.
- [Spa01] Spath, D.; Barrho, T.; Dill, C.; Klinkel, S.:
Quo vadis, PPS? : Erfolgsfaktoren von Auftragssteuerungssyste-
men in dezentralen Strukturen im turbulenten Umfeld - Eine Stu-
die.
Stuttgart: LOG X Verlag, 2001.
- [Spu07] Spur, G.:
Kritik der logistischen Vernunft.
In: ZWF 102 (2007) 5, S. 254-259.
- [Sta73] Stachowiak, H.:
Organisationskybernetik
In: Handwörterbuch der Organisation, hrsg. von E. Grochla,
Stuttgart: Poeschel, 1973, S. 1569 - 1582.
- [Sur98] Suri, R.:
Quick response manufacturing : a companywide approach to re-
ducing lead times.
Portland, Oregon, USA: Productivity Press, 1998.
- [SW05] Schuh, G.; Westkämper, E. (Hrsg.):
Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau: Stand - Potenziale -
Trends.
Aachen:Fir,, 2005.

- [Tap06] Tapscott, D.:
Wissen und Erfolg brauchen verlässliche Daten: Das Aufkommen des Stammdatenmanagements.
Waldorf: SAP AG, 2006 (SAP Whitepaper).
- [Tro04] Trovarit AG:
Anwenderzufriedenheit ERP-/Business Software Deutschland 2004: Bericht / Trovarit AG.
Aachen : Trovarit AG, 2004.
- [VDM02] VDMA:
Prozesse beschleunigen und gewinnorientiert steuern: Empfehlungen zur Unternehmensführung in der Investitionsgüterindustrie.
2. Aufl.
Frankfurt/M.: VDMA, 2002.
- [War89] Warnecke, H.-J.:
Die Produktion als Regelkreis, Überlegungen zu seiner Gestaltung.
In: Automatisierungstechnische Praxis atp 31 (1989) Nr. 3, S. 110-115.
- [War97] Warnecke H.-J.:
Agilität und Komplexität - Gedanken zur Zukunft produzierender Unternehmen.
In: Komplexität und Agilität / Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.).
Berlin: Springer, 1997, S. 1-8.
- [WB94] Westkämper, E.; Bartuschat, M.:
Dezentralität als Basisprinzip zeitgemäßer Unternehmensorganisation. T.3: Lenkung und Koordination.
In: wt Produktion und Management 84 (1994) Nr. 9, S. 551-554.
- [WB98] Wiendahl, H.-P.; Breithaupt, J.-W.:
Kapazitätshüllkurven- Darstellung flexibler Kapazitäten mit einem einfachen Beschreibungsmodell.
In: Industrie Management 14 (1998), Nr. 4, S. 34-37.

- [WBH00] Wiendahl, H.-P.; Breithaupt, J.-W.; Hernández, R.:
Logistische Rationalisierungspotentiale mittels flexibler Kapazitäten erschließen.
In: wt Werkstattstechnik 90 (2000) Nr. 4, S. 144-148.
- [WBN03] Wiendahl, H.-P.; Begemann, C.; Nickel, R.:
Maßanzug PPS?, Die klassischen Stolpersteine in der PPS und wie sie vermieden werden.
In: Schraft, Rolf Dieter (Hrsg.) u.a.; Fraunhofer-IPA u.a.: Maßanzug PPS? : Planungs- und Steuerungslösungen für den Maschinen- und Anlagenbau. PPS-Seminar F. 87, 8. Mai 2003, Hannover.
Stuttgart: FpF, 2003, S. 91 ff.
- [Wes00a] Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.:
Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen - Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld.
In: wt Werkstattstechnik 90 (2000) Nr. 1/2, S. 22-26.
- [Wes00b] Westkämper, E.; Pritschow, G.; Wiendahl, H.-H.; Rempp, B.; Schanz, M.:
Turbulenz in der PPS - eine Analogie.
In: wt Werkstattstechnik 90 (2000) Nr. 5, S. 203-207.
- [Wes06] Westkämper, E.:
Einführung in die Organisation der Produktion - Strategien der Produktion.
Berlin: Springer, 2006.
- [Wes07] Westkämper E.:
Anpassungsfähige Fabriken für traditionelle und neue Produkte.
In: Fabrikplanung : Fabrikplanung - schnell, sicher, effizient. 7. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung, Esslingen, 22. und 23. Mai 2007. Landsberg: MIC, 2007, 24 S.

- [WieH02] Wiendahl, H.-H.:
Situative Konfiguration des Auftragsmanagements im turbulenten Umfeld.
Heimsheim, Jost Jetter Verlag, 2002.
(IPA-IAO Forschung und Praxis 358)
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 2002.
- [WieH03] Wiendahl, H.-H.:
Das logistische Leitbild.
In: wt Werkstattstechnik 93 (2003) Nr. 4, S. 315-322.
- [WieH06a] Wiendahl, H.-H.:
Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld. Teil1: Anforderungen.
In: wt Werkstattstechnik 96 (2006) Nr. 4, S. 183-189.
- [WieH06b] Wiendahl, H.-H.:
Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld. Teil2: Lösungsansätze.
In: wt Werkstattstechnik 96 (2006) Nr. 5, S. 325-330.
- [WieH06c] Wiendahl, H.-H.:
Systematic Analysis of PPC System Deficiencies - Analytical Approach and Consequences for PPC Design.
In: CIRP Annals Manufacturing Technology 55 (2006), Nr. 1, S. 479-482.
- [WieH06d] Wiendahl, H.-H.:
Schlankes Auftragsmanagement - Anforderungen, Lösungen, Stolpersteine.
In: Westkämper, E. (Hrsg.) u.a.; Fraunhofer-IPA: Schlankes Auftragsmanagement - Lean-Ansätze versus klassische PPS : 11.
Stuttgarter PPS-Seminar, Fraunhofer IPA-Seminar F 134, 28. und 29. September 2006. Stuttgart : FpF, 2006, S. 7-19.

- [WieH07] Wiendahl, H.-H.:
Turbulence Germs and their impact on planning and control -
Root causes and Solutions for PPC-Design.
In: CIRP Annals Manufacturing Technology 56 (2007), Nr. 1,
S. 443-446.
- [WieP87] Wiendahl, H.-P.:
Belastungsorientierte Fertigungssteuerung : Grundlagen, Verfah-
rensaufbau, Realisierung.
München; Wien: Hanser, 1987.
- [WieP97a] Wiendahl, H.-P.:
Betriebsorganisation für Ingenieure.
4. Aufl.
München; Wien: Hanser, 1997.
- [WieP97b] Wiendahl, H.-P.:
Fertigungsregelung : Logistische Beherrschung von Fertigungs-
abläufen auf Basis des Trichtermodells.
München; Wien: Hanser, 1997.
- [Wied01] Wiedenmann, H.:
Modellierung von Produktionsprozessen als Beitrag zur Generie-
rung von Termin- und Kapazitätsplanungssystemen bei varianten-
reicher Serienfertigung.
Heimsheim: Jost-Jetter, 2001.
(IPA-IAO Forschung und Praxis, 337)
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 2001.
- [Wig84] Wight, O. W.:
Manufacturing Resoure Planning MRP II: Unlocking Americas
Productivity Potential.
Essex Jn., VT, USA: Wight, 1984.
- [Wil84] Wildemann, H.:
Flexible Werkstattsteuerung durch Integration von Kanban-
Prinzipien.
München: CW-Publikationen, 1984.

- [Wild92] Wildemann, H.:
Arbeitszeitmanagement- Einführung und Bewertung flexibler Arbeits- und Betriebszeiten,
St. Gallen: gfmt, 1992.
- [WJ96] Womack, J.P.; Jones, D.T.:
Lean Thinking.
New York: Simon & Schuster, 1996.
- [WJR90] Womack, J.P.; Jones, D.T.; Ross D.:
The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production.
New York: Rawson, 1990.
- [WL94] Westkämper, E.; Laucht, O.:
Dezentralität als Basisprinzip zeitgemäßer Unternehmensorganisation. T.1: Gestaltungsregeln und Strukturen.
In: wt Produktion und Management 84 (1994) Nr. 9, S. 421-425.
- [WN98] Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.:
Engpaßorientierte Logistikanalyse: Methode zur kurzfristigen Leistungssteigerung in Produktionsprozessen.
München, Transfer-Centrum GmbH, 1998.
- [WS96] Windau, P. von, Schumacher, M.:
Strategien für Sieger: Erfolgsgeheimnisse mittelständischer Unternehmen.
Frankfurt/Main; New York: Campus Verlag, 1996.
- [WW96] Westkämper, E.; Wiedenmann, H.:
Dezentrale Organisation und ihre informationstechnische Unterstützung in der Produktionsplanung und -steuerung.
In: Industrie Management 12 (1996) Nr. 3, S. 39-42.
- [WWB98] Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Balve, P.:
Dezentralisierung und Autonomie in der Produktion: Eine systematische Betrachtung der Klassifizierungsmerkmale.
In: ZWF 93 (1998) Nr. 9, S. 407-410.

- [WWC05] Wiendahl, H.-H.; Wiendahl, H.-P.; Cieminski, G.:
Stolpersteine der PPS - Symptome, Ursachen, Lösungsansätze.
In: wt Werkstattstechnik 95 (2005) Nr. 9, S. 717-725.
- [Yu01] Yu, K.-W.:
Terminkennlinie : eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001.
(Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2, 576)
Zugl. Hannover, Univ., Diss., 2000.
- [Zäp98] Zäpfel, G.:
Grundlagen und Möglichkeiten der Gestaltung dezentraler PPS-Systeme.
In: Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme / Corsten, H.; Gössinger R. (Hrsg.). Berlin u.a.: Kohlhammer, 1998, S. 11-54.
- [Zim88] Zimmermann, G.:
Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV.
Berlin u.a.: Springer, 1988.
(Betriebs- und Wirtschaftsinformatik; 30)