

329

Michael Richard Niehues

**Adaptive Produktionssteuerung für Werkstattfertigungssysteme durch
fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung**

Michael Richard Niehues

**Adaptive Produktionssteuerung für
Werkstattfertigungssysteme durch
fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung**

Herbert Utz Verlag · München 2017

Forschungsberichte IWB
Band 329

Ebook (PDF)-Ausgabe:
ISBN 978-3-8316-7328-5 Version: 1 vom 29.08.2017
Copyright© Herbert Utz Verlag 2017

Alternative Ausgabe: Softcover
ISBN 978-3-8316-4650-0
Copyright© Herbert Utz Verlag 2017

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für
Betriebswissenschaften und Montagetechnik

**Adaptive Produktionssteuerung für
Werkstattfertigungssysteme durch fertigungsbegleitende
Reihenfolgebildung**

Michael Richard Niehues

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Die Dissertation wurde am 26.04.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 05.10.2016 angenommen.

Michael Richard Niehues

**Adaptive Produktionssteuerung für
Werkstattfertigungssysteme durch
fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 329

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

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2017

ISBN 978-3-8316-4650-0

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Geleitwort der Herausgeber

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

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

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

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

Vorwort

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

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Forschungsarbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, Leiter des Instituts für Produktionssysteme (IPS) der Technischen Universität Dortmund, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats und die aufmerksame Durchsicht meiner Arbeit herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen sowie allen Studierenden des *iwb*, die während meiner Zeit am Institut zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders hervorheben möchte die Themengruppe Produktionsmanagement und Logistik, in dessen konstruktiven und kreativen Umfeld viele Ideen entstehen und reifen konnten sowie meine Bürokollegen Jakob Kurfer und Joachim Michniewicz für die wertvollen Diskussionen. Mein ausdrücklicher Dank gilt Jan-Fabian Meis, Dr. Kirsten Reisen, sowie Ulrich Teschemacher für die wertvollen Hinweise sowie die aufmerksame Durchsicht meiner Arbeit. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei der Abteilung Planung und Steuerung der ehemaligen Projektgruppe Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) des Fraunhofer IWU für die Einladung zu fachlichen Diskussionsrunden.

Darüber hinaus danke ich den hier ungenannt bleibenden Experten aus der Industrie, deren Anregungen und Feedback mir geholfen hat, den Bezug zur industriellen Praxis herzustellen und einen realitätsnahe Simulation der Ergebnisse zu realisieren.

Schließlich möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für die Unterstützung und Förderung über all die Jahre bedanken. Ganz besonders danke ich jedoch Karin für ihre Geduld und liebevolle Unterstützung sowie das Verständnis für mein Arbeiten an dieser Dissertation während vieler Abende und Wochenenden.

München, im Oktober 2016

Michael Niehues

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VII
Verzeichnis der Formelzeichen	XI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Thematische Einordnung	3
1.2.1 Werkstattfertigung	3
1.2.2 Produktionsplanung und -steuerung	5
1.2.3 Systeme der PPS	9
1.2.4 Betriebsdaten und deren Erfassung	11
1.3 Problemstellung	12
1.4 Zielsetzung	15
1.4.1 Ziel der Arbeit	15
1.4.2 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs	16
1.5 Aufbau der Arbeit	17
2 Stand der Technik	19
2.1 Ansätze zur Verbesserung der Werkstattsteuerung	19
2.1.1 Ansätze der Produktionsregelung	19
2.1.2 Sonstige Ansätze	27
2.1.3 Fazit	28
2.2 Optimierung der Maschinenbelegung	31
2.2.1 Job Shop Scheduling Problem	31
2.2.2 Lösungsalgorithmen	36
2.2.3 Dynamisches Scheduling	46
2.2.4 Fazit	46
2.3 Steuerungsrelevante Problemfelder der Werkstattfertigung	47
2.3.1 Störungsidentifikation und -management	48
2.3.2 Bewertung von Produktionsplanalternativen	54
2.3.3 Ansätze zur Verbesserung der Datenerfassung	60
2.4 Ableitung des Handlungsbedarfs	63
3 Rahmenbedingungen für das System zur Werkstattsteuerung	65
3.1 Anforderungen	65
3.2 Annahmen	66

4	Systemübersicht	69
4.1	Ansatz der fertigungsbegleitenden Reihenfolgebildung . . .	69
4.1.1	Grundprinzip	69
4.1.2	Reduktion der Modellkomplexität	70
4.2	Systemkomponenten und Aufbau des Reglers	73
4.3	Zielsystem	75
4.3.1	Zielgrößennormierung durch Kostenbetrachtung . .	75
4.3.2	Diskussion der reihenfolgeabhängigen Kostenbestandteile	76
4.3.3	Zielfunktion zur Kostenbewertung	88
4.3.4	Ermittlung der Kostensätze	88
4.4	Datenmodell	89
5	Störungsmanagement	91
5.1	Identifikationsbezogene Störungsklassifizierung	91
5.1.1	Ansatz	91
5.1.2	Störungsklassen	91
5.1.3	Störungsidentifikation	95
5.2	Gültigkeitswiederherstellung und Störungsbewertung . . .	98
5.2.1	Wiederherstellung der Gültigkeit des Ablaufplans .	98
5.2.2	Störungsbewertung	100
5.3	Strategien zur Störungsbehandlung	102
5.3.1	Maßnahmen zur Störungsbehandlung	102
5.3.2	Maßnahmenkaskaden	106
5.3.3	Gesamtablauf des Störungsmanagements	111
6	Algorithmus zur Reihenfolgeoptimierung	113
6.1	Allgemeines	113
6.2	Repräsentation des Ablaufplans	115
6.2.1	Variablendefinition	115
6.2.2	Auftragsreihenfolgematrix	115
6.2.3	Generierung einer Ausgangslösung (Kodierung) . . .	116
6.2.4	Berechnung des Ablaufplans (Scheduling)	117
6.3	Operatoren	118
6.3.1	Sequencing	118
6.3.2	Fitnessfunktion	123
6.3.3	Selektion	124
6.3.4	Abbruchkriterium	125
6.4	Randbedingungen	125
7	Ortungsbasierte echtzeitnahe Datenerfassung	127
7.1	Ortungstechnologien	127
7.2	Zusammenhang zwischen Ort und Zustand	127
7.2.1	Ansatz der Bewegungslogiken	127

7.2.2	Gliederung der Werkstatt	129
7.2.3	Definition des Ortungsobjektes	132
7.2.4	Ableitung des Auftragsstatus	132
7.2.5	Ableitung des Ressourcenstatus	134
7.2.6	Maßnahmen zur exakten Flächenzuordnung	134
7.3	Modellierung	136
7.3.1	Modellierung der Werkstatt	136
7.3.2	Modellierung der Bewegungslogiken	137
7.3.3	Modellierung baulicher Restriktionen	138
7.3.4	Erweiterung des Datenmodells	138
7.4	Ablauf der ortungsbasierten Datenerfassung	139
7.5	Korrektur und Ergänzung von Informationen	139
7.5.1	Erweiterung um BDE/MDE	141
7.5.2	Ergänzung manuell zu erfassender Daten	142
8	Technische Umsetzung und Bewertung	143
8.1	Softwareprototyp zur Reihenfolgeoptimierung	143
8.1.1	Allgemeines	143
8.1.2	Initialisierung	144
8.1.3	Generationenwechsel	145
8.1.4	Parameterbestimmung	145
8.1.5	Ergebnisse	146
8.1.6	Untersuchung zur Planstabilität	147
8.1.7	Kritische Betrachtung	147
8.2	Simulationstechnisches Anwendungsbeispiel	148
8.2.1	Beschreibung des Anwendungsbeispiels	149
8.2.2	Datenbasis der Simulation	150
8.2.3	Prämissen	151
8.2.4	Aufbau des Simulationsmodells	153
8.2.5	Modellvalidierung	154
8.2.6	Simulationsszenarien und Kennzahlen	155
8.2.7	Ergebnisse	157
8.2.8	Kritische Betrachtung	158
8.3	Realisierung der ortungsbasierten Datenerfassung	159
8.3.1	Demonstrationsszenario	160
8.3.2	Prototypische Umsetzung	161
8.3.3	Ergebnis und kritische Betrachtung	162
8.4	Technisch-wirtschaftliche Bewertung	163
8.4.1	Technische Bewertung	163
8.4.2	Beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	165
9	Zusammenfassung und Ausblick	169
	Literaturverzeichnis	171

A	Studie zur Werkstattfertigung in Deutschland	225
A.1	Allgemeines	225
A.2	Randbedingungen der Studie	225
A.3	Ergebnisse der Studie	226
A.4	Fragebogen	236
B	Ergänzende Ausführungen zur Reihenfolgeoptimierung	243
B.1	Erzeugung ungültiger Lösungen	243
B.2	Auswirkungen der Reparaturfunktion	244
B.3	Steuerung der lokalen Suche	245
C	Versuchsdaten zur Umsetzung	247
C.1	Versuchsläufe zur Reihenfolgeoptimierung	247
C.1.1	Faktorbestimmung	247
C.1.2	Vollfaktorielle Versuchspläne	247
C.1.3	Ermittlung der Faktoreffekte	263
C.1.4	Versuch zum Vergleich von Faktoreffektkombinationen	274
C.2	Simulationstechnisches Anwendungsbeispiel	275
C.3	Ortungsbasierte Datenerfassung	277
D	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	279

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen, welche im Duden aufgeführt sind, werden hier nicht explizit erläutert. Einige der aufgeführten englischen Abkürzungen bezeichnen in der wissenschaftlichen Literatur etablierte Methoden oder Konzepte, weshalb sie im Deutschen im Original übernommen und nicht übersetzt wurden. Die jeweilige Bedeutung ergibt sich entweder aus dem Kontext oder wird im Text erläutert. Abkürzungen, die ausschließlich in einer Abbildung oder Tabelle verwendet und an selber Stelle erläutert werden, sind an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt.

ACO	Ant Colony Optimization
AF	Anforderung
AN	Annahme
APS	Advanced Planning and Scheduling
ARF	Auftragsreihenfolgematrix
BB	Branch-and-Bound
BDE	Betriebsdatenerfassung
BGD	Bestandsgeregelte Durchflusssteuerung
BL	Bewegungslogik
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
BOS-F	Belastungsorientierte Fertigungssteuerung
CPS	Cyber-Physical System, dt. Cyber-Physisches System
DBF	Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DLZ	Durchlaufzeit
EOF	Engpassorientierte Fertigungssteuerung
ERP	Enterprise Resource Planning
ES	Evolutionsstrategie
FFS	Flexibles Fertigungssystem

FIFO	First In – First Out
FJSSP	Flexible Job Shop Scheduling Problem
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
GA	Genetischer Algorithmus
GRB	Größte Restbearbeitungszeit
HRPM	High Resolution Production Management
ID	Identifikationsnummer
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologien
IT	Informationstechnik
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
JSSP	Job Shop Scheduling Problem
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KOBRA	Kapazitätsorientierte und Bestandsgeregelte Auftragsfreigabe
MAS	Multiagentensystem
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
MK	Maßnahmenkaskade
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MTTR	Mean Time To Restoration
ODBC	Open Database Connectivity
OPT	Optimized Production Technology
PFB	Pull-from-Bottleneck
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
REFA	REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
RFID	Radio Frequency Identification
S-/T	Stellen-/Transitionen
SA	Simulated-Annealing-Algorithmus
SB	Shifting-Bottleneck-Algorithmus

Sek.	Sekunde
STEM	Step Method
TA	Threshold-Accepting-Algorithmus
TCO	Total Cost of Ownership
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TS	Tabu-Suche
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ZE	Zeiteinheit

Verzeichnis der Formelzeichen

Lateinische Formelzeichen

Größe	Bezeichnung
a	Maschinenbezogener Auftragsindex
A_k	Anzahl der Aufträge auf Maschine k im Steuerungszeitraum
$AktO$	Aktuell zu bearbeitender Arbeitsvorgang
$AzNk$	Anzahl der Nachkommen
AzO	Anzahl der Arbeitsvorgänge
$AzVer$	Anzahl Versuche, gültige Nachkommen zu erzeugen
$b_{i,k}$	Position von $O_{i,k}$ in der globalen Reihenfolge
BL	Vektor der Bewegungslogik
c	Chromosom (kodierte Lösung s)
C	Menge der konjunktiven Kanten
C_i	Bearbeitungsende und Durchlaufzeit von Auftrag i im JSSP
C_{max}	Gesamtdurchlaufzeit
d	Distanz zweier Werte $b_{i,k}$
D	Menge der disjunktiven Kanten
f	Fitness einer Lösung s
fL_k	Leerkostenfaktor von Maschine k
$F_{A_{ws}}$	Abholfläche von Werkstatt ws
F_{B_k}	Bereitstellfläche von Maschine k
$F_{DZL_{ws}}$	Dezentrale Zwischenlagerfläche von Werkstatt ws
F_{F_k}	Fertigungsfläche von Maschine k
F_T	Transport- und Verkehrsfläche
F_Z	Zusatzfläche
F_{ZZL}	Zentrale Zwischenlagerfläche
g	Gewichtungsfaktor
gen	Generation
i	Job- bzw. Auftragsindex

Größe	Bezeichnung
j	Index der Arbeitsoperation bzw. des Arbeitsvorgangs
J bzw. J_i	Job bzw. Auftrag mit Index i
k	Maschinenindex
K_F	Fertigungskosten
K_{ges}	Zielfunktion, gesamte steuerungsrelevante Kosten
K_L	Lohnkosten
K_{LKS}	Lohnkostensatz
K_{MH}	Maschinenstundensatz
K_N	Nichtnutzungskosten
K_R	Rüstkosten
K_{red}	Reduzierte Zielfunktion
K_t	Transportkostensatz
$K_{t_{fix}}$	Kostensatz pro Sondertransport
K_T	Transportkosten
K_V	Verzugskosten
K_{V_i}	Verzugskosten von Auftrag i
$K_{V_{0,i}}$	Fixer Anteil von K_{V_i}
$K_{V_{v,i}}$	Variabler Anteil von K_{V_i}
$K_{W_{i,j,k}}$	Werkzeugkosten für Arbeitsvorgang $O_{i,j}$ auf Maschine k
K_X	Gemeinkosten des Betriebes
L	Auswahlvariable, letzter Arbeitsvorgang eines Auftrags im Steuerungszeitraum, $L \in j$
m	Anzahl Maschinen
M bzw. M_k	Maschine (mit Index k)
n	Anzahl Jobs bzw. Aufträge
n_i	Anzahl Operationen eines Auftrags
n_{kV}	Anzahl Generationen, in denen keine Verbesserung erreicht wurde
n_{pop}	Größe der Population
N	Anzahl Elemente bzw. Antworten
N_s	Nachbarschaft einer Lösung s
O	Ordnungsnummer s
$O_{i,j}$	j te-Operation bzw. Arbeitsvorgang von Auftrag i
$p_{i,j}$	Prozessdauer von Operation $O_{i,j}$

Größe	Bezeichnung
pop	Population
$P_{Aktuell}$	Aktueller Ablaufplan
P_{Init}	Initialer Ablaufplan
P_L	Letzter Ablaufplan vor Störung
P_{L-Opt}	Letzter gesamt optimierter Ablaufplan
P_{Mod}	Durch Steuerungsmaßnahmen modifizierter Ablaufplan
P_{Rep}	Ablaufplan nach störungsbedingter Reparatur
P_s	Ablaufplan einer Lösung s der Reihenfolgeoptimierung
PR	Prüfmatrix zur ARF
R	Rüstvorgang
RZ	Rüstzustand
s	Lösung (eines Optimierungsproblems)
sp	Index der Steuerungsperiode
S	Menge aller Lösungen
s_{opt}	Beste Lösung einer Generation
$S_{i,j}$	Ausführungsort von Arbeitsvorgang $O_{i,j}$
S_0	Aktueller Standort von Auftrag i
$t_{A_{i,j}}$	Ausführungszeit von Arbeitsvorgang $O_{i,j}$
$t_{B_{a,k}}$	Belegungszeit von Arbeitsvorgang a auf Maschine k
$t_{B_{i,j,k}}$	Belegungszeit von Arbeitsvorgang $O_{i,j}$ auf Maschine k
t_{NNZ_k}	Nichtnutzungszeit von Maschine k
t_{Puffer_i}	Pufferzeit zwischen TAE_i und TA_i
$t_{R_{i,j}}$	Rüstzeit von Arbeitsvorgang $O_{i,j}$
$t_{Schlupf_i}$	Schlupfzeit von Auftrag i
$t_{Ü_{i,j}}$	Mindestübergangszeit von $O_{i,j}$ zu $O_{i,j+1}$
t_{V_i}	Verbleibende Durchführungszeit für Auftrag i
T	Temperatur (im Simulated-Annealing-Algorithmus)
T_0	Bewertungszeitpunkt
TA_i	Abgangstermin von Auftrag i
TA_{Plan}	Plan-Abgangstermin
TAA_i	Abgangsterminabweichung von Auftrag i
TAB_i	Bearbeitungsbeginn von Auftrag i
TAE_i	Bearbeitungsende von Auftrag i

Größe	Bezeichnung
TAE_{Plan}	Plan-Bearbeitungsende
TOL_A	Akzeptanztoleranz, Abbruchkriterium der Anwendung von Steuerungsmaßnahmen
TOL_{Akz}	Akzeptanztoleranz einer Zielwertverschlechterung während der Reihenfolgeoptimierung
TOL_S	Toleranzwert, unter dem eine Störung ignoriert wird
TOL_{SL-Opt}	Toleranzwert, unter dem eine Störung in Bezug auf P_{L-Opt} ignoriert wird
$TSPB_{sp}$	Beginn der Steuerungsperiode sp
$TSP E_{sp}$	Ende der Steuerungsperiode sp
$TVB_{i,j}$	Bearbeitungsbeginn von Operation $O_{i,j}$
$TV E_{i,j}$	Bearbeitungsende von Operation $O_{i,j}$
$TVT_{i,j}$	Transportbeginn zur j -ten Operation von Auftrag i
$TVV_{i,j}$	Zeitpunkt, ab dem Auftrag i für die j -te Operation verfügbar ist
$TLVE_{sp,k}$	Bearbeitungsende der letzten Operation auf Maschine k in Steuerungsperiode sp
V	Menge der Knoten
w	Führungsgröße
ws	Werkstattindex
x	Regelgröße
y	Stellgröße
z	Störgröße

Griechische Formelzeichen

Größe	Bezeichnung
δ	Konstante zur Gewichtung des Zielwertverhältnisses
Δ	Differenz
ϵ	Faktor zur Erhöhung des Selektionsdrucks
$\mu_{i,j}$	Zugeordnete Maschine von Operation $O_{i,j}$, $\in M_1, \dots, M_k$
σ	Standardabweichung
Υ_k	Auslastung von Maschine k
ω_s	Übernahmewahrscheinlichkeit der Lösung s

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die industrielle Produktion hat für den Wirtschaftsstandort Deutschland eine hohe Bedeutung (vgl. ABELE & REINHART 2011, S. 6ff.). Neben Großunternehmen begründet sich diese unter anderem durch einen stark von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägten Maschinen- und Anlagenbau (vgl. ABELE ET AL. 2009; VDMA 2012, S. 6). Letzterer zeichnet sich u. a. durch variantenreiche Produkte und eine hohe Fertigungstiefe aus (vgl. PIELCZYK 1996, S. 77).

Produzierende Unternehmen unterliegen zwei Megatrends: Globalisierung und Dynamisierung der Produktlebenszyklen. Neben Chancen in Form neuer Absatzmärkte wirkt sich die Globalisierung durch einen gestiegenen Wettbewerb aus, der die Unternehmen gleichzeitig unter einen hohen Kostendruck setzt (vgl. ZÄH ET AL. 2005; ABELE & REINHART 2011, S. 11f.). Die Dynamisierung der Produktlebenszyklen (vgl. ABELE & REINHART 2011, S. 15f.) führt dagegen zu einer Verkürzung der Zeiträume zwischen zwei Produktgenerationen und somit zu einem Sinken der Stückzahlen pro Produkt. Gleichzeitig erhöht sich die Variantenvielfalt der Produkte (vgl. FELDMANN & SLAMA 2001). Um wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen die Unternehmen ihr Produktangebot schnell an die Marktbedürfnisse anpassen und gleichzeitig kostengünstig und in hoher Qualität produzieren (vgl. MEHRABI ET AL. 2002; ZÄH ET AL. 2005).

Für die Produktion hochindividueller Produkte, z. B. im Maschinen- und Anlagenbau, sind Produktionssysteme erforderlich, in denen eine Vielzahl verschiedener Fertigungsverfahren in unterschiedlichen Abfolgen flexibel eingesetzt werden können (FELDMANN & SLAMA 2001; SCHOLZ-REITER & FREITAG 2007). Diesen Anforderungen werden Werkstattfertigungssysteme derzeit am besten gerecht (THEBUD 2007, S. 46f.). Die Bedeutung der Werkstattfertigung wird durch WIDMAIER (2000, S. 39), LETMATHE (2002, S. 76ff.) sowie eine im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie mit 125 kundenindividuell produzierenden Unternehmen bestätigt (s. Anhang A). 41,6% der befragten Unternehmen haben ihre Fertigung ganz oder teilweise nach dem Werkstattprinzip strukturiert, wobei der Anteil mit steigender Individualität der Produkte zunimmt.

In Bezug auf den zunehmenden Kostendruck ist eine wirtschaftliche Fertigung von großer Wichtigkeit (vgl. SCHUH & STICH 2013, S. 23). Zudem wird aus Kundensicht zunehmend eine hohe Liefertermintreue bei kurzer Lieferzeit

als Differenzierungsmerkmal am Markt wahrgenommen (vgl. MÜNZBERG & NYHUIS 2009; SCHUH & STICH 2013, S. 13). So haben sich z. B. im Maschinen- und Anlagenbau die geforderten Lieferzeiten wesentlich verkürzt (BRIEL 2009, S. 271ff.) bei gleichzeitig gestiegener Varianz in den Fertigungsprozessen (vgl. SCHUH & STICH 2013, S. 13).

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wurden in der Vergangenheit Konzepte zur Vereinfachung des Fertigungsablaufs, Integration und Flussorientierung, z. B. durch Methoden wie Just-in-Time, Gruppentechnologie oder Einzelstückfluss, in vielen Fällen verfolgt und umgesetzt (NEWMAN & MAFFEI 1999; vgl. auch DEUSE ET AL. 2007). Gleichwohl existiert ein großes Aufgabenfeld, dessen Komplexität nach wie vor den Einsatz der als ineffizient geltenden Werkstattfertigung erfordert (NEWMAN & MAFFEI 1999). Letzteres ist insbesondere durch die hohen Durchlaufzeiten und Bestände und der daraus resultierenden geringen Termintreue begründet (vgl. VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 80) und wird durch die durchgeführte Studie (vgl. Abb. A.6 im Anhang) bestätigt. Somit ist die Leistungsfähigkeit der Werkstattfertigung konträr zu den kundenseitigen Anforderungen hinsichtlich Lieferzeit und -treue.

Zur Verringerung der Diskrepanz zwischen benötigter Fertigungsflexibilität auf der einen Seite und geforderter Termintreue bei kurzen Lieferterminen und niedrigen Kosten auf der anderen Seite bietet das nach KOBLASA & VAVRUŠKA (2013) häufig unterschätzte Feld der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) ein hohes Potenzial. Die steigende Durchdringung der Fertigung mit modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) erhöht die Datenverfügbarkeit und Transparenz (vgl. FLEISCH ET AL. 2005, S. 3; MÄRTENS ET AL. 2007; SCHUH ET AL. 2007), so dass sich zur Erschließung des Potenzials die Entwicklung neuer Ansätze und Verfahren zur PPS sowie eine verstärkte IT-Unterstützung in der Produktion anbieten (vgl. SCHUTTEN 1998; ABELE & REINHART 2011, S. 132; SCHUH & STICH 2013, S. 32).

Um zum einen ein allgemeines Verständnis zu schaffen und zum anderen die Ursachen der niedrigen Leistungsfähigkeit der Werkstattfertigung, verglichen mit anderen Organisationstypen¹ und in Bezug auf die PPS, näher zu beleuchten, erfolgt im folgenden Abschnitt eine thematische Einordnung. Dabei werden die wichtigsten Grundlagen zur Werkstattfertigung und PPS im Allgemeinen sowie spezielle Ausprägungen der PPS für Werkstattumgebungen dargestellt. Im Anschluss erfolgt die Konkretisierung der Problemstellung (Abschnitt 1.3) und Zielsetzung (Abschnitt 1.4) dieser Arbeit.

¹ Der Organisationstyp, auch Organisationsprinzip genannt, fasst nach WIENDAHL (2010, S. 29) die räumliche Anordnung der Betriebsmittel, die Art des Auftragsdurchlaufs durch die Fertigung sowie die Einbindung des Menschen zusammen.

1.2 Thematische Einordnung

1.2.1 Werkstattfertigung

Neben der Fließfertigung ist die Werkstattfertigung der am häufigsten vorkommende Organisationstyp in der industriellen Praxis (WIENDAHL 2010, S. 32). Die Werkstattfertigung ist nach dem Verrichtungsprinzip organisiert, d. h. gleichartige Betriebsmittel werden hinsichtlich Anordnung, Verantwortung und Kostenrechnung zusammengefasst (FANDEL ET AL. 2011, S. 19). Jeder Auftrag wird entsprechend der in seinem Arbeitsplan definierten technologischen Reihenfolge² zur Bearbeitung in die jeweiligen Werkstätten transportiert (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 14). Die Fließfertigung stellt den dazu konträren Organisationstyp dar, bei der die Betriebsmittel nach der technologischen Abfolge im Arbeitsplan der Erzeugnisse angeordnet sind (WIENDAHL 2010, S. 30f.). Dementsprechend sind Layouts der Werkstattfertigung typischerweise prozessbezogen angeordnet, während in der Fließfertigung produktbezogene Layouts vorherrschen (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 79; s. Abb. 1.1).

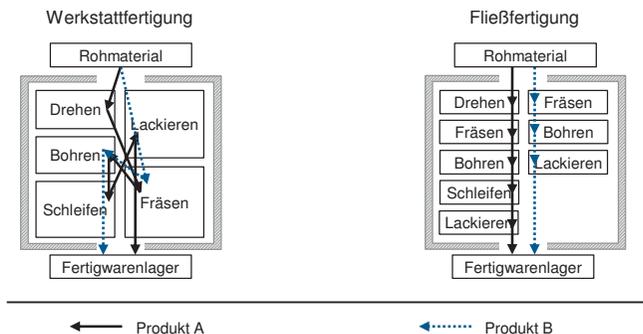


Abb. 1.1: Schematische Gegenüberstellung von Werkstatt- und Fließfertigung (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2012)

Die Organisation nach dem Verrichtungsprinzip ermöglicht es, Werkstücke mit unterschiedlichen Fertigungsfolgen auf den gleichen Maschinen zu fertigen.³ Das führt zu einem ungerichteten, stark vernetzten Materialfluss mit entsprechend hoher Komplexität (vgl. GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 14;

² Die technologische Folge, auch technologische Vorschrift (vgl. BIERWIRTH 1993, S. 9), Maschinen- (vgl. ZÄPPEL & BRAUNE 2005, S. 5f.), Arbeitsgang- (vgl. RIXEN 1997, S. 10) oder Prozessfolge genannt, bezeichnet die Anordnung der Arbeitsgänge eines Auftrags aufgrund technologischer Vorgaben (CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 537).

³ Qualitative Flexibilität (vgl. LASCH & JANKER 2013, S. 93).

STOSIK 2005, S. 4f.). Weiterhin besteht eine hohe Flexibilität hinsichtlich kurzfristiger Änderungen im Produktionsablauf sowie in der Auftragsgröße.⁴ Die Anpassungsfähigkeit gegenüber Änderungen, Kundenwünschen und Produktumstellungen ist hoch (vgl. MOROFF 1992, S. 212; JODLBAUER 2008, S. 10; VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 80; BORNHÄUSER 2009, S. 16). Für weitere Ausführungen sei auf die Arbeit von KRÄMER (1968) verwiesen, in der eine umfassende Betrachtung des Werkstattprinzips erfolgt.

Aufgrund des heterogenen Produktspektrums variieren die Bearbeitungszeiten und Materialflüsse sehr stark (KINGSMAN ET AL. 1989), was eine Vielzahl an Koordinations- und Planungsaufgaben nach sich zieht (vgl. KIENER ET AL. 2012, S. 64f.). Des Weiteren bestehen bei Produktionsstart oft noch Lücken im vorgesehenen Fertigungsablauf durch unvollständige technische Unterlagen wie Zeichnungen, Stücklisten oder Arbeitspläne (GRONAU 2014, S. 129). Ein weiterer Nachteil ist die hohe Transportintensität aufgrund der räumlichen Trennung der einzelnen Werkstätten (KIENER ET AL. 2012, S. 65). Die häufig schubweisen Arbeits- und Transportvorgänge lassen sich zudem aus verschiedenen Gründen nicht exakt aufeinander abstimmen, was dazu führt, dass die Aufträge häufig auf ihren Transport oder ihre Bearbeitung warten müssen (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 14; FANDEL ET AL. 2011, S. 19). Auch hohe Umrüstzeiten steigern die Komplexität sowie die Schwankungen im Produktionsablauf erheblich (vgl. VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 80). Unvorhergesehene Störungen und Abweichungen vom geplanten Auftragsdurchlauf sind somit stetige Begleiterscheinungen (WELLER 2002, S. 19f.; vgl. auch ROSE 1989, S. 4). Die Auswirkungen aller zuvor genannten Unregelmäßigkeiten werden durch hohe Zwischenbestände abgedämpft, sodass eine gute Auslastung der Maschinen gesichert wird (vgl. KIENER ET AL. 2012, S. 266f.). Nachteilig wirken sich die Umlaufbestände durch hohes gebundenes Umlaufvermögen (vgl. VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 80) sowie hohe Auftragsdurchlaufzeiten (vgl. EVERSHEIM 1989, S. 26) aus. Ein Praxisbeispiel von WIENDAHL (2010, S. 31) weist einen Anteil der Rüst- und Bearbeitungszeiten an der Durchlaufzeit von 10 % auf, während der Anteil der aus Beständen resultierenden Liegezeit 85 % beträgt (vgl. auch BAUER ET AL. 1991, S. 3; PAWELLEK 2007, S. 33; ZHOU ET AL. 2008). Auch wenn die Nachteile der längeren Durchlaufzeiten durch einen in der Regel geringeren Fixkostenanteil sowie kleinerer Auftragslosgrößen relativiert wird (vgl. MOROFF 1992, S. 212), haben diese aufgrund der Kundenanforderung nach kurzen Lieferzeiten dennoch einen hohen negativen Einfluss auf die Logistikleistung der Werkstattfertigung.

Das Einsatzgebiet der Werkstattfertigung ist die variantenreiche Produktion für Einzel-, Kleinserien- oder Serienfertigung (vgl. LASCH & JANKER 2013, S. 93 sowie Abschnitt 1.1). Sie wird dort eingesetzt, wo aufgrund wechselnder,

⁴ Quantitative Flexibilität (vgl. LASCH & JANKER 2013, S. 93; FANDEL ET AL. 2011, S. 19f.).

stark variierender Produkte mit unterschiedlichen Arbeitsfolgen und kleinen Losgrößen eine Produktionslinie nach dem Fließprinzip nicht wirtschaftlich ist (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 80; MOROFF 1992, S. 212).

1.2.2 Produktionsplanung und -steuerung

1.2.2.1 Aufgaben und Ziele

Die Koordination von Produktionsprozessen erfolgt durch die Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Deren Kernaufgabe ist die „*Koordination der konkurrierenden Aufträge unter Beachtung des untergeordneten produktionswirtschaftlichen Zielsystems*“ (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 196). VDI ET AL. (1983, S. 167) definieren die Produktionsplanung als „*systematisches Suchen und Festlegen von Zielen für die Produktion, Vorbereitung von Produktionsaufgaben und Festlegung des Ablaufes zum Erreichen dieser Ziele.*“. Abgrenzend dazu ist die Produktionssteuerung definiert als „*Veranlassen, Überwachen und Sichern der Durchführung von Produktionsaufgaben hinsichtlich Bedarf (Menge und Termin), Qualität und Kosten und Arbeitsbedingungen.*“ (VDI ET AL. 1983, S. 167). Letztere wird auch als *Fertigungssteuerung* (vgl. VDI 1983, S. 138) oder *Werkstattsteuerung* (vgl. REFA 1985, S. 329ff.) bezeichnet, wenn Bezug auf die Fertigung genommen wird. Die Produktionsplanung gestaltet somit die Produktionsprozesse vor deren Ausführung auf der Dispositionsebene, wohingegen die Produktionssteuerung während der Ausführung verändernd auf die Produktionsprozesse einwirkt (vgl. CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 576).

Das Ziel der Produktionssteuerung ist die weitestmögliche Realisierung der Planung, auch bei unvermeidlichen Änderungen von Auftragsmengen und -terminen, Störungen (z. B. Maschinenausfälle), Lieferverzügen und Ausschuss (WIENDAHL 1997, S. 12). Die zugehörigen Maßnahmen unterscheidet REFA (1985, S. 419) in Änderungen der vorgegebenen Planung (z. B. durch Neubestimmung der Auftragsfolge⁵) und Eingriff in den Fertigungsablauf. Dies kann zyklisch oder simultan zum Betriebsablauf stattfinden (VDI ET AL. 1983, S. 138). Störungen aufgrund unvorhersehbarer Ereignisse, die ein akzeptierbares Ausmaß übersteigen (vgl. CORSTEN & GÖSSINGER 1997, S. 3ff.; GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 227; WIENDAHL 2010, S. 251f.), sowie unvollständige Informationen über Detailspekte des Produktionsprozesses, die erst während der Ausführung entschieden werden, erfordern nach CORSTEN & GÖSSINGER (2012, S. 576) eine eigenständige Produktionssteuerung, „*die erst während*

⁵ Auftragsfolge bzw. organisatorische Folge bezeichnet die zeitliche Folge mehrerer Aufträge auf einer Maschine (CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 537). Im Kontext der Werkstattsteuerung wird die Maschinenfolge (s. Fußnote 2 auf S. 3) in der Regel als gegeben angenommen, während die Bildung der Auftragsfolge die Reihenfolgebildung als Stellhebel der PPS darstellt. In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff Reihenfolge somit stets auf die Auftragsfolge, während ein Bezug auf die Maschinenfolge explizit benannt wird.

der Prozessausführung in die Gestaltung von Produktionsprozessen eingreift“ (SCHÜTTE ET AL. 1999, S. 144f.).

Die Aufgaben der PPS, von SCHOMBURG (1980, S. 18ff.) als *Funktionsgruppen* bezeichnet, sind durch das in Abb. 1.2 dargestellte Modell von SCHOMBURG (1980, S. 18) und HACKSTEIN (1989, S. 4f.) den Teilgebieten Planung und Steuerung zugeordnet.

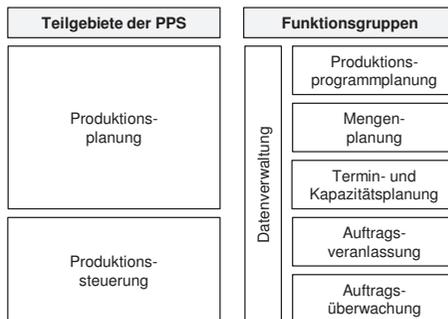


Abb. 1.2: Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung (HACKSTEIN 1989, S. 5; in Anlehnung an SCHOMBURG 1980, S. 18)

Während in der Produktionsplanung mit den Aufgaben der Produktionsprogrammplanung, der Mengenplanung (auch Materialbedarfsplanung, vgl. HANSMANN 2006, S. 253) und Termin- und Kapazitätsplanung der Produktionsprozess hinsichtlich Programm, Mengen, Terminen, Kapazitäten und Bearbeitungsreihenfolgen festgelegt wird, tragen die Aufgaben der Auftragsveranlassung und -überwachung dem Durchsetzungsgedanken der Produktionssteuerung Rechnung (vgl. SCHOMBURG 1980, S. 17ff.). Eine Querschnittsaufgabe ist dabei die Datenverwaltung, der die Speicherung und Pflege der steuerungsrelevanten statischen (Stammdaten) und dynamischen (Bewegungsdaten) Daten obliegt (vgl. SCHUH & ROESGEN 2006, S. 71ff.).

Der Übergang zwischen Planung und Steuerung ist in der Literatur nicht eindeutig nach o. g. Aufgaben unterschieden, sondern „vollzieht sich [...] an der Stelle, an der Planvorgaben in Durchsetzungsaktivitäten übergehen“ (CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 576). Dabei können einzelne Planungsaufgaben (z. B. Feinterminierung, Maschinenbelegung) auch der Produktionssteuerung zugeordnet sein (vgl. ZÄPFEL 2001, S. 60, HANSMANN 2006, S. 257ff.). Im Kontext dieser Arbeit ist der Zeitpunkt, ab dem ein Produktionsplan zur Produktion freigegeben wird, als Übergang zur Steuerung definiert.

Die Wirkzusammenhänge innerhalb der Produktionssteuerung bildet das Modell der Fertigungssteuerung von LÖDDING (2008, S. 5ff.; s. Abb. 1.3) ab, in

dem die Aufgaben Auftragsfreigabe, Kapazitätssteuerung und Reihenfolgebildung als Stellhebel zur Durchsetzung des Plans definiert sind. Auf Seite der Produktionsplanung steht dagegen die Auftragserzeugung als Festlegung von Planwerten für Zugang, Abgang und Reihenfolge (vgl. LÖDDING 2008, S. 7).

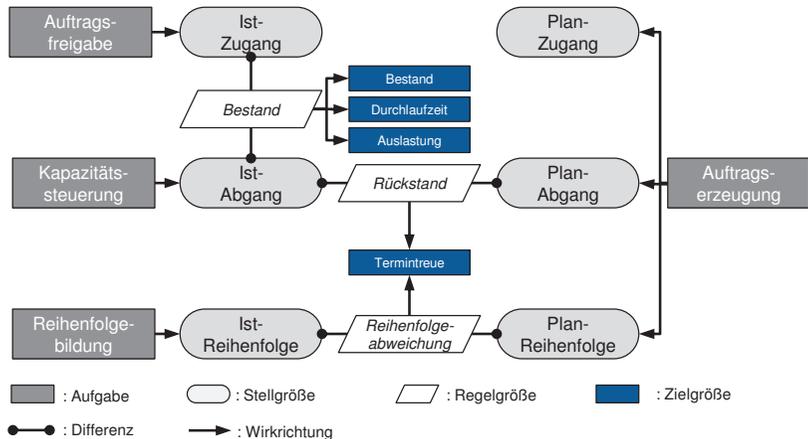


Abb. 1.3: Modell der Fertigungssteuerung (LÖDDING 2008, S. 7)

Die Zielgrößen der PPS *Bestand*, *Durchlaufzeit*, *Auslastung* und *Termintreue* zur Sicherstellung des Erreichens wirtschaftlicher und marktbezogener Anforderungen fasst WIENDAHL (2010, S. 252ff.) im Zielsystem der Produktionslogistik zusammen. Durch eine hohe interne Termintreue und kurze Auftragsdurchlaufzeiten können marktseitig kurze Lieferzeiten bei hoher Liefertreue erreicht werden. Auf Seite der Kosten sind geringe Prozesskosten durch eine hohe Maschinenauslastung sowie geringe Kapitalbindungskosten durch niedrige Bestände in der Fertigung zu erreichen. Da diese Ziele zum Teil widersprüchlich sind (*Dilemma der Ablaufplanung*, vgl. GUTENBERG 1955, S. 151ff. bzw. *Polylemma der Ablaufplanung*, vgl. HACKSTEIN 1989, S. 18), können die Zielgrößen nicht gleichermaßen gut erreicht werden (vgl. HACKSTEIN 1989, S. 17f.). Auftragsfertiger als Hauptanwender der Werkstattfertigung haben die Termintreue als oberstes Ziel (NYHUIS & WIENDAHL 2012, S. 4f.), für die sich auf Werkstattebene die Ersatzziele Lieferterminerfüllung, Minimierung der Wartezeiten sowie Minimierung der (reihenfolgeabhängigen) Rüstzeiten ableiten (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 195). Dagegen tritt eine hohe Auslastung durch Minimierung der Maschinenstillstandszeiten eher in den Hintergrund (vgl. VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 196). Für die den Zielgrößen zugrundeliegenden Kennzahlen und deren Berechnungsformeln sei z. B. auf PAWELLEK (2007, S. 154ff.) verwiesen.

1.2.2.2 Ausprägung der PPS in der Werkstattfertigung

Die Anforderungen an die PPS sind in hohem Maße von der Fertigungsstruktur und den dort gefertigten Aufträgen abhängig (ARNOLD ET AL. 2008, S. 334f.). Dabei existieren in der Werkstattfertigung besondere Herausforderungen, die als externe und interne Dynamiken (LAND & GAALMAN 1996) bzw. Steuerungsunschärfe (MÜLLER ET AL. 2009) bezeichnet werden. Durch den hohen Kundenbezug treten häufig Eilaufträge sowie Produkt- und Mengenänderungen auf (externe Dynamiken), zudem prägen sich die internen Dynamiken z. B. als Maschinenstörungen, Qualitätsprobleme und geringer Prozesssicherheit aus. Diese Besonderheiten erfordern eine permanente Zuordnung von Arbeitsvorgängen auf Kapazitäten, wobei gleichzeitig verschiedene Aufträge um eine Kapazität konkurrieren (ZÄPFEL 1981, S. 221).

Etabliert hat sich mit der Einführung von informationstechnischen Systemen (IT-Systemen) das Konzept des Manufacturing Resource Planning (MRP II) von WIGHT (1984, s. auch ZÄPFEL 1994, S. 235ff.; KURBEL 2005, S. 135ff.). Im Wesentlichen umfasst MRP II die Bestimmung der terminierten Produktionsaufträge aus einem vorgegebenen Primärbedarfsprogramm (vgl. HANSMANN 2006, S. 248f.) unter Integration der Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion, Verkauf und Finanzen (ZÄPFEL 1994, S. 237) durch eine gemeinsame Datenbasis (CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 591). Der Produktionsprozess ist hierarchisch strukturiert, der Planungsprozess verläuft sukzessiv.

Die Steuerung ist im MRP II-Konzept als Umsetzung der Produktionsplanung zu sehen und wird in der Praxis häufig als sog. Meistersteuerung mit Terminjägern (vgl. MARENBACH 1987, S. 5ff.) umgesetzt. Dabei obliegt dem Meister die Aufgabe, auf Basis der terminierten Fertigungsaufträge die Maschinenzuordnung und Reihenfolgebildung der Aufträge vorzunehmen. Die Entscheidungen orientieren sich dabei an der Intuition des Meisters (vgl. SHEIKH 2003, S. 16), weswegen zusätzlich sog. Terminjäger für die Terminüberwachung und den Informationsaustausch sorgen.

Eine Systematisierung der Reihenfolgebildung erfolgt über Prioritätsregeln. Hierbei wird konkurrierenden Aufträgen nach einer bestimmten Vorschrift eine Dringlichkeitsziffer zugewiesen, anhand derer über die Bearbeitungsreihenfolge entschieden wird (vgl. FANDEL ET AL. 2011, S. 759). Meist wird dabei nur eines der produktionslogistischen Ziele erreicht. Die Kombination von Prioritätsregeln verbessert diesen Sachverhalt, löst das Dilemma der Ablaufplanung aber nicht vollständig (vgl. FANDEL ET AL. 2011, S. 764). Während auf Maschinenebene die Auswirkungen einer Prioritätsregel auf den Auftragsdurchlauf abgeschätzt werden kann, ist dies in der betrieblichen Praxis nicht mehr möglich (vgl. GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 225ff.). Dies ist durch die mehrstufige Produktion in mehreren Werkstätten und zufälligen Auftragsankünften, bedingt durch ungerichtete Materialflüsse, begründet. Zur Konfiguration der

Prioritätsregeln werden daher Simulationsuntersuchungen durchgeführt (vgl. GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 225ff.). Eine Übersicht der verbreitetsten Prioritätsregeln gibt LÖDDING (2008, S. 443ff.).

1.2.3 Systeme der PPS

Die Gesamtheit aller Funktionen und Werkzeuge zur Produktionsplanung und -steuerung wird als PPS-System bezeichnet (WIENDAHL ET AL. 2005), was teilweise auch deren Realisierung durch Softwaresysteme umfasst (SCHÖNSLEBEN 2001, S. 15). Sie wirken als zentrale Ordnungsinstanz, die nach WIENDAHL ET AL. (2005) „die Ausbringung und die logistische Leistung eines Unternehmens mit den Marktanforderungen abgleicht“. In der Praxis wird anhand des Planungshorizonts zwischen Enterprise Resource Planning (ERP)-Systemen, Manufacturing-Execution-Systemen (MES) oder Advanced-Planning-and-Scheduling (APS)-Systemen unterschieden (s. Abb. 1.4).

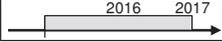
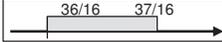
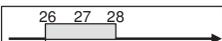
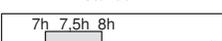
Planungsebenen	IT-Systeme	Zeit-horizont	Funktionen
Absatz- und Programmplanung	ERP	Monate/Jahre 	Vorschau, Gruppierung, langfristige Entscheidungshilfe
Produktionsplanung	PPS	Wochen/Monate 	Geplante Endtermine pro Auftrag, Materialbedarfe, Produkt- und Maschinenzuordnung
Feinplanung	APS	Tage 	Komplette Zuordnung von Material, detaillierte Reihenfolgeplanung, regelbasierte Optimierung
Werkstattsteuerung	MES	Stunden 	Kurzfristige Planungsänderungen, Änderungen von Zuordnungen und Reihenfolge

Abb. 1.4: Planungshorizonte von ERP/PPS, APS und MES (in Anlehnung an MARCZINSKI 2008)

Enterprise Resource Planning

ERP-Systeme dienen der Verwaltung aller Informationen, die zur Durchführung der Geschäftsprozesse in unterschiedlichen Unternehmensbereichen benötigt werden (GRONAU 2014, S. 4; CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 593). Wesentliche Merkmale sind die Integration von verschiedenen Aufgaben, Funktionen und Daten in einem Informationssystem (GRONAU 2014, S. 5) sowie die bereichsübergreifende Pflege und Nutzung von Daten auf einer gemeinsamen Datenbasis (CORSTEN & GÖSSINGER 2012, S. 593).

Die PPS ist dabei als eines von vielen Modulen im ERP-System integriert, in dem der Stammdatenhaltung, z. B. von Stücklisten, Arbeitsplänen oder Kapazitäten, eine hohe Bedeutung zukommt (GRONAU 2014, S. 104ff.). Der Anwendungsbereich der PPS in ERP-Systemen zielt vor allem auf die lang- bis mittelfristige Planung ab und basiert meist auf dem MRP II-Konzept (GRONAU 2014, S. 117). ERP-Systeme liefern somit Planungsvorgaben, die von der Produktionssteuerung umzusetzen sind, enthalten im Regelfall aber keine eigenständigen Steuerungsmechanismen (vgl. KURBEL 2005, S. 263).

Manufacturing Execution System

Unter dem Begriff *Manufacturing Execution System* entwickelten sich spezialisierte Systeme zur Fertigungssteuerung, die eigenständig oder als Add-On-Lösung für ERP-Systeme eingesetzt werden (vgl. KURBEL 2005; SCHUH & LASSEN 2006; VDI-RICHTLINIE 5600-1 2007). Die Schwerpunkte von MES liegen in der zeitnahen Planung und Steuerung der Fertigungsprozesse sowie der transparenten Abbildung des aktuellen Material- und Informationsflusses (VDI-RICHTLINIE 5600-1 2007). Neben dem prognostischen zeitlichen Aspekt der Produktionsfeinplanung und dem aktuellen Aspekt der Produktionssteuerung umfassen MES auch den historischen Aspekt der Produktionsprozessauswertung bzw. -bewertung (VDI-RICHTLINIE 5600-1 2007).

Neben Funktionalitäten für die operative Qualitätssicherung und Personaldisposition verfügen MES somit über Funktionen zur Fertigungsüberwachung und -steuerung, von denen die wichtigste der Fertigungsleitstand ist (KLETTI 2006, S. 31ff.). Über diesen wird der aktuelle Status aller Aufträge, die sich in der Fertigung befinden, grafisch visualisiert sowie Reihenfolgen und Konflikte dargestellt (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 211f.). Auf diese Weise wird die Kapazitätsplanung sowie die Maschinenbelegung vereinfacht, was im Gegensatz zur initialen Belegungsplanung weitgehend manuell durch den Fertigungsplaner erfolgt (vgl. SCHÖNSLEBEN 2011, S. 742ff.). Eine Übersicht über aktuelle Softwarelösungen für MES gibt DENGLER (2014, S. 9ff.), wobei der Bereich der Werkstattfertigung bisher kaum abgedeckt ist.

Advanced Planning and Scheduling

Motiviert durch die zunehmende Informationsverfügbarkeit entlang der Wertschöpfungskette entstanden unter dem Begriff *Advanced Planning and Scheduling* Softwaresysteme, mit denen die Optimierung von Logistiksystemen über die gesamte Wertschöpfungskette ermöglicht wird (GÜNTHER & TEMPELMEIER 2005, S. 330). Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der mittel- und kurzfristigen Planung (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, S. 219). Die PPS, deren vorrangige Aufgabe die Erstellung detaillierter Terminpläne ist, deckt dabei nur einen Teil der Gesamtfunktionalitäten ab, der auch als Production Planning oder Detailed Scheduling bezeichnet wird (vgl. GÜNTHER & TEMPELMEIER