

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für
Betriebswissenschaften und Montagetechnik

**Bewertung kundenspezifischer
Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz**

Johannes Hendrik Schellmann

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 20.10.2011 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 13.02.2012 angenommen.

Hendrik Schellmann

**Bewertung kundenspezifischer
Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 260

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2012

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 · 2012

ISBN 978-3-8316-4189-5

Printed in EU
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.

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

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

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele, dem Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich Saskia Reinhardt, Jörg Egbers und Christian Thiemann, die meine Dissertation mit kritischem Auge durchgesehen haben und mir viele konstruktive Ratschläge geben konnten, wodurch sich die Arbeit qualitativ abrunden ließ. Mein ausdrücklicher Dank gilt auch Sebastian Schindler für vielfältige fachliche Diskussionen, in denen ich zahlreiche Ideen entwickeln konnte. Außerdem danke ich Erika Hetherington, Christian Albertshofer, Florian Geiger, Nils Niederkleine und Thomas Sailer, die mich im Rahmen von Studienarbeiten bei der Umsetzung der in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Methode in ein MATLAB-Simulationsmodell unterstützt und mich dabei auf etliche neue Gedanken gebracht haben.

Schließlich gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, meinen Geschwistern und Adelheid Eysholdt, die durch ihre immerwährende Unterstützung wesentlich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben.

München, im April 2012

Hendrik Schellmann

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	V
Formelzeichenverzeichnis	VII
Lateinische Buchstaben	VII
Griechische Buchstaben	XI
1 Einführung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	5
2 Grundlagen und Stand der Forschung	7
2.1 Kapitelüberblick	7
2.2 Begriffsdefinitionen	7
2.2.1 Allgemeine Definitionen	7
2.2.2 Flexibilität	10
2.2.3 Spezielle Flexibilitätsarten	13
2.3 Flexibilität in Wertschöpfungsnetzen	15
2.3.1 Charakterisierung von Lieferketten und Wertschöpfungsnetzen	15
2.3.2 Allgemeines zu Flexibilitätskonzepten	17
2.3.3 Arten des Flexibilitätsbedarfs im Wertschöpfungsnetz	17
2.3.4 Beherrschung von Bedarfsmengenschwankungen	19
2.4 Flexibilitätsvereinbarungen in Kunden-Lieferanten-Beziehungen	21
2.4.1 Zwecke und Arten von Rahmenverträgen	21
2.4.2 Vertragskonzept zur Mengenflexibilität	23
2.4.3 Preismodelle bei Mengenbedarfsschwankungen	27
2.5 Gestaltungsfaktoren zur Erzielung von Mengenflexibilität	29
2.5.1 Systematisierungsansatz	29
2.5.2 Kapazität als zentraler Einflussfaktor der Mengenflexibilität	30

2.5.3	Weitere Einflussfaktoren auf die Mengenflexibilität	33
2.6	Bewertung von Flexibilitätsbedarf und -angebot	37
2.6.1	Grundlagen zur Bewertung von Flexibilität	37
2.6.2	Bestimmung des kundenseitigen Mengenflexibilitätsbedarfs	38
2.6.3	Darstellung des lieferantenseitigen Mengenflexibilitätsangebots	41
2.6.4	Gestaltungsorientierte Bewertung der Mengenflexibilität	45
2.7	Flexibilitätsaspekte in betrieblichen Planungssystemen	49
2.8	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	52
3	Konzeption der Methode zur Ermittlung kundenspezifischer Mengenflexibilität	55
3.1	Kapitelüberblick	55
3.2	Anforderungen an die Methode	55
3.3	Diskussion zu betrachtender Flexibilitätsfaktoren	58
3.4	Betrachtungsumfang	62
3.4.1	Abgrenzung der Unternehmenstypologie	62
3.4.2	Abgrenzung des betrachteten Systems	64
3.5	Referenzmodell zur Mengenflexibilitätsbewertung	66
3.5.1	Formulierung des Referenzmodells aus Bedarfssicht	66
3.5.2	Deutung des Referenzmodells aus Angebotssicht	70
3.6	Bewertungskonzept	72
3.6.1	Auswahl der Berechnungsmethode	72
3.6.2	Konzept des Simulationsablaufs	76
3.6.3	Methodisches Vorgehen zur Bewertung	78
3.7	Annahmen und Vereinfachungen in der Modellwelt	80
4	Detaillierung der Methode	83
4.1	Kapitelüberblick	83
4.2	Systemmodellierung	83
4.2.1	Vorbemerkung	83

4.2.2	Modellierung eines Kunden mit seinem spezifischen Produkt	84
4.2.3	Modellierung eines Lieferanten mit seinem jeweiligen Material	90
4.2.4	Modellierung von Arbeitssystemen	91
4.3	Berechnungsschritte während der Simulation	95
4.3.1	Übersicht über die Funktionen des Berechnungsmodells	95
4.3.2	Prognoseaktualisierung	96
4.3.3	Materialbedarfsplanung	97
4.3.4	Kapazitätsangebotsermittlung	103
4.3.5	Kapazitätsabgleich	108
4.3.6	Kapazitätsanpassung	116
4.3.7	Flexibilitätsauswertung	122
4.4	Auswertung der Simulationsergebnisse	131
4.4.1	Ermittlung der Flexibilitätsgrenzen	131
4.4.2	Auswertung der Flexibilitätskosten	134
4.4.3	Interpretation der Ergebnisse	136
5	Beispielhaftes Anwendungsszenario	139
5.1	Kapitelüberblick	139
5.2	Betrachtungsrahmen	139
5.2.1	Beschreibung des Modellunternehmens	139
5.2.2	Allgemeine Parameter	140
5.2.3	Bestimmung der Produktparameter	141
5.2.4	Bestimmung der Materialparameter	143
5.2.5	Bestimmung der Arbeitssystemparameter	144
5.3	Ergebnisse und Interpretation	147
5.4	Bewertung der Methode	151
6	Zusammenfassung und Ausblick	157
7	Literaturverzeichnis	161
8	Abbildungsverzeichnis	177

9 Tabellenverzeichnis	181
10 Anhang	183
Algorithmus zur Maßnahmenauswahl	183

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
ERP	Enterprise Resource Planning
f./ff.	und folgende (Singular/Plural)
ggf.	gegebenenfalls
Gl.	Gleichung
JIT	Just in Time
OR	Operations Research
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
S.	Seite
SC	Supply Chain
SCM	Supply Chain Management
W'keit	Wahrscheinlichkeit
z. B.	zum Beispiel

Formelzeichenverzeichnis

Lateinische Buchstaben

Variable	Bedeutung
a	Index zur Bezeichnung der betrachteten Kapazitätsanpassungsmaßnahme
A_n^{min}	Mindestauslastungsgrad im Arbeitssystem n
\mathcal{A}_n	Menge der Kapazitätsanpassungsmaßnahmen im Arbeitssystem n
$b_{k,l}$	Abhängigkeitsbeziehung zwischen zwei Kapazitätsanpassungsmaßnahmen $k, l \in \mathcal{A}_n$
$c_{p,j}(t)$	Stückkosten von p in Planungsperiode j
$\tilde{c}_{n,j}(t)$	anfallende Kosten pro genutzter Kapazitätseinheit im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$\Delta c_{p,j}(\varepsilon, t)$	Differenz der Stückkosten von p bei einer Änderung der Produktionsmenge um ε in Planungsperiode j
$\Delta \bar{c}_{p,j}(\varepsilon)$	mittlere Differenz der Stückkosten von p bei einer Bestellmengenänderung von ε innerhalb von Planungsperiode j
$\Delta \bar{c}_{p,\varepsilon}(j)$	mittlere Differenz der Stückkosten von p bei einer Bestellmengenänderung von ε innerhalb von Planungsperiode j
C_a^{akt}	einmalig pro Maßnahmeneinsatz anfallende Aktivierungskosten der Maßnahme a
C_a^{lauf}	in jeder Periode der Nutzungszeit anfallende laufende Kosten der Maßnahme a
C_n^G	Kosten der Grundkapazität
$C_{n,j}(t)$	im Arbeitssystem n in Planungsperiode j anfallende Kosten
$C_{p,j}^K(t)$	auf die geplante Produktionsmenge $X_{p,j}(t)$ anteilmäßig entfallende Kapazitätskosten
$\Delta C^K(\varepsilon)$	Differenz der Kapazitätskosten durch eine Mengenänderung um ε

Variable	Bedeutung
e	Index zur Bezeichnung des Simulationsszenarios
E	Anzahl der Simulationsszenarien in der Menge \mathcal{E}
\mathcal{E}	Menge der Simulationsszenarien
$G(X_p)$	Preisfunktion eines Produkts in Abhängigkeit der Bestellmenge X_p
$\bar{G}(W)$	durchschnittlicher Produktpreis in Abhängigkeit der Bestellmengenverteilung W
i	Index zur Bezeichnung der Prozessalternative
i_p^*	effizienteste Prozessalternative zu Herstellung von Produkt p
I_p	Zahl der verfügbaren Produktionsrouten für Produkt p
J_p	Menge der Prozessalternativen für Produkt p
j	Index zur Bezeichnung der betrachteten Planungsperiode
K_n^G	Grundkapazität des Arbeitssystems n
$K_{n,j}(t)$	Kapazitätsbedarf im Arbeitssystem n in der Planungsperiode j
$K_{n,j}^{Plan}(t)$	Plankapazität von Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$K_{n,j}^{max}(t)$	maximale Kapazität von Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$K_{n,j}^{min}(t)$	minimale Kapazität im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$K_{n,j}^{min,w}(t)$	aus Wirtschaftlichkeitssicht minimal auszulastende Kapazität im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
ΔK_a	Kapazitätsbeitrag der Maßnahme a pro Periode
$\Delta K_{n,j}^+(t)$	mögliche Kapazitätserhöhung im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$\Delta K_{n,j}^-(t)$	mögliche Kapazitätsreduzierung im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$\vec{I}_m(t)$	Lagerbestandsvektor für Material m
$L_{m,0}(t)$	aktueller Lagerbestand zum Zeitpunkt t

Variable	Bedeutung
$L_{m,j}(t)$	geplanter Lagerbestand am Ende von Planungsperiode j
m	Index zur Bezeichnung des betrachteten Materials
M	Anzahl der Materialien in der Menge \mathcal{M}
M^{Plan}	Strafkoeffizient für Fehlkapazität gegenüber Plankapazität
M^{max}	Strafkoeffizient für Fehlkapazität gegenüber maximaler Kapazität
\mathcal{M}	Menge der Materialien
n	Index zur Bezeichnung des betrachteten Arbeitssystems
N	Anzahl der Arbeitssysteme in der Menge \mathcal{N}
\mathcal{N}	Menge der Arbeitssysteme
p	Index zur Bezeichnung des betrachteten Produkts
p^*	im Rahmen der Bewertung zu betrachtendes Produkt
\mathcal{P}	Anzahl Elemente in der Menge \mathcal{P}
\mathcal{P}	Menge der Produkte
$R_{n,j}^{max}(t)$	Fehlkapazität gegenüber maximaler Kapazität im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
$R_{n,j}^{Plan}(t)$	Fehlkapazität gegenüber Plankapazität im Arbeitssystem n in Planungsperiode j
t	Betrachtungszeitpunkt
T	Anzahl an Planungsperioden im Planungshorizont
t_a^{akt}	Aktivierungszeit der Maßnahme a
$t_a^{ND,max}$	maximale Nutzungsdauer der Maßnahme a
$t_a^{ND,min}$	minimale Nutzungsdauer der Maßnahme a
t_a^{ND}	geplante Nutzungsdauer der Maßnahme a
t_a^{reg}	Regenerationszeit der Maßnahme a

Variable	Bedeutung
U	Anzahl der Perioden im Untersuchungszeitraum
W	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Bestellmengenschwankung
X_p	Bestellmenge des Produkts p
\bar{X}_p	mittlere Bestellmenge des Produkts p
$X_p^{Prog}(t)$	Bedarfsprognose für Produkt p zum Zeitpunkt t
$X_p^{Trend}(t)$	Trendkomponente des Bedarfs von Produkt p
$X_p^{Sais}(t)$	saisonale Komponente des Bedarfs von Produkt p
$X_p^{irr}(t)$	irreguläre Komponente des Bedarfs von Produkt p
$\vec{X}_p(t)$	Mengenbedarfsvektor für Produkt p zum Zeitpunkt t
$X_{p,j}(t)$	(prognostizierte) Bestellmenge von Produkt p für den Lieferzeitpunkt $t + j$
$\vec{X}_{p,j}(t)$	Vektor zur Aufteilung des Mengendbedarfs auf die Produktionsrouten für Produkt p in Planungsperiode j
$X_{p,j,i}(t)$	Menge von p , die in Planungsperiode j über Route i hergestellt wird
$\Delta X_{p,j,m}^+(t)$	mögliche Ausbringungsmengenerhöhung von p in Planungsperiode j aufgrund von Material m
$\Delta X_{p,j,m}^-(t)$	mögliche Ausbringungsmengenreduzierung von p in Planungsperiode j aufgrund von Material m
$\Delta X_{p,j,n}^+(t)$	mögliche Ausbringungsmengenerhöhung von p in Planungsperiode j aufgrund von Arbeitssystem n
$\Delta X_{p,j,n}^-(t)$	mögliche Ausbringungsmengenreduzierung von p in Planungsperiode j aufgrund von Arbeitssystem n
$Y_{m,j}(t)$	Bestellmenge von Material m für Planungsperiode j
$Y_{m,j}^*(t)$	vorläufige Bestellmenge von Material m für Planungsperiode j
$Y_{m,j}^B(t)$	Bruttobedarf an Material m für Planungsperiode j

Variable	Bedeutung
$Y_{m,j}^{max}(t)$	maximale Bestellmenge von Material m für Planungsperiode j
$Y_{m,j}^{min}(t)$	Mindestbestellmenge von Material m für Planungsperiode j
$\Delta Y_{m,j}^+(t)$	zulässige Bestellmengenerhöhung von Material m für Planungsperiode j
$\Delta Y_{m,j}^-(t)$	zulässige Bestellmengenreduzierung von Material m für Planungsperiode j
Z	Zielfunktion der Routenauswahl

Griechische Buchstaben

Variable	Bedeutung
$\vec{\alpha}_m$	Flexibilitätsvektor zur Definition der zulässigen Erhöhung der Bestellmenge von Material m
$\alpha_{m,j}$	zulässige Erhöhung der Bestellmenge von Material m für Planungsperiode j
$\vec{\alpha}_p$	Flexibilitätsvektor zur Definition der zulässigen Erhöhung der Bedarfsmenge von p in absoluten Stückzahlen
$\alpha_{p,j}$	mögliche Erhöhung der Bestellmenge von p innerhalb von Planungsperiode j in absoluten Stückzahlen
$\alpha_{p,j}^r$	resultierender relativer Faktor der maximal zulässigen Erhöhung von Bestellmenge $X_{p,j}(t)$ bis zum Lieferzeitpunkt $t + j$
$\alpha_{p,j}^{r*}$	relativer Faktor der maximal zulässigen Erhöhung von Bestellmenge $X_{p,j}(t)$ bis zum Zeitpunkt $t + 1$
γ	Menge an Material, die in der Planungsperiode $j - v$ zusätzlich geliefert werden kann
δ	Differenzbetrag zwischen vorläufiger und maximaler Bestellmenge eines Materials
ε	Bestellmengenänderung von $X_{p,j-1}(t + 1)$ gegenüber $X_{p,j}(t)$