

Betriebswirtschaftliche Forschungsergebnisse

Band 123

Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten

Ein integrierter Ansatz

Von

Marcus Schweitzer



Duncker & Humblot · Berlin

MARCUS SCHWEITZER

Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten

Betriebswirtschaftliche Forschungsergebnisse

Begründet von

Prof. Dr. Dres. h. c. Erich Kosiol †

Fortgeführt von

Prof. Dr. Dr. h. c. Knut Bleicher, Prof. Dr. Klaus Chmielewicz, Prof. Dr. Günter Dlugos,
Prof. Dr. Dres. h. c. Erwin Grochla, Prof. Dr. Heinrich Kloidt, Prof. Dr. Heinz Langen,
Prof. Dr. Siegfried Menrad, Prof. Dr. Ulrich Pleiß, Prof. Dr. Ralf-Bodo Schmidt,
Prof. Dr. Werner Vollrodt, Prof. Dr. Dres. h.c. Eberhard Witte

Herausgegeben von

Prof. Dr. Marcell Schweitzer
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

in Gemeinschaft mit

Prof. Dr. Franz Xaver Bea
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Erich Frese
Universität zu Köln

Prof. Dr. Oskar Grün
Wirtschaftsuniversität Wien

Prof. Dr. Dr. h. c. Jürgen Hauschildt
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Prof. Dr. Wilfried Krüger
Justus-Liebig-Universität Gießen

Prof. Dr. Hans-Ulrich Küpper
Ludwig-Maximilians-Universität München

Prof. Dr. Dieter Pohmer
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Prof. Dr. Henner Schierenbeck
Universität Basel

Prof. Dr. Dr. h. c. Norbert Szyperski
Universität zu Köln

Prof. Dr. Ernst Troßmann
Universität Hohenheim

Prof. Dr. Dr. h. c. Rütger Wossidlo
Universität Bayreuth

Band 123

Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten

Ein integrierter Ansatz

Von

Marcus Schweitzer



Duncker & Humblot · Berlin

DOI <https://doi.org/10.3790/978-3-428-51079-5>

Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-09-14 10:12:47

FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
der Universität des Saarlandes hat diese Arbeit im Jahre 2002
als Habilitationsschrift angenommen.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Alle Rechte vorbehalten
© 2003 Duncker & Humblot GmbH, Berlin
Fotoprint: Werner Hildebrand, Berlin
Printed in Germany

ISSN 0523-1027
ISBN 3-428-11079-X

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier
entsprechend ISO 9706 ☹

Inhaltsverzeichnis

A. Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten als betriebswirtschaftliches Problem	23
B. Grundlagen der Kapazitätsplanung von Dienstleistungen	28
I. Probleme der taktischen Kapazitätsplanung	28
1. Begriff und Arten der Kapazität	28
2. Produktionsplanung als Rahmen der Kapazitätsplanung	33
a) Strategische Ebene der Produktionsplanung	33
b) Taktische Ebene der Produktionsplanung	36
c) Operative Ebene der Produktionsplanung	38
3. Stellung der Kapazitätsplanung in der taktischen Produktionsplanung	39
II. Sachliche und begriffliche Probleme der Dienstleistungsproduktion	43
1. Grundlagen der Begriffsbildung	43
a) Bemerkungen zu Nominal- und Realdefinitionen	43
b) Schritte zu einer Realdefinition	45
2. Erläuterungen zu Dienstleistungen	46
a) Überblick über Dienstleistungen	46
b) Abgrenzung von Sachgütern und Dienstleistungen	55
c) Bedeutung von Dienstleistungsprozessen für die Kapazitätsplanung	56
3. Explikation des Dienstleistungsbegriffs	57
a) Dienstleistungsbegriff in der allgemeinen Fachsprache	57
b) Präzisierte Dienstleistungsbegriffe in der betriebswirtschaftlichen Literatur	58
(1) Potenzialorientierter Dienstleistungsbegriff	58
(2) Prozessorientierter Dienstleistungsbegriff	59

(3) Ergebnisorientierter Dienstleistungsbegriff.....	60
c) Definition eines Typusbegriffs der Dienstleistung	61
C. Dienstleistungstypologien für die taktische Kapazitätsplanung.....	64
I. Allgemeine Anforderungen an Typologien	64
II. Absatzorientierte Dienstleistungstypologien.....	65
1. Dienstleistungstypologie nach Lovelock	65
2. Dienstleistungstypologie nach Bowen und Jones	66
3. Dienstleistungstypologie nach Meyer	68
III. Produktions- und absatzorientierte Dienstleistungstypologien.....	69
1. Dienstleistungstypologie nach Berekoven.....	69
2. Dienstleistungstypologie nach Chase.....	72
3. Dienstleistungstypologie nach Schmenner	73
4. Dienstleistungstypologie nach Corsten	74
IV. Beurteilung der dargestellten Dienstleistungstypologien.....	77
V. Überblick über weitere Merkmale der Typusbildung.....	78
VI. Entwicklung einer produktions- und absatzorientierten Dienstleistungs- typologie für die taktische Kapazitätsplanung.....	81
1. Formulierung relevanter Typisierungsmerkmale.....	81
2. Aufbau der Dienstleistungstypologie	83
D. Formulierung eines allgemeinen Modells zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten	86
I. Zwecksetzung des allgemeinen taktischen Planungsmodells.....	86
II. Anforderungen an das allgemeine taktische Planungsmodell	86
1. Anforderungen an die Einbindung in ein Gesamtplanungssystem	86
2. Anforderungen an die Erfassung des Zielsystems	87
3. Anforderungen an die Erfassung der Produktions- und Nachfragestrukturen.....	87
III. Anwendungsbedingungen des allgemeinen taktischen Planungsmodells	89
IV. Struktur des allgemeinen Modells zur taktischen Planung von Dienstleis- tungskapazitäten	92

V. Überblick über bereits bekannte Ansätze zur taktischen Planung von Kapazitäten.....	98
1. Investitionstheoretische Ansätze.....	98
2. Data-Envelopment-Analysis.....	100
3. Warteschlangenbasierte Planungsansätze.....	102
VI. Kennzeichnung der Entwicklungslücke.....	104
E. Modellentwicklungen zur taktischen Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion.....	105
I. Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion mit deterministischen Prozesskoeffizienten (Haupttyp 1).....	105
1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen.....	105
2. Formulierung des Grundmodells 1.....	110
3. Ersatzmodelle zum Grundmodell 1.....	120
a) Erwartungswertmodell.....	120
b) Einstufiges Chance-Constrained-Modell.....	125
c) Mehrstufiges Chance-Constrained-Modell.....	132
4. Variationen der Ersatzmodelle.....	135
a) Variationen der Nachfragestruktur.....	135
(1) Eingeschränkte Nachfrageerfüllung.....	135
(2) Saisonale Schwankungen der Nachfrage.....	137
(3) Korrelierte Nachfragen.....	142
b) Variationen der Produktionsstruktur.....	143
(1) Berücksichtigung von Hilfsprozessen.....	143
(2) Auftreten von Lerneffekten.....	144
(3) Qualitätszielsetzungen der Dienstleistungsproduktion.....	148
(4) Flexibilität von Produktiveinheiten.....	149
(5) Lagerungsfähigkeit von Produktionsergebnissen.....	151
5. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung.....	153
II. Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion mit stochastischen Prozesskoeffizienten (Haupttyp 2).....	157

1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen	157
2. Formulierung des Grundmodells 2	160
3. Ersatzmodelle zum Grundmodell 2.....	162
4. Überblick über typenspezifische Variationen der Ersatzmodelle	164
a) Variationen der Nachfragesstruktur	164
b) Variationen der Produktionsstruktur.....	164
5. Anwendungsbeispiel zum Grundmodell 2	166
6. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung.....	174
F. Modellentwicklungen zur taktischen Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion.....	177
I. Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion mit hoher Wiederholungsrate der Prozesse (Haupttyp 3).....	177
1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen	177
2. Formulierung des Grundmodells 3	184
3. Ersatzmodell zum Grundmodell 3	191
a) Vorüberlegungen zur Modellentwicklung	191
b) Abbildung einer isolierten Produktiveinheit mittels <i>GI/G/c</i> -System	196
c) Abbildung eines Produktionssystems mittels offener Warteschlangennetze auf Basis von <i>GI/G/c</i> -Systemen	200
d) Formulierung eines Ersatzmodells.....	204
4. Variationen des Ersatzmodells	207
a) Variationen der Nachfragesstruktur	207
(1) Eingeschränkte Nachfrageerfüllung	207
(2) Schwankungen der Nachfrage.....	217
b) Variationen der Produktionsstruktur.....	219
(1) Flexibilisierung des Kapazitätseinsatzes.....	219
(2) Zeitliche Parallelisierung der Kapazitätsinanspruchnahme	221
(3) Berücksichtigung von Übergangszeiten.....	222

(4) Auftreten von Lerneffekten.....	223
5. Anwendungsbeispiel zum Grundmodell 3	224
6. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung.....	232
II. Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion mit niedriger Wiederholungsrate der Prozesse (Haupttyp 4).....	235
1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen	235
2. Formulierung des Grundmodells 4	241
a) Kurzfristiges Planungsteilmodell 4.1	241
b) Langfristiges Planungsteilmodell 4.2.....	245
3. Integration der Planungsteilmodelle 4.1 und 4.2 in einem Ersatzmodell	248
4. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung.....	248
G. Zusammenfassung	255
Anhang.....	260
Literaturverzeichnis	264
Stichwortverzeichnis.....	283

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Typologische Abgrenzung von Sachgut- und Dienstleistungsproduktion	62
Abbildung 2:	Prozessstruktur der Schadenbearbeitung einer Kfz-Versicherung...	167
Tabelle 1:	Prozessbezogene Daten	169
Tabelle 2:	Kapazitäts- und Potenzialfaktorbestandsdaten	170
Tabelle 3:	Negative Einzahlungsüberschussreihen $-ep_{k,t',t,t}$	171
Tabelle 4:	Parameter der Zwischenankunftszeiten.....	226
Tabelle 5:	Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m',n}$ der Prozesse n a) Bahnreisen, b) Flugreisen, c) Pauschalreisen d) Städtetouren	227
Tabelle 6:	Höchstgrenzen der erwarteten Durchlaufzeiten $d_{max,m,n}$	228
Tabelle 7:	Einzahlungsüberschüsse und Anzahl der Bedienungsschalter.....	228
Tabelle 8:	Lösungsstruktur des Anwendungsbeispiels.....	232

Symbolverzeichnis

(Verzeichnis der wesentlichen Symbole)

Symbole zu den Abschnitten E.I und E.II

- $\alpha_{m,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit dafür, dass die in der Periode t in der Produktiveinheit m zur Verfügung zu stellende (verfügbare) Kapazität $KA_{m,t}$ ausreichend zur Erfüllung der Mindestkapazität $ka_{\min,m,t}$ ist;
- $\beta_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Produktionsmenge $x_{n,t}$ ausreichend zur Erfüllung der Nachfrage $R_{n,t}$ ist ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- $\beta'_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Planproduktionsmenge $xf_{n,t}$ ausreichend zur Erfüllung der Nachfrage $RF_{n,t}$ ist ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- $\bar{\beta}_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Produktionsmenge $x_{n,t}$ die Nachfrage $R_{n,t}$ nicht übersteigt ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- $\gamma_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass für die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehenen Planproduktions- bzw. Teilprozessmengen $x_{n,t}$ ($n = 1, \dots, N$) ausreichend Kapazität $KA_{m,t}$ zur Verfügung steht;
- $\gamma'_{m,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass für die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehenen Planproduktions- bzw. Teilprozessmengen $xf_{n,t}$ ($n = 1, \dots, N$) ausreichend Kapazität $KAF_{m,t}$ zur Verfügung steht;
- ε_{n,t° : Saisonkoeffizient der Nachfrage nach Dienstleistungsart n in der t° -ten Periode jedes Saisonzyklus sz_n ;
- ε'_{n,t° : Saisonkoeffizient der Dienstleistungsart n in der t° -ten Teilperiode jedes Saisonzyklus sz , $sz = 1, \dots, sz'$;

$\Phi(\cdot)$:	Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung;
$\varphi(\cdot)$:	Dichtefunktion der Standardnormalverteilung;
$\sigma(\cdot)$:	Standardabweichung einer zu spezifizierenden Zufallsvariablen;
$\Xi_{n,t}$:	Zählindex für die Teilprozesse der Art n , die in Periode t durchgeführt werden, $1 \leq \Xi_{n,t} \leq X_{n,t}$;
$A_{m,k,t,t'}$:	quantitative Kapazität einer Einheit der Potenzialfaktorart k , die in der Periode t , bei Anschaffung der Einheit zu Beginn der Periode t' und Veräußerung am Ende von t'' in der Produktiveinheit m eingesetzt wird;
$bl'_{j,n,t}$:	Inanspruchnahme des Lagers j am Ende der Periode t durch eine Einheit des Prozessergebnisses der Teilprozessart n ;
$bl_{j,n,t}$:	durchschnittliche Inanspruchnahme des Lagers j in der Periode t durch eine Einheit des Prozessergebnisses der Teilprozessart n ;
$b_{n,n,t}$:	Menge der Teilprozesse der Art n , die zur Durchführung einer Dienstleistung der Art n' in der gleichen Periode t notwendig sind;
$bp_{m,n}(\Xi_{n,t})$:	Kapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die Durchführung des $\Xi_{n,t}$ -ten Teilprozesses der Art n ;
$bp_{m,n,0}$:	lernabhängiger Kapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die erste Durchführung eines Teilprozesses der Art n ;
$bp_{m,n,t}$:	deterministische Inanspruchnahme der Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene in der Periode t durch eine Einheit der Teilprozessart n ;
$BP_{m,n,t}$:	stochastische Inanspruchnahme der Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene in der Periode t durch eine Einheit der Teilprozessart n ;
$bp_{\min,m,n}$:	lernunabhängiger Mindestkapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die Teilprozesse der Art n ;
$ed_{n,t}$:	Einzahlungsüberschuss pro in Periode t geleisteter Mengeneinheit der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n ($n = 1, \dots, N$), der am Ende der Periode t anfällt;

END_t :	Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzialfaktoren, bezogen auf das Ende der Periode t ,
$ep_{k,t,t'}$:	Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;
EZD_t :	Einzahlungsüberschuss der Teilprozesse aller zu produzierenden und abzusetzenden Dienstleistungen am Ende der Periode t ,
$eZl_{j,t}$:	Einzahlungsüberschuss aus der Bereithaltung einer Einheit Lagerkapazität des Lagers j , berechnet am Ende der Periode t ,
ezp_t :	Einzahlungsüberschuss der Bereithaltung aller Potenzialfaktoren am Ende der Periode t ,
$FR_{n,t}(r_{n,t})$:	Verteilungsfunktion der vorgegebenen Produktions- und Absatzmenge („Nachfrage“) $R_{n,t}$ an Dienstleistungen der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$) in Periode t ,
i :	Kalkulationszinssatz (periodenbezogen);
$KA_{m,t}$:	zur Verfügung zu stellende (verfügbare, quantitative) Kapazität der Produktiveinheit m in der Periode t ,
$ka_{\min,m,t}$:	aus der strategischen Planung vorgegebene Mindestkapazität der Produktiveinheit m in der Periode t ,
$kl_{j,t}$:	Kapazität des Lagers j ($j = 1, \dots, J$) in der Periode t ,
$lb_{n,t}$:	Lagerbestand an Prozessergebnissen der Art n ($n = 1, \dots, N$) am Ende der Periode t ($t = 0, \dots, T$);
ℓ_n :	Lernkoeffizient der Teilprozessart n , $n = 1, \dots, N$;
$M(m, t)$:	Menge der Produktiveinheiten, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt untergeordnet werden;
$MK(m, t)$:	Menge der Potenzialfaktoren, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt (d.h. nicht auf dem Weg über untergeordnete Produktiveinheiten) zugeordnet werden;
$P\{ \}$:	Wahrscheinlichkeit für das in $\{ \}$ spezifizierte Ereignis;

RB_{n,sz_n} :	Basisnachfrage nach Dienstleistungsart n in allen Perioden des Saisonzyklus sz_n ;
$RB'_{n,t} = R_{n,t} / zt' \cdot sz'$:	Basisnachfrage nach Dienstleistungsart n in einer Teilperiode der Periode t ,
$RF_{n,\tau}$:	Nachfrage nach Dienstleistungsart n in derjenigen Teilperiode τ , die sich (bei gegebenem t , sz , t°) aus der Gleichung $\tau = zt' \cdot ((t-1) \cdot sz' + sz - 1) + t^\circ$ berechnen lässt,
$r_{\min,n,t}$:	Produktions- und Absatzmindestmenge der Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
R_n :	Menge der Dienstleistungen bzw. der sie charakterisierenden, letzten Teilprozesse der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), die während der Periode t entsprechend dem Produktions- und Absatzprogramm durchgeführt werden sollen;
sz' :	Anzahl der innerperiodischen Saisonzyklen sz der Nachfrage nach Dienstleistungen in einer Periode;
sz_n :	Index ($\in \mathbb{N}$) der Saisonzyklen der Nachfrage nach Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
$ua_{m,k}$:	anzahlabhängiger Nutzenkoeffizient ($ua_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität einer Einheit der Potenzialfaktorart k in der Produktiv-einheit m beigemessen wird;
$ue_{m,k}$:	existenzabhängiger Nutzenkoeffizient ($ue_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität des Einsatzes der Potenzialfaktorart k in der Produktiv-einheit m beigemessen wird;
$uq_{m,t}$:	Gesamtnutzen der Strukturqualität der Produktiv-einheit m in der Periode t ,
$uq_{\min,m,t}$:	Mindestnutzen der Strukturqualität der Produktiv-einheit m in der Periode t ,
$xf_{n,\tau}$:	deterministische, in der taktischen Kapazitätsplanung berücksichtigte Planproduktionsmenge der Dienstleistungsart n in Teilperiode τ ,

$XF_{n,\tau}$:	Produktionsmenge der Dienstleistungsart n in der Teilperiode τ , mit: $X_{n,t} = \sum_{\tau=zt':z\hat{z}:(t-1)+1}^{z':z\hat{z}:t} XF_{n,\tau}$;
$X_{n,0}$:	Menge der vor $t = 1$ durchgeführten Teilprozesse der Art n ;
$x_{n,t}$:	deterministische Planprozessmenge der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n ($n = 1, \dots, N$) in Periode t ;
$X_{n,t}$:	Produktionsmenge der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n , die während der Periode t zur Erfüllung des Produktions- und Absatzprogramms innerhalb der Kapazitätsplanung vorgesehen sind und für die Kapazität eingeplant wird;
$y_{m,k,t}$:	binäre Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn eine (keine) Einheit der Potenzialfaktorart k in der Periode t direkt einer Produktiveinheit m zugeordnet wird;
$z_{m,k,t,t'}$:	Anzahl der Einheiten der Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m ($m = 1, \dots, M$), die zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t' veräußert werden;
zt' :	Länge eines innerperiodischen Saisonzyklus, gemessen in Teilperioden;
zt_n :	Länge eines periodischen Saisonzyklus der Nachfrage für Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), gemessen in Perioden.

Symbole zum Abschnitt F.I

$\hat{\beta}_{n,t}$:	Anspruchsniveau in Form des Anteils angenommener Dienstleistungsaufträge bzw. Prozesse der Art n an der entsprechenden gesamten Nachfrage;
$\gamma_{m,n}$:	prozentualer Anteil der Prozesse der Art n an der gesamten Auftragsmenge $R_{n,t}$, deren erster Teilprozess in der Produktiveinheit m durchgeführt wird;
$\overline{M}_{m,n,t}$:	Bedienungsrate in einem Bedienungsschalter der Produktiveinheit m in Bezug auf die Teilprozessart (m,n) in der Periode t ,

ρ_m :	Auslastungsgrad der Produktiveinheit m ;
ξ :	Höchstzahl der Prozesse, die sich im gesamten Produktionssystem befinden können;
ξ_m :	Menge der in Produktiveinheit m anstehenden (wartenden oder sich dort in Arbeit befindenden) aggregierten Prozesse;
$A_{m,k,t,t'}$:	quantitative Kapazität einer Einheit der Potenzialfaktorart k , die in der Periode t , bei Anschaffung der Einheit zu Beginn der Periode t' und Veräußerung am Ende von t'' in der Produktiveinheit m eingesetzt wird;
$BP_{m,n}$:	Prozesskoeffizient der Teilprozessart (m,n) ;
CA^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit der Teilprozesse;
CA_m^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit des aggregierten Teilprozesses in der Produktiveinheit m ;
CAR_n^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit von Dienstleistungsaufträgen der Art n ;
CD_m^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenabgangszeit aggregierter Teilprozesse in der Produktiveinheit m ;
CS_m^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Durchführungszeit aggregierter Teilprozesse in der Produktiveinheit m ;
$CS_{m,n}^2$:	quadrierter Variationskoeffizient der Durchführungszeit von Teilprozessen (m,n) in der Produktiveinheit m ;
$c_{m,t}$:	(dimensionslose) Anzahl gleichartiger Bedienungsschalter, die während der Periode $t+1$ in der Produktiveinheit m zu Verfügung stehen;
CS^2 :	quadrierter Variationskoeffizient der Durchführungszeit der Teilprozesse;
$D_{m,n}(KA_{1,t}, \dots, KA_{M,t}, c_{1,t}, \dots, c_{M,t}, X_{1,1,t}, \dots, X_{M,N,t})$:	Durchlaufzeit eines Teilprozesses (m,n) in der Produktiveinheit m in Periode t ;

$d_{\max,m,n,t}$:	höchste zulässige Durchlaufzeit eines Teilprozesses der Art (m,n) in der Periode t ,
$E(\overline{M}_{m,n,t})$:	erwartete Bedienungsrate der Teilprozesse (m,n) in einem Bedienungsschalter der Produktiveinheit m in der Periode t ,
$E(\overline{M}_{m,t}(\xi_m))$:	zustandsabhängige erwartete Bedienungsrate an aggregierten Teilprozessen in der Produktiveinheit m während der Periode t ,
$E(R_n)$:	erwartete Zahl der eingehenden Dienstleistungsaufträge der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
$E(S_m)$:	erwartete Durchführungszeit eines aggregierten Teilprozesses, der während der betrachteten Periode in der Produktiveinheit $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene oder ein Bedienungsschalter}\}$ durchzuführen ist;
$E(TH_n)$:	erwartete Produktionsmenge der Dienstleistungs- bzw. Prozessart n , die während der betrachteten Periode t durchzuführen ist;
$E(TH_t)$:	erwartete Produktionsmenge aggregierter Prozesse, die während der betrachteten Periode t durchzuführen ist;
$E(X_m)$:	erwartete Zahl aggregierter Teilprozesse, die während der betrachteten Periode in der Produktiveinheit $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$ durchzuführen sind (Ankunftsrate);
$ed_{m,n,t}$:	Einzahlungsüberschuss pro in der Periode t geleisteter Einheit eines Teilprozesses der Art (m,n) ($n = 1, \dots, \hat{n}$; $m = 1, \dots, M$), der bei der Durchführung der Dienstleistungsart n in der Produktiveinheit m am Ende dieser Periode anfällt;
END_t :	Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzialfaktoren, bezogen auf das Ende der Periode t ,
$ep_{k,t,t'}$:	Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;
EZD_t :	Einzahlungsüberschuss aller Teilprozesse der zu produzierenden und abzusetzenden Dienstleistungen am Ende der Periode t ,

ezp_t :	Einzahlungsüberschuss für die Bereithaltung aller Potenzialfaktoren am Ende der Periode t ;
$h_m(\xi_m)$:	Hilfsfunktion zur Beschreibung der Anzahl an Bedienungsschaltern, die in Produktiveinheit m durch Prozesse belegt sind;
i :	Kalkulationszinssatz (periodenbezogen);
$KA_{m,t}$:	zur Verfügung zu stellende (verfügbare, quantitative) Kapazität eines Bedienungsschalters der Produktiveinheit m in der Periode t ;
$ka_{\min,m,t}$:	aus der strategischen Planung vorgegebene Mindestkapazität eines Bedienungsschalters der Produktiveinheit m in der Periode t ;
$M(m, t)$:	Menge der Produktiveinheiten, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt untergeordnet werden;
$MK(m, t)$:	Menge der Potenzialfaktoren, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt (und nicht auf dem Weg über untergeordnete Produktiveinheiten) zugeordnet werden;
$P(0)$:	Wahrscheinlichkeit, dass sich zu einem bestimmten Zeitpunkt kein Teilprozess im Produktionssystem befindet;
$p_{m,m;n}$:	Wahrscheinlichkeit, dass für eine Dienstleistung der Art n nach Abschluss des Teilprozesses der Art (m,n) in der Produktiveinheit m ein Teilprozess (m',n) in der Produktiveinheit m' durchgeführt wird;
$p_{m,m'}$:	Wahrscheinlichkeit für den direkten Übergang eines aggregierten Teilprozesses von der Produktiveinheit m in die Produktiveinheit m' ;
$P_m\{(\xi_m, \xi')\}$:	Wahrscheinlichkeit für einen Bestand von ξ_m Prozessen vor und in der Produktiveinheit m , falls sich im gesamten Produktionssystem stets ξ' Prozesse befinden;
$R_{n,t}$:	Menge der Dienstleistungen der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), die während der Periode t entsprechend dem Produktions- und Absatzprogramm durchgeführt werden sollen;

$S_{m,t}$:	Durchführungszeit pro Teilprozess (Kehrwert der Bedienungsrate);
$ua_{m,k}$:	anzahlabhängiger Nutzenkoeffizient ($ua_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität einer Einheit der Potenzialfaktorart k in der Produktivseinheit m beigemessen wird;
$ue_{m,k}$:	existenzabhängiger Nutzenkoeffizient ($ue_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität des Einsatzes der Potenzialfaktorart k in der Produktivseinheit m beigemessen wird;
$uq_{m,t}$:	Gesamtnutzen der Strukturqualität der Produktivseinheit m in Periode t ;
$uq_{\min,m,t}$:	Mindestnutzen aus der Strukturqualität der Produktivseinheit m in der Periode t ;
$v_{0,n,t}$:	relative Häufigkeit der Prozessart n bezogen auf die Gesamtproduktionsmenge der Periode t . Sie ist gleichbedeutend mit der Häufigkeit, mit der die Prozessart n an derjenigen Prozessmenge vertreten ist, die in der fiktiven Produktivseinheit ansteht. Es gilt: $\sum_{n=1}^{\tilde{n}} v_{0,n,t} = 1$;
$v_{m,n,t} = \frac{E(X_{m,n,t})}{E(TH_t)}$:	relative Häufigkeit der Durchführung der Teilprozesse (m,n) , bezogen auf die gesamte erwartete Produktionsmenge aggregierter Prozesse einer Periode $E(TH_t)$;
$v_{m,t}$:	relative Häufigkeit der Durchführung eines aggregierten Prozesses in der Produktivseinheit m in Periode t ;
X :	Menge der Teilprozesse, die während der betrachteten Periode zu bearbeiten sind („Ankunftsrate“);
$X_{m,n,t}$:	Produktionsmenge der Teilprozesse der Art (m,n) , die während der Periode t zur Erfüllung des Produktions- und Absatzprogramms vorgesehen sind und für welche Kapazität zur Verfügung gestellt wird;
$y_{m,k,t}$:	Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn eine (keine) Einheit der Potenzialfaktorart k in der Periode t direkt einer Produktivseinheit m zugeordnet wird;

$z_{m,k,t,t'}$: Anzahl der Einheiten von Potenzialfaktorart k , die für jeden Bedienungsschalter der Produktiveinheit m zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert werden.

Ergänzende Symbole zum Abschnitt F.II

$\Delta_{\max,o,o'}$: zeitlicher Höchstabstand zwischen den Endterminen der Teilprozesse o und o' ;

$\Delta_{\min,o,o'}$: zeitlicher Mindestabstand zwischen den Endterminen der Teilprozesse o und o' ;

$\tau(o)$: frühester Endtermin des Teilprozesses o ;

$\tau_s(o)$: spätester Endtermin des Teilprozesses o ;

$\mathcal{D}(o)$: Menge der unmittelbaren Vorgänger des Teilprozesses o ;

$ed'_{o,\tau}$: Einzahlungsüberschuss pro in Teilperiode τ geleisteter Mengeneinheit der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart o ($o = 1, \dots, O$), der bei Durchführung am Ende der Teilperiode τ anfällt, sofern er in dieser Teilperiode beendet wird;

END_t : Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzialfaktoren, bezogen auf das Ende der Periode t ;

$ep_{k,t,t'}$: Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;

i' : teilperiodenbezogener Kalkulationszinssatz;

$ka_{\max,m,t}$: Höchstgrenze für die in der Produktiveinheit m in Periode t einplanbare Kapazität;

$\mathcal{M}(o)$: Menge der Produktiveinheiten auf höchster Aggregationsebene, in denen Teilprozess o durchgeführt werden kann;

$s_{m,o}(KA_{m,1})$: Durchführungszeit des Teilprozesses o in der Produktiveinheit m bei einer Kapazität dieser Produktiveinheit von $KA_{m,1}$ in der ersten Periode;

$V(o)$:	Menge aller mittelbaren und unmittelbaren Vorgänger des Teilprozesses o ;
$w_{m,o,\tau}$:	Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn Teilprozess o am Ende der Teilperiode τ in der Produktiveinheit m ($m = 1, \dots, M$) beendet (nicht beendet) wird;
$\bar{w}_{m,o,\tau}$:	Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn Teilprozess o in der Teilperiode τ die Produktiveinheit m belegt (nicht belegt);
$z_{m,k,t,t'}$:	Anzahl der Einheiten von Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m , $m = 1, \dots, M$, die zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert werden.

A. Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten als betriebswirtschaftliches Problem

Die wirtschaftliche Entwicklung der vergangenen Jahre lässt weltweit eine steigende Bedeutung des Dienstleistungsbereichs erkennen. Dieser Wandel wird in der Betriebswirtschaftslehre mit zunehmender Aufmerksamkeit verfolgt und in seinen Strukturen analysiert. Als seine Ursachen gelten eine Sättigung des Bedarfs nach Sachgütern und eine wachsende Nachfrage nach Dienstleistungen. Vordergründig wird diese Entwicklung als eine Begleiterscheinung des verbesserten Lebensstandards in den Industrienationen interpretiert.¹ Es mehren sich jedoch die Stimmen, die diesen einfachen Erklärungen widersprechen, weil sie wesentliche Elemente des strukturellen Wandels vernachlässigen. Im nationalen Vergleich der Bundesländer zeigt *Albach*,² dass eine intensive Desindustrialisierungspolitik einen negativen Einfluss auf die Zuwächse der Bruttowertschöpfung im Dienstleistungsbereich ausübt, also keine eindeutig gegenläufige Entwicklung festzustellen ist. Andere Analysen lassen wiederum erkennen, dass innerhalb des Dienstleistungsbereichs Produktionen zur Deckung der Unternehmensnachfrage besondere Zuwächse aufweisen³ und damit ein Dienstleistungsbereich im Wachstum begriffen ist, der unabhängig vom Lebensstandard ist.

In der industriellen Sachgutproduktion ist die Tendenz zu beobachten, dem steigenden Wettbewerbsdruck durch eine qualitative Anpassung des Produktprogramms zu begegnen. Dazu werden verstärkt Dienstleistungen als komplementäre Produkte angeboten.⁴ Anbieter dieser Dienstleistungen sind sowohl die Sachgutproduzenten selbst als auch selbstständige Dienstleistungsunternehmen. Zudem ist bei den Sachgutproduzenten die Tendenz festzustellen, Querschnittsfunktionen in dienstleistenden Funktionsbereichen zusammenzufassen und diese von einem bestimmten Volumen an als selbstständige Unternehmen auszugliedern. Damit wird der Zweck verfolgt, die Dienstleistungsproduktion in kleineren Unternehmen wirtschaftlicher und flexibler zu gestalten.⁵ Beispiele hierfür finden sich im Schienennetz-Bereich der Deutschen

¹ Vgl. *Bell* (1973), S. 123 ff.

² Vgl. *Albach* (1989a), S. 53 f.

³ Vgl. *IDW* (2001), S. 20 sowie *Buttler/Stegner* (1990), S. 932.

⁴ Vgl. *Scheuch* (1982), S. 20; *Wagner* (2000), S. 277 f. sowie *Chase/Garvin* (1989), S. 62 f.

⁵ Vgl. *Albach* (1989b), S. 399 ff. sowie *Potts* (1988), S. 16.

Bahn AG oder im Entwicklungs- und EDV-Bereich⁶ zahlreicher Industrieunternehmen. Allgemein zeigt sich, dass der technische Fortschritt, ökologische Anforderungen und arbeitsrechtliche Vorschriften⁷ Sachgutproduzenten zunehmend zur Nachfrage nach neuen Dienstleistungen zwingen. Pharma-Unternehmen überlassen z.B. zunehmend die Betreuung ihrer Testserien hierauf spezialisierten Clinical-Research-Unternehmen. Auch kommunale Betriebe besitzen häufig nicht mehr die technische und juristische Kompetenz zur selbstständigen Durchführung besonderer Aufgaben und übertragen diese teilweise an externe Anbieter, z.B. an regionale Rechenzentren oder an Ingenieur-Büros.

Von wissenschaftlichem Interesse ist der Dienstleistungsbereich, weil er gesamtwirtschaftlich sektorale Umbrüche und höhere Beiträge zur Wertschöpfung erwarten lässt und weil er selbst im Wandel begriffen ist. Hier sind es zum einen gesellschaftliche Rahmenbedingungen, die beispielsweise im Gesundheitsbereich⁸ zu neuen Anforderungen führen. Zum anderen sind es Globalisierungsbestrebungen, z.B. bei Luftverkehrs-⁹ und Telekommunikationsunternehmen, und die Einführung neuer Technologien, wie z.B. E-Commerce,¹⁰ die eine Neuausrichtung der Dienstleistungsproduktion mit sich bringen.

Die betriebswirtschaftliche Fachliteratur greift Probleme der Dienstleistungsproduktion meist im Kontext mit der Sachgutproduktion auf.¹¹ Zwar erscheint dieser Weg auf den ersten Blick einleuchtend, da im Kern beide Produktionsformen Transformationsprozesse darstellen. Dennoch liegt der Schwerpunkt der Analysen – auch im Bereich der Kapazitätsplanung¹² – nahezu ausschließlich bei industriellen Sachgutproduktionen. Ähnliches gilt für die Organisationslehre, die Planungslehre, die Produktions- und Kostentheorie sowie die auf ihr fußende Kostenrechnung. Die systematische Erforschung dienstleistungsspezifischer Probleme steckt dagegen noch in den Anfängen.

In der relativ jungen dienstleistungswirtschaftlichen Fachliteratur werden bevorzugt Probleme des Absatzes, der Organisation sowie des Qualitätswesens behandelt. Die wenigen produktionswirtschaftlichen Beiträge zum Dienstleistungsbereich sind vornehmlich theoretisch orientiert¹³ oder beschäftigen sich

⁶ Vgl. ZEW (2001), S. 35.

⁷ Vgl. Corsten (2001), S. 18; Wagner (2000), S. 280 sowie Haksever u.a. (2000), S. 10 f.

⁸ Vgl. Helmig/Tscheulin (1998), S. 84.

⁹ Vgl. Endler/Peters (1998), S. 1048 f.

¹⁰ Vgl. Zentes/Swoboda (2000), S. 689 ff.

¹¹ Vgl. Hahn/Lassmann (1999), S. 394 ff. sowie für die Prozessplanung Schmidt (1997), S. 29 ff.

¹² Vgl. Schmidt (1968), S. 73 ff. sowie Dellmann (1971), S. 159 ff.

¹³ Vgl. Corsten (1985), S. 36 ff. sowie Corsten (1996), Sp. 342 ff.

mit ausgewählten und stark spezialisierten Einzelfragen. Einige dieser Beiträge stellen die Prozessgestaltung in den Vordergrund ihrer Betrachtung. Um jedoch wirtschaftliche Entscheidungen über die Art und Durchführung komplexer Dienstleistungsprozesse zu treffen, ist es von zentraler Bedeutung, auch die jeweils in Anspruch genommenen Potenzialfaktoren mit ihren Kapazitäten in die Planung einzubeziehen.¹⁴ In der Wirtschaftspraxis ist diese Notwendigkeit bereits seit geraumer Zeit erkannt worden. Beispiele dafür sind die Deutsche Bahn AG, die Bundespost, Banken, Versicherungen, Reisebüros, Fluggesellschaften und der gesamte öffentliche Verwaltungsbereich¹⁵, die gegenwärtig intensiv Kapazitätsprobleme analysieren. Gerade Kommunen unterliegen massiven Umstrukturierungsanforderungen, bei denen sich sowohl Fragen der Prozess- als auch der Kapazitätsstruktur (Potenzialfaktorstruktur) auftun.¹⁶ Erhebliche Änderungen der Prozess- und Potenzialfaktorstruktur wird auch der gegenwärtig vorangetriebene Umbau des Hochschulsystems mit sich bringen. Auf der operativen Planungsebene hat eine integrierte Problemanalyse der Potenzialfaktorstruktur für Dienstleistungen in der Gestalt des Yield Management bereits Einzug in die Forschung gehalten. Eine zielgerichtete Gestaltung der Potenzialfaktorstruktur auf der taktischen und der strategischen Planungsebene wird hingegen weniger intensiv diskutiert,¹⁷ vielmehr überwiegen auf diesen Ebenen bislang Ansätze zur Prozessplanung und -simulation.

Bei der Annäherung an das Problem der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten stellen sich zahlreiche elementare Fragen. Bereits auf der begrifflichen Ebene besteht das Problem, dass Definitionen des Dienstleistungsbegriffs zwar lebhaft diskutiert werden, jedoch bislang kein Konsens über einen zweckmäßigen Begriff erreicht wurde. Damit stellt sich die Frage, wie in Anbetracht des unklaren bzw. uneinheitlichen Sprachgebrauchs eine wissenschaftliche Kommunikation über Sachfragen geführt werden kann. Ohne Zweifel ist es erforderlich, für die anstehenden Probleme zweckmäßige Sprachregelungen und eine sachliche Abgrenzung zwischen Dienstleistungen und Sachgütern zu finden. Diese Abgrenzung ist mit der Frage verknüpft, inwiefern Unterschiede zwischen Sachgut- und Dienstleistungsproduktion gesonderte Untersuchungen beider erfordern und welche Eigenschaften bzw. Sachverhalte der Dienstleistungsproduktion diese Untersuchungen rechtfertigen. Nach heutigem Wissensstand kann in diesem Zusammenhang bereits festgestellt werden, dass für die Dienstleistungsproduktion Sonderprobleme zu untersuchen sind, die aus der Integration externer Faktoren, aus der besonde-

¹⁴ Vgl. Müller-Merbach (1992), S. 274 sowie Nie/Kellogg (1999), S. 351.

¹⁵ Vgl. Eichhorn (1979), Sp. 2148 ff.

¹⁶ Vgl. Engelhardt/Freiling (1995), S. 899 sowie Reichwald (1984), S. 210 ff.

¹⁷ Vgl. Meyer, Arn. (1969), S. 464.

ren Bedeutung des Qualitätswesens, aus der Unsicherheitssituation und aus dem Charakter der Dienstleistungen als Leistungsbündel resultieren.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus der realen Erscheinungsvielfalt der Dienstleistungen. Als sprachliche Methode zur Erfassung einer Vielfalt empirischer Phänomene bietet sich u.a. die Typologisierung an. Bei ihrer Gestaltung stellt sich analog zum Begriffsproblem der Dienstleistung die Frage, welche Anforderungen eine zweckmäßige Typologie zu erfüllen hat. Daran anknüpfend muss beantwortet werden, wie eine Typologie der Dienstleistungsproduktionen für die Zwecke der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten aufzubauen ist und ob eine der bereits formulierten Typologien den gestellten Anforderungen und verfolgten Zwecken genügt.

Auf der Grundlage einer zweckmäßigen Typologie der Dienstleistungsproduktionen ist die zentrale Frage nach typengerechten Verfahren bzw. Modellen der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten zu beantworten, d. h., es ist notwendig, die Frage zu erörtern, wie Produktionssysteme typologisch zu differenzieren und zu modellieren sind. Gleichermäßen ist offen, ob für einzelne Typen der Dienstleistungsproduktion unterschiedliche Zielsysteme zu formulieren sind. Für Kapazitätsprobleme der Sachgutproduktion sind bereits detaillierte Planungsansätze entwickelt worden, die jedoch nicht immer den Forderungen nach Einfachheit und Lösbarkeit genügen. Dieses Problem tritt auch bei der Entwicklung realitätsgetreuer Planungsmodelle für Dienstleistungskapazitäten auf. Insofern ist im Zusammenhang mit der Modellierung des taktischen Kapazitätsplanungsproblems auch nach der Lösbarkeit der Modelle und der Komplexität der verwendeten Lösungsverfahren zu fragen. Dabei ist zunächst zu erkunden, welche bereits entwickelten Modelle sich bei der vorliegenden Problemstellung anwenden oder problemgerecht weiterentwickeln lassen. Insbesondere muss überprüft werden, welche Produktionstypen durch die bereits vorhandenen Modelle abgebildet werden. Hierauf aufbauend ist es Aufgabe der Untersuchung, eine sich auftuende Entwicklungslücke im Sinne eines Modelldefizits zu schließen.

Die zum Thema der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten aufgeworfenen Fragen berühren Problembereiche, zu deren Behandlung unterschiedliche Methoden einzusetzen sind. Wie bereits angeführt, betrifft ein Fragenkomplex sprachliche Probleme. Ihre Behandlung verlangt eine Auseinandersetzung mit den Methoden der Nominal- und Realdefinition von Begriffen sowie der Bildung einer zweckmäßigen Typologie.

Ein weiterer Fragenkomplex bezieht sich auf die Art der Modellierung, die für taktische Kapazitätsplanungsprobleme herangezogen werden kann. Dabei stellt sich zunächst die Frage, inwiefern bereits bekannte Planungsverfahren bzw. -modelle zur Lösung von Problemen der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten geeignet sind. Zur Behandlung dieser Fragestellung wird

ein allgemeines Modell formuliert, an welchem die Leistungsfähigkeit bekannter bzw. neu entwickelter Modelle gemessen werden kann.

Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt im Schließen der Lücke, die sich aus der Analyse der Leistungsfähigkeit bekannter Modelle ergibt. Auf der Grundlage der gebildeten Typologie für Dienstleistungen werden dazu Modelle entwickelt, die den typenspezifischen Anforderungen an taktische Planungssysteme für Dienstleistungskapazitäten gerecht werden. Da Unsicherheiten aufgrund der Länge des Planungszeitraums und der Integration externer Faktoren in die Produktion absehbar sind, bieten sich für Risikosituationen stochastische Modellierungen an. Methodisch werden diese Modellierungen durch die Formulierung deterministischer Ersatzmodelle unterstützt. Sofern die Abbildung des Produktionssystems dies erfordert, werden ferner offene und semi-offene Warteschlangennetzwerke zur Ermittlung bzw. Prognose relevanter Größen herangezogen. Für die einzelnen Modellentwicklungen werden außerdem Aussagen über ihre Lösbarkeit formuliert.

Allgemeine Zwecksetzung der Untersuchung ist es, einen Modell-Rahmen für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten zu schaffen. Anhand von Fallbeispielen wird außerdem gezeigt, dass die neu entwickelten Modelle leistungsfähig sind und sich zur Lösung praktischer Problemstellungen erfolgreich einsetzen lassen. Es wird jedoch nicht der Anspruch erhoben, die gesamte Bandbreite existierender Problemfacetten der Dienstleistungsproduktion abzudecken oder spezielle technische Gegebenheiten detailliert zu analysieren. Gerade technische Gegebenheiten führen zum Beispiel bei Großunternehmen, wie der Bahn AG, bei Flughäfen oder bei Versorgungsunternehmen zu hoch komplexen Anwendungen, deren Beschreibung und Analyse den Rahmen dieser Schrift sprengte. In gleicher Weise bleiben Produktionen ausgeklammert, die, wie die Anlagebereiche von Banken und Versicherungen, eine Planung finanzieller Ressourcen¹⁸ erfordern. Die entwickelten Modelle zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten lassen neben dem allgemeinen Rahmen zur Abbildung unterschiedlicher Dienstleistungsproduktionen auch erkennen, welche numerischen Probleme bei der jeweiligen Modelllösung auftreten. Daher ist es unumgänglich, bereits bei der Modellierung die Anwendung potenzieller Lösungsverfahren im Auge zu behalten.

¹⁸ Vgl. *Farmy* (1992), S. 264 f.

B. Grundlagen der Kapazitätsplanung von Dienstleistungen

I. Probleme der taktischen Kapazitätsplanung

1. Begriff und Arten der Kapazität

In der Betriebswirtschaftslehre ist die Kapazität ein systematisch analysierter und weitgehend geklärt Sachverhalt. Unter der Kapazität einer Produktiveinheit wird das maximale Leistungsvermögen verstanden, das von dieser in einem bestimmten Zeitabschnitt bereitgestellt wird.¹ Diese ursprünglich für die industrielle Sachgutproduktion formulierte Definition gilt allgemein für jede Produktion und kann daher grundsätzlich auch auf die Produktion von Dienstleistungen übertragen werden. Um jedoch alle Besonderheiten der Dienstleistungsproduktion zu erfassen, bedarf diese allgemeine Definition einer angemessenen Präzisierung.

Der allgemeine Begriff der Kapazität ist für die Besonderheiten der betroffenen Produktiveinheit und des betrachteten Zeitabschnitts zu konkretisieren. Eine Produktiveinheit (z.B. eine Abteilung) bildet eine Zusammenfassung von Potenzialfaktoren² (z.B. Mitarbeiter und technische Hilfsmittel) oder untergeordneten Produktiveinheiten, deren Leistungsvermögen zu einer Gesamtkapazität aggregiert werden können. Das Leistungsvermögen einer Produktiveinheit lässt sich unter qualitativen und quantitativen Aspekten betrachten. Stehen bei der Betrachtung des Leistungsvermögens artmäßige Aspekte im Vordergrund, wird von der qualitativen Kapazität gesprochen. Wird hingegen das Leistungsvermögen unter mengenmäßigen Aspekten untersucht, handelt es sich um die quantitative Kapazität der Produktiveinheit.³

Sechs Faktoren bestimmen die Höhe der quantitativen Kapazität:

1. die Anzahl der einsetzbaren Potenzialfaktoren bzw. ihrer Aggregate;
2. das individuelle, quantitative Leistungsvermögen der einsetzbaren Potenzialfaktoren;
3. die Aggregation der einsetzbaren Potenzialfaktoren;

¹ Vgl. *Kern* (1962), S. 27.

² Vgl. *Kilger* (1986), S. 372.

³ Vgl. *Corsten* (2000), S. 13.

4. die Maßgröße der quantitativen Kapazität;
5. die produktionsbedingte Einsatzbereitschaft;
6. die Länge der Bezugsperiode.

Die Anzahl der einsetzbaren Potenzialfaktoren sowie ihr maximales Leistungsvermögen bilden den Ausgangspunkt einer Kapazitätsbestimmung. Ferner entscheidet auch die Aggregation (Betriebsmittelkombination) von untergeordneten Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren über die Kapazität einer übergeordneten Produktiveinheit. Maßgeblichen Einfluss auf die Möglichkeit einer Aggregation nehmen dabei die Prozesse, die in dieser übergeordneten Produktiveinheit durchgeführt werden. Unter einem Prozess ist die geordnete Folge von Tätigkeiten zu verstehen, zu deren Realisation Potenzialfaktoren zeitlich in Anspruch genommen werden. Die Arbeitsinhalte und die Reihenfolge dieser Tätigkeiten sind meist in einem zugehörigen Prozess- bzw. Arbeitsplan festgelegt. Potenzialfaktoren und untergeordnete Produktiveinheiten lassen sich horizontal aggregieren, wenn sie zur Durchführung eines Prozesses jeweils gemeinsam herangezogen werden können und sich der anfallende Kapazitätsbedarf auf die beanspruchten Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten verteilt.⁴ Zum Beispiel können die Mitarbeiter in der Schadenbearbeitung einer Risikoversicherung horizontal zu Gruppen aggregiert werden. Die Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit (Gruppe, Abteilung) entspricht dann der Summe der Kapazitäten untergeordneter Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren. Bei gleichen Kapazitäten dieser untergeordneten Komponenten kann die Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit durch Multiplikation der Zahl der Komponenten mit der Kapazität einer Komponente berechnet werden. Eine vertikale Aggregation von Produktiveinheiten oder Potenzialfaktoren ist möglich, wenn sie bei allen möglichen Belastungen durch alternative Prozessprogramme ein und denselben Kapazitätsengpass haben.⁵ Die Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit bestimmt sich dann aus der Kapazität derjenigen Produktiveinheit oder desjenigen Potenzialfaktors, die bzw. der diesen Kapazitätsengpass verursacht. Voraussetzung für Aggregationen ist es, dass zu Planungszwecken immer die Kapazität der gesamten aggregierten Produktiveinheit herangezogen wird und nicht die Kapazitäten von Teileinheiten als separate Planungsobjekte betrachtet werden. Gegenstände der Aggregation können u.a. auch Vorrichtungen, Mess- und Prüfeinrichtungen sowie Lager- und Transporteinrichtungen sein. Speziell bei der Berücksichtigung von Personal sind umfangreiche arbeitsrechtliche Vorschriften sowie Tarif- und Betriebsvereinbarungen zu berücksichtigen.

⁴ Vgl. *Layer* (1979), Sp. 875.

⁵ Vgl. *Kern* (1993), Sp. 1057; *Layer* (1979), Sp. 875, spricht u.a. von gekoppelten Potenzialfaktoren.

Als Maßgröße der quantitativen Kapazität wird vielfach die Ausbringungsmenge einer Produktiveinheit verwendet.⁶ Diese Festlegung ist jedoch nur im Fall einer Einproduktfertigung bzw. im Fall einer einzigen Prozessart möglich. Werden in einer Produktiveinheit unterschiedliche Prozessarten durchgeführt, ist es erforderlich, die Kapazität vektoriell zu messen oder ein Ersatzmaß zu formulieren. Als Ersatzmaß eignet sich beispielsweise der Zeitfonds⁷, der die höchstmögliche Zeit wiedergibt, während der die Produktiveinheit zur Verfügung steht. Zur Präzisierung des Zeitfonds ist es erforderlich, die Art der Prozesse abzugrenzen, die ihn in Anspruch nehmen. I.d.R. enthält der Zeitfonds keine kapazitätsmindernden Verlustzeiten.⁸ Diese Verlustzeiten lassen sich in betriebsmittelbedingte (z.B. Reparaturzeiten und Störungszeiten), personalbedingte (z.B. Personalausfallzeiten) und sonstige Verlustzeiten (z.B. ablaufbedingte Stillstands- und Rüstzeiten) differenzieren. Dabei wird deutlich, dass ein Teil der Verlustzeiten durch planmäßige Prozesse bedingt ist, die zwar keine direkten Produktionsprozesse darstellen, aber die Produktiveinheit eine u.U. unsichere Zeit in Anspruch nehmen. Als Beispiele lassen sich Rüst- sowie Reparatur- und Instandhaltungsprozesse anführen. Je nachdem, ob diese Prozesse als eigenständige Prozesse bei der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden, sind entsprechende Zeitkomponenten im Zeitfonds zu beachten.

Die quantitative Kapazität wird ferner durch die Art der produktionsbedingten Einsatzbereitschaft bestimmt. Auf diese Einsatzbereitschaft nehmen alle Maßnahmen Einfluss, die unter Nutzung der Kompensationsfähigkeit bzw. Flexibilität einer Produktiveinheit bei gegebenem Bestand an Potenzialfaktoren ergriffen werden. Speziell bei personalintensiver Produktion lassen sich Schicht- und Personaleinsatzpläne anpassen, Überstunden durchführen oder Spielräume eines Jahresarbeitszeitmodells nutzen. Ebenso können Kapazitäten durch temporäre Umordnung materieller Potenzialfaktoren auf andere Produktiveinheiten variiert werden. Auch die Länge der Bezugsperiode determiniert die quantitative Kapazität. Die Bezugsperiode ist zum einen von der Hierarchieebene der Planung und deren Aggregationsniveau abhängig, zum anderen bestimmen zeitliche Schwankungen des Kapazitätsbedarfs oder der Verfügbarkeit der Potenzialfaktoren über die Zweckmäßigkeit der Bezugsperiodeneinteilung.⁹

Die qualitative Kapazität einer Produktiveinheit lässt sich als dimensionale, als präzisionale sowie als variationale Kapazität erfassen.¹⁰ Dabei wird unter

⁶ Vgl. *Kilger* (1986), S. 374.

⁷ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 130.

⁸ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 131.

⁹ Vgl. *Günther* (1989), S. 19 sowie *Betge* (1996), Sp. 854.

¹⁰ Vgl. *Kern* (1993), Sp. 1057.

dimensionaler Kapazität das Ausmaß einer Produktiveinheit verstanden, in dem sie ihre Potenzialfaktoren auf wechselnde Arbeitsinhalte bzw. Prozesse einzustellen vermag. Als präzisionale Kapazität wird die Güte beschrieben, mit der eine Produktiveinheit die ihr übertragenen Arbeitsinhalte erfüllen kann, und die variationale Kapazität (Flexibilität) zeigt die Art und Geschwindigkeit, mit der sich die Produktiveinheit auf wechselnde Arbeitsinhalte anpassen lässt. Eine Vielzahl von Gründen kann es erforderlich machen, eine Produktiveinheit anzupassen. Bei Dienstleistungen können zum einen veränderte Nachfragestrukturen zu Anpassungen führen. Speziell für veränderte Nachfragestrukturen lassen sich Kapazitätsanpassungen an variierte Kundenwünsche für modifizierte und für bestehende Produktprogramme trennen.¹¹ Neben veränderten Nachfragestrukturen können zum anderen neue technologische Strukturen und eine geänderte Gesetzeslage sowie veränderte Informations- und Lieferstrukturen Anpassungsmaßnahmen auslösen.

Wesentliche Elemente der qualitativen Kapazität einer Produktiveinheit sind die Flexibilität und die Variabilität. Allgemein wird unter Flexibilität die Anpassungsfähigkeit eines Systems an sich ändernde Umweltzustände verstanden. Die Flexibilität einer Produktiveinheit wird bestimmt durch die Anpassungsfähigkeit ihrer Potenzialfaktoren. Die Anpassung einer Produktiveinheit lässt sich in zwei Formen durchführen: Zum einen kann bei unverändertem Bestand an Potenzialfaktoren durch eine Änderung ihrer Struktur oder ihrer Verwendung (z.B. Modifikation des Schichtmodells oder Änderung der Arbeitsaufgaben eines Mitarbeiters) eine Anpassung erreicht werden (Bestandsflexibilität). Zum anderen drückt sich die Flexibilität in der Möglichkeit aus, einen Bestand an Potenzialfaktoren zu ergänzen oder zu modifizieren und eine qualitative Veränderung des Produktionssystems herbeizuführen (Entwicklungsflexibilität).¹² Die Nutzung eines Flexibilitätspotenzials kann unter den Gesichtspunkten der Funktionssicherung oder der Zielverbesserung gesehen werden.¹³

Formen der Bestandsflexibilität sind die Entwurfsflexibilität und die Kompensationsfähigkeit. Als Entwurfsflexibilität wird die Geschwindigkeit bezeichnet, mit der die Struktur der vorhandenen Potenzialfaktoren neu gestaltet werden kann. Entsprechende Maßnahmen sind z.B. erforderlich, wenn ein Produktionssystem in kurzer Zeit auf veränderte Produktionsbedingungen umgestellt werden muss. Bei persönlich erbrachten Dienstleistungen sind häufig die Einsatzorte und somit die Orte der Faktorkombination unter Termindruck neu zu planen.

¹¹ Vgl. *Zäpfel* (2000a), S. 268 ff. sowie *Fassott* (1995), S. 100 f.

¹² Vgl. *Wildemann* (1987), S. 468.

¹³ Vgl. *Corsten* (2000), S. 19.

Verwandt mit der Entwurfsflexibilität ist die Kompensationsfähigkeit.¹⁴ Sie gibt an, inwieweit eine bestehende Produktiveinheit durch Modifikation der Potenzialfaktorenstruktur auf geänderte Umweltzustände angepasst werden kann. Im Falle einer Dienstleistungsproduktion lässt sich die Kompensationsfähigkeit beispielsweise durch eine Änderung der Personaleinsatzpläne realisieren. Voraussetzungen hierfür sind geeignete Qualifikationen der von dieser Maßnahme betroffenen Mitarbeiter und das Vorhandensein einer genügenden Zahl an Arbeitsplätzen.

Während sich die Kompensationsfähigkeit auf Anpassungen bei einer festen Palette an Produkten bzw. Dienstleistungen bezieht, gibt die „Anpassflexibilität“¹⁵ das Vermögen wieder, mit welchem die vorhandenen Potenzialfaktoren für die Produktion eines neuen Produkt- bzw. Leistungsprogramms eingesetzt werden können. So kann eine Direkt-Bank ihre Mitarbeiter im Call-Center oder ihr Online-Portal zusätzlich zur bisherigen Abwicklung von Banktransaktionen auch zur Vermittlung von Versicherungsleistungen einsetzen.

Als besondere Form der Entwicklungsflexibilität tritt die Variabilität der Kapazität auf. In ihrer quantitativen Form gibt sie an, in welchen Quantitäten eine Kapazität auf- oder abgebaut werden kann. Bei Potenzialfaktoren ist i.d.R. von einer diskreten Variabilität¹⁶ in größeren Quantitäten auszugehen. Daneben lassen sich z.B. das Aushilfspersonal oder kleinere Vorrichtungen, die in größeren Mengen benötigt werden, auch in verhältnismäßig kleinen, diskreten Quantitäten auf- oder abbauen. In letzteren Fällen nähert sich die diskrete einer stetigen Variabilität an. Ferner existiert eine zeitliche Variabilität von Kapazitäten, die sich nach dem Zeitraum bemisst, der notwendig ist, um eine Kapazität bzw. die sie tragenden Potenzialfaktoren auf- oder abzubauen. Für diese kann von einer stetigen Veränderung ausgegangen werden, sofern die betreffenden Potenzialfaktoren aufgrund frei gestaltbarer Verträge beschafft werden können. Sobald diese Freiheit nicht besteht, sondern einzelne Potenzialfaktoren nur zu bestimmten Terminen auf- oder abgebaut werden können, liegt wiederum eine diskrete Variabilität vor. Diese Betrachtung beruht auf der Annahme eines bestimmten Zeitrasters. Ist das zugrunde gelegte Zeitraster sehr fein, nähert sich die diskrete zeitliche Variabilität der stetigen an.

Besondere Bedeutung kommt der Lieferzeitflexibilität zu. Sie gibt das Anpassungspotenzial wieder, mit dem die Produktion (z.B. von Dienstleistungen) auf die Lieferterminvorstellungen der Abnehmer eingestellt werden kann. In

¹⁴ Vgl. Zäpfel (2000a), S. 271.

¹⁵ Zäpfel (2000a), S. 270.

¹⁶ Vgl. Männel (1989), Sp. 43 f.

Bezug auf die Anpassung der Potenzialfaktoren beschreibt die Lieferzeitflexibilität eine (übergeordnete) Flexibilität, welche die Kompensationsfähigkeit und die Erweiterungsflexibilität umfasst. Letztere bezeichnet mögliche Anpassungen der Produktions- oder Prozessdurchführung durch Änderung der Nutzungszeit oder Nutzungsintensität von Potenzialfaktoren.¹⁷ Des Weiteren kann eine Lieferzeitflexibilität aus dem Bestehen von Produktbeständen (Lagerbeständen) resultieren. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass die Produktion ohne konkreten Kundenauftrag eingeleitet werden kann und keine Integration des Leistungsabnehmers in die Produktion stattfindet.

2. Produktionsplanung als Rahmen der Kapazitätsplanung

a) Strategische Ebene der Produktionsplanung

Um die Probleme der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten angemessen darstellen und analysieren zu können, ist es zweckmäßig, die Planungshierarchie und die sachlichen Problemzusammenhänge der Produktionsplanung zu erläutern. Die Kapazitätsplanung stellt ein Teilsystem der Produktionsplanung dar¹⁸. Sie dient der zukunftsorientierten und zielgerichteten Gestaltung der Kapazitäten von Produktiveinheiten. Als Teilsystem der Produktionsplanung kann die Kapazitätsplanung wie diese in eine strategische, taktische und operative Planungsebene differenziert werden.

Die oberste Hierarchieebene stellt die strategische Planung dar. Allgemein besitzt sie die Aufgaben des zielgerichteten Aufbaus, der Sicherung und der Entwicklung von Erfolgspotenzialen.¹⁹ Die strategische Produktionsplanung hat Ziele und Strategien zu formulieren, die der Gestaltung und der Lenkung des Produktionssystems dienen.²⁰ Gegenstand der strategischen Planung sind Geschäftsfelder²¹, auf welche die jeweiligen Strategien bezogen sind. Geschäftsfelder bezeichnen Unternehmensbereiche mit einem abgegrenzten Produktprogramm und Absatzmarkt sowie mit einem abgegrenzten Wettbewerbsumfeld. Sie verfügen über eigenständige Führungs-, Planungs- und Kontrollsysteme. Geschäftsfelder werden in Produktionssegmente unterteilt, die nach Möglichkeit eine eigene Kosten-, Ergebnis- oder Investitionsverantwortung besitzen und deren Potenzialfaktoren weitestgehend voneinander getrennt

¹⁷ Vgl. Zäpfel (2000a), S. 271.

¹⁸ Vgl. Kern (1993), Sp. 1059 f.

¹⁹ Vgl. Pfohl (1993), Sp. 1571.

²⁰ Vgl. Hoitsch (1993), S. 41.

²¹ Vgl. Bea/Haas (2001), S. 35 ff. sowie Hinterhuber (1996), S. 113.

sind.²² Für diese Produktionssegmente müssen Produktionsstrategien festgelegt werden. Sie umfassen folgende Teilstrategien:²³

- Technikstrategie;
- Produktstrategie;
- Produktionstiefenstrategie;
- Standortstrategie;
- Kapazitätsstrategie;
- Informationsstrategie.

Die Technikstrategie beschreibt die auf strategischer Ebene geplante Produkttechnologie, die Technik der einzusetzenden Potenzialfaktoren und die Prozesstechnik. Über die Produkttechnologie steht sie in enger Beziehung zur Produktstrategie, da sie über die Produktgestaltung die Markt- und Wettbewerbsposition des Produkts mitbestimmt. Die Produktstrategie umfasst auf aggregiertem Niveau Absatzpläne für Produkte bzw. Produktgruppen. Für die Produktion der geplanten Produktgruppen ist ferner die Produktionstiefe zu bestimmen. Bei der Festlegung der Produktionstiefenstrategie wird die Möglichkeit einer arbeitsteiligen Produktion eines Produkts oder einer Produktgruppe unterstellt. Die Produktionstiefenstrategie legt diejenigen Prozessstufen und damit den Anteil der Wertschöpfung an der Gesamtwertschöpfung der Produktion fest, die durch ein Produktionssegment abgedeckt werden. Mit der Beschränkung auf Abschnitte der Wertschöpfungskette ergibt sich eine Einengung der zu berücksichtigenden Potenzialfaktorarten, die überhaupt für eine Produktion auf den vorgesehenen Prozessstufen infrage kommen. Durch die Wertschöpfungsstrategie wird damit auch eine Konkretisierung der Technikstrategie hinsichtlich der Potenzialfaktoren vollzogen. Der Standortstrategie ist die räumliche (geografische) Verteilung der Produktionssegmente zu entnehmen. Mit der Kapazitätsstrategie wird auf der Grundlage der Standortstrategie bestimmt, welche Kapazitäten an einzelnen Standorten bereitgestellt werden. Die Kapazitätsstrategie muss nach denjenigen Potenzialfaktorarten oder Produktiveinheiten differenziert werden, welche durch die Technikstrategie festgelegt sind. Entsprechend dem Aggregationsniveau der Technikstrategie werden nur aggregierte Produktiveinheiten oder Potenzialfaktorarten betrachtet, die eine Schlüsselrolle bei der Planung übernehmen. Die Informationsstrategie beschreibt die informatorische Verknüpfung in und zwischen den Produktionssegmenten. Sie hat alle durch die Technikstrategie vorgegebenen Anforderungen an die Art und Geschwindigkeit der Informationsbereitstellung

²² Vgl. *Wildemann* (1996), Sp. 476 f.

²³ Vgl. *Zäpfel* (2000a), S. 115; *Hahn* (1996), Sp. 1526 ff. sowie *Hansmann* (1997), S. 47 ff.

sowie die informatorische Überbrückung räumlicher Distanzen zu gewährleisten.

Unter den Produktionsstrategien bildet die Kapazitätsstrategie ein Element, das nicht herausgelöst aus dem Verbund mit den anderen Teilstrategien betrachtet werden kann. Zur Beurteilung alternativer Kapazitätsstrategien sind Prognosen über die jeweils erfüllbare Nachfrage zu treffen. Letztere wird durch die Produkttechnologie und die Produktionstiefe der betreffenden Produkte bzw. Produktgruppen mitbestimmt. Um die mit einer Kapazitätsalternative verbundenen Auszahlungen prognostizieren und um ihr Leistungsvermögen abschätzen zu können, sind Daten über die Technik der fraglichen Potenzialfaktoren bereitzustellen. Ebenso müssen mögliche Folgetechniken und ihre Verwertbarkeit berücksichtigt werden, um die wirtschaftliche Nutzungsdauer einer Alternative bestimmen und ihren Veräußerungserlös am Ende dieser Nutzungsdauer bemessen zu können. Eine Prognose der erzielbaren Einzahlungen erweist sich als besonders kompliziert. Diese Einzahlungen sind letztendlich von der Entwicklung der berührten Absatzmärkte, von der Gesamtnachfrage und von der Produktionsstrategie der Wettbewerber abhängig.²⁴ Um diese Entwicklungen zu erfassen, wird eine Absatzanalyse in zwei Schritten durchgeführt.²⁵

1. Bestimmung eines Zielmarktes oder einer Zielgruppe und
2. Präzisierung des Produkt- und Produktionsprogramms.

Kapazitätsstrategien können als Strategien zur Innovation oder zur Konzentration formuliert werden.²⁶ Dabei können sowohl die quantitative als auch die qualitative Kapazität Gegenstand einer Änderung sein. Änderungen der qualitativen Kapazität besitzen Elemente einer Technikstrategie, sofern hierbei neue Techniken im Produkt- oder Potenzialfaktorbereich angestrebt werden. Wird dagegen der Bestand an Potenzialfaktoren innerhalb des bestehenden Technikrahmens modifiziert, liegt eine reine Kapazitätsstrategie vor. Eine Kapazitätsinnovationsstrategie sieht bei steigender Nachfrage vor, die Kapazität eines Produktionssegments bzw. seiner Produktiveinheiten durch eine Erhöhung der quantitativen oder durch eine Verbesserung der qualitativen Kapazität anzupassen. Die entsprechende Erweiterung der Kapazität wird meist durch eine Umgestaltung der betrieblichen Prozesse begleitet. Kapazitätskonzentrationsstrategien beinhalten Maßnahmen zur Senkung der durch die Potenzialfaktoren zur Verfügung gestellten Kapazität. Dadurch wird die Anpassung der Kapazität an eine sinkende Nachfrage ermöglicht.

²⁴ Vgl. *Zäpfel* (2000a), S. 139 f.

²⁵ Vgl. *Chase/Aquilano/Jacobs* (1998), S. 147.

²⁶ Vgl. *Zäpfel* (2000a), S. 141 f.

b) Taktische Ebene der Produktionsplanung

Die taktische Planung stellt die zweite, der strategischen Planung nachgeordnete Planungsebene dar. Aufgabe der taktischen Planung ist es, die vorgesehenen Maßnahmen der strategischen Planung zu konkretisieren. In Bezug auf die Produktion von Sachgütern und Dienstleistungen sind auf der taktischen Ebene zur Realisierung der strategischen Vorgaben konkrete Entscheidungen über das Produktprogramm, die Potenzialfaktoren und die Prozessstruktur zu fällen.²⁷

Nachdem durch die Festlegung einer Technikstrategie und einer Produktionstiefenstrategie das Produktprogramm für aggregierte Produktgruppen feststeht, werden in der taktischen Produktprogrammplanung diejenigen Produkte präzise bestimmt, die produziert und abgesetzt werden sollen.²⁸ Innerhalb der strategisch festgelegten Produktgruppen sind dazu zielgerichtet Produktvarianten

- neu zu schaffen (Produktinnovation),
- zu verbessern und zu differenzieren (Produktvariation) oder
- aus dem Produktprogramm auszusondern (Produktelimination).²⁹

Durch die Präzisierung der Produktvarianten wird auch die Nachfragestruktur beeinflusst. Speziell werden dadurch die anzusprechenden Kundengruppen konkretisiert und ein Rahmen für die operative Produktions- und Absatzplanung festgelegt. Präzisiert wird auch die Qualität der Produkte und die Art der Produktionsdurchführung, soweit Letztere durch die Ausführung der geplanten Produkte bestimmt ist.

Als weitere Planungsaufgabe ist auf der taktischen Ebene eine Präzisierung der Potenzialfaktoren vorzunehmen. Hierzu sind die Technikstrategie, die sich auf Potenzialfaktoren bezieht, die Standortstrategie sowie die Kapazitätsstrategie zu konkretisieren. Das Gleiche gilt für die Informationsstrategie, sofern informatorische Potenzialfaktoren betroffen sind.

Das erste Teilsystem der taktischen Potenzialfaktorplanung bildet die Planung der einzusetzenden Technik. Die Konkretisierung der Technikstrategie durch ein taktisches Technikkonzept ist mit der Prognose zurechenbarer Einzahlungsüberschüsse verbunden, die sich bei Einsatz der jeweiligen Potenzialfaktoren erzielen lassen. Dabei muss auf ein vorläufig bestimmtes, taktisches Produkt- und Produktionsprogramm zurückgegriffen werden. Gleichzeitig werden durch eine Entscheidung über die einzusetzende Technik die Prozesse,

²⁷ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 5 ff. sowie S. 18.

²⁸ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 19.

²⁹ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 21 ff. sowie Adam (1998), S. 130 f.

ihre Strukturen und Produktionskoeffizienten festgelegt, welche die Inanspruchnahme des jeweiligen Potenzialfaktors durch eine Produkt- bzw. Leistungseinheit wiedergeben. Durch die Festlegung der Qualität der Potenzialfaktoren wird ferner das Flexibilitätspotenzial bestimmt, das den Rahmen für operative Entscheidungen über den Einsatz der Potenzialfaktoren bildet.

Die Konkretisierung der Standortstrategie erfolgt auf der taktischen Ebene in der Detailplanung des betrieblichen Standorts sowie in der Planung des betrieblichen Layouts, welche gemeinsam das zweite Teilsystem der taktischen Potenzialfaktorplanung darstellen. Hier wird eine lokale Festlegung der Werke sowie eine räumliche Anordnung der Produktiveinheiten (Bereiche, Abteilungen und Stellen) vorgenommen. Bei der lokalen Festlegung der Werke sind Wechselbeziehungen zur taktischen Programmplanung zu beachten. So führt z.B. die Zentralisierung der Produktion in einem Werk dazu, dass auf die Möglichkeit einer Spezifizierung der Produktionsprogramme regionaler Werke entsprechend der jeweiligen regionalen Nachfrage verzichtet werden muss.³⁰ Die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten erfolgt unter Berücksichtigung der Produktionsprozesse, wodurch sich für die Layoutplanung eine Wechselbeziehung zur taktischen Prozessplanung ergibt. Eine Begrenzung der möglichen Alternativen gibt jedoch die strategische Prozessplanung vor, in der über die Ausprägung des Organisationstyps der Produktion³¹ bestimmt wird.

Das dritte Teilsystem der taktischen Potenzialfaktorplanung ist die taktische Kapazitätsplanung. Sie hat die Aufgabe, für alle Produktiveinheiten das Leistungsvermögen sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht unter einer Reihe von Bedingungen festzulegen. Für Personalfaktoren werden in diesem Teilsystem diversifizierte Wochen- und Monatsarbeitszeiten sowie eine mittelfristige Beschäftigungsglättung geplant.³²

Neben der Programm- und der Potenzialplanung ist auf der taktischen Ebene auch eine Prozessplanung erforderlich. Ihre Aufgabe ist es, im Rahmen des strategisch vorgegebenen Organisationstyps der Produktion für alle Prozesse die Art ihrer Teilprozesse, deren Inhalte sowie deren Reihenfolgestruktur (Präzedenzstruktur) zu planen. Zu unterscheiden sind dabei Haupt- und Hilfsprozesse.³³ Prozesse werden als Hauptprozesse verstanden, wenn ihre Durchführung direkt zur Produktion der absetzbaren Leistungen bzw. einer ihrer Vorstufen dient (z.B. Planung einer Fertigungsstraße in einem Engineering-Unternehmen). Hilfsprozesse hingegen stellen Prozesse dar, die durchgeführt werden müssen, um die Abwicklung von Hauptprozessen zu ermöglichen, oder

³⁰ Vgl. *Dilworth* (1983), S. 463 f.

³¹ Vgl. *Glaser/Geiger/Rohde* (1992), S. 292 ff. sowie *Hansmann* (1997), S. 118.

³² Vgl. *Günther* (1989), S. 69 ff.

³³ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 98.

die sich keiner absetzbaren Leistung zuordnen lassen³⁴ (z.B. Prozesse zur Erstellung von Angeboten in Engineering-Unternehmen, die nicht zu Kundenaufträgen führen). Hilfsprozesse werden u.a. durchgeführt, um eine Leistungsbereitschaft aufzubauen und zu sichern. Bei der Festlegung der (Teil-)Prozessinhalte ist die Zuordnung von Teilprozessen auf Produktiveinheiten vorzunehmen, die diese Teilprozesse standardmäßig durchzuführen haben. Ferner müssen gegebenenfalls Reserveproduktiveinheiten vorgesehen werden, die der operativen Planung Flexibilitätspotenziale für einen eventuellen Kapazitätsabgleich eröffnen. Zusätzlich sollten alternative (Teil-)Prozesse ermittelt und festgelegt werden, die gleiche Verrichtungen nach anderen Verfahren ermöglichen. So ist es bei Online-Banken üblich, neben dem Online-Zugriff auf Konten ersatzweise eine telefonische oder faxgestützte Bearbeitung anzubieten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zwischen allen Planungs(teil-)systemen der taktischen Produktionsplanung Interdependenzen bestehen. Diesen kann bei der Suche nach einem totalen Optimum nur durch eine simultane Planung aller taktischen Teilprobleme entsprochen werden. Der hiermit verbundene Modellierungs- und Rechenaufwand übersteigt jedoch i.d.R. sowohl den vorgegebenen Zeitrahmen der Planung als auch die Leistungsfähigkeit einsetzbarer Rechner. Aus diesen Gründen muss eine Auflösung des komplexen Planungsproblems in Partialprobleme vorgenommen werden, wie sie in der vorangehenden Aufteilung in Teilprobleme beschrieben wird. Um die Folgen der Partialisierung und der einzusetzenden sukzessiven Planungstechniken zu mildern, ist es jedoch notwendig, die Lösungen der Teilprobleme bestmöglich zu koordinieren. Auf diesem Wege kann i.d.R. zwar keine optimale Lösung des Gesamtproblems gefunden werden, zumindest lässt sich, wenn es möglich ist, eine realisierbare bzw. satisfizierende Lösung bestimmen.

c) Operative Ebene der Produktionsplanung

Die unterste Ebene der Planungshierarchie bildet die operative Planung. Sie dient der weiteren Konkretisierung der erstellten taktischen Pläne und besitzt einen höheren Präzisions- und Detaillierungsgrad sowie einen kürzeren Planungszeitraum als die taktische Planung. Die operative Produktionsplanung ist durch eine Korrekturfähigkeit bei geringen Anpassungskosten gekennzeichnet.³⁵ Ihre Grundlagen sind feststehende Techniken, Produktionsstandorte mit festen Kapazitäten der Produktiveinheiten und fixierte Prozessarten. Unter Beachtung dieser Vorgaben werden operativ Planungs- und Steuerungsentscheidungen über folgende Sachverhalte getroffen:³⁶

³⁴ Vgl. *König/Setzer* (1990), S. 932 f.

³⁵ Vgl. *Hansmann* (1997), S. 249 sowie *Steven* (1996), Sp. 875.

³⁶ Vgl. *Hansmann* (1997), S. 250 f.

- Bestimmung der Produktions- und Absatzmengen der angebotenen Leistungen;
- Bereitstellung kurzfristig zu beschaffender Produktionsfaktoren;
- Einsatz der zur Verfügung stehenden Potenzialfaktoren;
- Durchführung der anstehenden Prozesse.

Für die operative Produktionsplanung sind Kapazitätsdaten und Prozessarten als Rahmendaten festgelegt. Daher können nur diejenigen Planungsfreiräume genutzt werden, die nach der taktischen Planung dieser Größen und Daten verbleiben.

3. Stellung der taktischen Kapazitätsplanung in der Produktionsplanung

Die Aufgabenstellungen der taktischen Kapazitätsplanung erfordern eine Einbindung in das Gesamtsystem der Produktionsplanung. Hierbei sind sowohl die Beziehungen zur strategischen und operativen Planung als auch zu den übrigen Teilsystemen der taktischen Planung zu berücksichtigen. Der Planungszeitraum der taktischen Kapazitätsplanung liegt i.d.R. bei ein bis drei Jahren. Um ein konsistentes Planungssystem zu erhalten, muss er jedoch mindestens so lang wie derjenige der operativen Planung und darf höchstens so lang wie derjenige der strategischen Planung sein.

Einer Kapazitätsstrategie sind für die taktische Kapazitätsplanung nur grobe Vorgaben zu entnehmen. Auf der taktischen Ebene sind diese strategischen Vorgaben derart zu konkretisieren, dass die einzusetzenden Potenzialfaktoren nach Art und Menge bestimmt werden können. Voraussetzung für diese Konkretisierung ist insbesondere die Festlegung des Aggregationsniveaus der betrachteten Produktiveinheiten. *Zäpfel* formuliert auf der taktischen Ebene vier Aggregationsniveaus (-stufen):³⁷

- Produktiveinheit 1. Stufe: Erfasst wird das Leistungsvermögen des gesamten Unternehmens;
- Produktiveinheit 2. Stufe: Erfasst wird das Leistungsvermögen von Betriebsstätten, die als Produktionsteilbereiche mehrere Produktionsstufen umfassen;
- Produktiveinheit 3. Stufe: Erfasst wird das Leistungsvermögen von Produktionsstufen, deren Produktiveinheiten sich aus mehreren Arbeitsplätzen zusammensetzen können;

³⁷ Vgl. *Zäpfel* (2000b), S. 129 f.

- **Produktiveinheit 4. Stufe:** Erfasst wird das Leistungsvermögen einzelner Arbeitsplätze.

Für alle vier Stufen kann es zweckmäßig sein, das Leistungsvermögen einzelner Potenzialfaktoren nach Arten getrennt (z.B. für Mitarbeiterkategorien und Anlagenarten) auszuweisen. Diese Differenzierung ist dann erforderlich, wenn eine Produktiveinheit mit der Produktion unterschiedlicher (Dienst-)leistungsarten betraut ist, welche die einzelnen Potenzialfaktoren mit verschiedenen Produktionskoeffizienten in Anspruch nehmen.

Aus der strategischen Planung liegen für die taktische Kapazitätsplanung in qualitativer und quantitativer Hinsicht Vorgaben darüber vor, an welchen Standorten zusätzliche oder verbesserte Potenzialfaktoren aufzubauen oder vorhandene Potenzialfaktoren abzubauen sind. In quantitativer Hinsicht beziehen sich diese Kapazitätsvorgaben auf hoch aggregierte Produktiveinheiten (Produktionssegmente) und enthalten keine spezifischen Angaben über konkrete Potenzialfaktorarten. Für die taktische Kapazitätsplanung gelten die strategischen Vorgaben als Rahmenbedingungen. Die auf der taktischen Ebene festzulegenden Kapazitäten sollen daher zum einen nach einer Aufgliederung über alle Produktiveinheiten zu quantitativen Kapazitäten führen, die alle auf der strategischen Ebene aufgestellten Kapazitätsanforderungen erfüllen. Zum anderen engen in qualitativer Hinsicht die strategischen Kapazitätsvorgaben die Alternativenmenge für die taktische Kapazitätsplanung ein, da für die taktische Entscheidung nur bestimmte Techniken berücksichtigt werden dürfen. Sofern dabei neue, noch nicht verwendete Techniken vorgegeben werden, findet neben der Kapazitätsstrategie auch die Technikstrategie in die taktische Kapazitätsentscheidung Eingang.

Weitere Wechselbeziehungen treten auf der taktischen Ebene zwischen der Kapazitätsplanung, der Produktprogrammplanung, der Prozessplanung sowie weiteren Komponenten der Potenzialfaktorplanung auf. Zunächst müssen der Produktprogrammplanung die für den Planungszeitraum vorgesehenen Produkte bzw. Dienstleistungen entnommen und ihre möglichen Absatzmengen prognostiziert werden. Diese Prognosen sind mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, wenn in der Kapazitätsplanung Entscheidungen über Potenzialfaktoren mit neuen Techniken zu treffen sind. Umgekehrt setzt die Planung eines Produktprogramms voraus, dass die Begrenzungen aus den qualitativen Merkmalen der Potenzialfaktoren bekannt sind. Auch müssen zumindest grobe Vorstellungen über die Inanspruchnahme der Potenzialfaktoren durch jeweils eine Einheit der geplanten Produkte bzw. Dienstleistungen bestehen, um über die Aufnahme eines Produkts mit einer bestimmten Produktionsmenge in das Produktprogramm entscheiden zu können.³⁸ Diese Probleme sind exakt nur

³⁸ Vgl. Zäpfel (2000b), S. 79.

durch eine simultane Planung zu lösen. Die Notwendigkeit einer einfachen (isolierten) Berechnung zwingt jedoch dazu, die Probleme durch Partialmodelle zu erfassen und gegebenenfalls sukzessiv zu lösen.

Ein weiteres Planungsteilsystem mit Wechselbeziehungen zur taktischen Kapazitätsplanung ist die Prozessplanung. Wenn im Zusammenhang mit der Produktprogrammplanung der Kapazitätsbedarf bestimmt werden soll, sind Kenntnisse über zu erwartende Produktionskoeffizienten notwendig. Streng genommen muss dann bereits eine Entscheidung über die durchzuführenden Prozesse getroffen sein. Als Ausweg bietet sich eine pauschale Annahme über die zugehörigen Produktionskoeffizienten an. Das Problem, hinreichend genaue Produktionskoeffizienten angeben zu können, verschärft sich, sobald eine Produktion mittels alternativer Prozesse durchführbar ist. Ebenso verursachen unsichere, nicht vollständig beherrschte Prozesse Probleme bei der Prognose der Koeffizientenwerte. Umgekehrt nimmt auch die Kapazitätsplanung Einfluss auf die Prozessplanung. Sowohl die qualitative als auch die quantitative Kapazität beschränken nämlich die Alternativenmenge, die bei der Auswahl von (Teil-)Prozessarten zu beachten ist. Dieses Problem tritt z.B. bei der Umgestaltung von Flugnetzwerken (und damit von Prozessplänen im Luftverkehr) auf, durch welche die Kapazitäten der einzelnen Flughäfen je nach Beanspruchung als Ausgangs- oder Umsteigeflughafen unterschiedlich determiniert werden.³⁹

Um einen Kapazitätsbedarf adäquat bestimmen zu können, müssen bei der Kapazitätsplanung neben Produktiveinheiten, die direkt zur Produktion absatzbestimmter Produkte bzw. Dienstleistungen beitragen, auch diejenigen Produktiveinheiten geplant werden, die Hilfsleistungen für die direkt an der Produktion beteiligten Produktiveinheiten erbringen. Aus diesem Grund müssen bei der Ermittlung von Produktionskoeffizienten neben Hauptprozessen auch Hilfsprozesse berücksichtigt werden. Allgemein bietet es sich deshalb an, anstatt von Produktionskoeffizienten von Prozesskoeffizienten zu sprechen.

Über die Potenzialfaktorplanung steht die Kapazitätsplanung auf der taktischen Ebene auch mit der Planung des Technikkonzepts in Beziehung. Von einer qualitativen Kapazitätsplanung unterscheidet sich Letztere darin, dass sie auch die Planung neuer und noch nicht erprobter Techniken vorsieht. Gleichwohl setzt auch sie den Rahmen für die in den Produktiveinheiten durchführbaren Prozesse. Auf die quantitative Kapazitätsplanung nimmt die Planung des Technikkonzepts Einfluss, indem sie mit der Festlegung auf bestimmte Potenzialfaktorarten die Alternativenmenge der quantitativen Kapazitätsplanung eingrenzt. Zusätzlich wird dem Technikkonzept für technisch neue Anlagen die Kapazität pro Potenzialfaktoreinheit entnommen. Zur

³⁹ Vgl. *Endler/Peters* (1998), S. 1051 ff.

Durchführung einer partiellen taktischen Kapazitätsplanung ist es daher notwendig, von einem gegebenen Technikkonzept auszugehen.

Neben der Planung des Technikkonzepts steht die taktische Kapazitätsplanung auch zur taktischen Standort- und Layoutplanung in Beziehung. Letztere legen u.a. die Transportwege zwischen den einzelnen Betriebsstätten und Produktiveinheiten fest. Hieraus ist ein Bedarf an Transportkapazität abzuleiten. Im Zusammenhang mit der Standortplanung sind außerdem die zu beliefernden Absatzmärkte zu planen. Aus der Nachfrage dieser Märkte resultieren für die einzelnen Standorte Kapazitätsbedarfe, welche in die Entscheidungen über die Kapazitäten der an diesen Standorten zu installierenden Produktiveinheiten einfließen. Die Ergebnisse dieser Kapazitätsplanung führen an den jeweiligen Standorten außerdem zu Raumbedarf für die einzelnen Produktiveinheiten. Diese Raumbedarfe stellen schließlich die Ausgangsdaten für die anschließende Layoutplanung dar. Auf der taktischen Ebene ist also eine wechselseitige Abhängigkeit zwischen der Standort- und Layoutplanung sowie der Kapazitätsplanung zu beachten.

Letztlich muss in der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden, dass taktische Entscheidungen über Kapazitäten der Potenzialfaktoren die Rahmenbedingungen für die operative Planung bilden. So gehen zum einen Kapazitäten in die operative Produktionsprogrammplanung als beschränkende Größen ein. Zum anderen bilden Kapazitäten den Ausgangspunkt für den Kapazitätsabgleich und für die Schichtplanung⁴⁰ sowie für die nachfolgende Feinterminierung. Taktische Kapazitätsentscheidungen beeinflussen ferner die Länge auslastungsabhängiger Durchlaufzeiten. Damit nimmt die Kapazitätsplanung indirekt Einfluss auf die operative Durchlaufterminierung. Um auf der taktischen Ebene die Auswirkungen operativer Entscheidungen der Produktionsdurchführung antizipieren zu können, ist es erforderlich, sich ein vergrößertes Bild über die operative Planung und über die anschließende Produktionsdurchführung zu verschaffen.⁴¹ Dies führt zu einer informatorischen Rückkoppelung⁴² von der operativen auf die taktische Planungsebene.

Nach diesem Überblick über Fragen der taktischen Kapazitätsplanung wird nachfolgend näher auf sachliche und begriffliche Probleme der Dienstleistungsproduktion eingegangen. Damit rücken der Dienstleistungsbegriff und die Erscheinungsformen von Dienstleistungen in den Mittelpunkt der Betrachtung.

⁴⁰ Vgl. *Günther* (1989), S. 172 ff.

⁴¹ Vgl. *Gäfgen* (1974), S. 213 sowie *Kakarott* (1991), S. 110. Zu Antizipationstypen vgl. *Schneeweiss* (1999), S. 42 ff. sowie speziell S. 243 ff.

⁴² Vgl. *Adam* (1996), S. 379 f. sowie *Schweitzer* (2001), S. 49.

II. Sachliche und begriffliche Probleme der Dienstleistungsproduktion

1. Grundlagen der Begriffsbildung

a) Bemerkungen zu Nominal- und Realdefinitionen

Vor der Präzisierung des Dienstleistungsbegriffs soll ein kurzer Überblick über Arten und Aufgaben der Begriffsdefinitionen gegeben werden. Für jede wissenschaftliche Kommunikation ist es eine Voraussetzung, die verwendeten Begriffe durch Definitionen sprachlich zu klären. In der traditionellen Logik lassen sich Nominaldefinitionen und Realdefinitionen unterscheiden, wobei unter den Ersteren sprachliche Festlegungen und unter den Letzteren Aussagen verstanden werden, die das „Wesen“ von Gegenständen bzw. Phänomenen kennzeichnen. Zweck einer Nominaldefinition ist es, eine klare Sprachregelung und eine Sprachverkürzung zu erreichen.⁴³ Dies geschieht, indem an die Stelle eines längeren sprachlichen Begriffs (des sog. Definiens) ein kürzerer Begriff (das sog. Definiendum) tritt. Mittels einer Nominaldefinition wird somit lediglich eine Bedeutungsgleichheit zwischen Definiens und Definiendum hergestellt.

Neben den Nominaldefinitionen kennt die traditionelle Logik auch Realdefinitionen. Bei Letzteren handelt es sich um spezielle Aussagen über das Wesen von Gegenständen.⁴⁴ Zu diesem Zweck wird eine Realdefinition entweder als Bedeutungsanalyse, als empirische Analyse oder als Begriffsexplikation vorgenommen. Bei ihrem Verständnis als Begriffsexplikation geht es darum, einen mehrdeutigen Begriff, der in der Alltagssprache oder in der allgemeinen Fachsprache bereits verwendet wird, zu präzisieren. Der vorhandene unpräzise Begriff (genauer: seine vage Bedeutung) wird „Explikandum“ genannt. Dagegen heißt der präzierte Begriff, der an die Stelle des unpräzisen und mehrdeutigen Begriffs treten soll, „Explikat“. Eine Begriffsexplikation beginnt damit, verschiedene Bedeutungen des Explikandums zu beschreiben und diejenige Bedeutung, die expliziert werden soll, hervorzuheben. Diese Vorarbeit zur Begriffsexplikation wird auch „Begriffserläuterung“ genannt.⁴⁵ In einer Begriffserläuterung werden Beispiele dafür angeführt, in welchen diejenige Bedeutung des Explikandums vorliegt, die zu explizieren ist. Zur Verdeutlichung lassen sich auch Gegenbeispiele erwähnen, in denen das Explikandum mit anderen Bedeutungen vorkommt.

⁴³ Vgl. Popper (1958), S. 16 ff.

⁴⁴ Vgl. Stegmüller (1965), S. 368.

⁴⁵ Vgl. Stegmüller (1965), S. 374; Kroeber-Riel (1969), S. 28 ff. sowie Weinberg (1974), Sp. 368 f.

Es ist davon auszugehen, dass eine Begriffsexplikation weder falsch noch wahr sein kann. Stattdessen kann sie sich als mehr oder weniger adäquat (zweckmäßig) erweisen. Zur Beurteilung dieser Zweckmäßigkeit formulieren Carnap/Stegmüller⁴⁶ vier Kriterien: die Ähnlichkeit, die Exaktheit, die Fruchtbarkeit und die Einfachheit.

Um von der Explikation eines ganz bestimmten Explikandums sprechen zu können, muss eine Ähnlichkeit zwischen Explikat und Explikandum vorliegen. D.h., es darf kein neuer Begriff eingeführt werden, sondern es ist der früher verwendete mehrdeutige Begriff zu präzisieren. Explikandum und Explikat unterscheiden sich dann nur in ihrer Präzision bzw. in ihrer Exaktheit. Ihre Ähnlichkeit drückt sich in ihrer sprachlichen Übereinstimmung aus. Außerdem muss das Explikat dem Kriterium der Exaktheit genügen. Bei diesem Kriterium ist davon auszugehen, dass die Exaktheit eines Begriffs nur im Zusammenhang mit anderen wissenschaftlichen Begriffen sowie der wissenschaftlichen Problemstellung beurteilt werden kann, zu deren Behandlung er definiert ist.⁴⁷ Das Kriterium der Exaktheit bezieht sich also jeweils auf das ganze Begriffssystem. Ferner muss ein Begriff dem Kriterium der Fruchtbarkeit genügen. Ein Begriff gilt als fruchtbar, wenn er die Formulierung möglichst vieler Gesetzmäßigkeiten erlaubt.⁴⁸ Zudem müssen sich diese Gesetzmäßigkeiten in ihren Anwendungen als empirisch gültig erweisen. In Zweifelsfällen ist das Kriterium der Fruchtbarkeit stärker als das Kriterium der Ähnlichkeit. Letztlich sollen die formulierten Begriffe möglichst einfach sein, d.h., sowohl ihre Definition als auch die Gesetze, in denen sie verwendet werden, sollen jede Kompliziertheit vermeiden. Bei der Verwendung der vier genannten Kriterien zur Beurteilung der Adäquatheit einer Begriffsexplikation darf allerdings nicht übersehen werden, dass jede Begriffsexplikation, wie jede Nominaldefinition auch, eine Festsetzung enthält. Insgesamt erweist sich die Zweckmäßigkeit eines Begriffs bzw. eines Begriffssystems durch seine Eignung, fachspezifische Sachverhalte präzise zu beschreiben und daher als Vorstufe der Theoriebildung und der Problemlösung verwendbar zu sein.⁴⁹ Damit ist generell eine Beurteilung der Zweckmäßigkeit formulierter Begriffe nur anhand ihrer Anwendungen und des verfolgten Wissenschafts- oder Forschungsziels möglich.

Explizierte Begriffe können in der Form klassifikatorischer oder typologischer Begriffe auftreten. Im Zusammenhang mit der Definition des Dienstleistungsbegriffs existieren in der betriebswirtschaftlichen Fachliteratur sowohl Beiträge, welche diesen Begriff als Klassenbegriff definieren, als auch Beiträ-

⁴⁶ Vgl. Carnap/Stegmüller (1959), S. 15.

⁴⁷ Vgl. Stegmüller (1965), S. 375 sowie Popper (1995), S. 82.

⁴⁸ Vgl. Stegmüller (1965), S. 375.

⁴⁹ Vgl. Ulrich/Hill (1979), S. 164.

ge, die ihn als Typusbegriff einführen. Um zu einer möglichst präzisen Sprachregelung zu gelangen, ist es zweckmäßig, einige der vorgeschlagenen Dienstleistungsbegriffe zu erläutern und ihre Adäquatheit für das hier gewählte Forschungsziel und die mit diesem verbundenen Anwendungen zu beurteilen. Dabei steht das Wissenschaftsziel der Beschreibung im Vordergrund. Im Zusammenhang mit diesem Ziel ist u.a. zu klären, ob der Dienstleistungsbegriff als Klassenbegriff oder als Typusbegriff zu definieren ist. Bei einer Festlegung als Klassenbegriff kann jedes Objekt (Sachverhalt) anhand seiner Merkmale einer durch den Begriff abgegrenzten Gesamtheit (Klasse) eindeutig zugeordnet werden. Dies ist möglich, weil die verwendeten Begriffsmerkmale nur Ausprägungen annehmen dürfen, die sich gegenseitig ausschließen.⁵⁰ Auch bei einer Festlegung als Typusbegriff wird der Zweck verfolgt, Objekte anhand ihrer Merkmale zuzuordnen. Klassen- und Typusbegriff unterscheiden sich jedoch durch die Schärfe, mit der diese Zuordnung getroffen werden kann.⁵¹ Im Falle eines Klassenbegriffs besteht eine eindeutige Grenze zwischen den einzelnen Klassen. Diese Eindeutigkeit der Zuordnung wird dagegen beim Typusbegriff nicht vorausgesetzt. Bei ihm ist mindestens ein Merkmal, nach welchem die Zuordnung eines Objekts erfolgt, abgestuft bzw. unscharf formuliert.

Klassen- bzw. Typenbildungen können sowohl ein- als auch mehrdimensional vorgenommen werden. Wird die Zuordnung von Objekten zu einer Klasse bzw. zu einem Typus anhand eines einzigen Merkmals getroffen, liegt eine eindimensionale Klassen- bzw. Typenbildung vor. Sobald die Zuordnung nach mehreren Merkmalen erfolgt, wird von einer mehrdimensionalen Klassen- bzw. Typenbildung gesprochen. Bei einer mehrdimensionalen Klassenbildung müssen alle Merkmale eindeutig sein, bei einer mehrdimensionalen Typenbildung dagegen können sowohl eindeutige als auch abgestufte Merkmale auftreten, jedoch muss mindestens eines der Merkmale abgestuft sein.

b) Schritte zu einer Realdefinition

Trotz eines wissenschaftlichen und umgangssprachlichen Gebrauchs existiert in der Betriebswirtschaftslehre keine eindeutige Definition des Dienstleistungsbegriffs.⁵² Je nach Person und Forschungsziel differieren die jeweils verwendeten Begriffe mehr oder weniger stark. So stellt *Corsten* fest, „... daß es eine allgemein akzeptierte Sichtweise des Phänomens Dienstleistungen nicht gibt ...“⁵³.

⁵⁰ Vgl. *Chmielewicz* (1979), S. 66.

⁵¹ Vgl. *Chmielewicz* (1979), S. 72 ff.

⁵² Vgl. *Maleri* (1998), S. 119 ff.

⁵³ Vgl. *Corsten* (2001), S. 30.

Diese ungeklärte Situation wird zum Anlass genommen, im Sinne der obigen Ausführungen zu den Real- und Nominaldefinitionen eine ausführliche Explikation des Dienstleistungsbegriffs durchzuführen. Bevor dies geschieht, werden Dienstleistungen auf der sachlichen Ebene beschrieben und erläutert. Dazu dienen

- ein allgemeiner Überblick über Dienstleistungen (2.a)) und
- eine Abgrenzung von Sachgütern und Dienstleistungen (2.b)).

Die (engere) Begriffsexplikation (Präzisierung des Begriffs) der Dienstleistung erfolgt in einem weiteren Schritt auf der begrifflichen Ebene und behandelt

- den Dienstleistungsbegriff in der allgemeinen Fachsprache (Alltagssprache) (3.a)),
- die Dienstleistungsbegriffe in der dienstleistungswirtschaftlichen Fachsprache (3.b)) und
- die Definition eines angemessen präzisen und für das gewählte Forschungsziel zweckmäßigen Typusbegriffs der Dienstleistung (3.c)).

2. Erläuterungen zu Dienstleistungen

a) Überblick über Dienstleistungen

Die Erscheinungsvielfalt der Dienstleistungen lässt sich anschaulich an ihren unterschiedlichen Absatzobjekten ausmachen. Objekt des Absatzes kann sowohl der Dienstleistungsprozess selbst (z.B. eine Konzertveranstaltung) oder auch das durch einen Dienstleistungsprozess erzielte Produktionsergebnis (z.B. die vollzogene Reparatur eines Fahrzeugs) sein.⁵⁴ Mit der Art des Absatzobjekts verbindet sich auch die Frage nach seiner Immaterialität. Der Dienstleistungsprozess stellt in beiden Beispielen eine Zustandsgestaltung dar, die als Vorgang immer immateriell ist.⁵⁵ Wird also der Prozess der Zustandsgestaltung als Dienstleistung angesehen, stellt sich die Frage nach der Immaterialität von Dienstleistungen nicht. *Maleri*⁵⁶ und *Ernenputsch*⁵⁷ verstehen hingegen unter einer Dienstleistung nicht einen Produktionsprozess, sondern ein Produktionsergebnis. Am Beispiel der vollzogenen Reparatur eines Fahrzeugs wird deutlich, dass bei dieser Betrachtung keine eindeutige Immaterialität

⁵⁴ Vgl. *Eichhorn* (1979), Sp. 2147.

⁵⁵ Vgl. *Corsten* (1986), S. 17.

⁵⁶ Vgl. *Maleri* (1998), S. 120.

⁵⁷ Vgl. *Ernenputsch* (1986), S. 2.

tät des Produktionsergebnisses vorliegt. Zwar ist die vollzogene Reparatur als Zustandsänderung immateriell, ihre Existenz ist jedoch an einen materiellen Träger, im Beispiel an das Fahrzeug, gebunden. Das Produktionsergebnis ist in diesem Fall ein Leistungsbündel⁵⁸ aus vorwiegend immateriellen Produktionsergebnissen, in dem auch materielle Nebenprodukte enthalten sind.⁵⁹ Bei einer Dienstleistung verkörpert die (immaterielle) Zustandsgestaltung eines materiellen Trägers das Hauptprodukt. Diese Zustandsgestaltung stellt eine beabsichtigte Zustandsänderung oder -erhaltung dar. Hierbei besitzt der Träger die Aufgabe eines Objekts, an dem der Prozess vollzogen wird und der zur Speicherung der Prozess-(zwischen-)ergebnisse dient. Der Träger bildet dabei lediglich ein ergänzendes Nebenprodukt.

Dienstleistungsproduktionen stellen spezielle Faktorkombinationen dar, die nur der teilweisen Dispositionsfreiheit durch den Produzenten unterliegen. Formal können Sie wie Sachgutproduktionen als Input-Output-Systeme interpretiert werden.⁶⁰ Es ist jedoch eine Besonderheit, dass eine Dienstleistungsproduktion unter Mitwirkung externer Faktoren (z.B. Wünsche der Kunden) vollzogen wird.⁶¹ Ein Faktor gilt als extern, falls er aus dem Verfügungsbe- reich des Leistungsabnehmers stammt, der nicht das Sachziel der betreffenden Dienstleistungsproduktion verfolgt. Sonst handelt es sich um einen internen Faktor. Der externe Faktor kann auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus als Produktionsfaktor auftreten, der von einem einzelnen Abnehmer oder einem (potenziellen) Abnehmerkreis eingebracht wird. Sofern zur Produktion einer Dienstleistung mehrere Teilprozesse durchzuführen sind, lässt sich feststellen, dass externe Faktoren teilprozessspezifisch mitwirken können. Dabei kann ein und derselbe Dienstleistungsabnehmer variierende externe Faktoren in die Produktion einbringen (z.B. Einbringung unterschiedlichen Datenmaterials sowie der Person des Mandanten in verschiedene Phasen des Beratungsprozesses einer Steuerberatungskanzlei). Die zeitliche Präsenz der externen Faktoren⁶² ist im genannten Beispiel nur für einige Teilprozesse zu beobachten. Ein räumlicher Kontakt ist nicht immer erforderlich, da gegebenenfalls eine informatorische Integration mittels Telekommunikation genügt. Verglichen mit dem Besuch eines Konzertes oder einer Lehrveranstaltung liegt bei der Einbringung von Datenmaterial in eine Steuerberatungskanzlei eine eher passive Mitwirkung externer Faktoren vor. Daher kann festgestellt werden,

⁵⁸ Vgl. *Chase/Aquilano/Jacobs* (1998), S. 143; *Engelhardt/Kleinaltenkamp/Reckenfelderbäumer* (1993), S. 407 ff. sowie *Steven* (1998), S. 272.

⁵⁹ Vgl. *Dilworth* (1983), S. 13.

⁶⁰ Vgl. *Dinkelbach/Rosenberg* (2002), S. 2 ff. sowie S. 8.

⁶¹ Vgl. *Corsten* (1996), Sp. 340 und (2001), S. 28 sowie *Dyckhoff* (2000), S. 46 f.

⁶² In der Literatur wird in diesem Zusammenhang auch von der Synchronisation der Produktion mit dem Absatz gesprochen, vgl. *Meyer, Ant.* (1983), S. 69.

dass die Art der Mitwirkung bzw. Integration externer Faktoren und deren Umfang vielseitig sein kann. Sie wird deshalb abgestuft erfasst, um den in der Realität auftretenden Erscheinungsformen von Dienstleistungen Rechnung zu tragen.

Zu beobachten sind neben Dienstleistungen zur Deckung fremden Bedarfs auch solche, die zur Deckung unternehmenseigenen Bedarfs dienen. Zum Beispiel existieren in Unternehmen selbstständige indirekte Bereiche, die anderen Bereichen beratend zur Seite stehen (Inhouse-Consulting), Absatzstudien erstellen oder Reparaturleistungen erbringen. Auch diese Dienstleistungen müssen bei der Planung von Kapazitäten berücksichtigt werden. Für die externen Faktoren muss hierbei gewährleistet sein, dass sie nicht aus dem dienstleistenden Bereich stammen, auch wenn sich Letzterer im gleichen Unternehmen wie der abnehmende Bereich befindet. Prozesse zur Deckung eigenen Bedarfs an Dienstleistungen stellen Hilfsprozesse dar. Auf diese Weise kann unter der Planung von Dienstleistungskapazitäten sowohl die Planung direkter als auch indirekter Bereiche subsumiert werden.

Da bei Dienstleistungen im besonderen Maße externe Faktoren an der Produktion mitwirken, gewinnt deren Qualität für die Prozessdurchführung und für das Prozessergebnis an Bedeutung. Externe Faktoren können in der Regel vom Produzenten nicht wie eigene (interne) Faktoren in ihrer Qualität beeinflusst werden. Aus diesem Grunde muss der Produzent von Dienstleistungen verstärkt mit der Möglichkeit extern bedingter Qualitätsschwankungen rechnen⁶³. Infolgedessen herrscht beim Dienstleistungsproduzenten Unsicherheit darüber, inwieweit seine Kapazitäten durch die Mitwirkung des externen Faktors belastet oder entlastet werden. Z.B. können die an ein Steuerberatungsbüro übermittelten Klientendaten in unterschiedlicher Weise aufbereitet sein und den Erstellungsprozess einer Einkommensteuererklärung mehr oder weniger unterstützen. In diesem Fall sind die Informationen des Klienten externe Faktoren, die eine Substitution interner, also vom Steuerberatungsbüro bereitgestellter Produktionsfaktoren, durch extern erbrachte Vorleistungen (Informationen) ermöglichen. Auch ohne Substitution interner durch externe Faktoren kann die variierende Qualität des externen Faktors unternehmensintern unterschiedliche Prozessarten notwendig machen, um ein und dasselbe Produktionsergebnis zu erreichen.⁶⁴ Im Ergebnis muss daher, je nach Qualität des externen Faktors, unternehmensintern mit schwankenden Kapazitätsbelastungen bei der Produktion der jeweiligen Leistung gerechnet werden. Gegebenenfalls muss eine Dienstleistungsart, die unter Einbeziehung unterschiedlicher externer Faktorqualitäten erbracht wird, in eigenständige Dienstleistungsarten untergliedert werden.

⁶³ Vgl. *Kleinaltenkamp/Marra* (1997), S. 57.

⁶⁴ Vgl. *Engelhardt/Freiling* (1995), S. 904.

Handelt es sich bei dem an der Produktion mitwirkenden externen Faktor um eine (beauftragte) Person oder ist der Dienstleistungsabnehmer selbst während der Produktion anwesend, erhält der Abnehmer die Möglichkeit, nicht nur das Ergebnis der Dienstleistung, sondern auch diejenigen Teilprozesse, an denen er mitwirkt, sowie die hieran beteiligten Produktiveinheiten qualitativ zu beurteilen. Beispielsweise erhält ein Student während seiner Ausbildung Gelegenheit, Ausbildungsveranstaltungen und Ausstattungen qualitativ zu beurteilen und durch sein Mitwirken (Studium) sein Studienergebnis zu beeinflussen. Hieraus folgt, dass ein Dienstleistungsproduzent je nach Art der Dienstleistung mehr oder weniger gezwungen sein kann, prozessspezifische Wünsche eines Abnehmers in unterschiedlichem Umfang zu berücksichtigen. In diesem Fall ist nachfragebedingt mit einer Differenzierung der Palette angebotener Dienstleistungen zu rechnen.

Der externe Faktor nimmt auch über seinen Einsatzzeitpunkt in der Dienstleistungsproduktion Einfluss auf deren Struktur. Teilprozesse einer Dienstleistung, die erst nach dem Eintreffen eines (kundenindividuellen) externen Faktors durchführbar sind, können beispielsweise nur als kundenauftragsgebundene Produktion bearbeitet werden. Diese als „Endkombination“ bezeichneten Teilprozesse⁶⁵ lassen sich nicht als Lagerauftrag (in lagergebundener Produktion)⁶⁶ durchführen. Eine lagergebundene Produktion ist vielmehr, wenn überhaupt, nur für diejenigen Dienstleistungsprozesse möglich, in denen kein individueller externer Faktor mitwirkt.⁶⁷ Sofern Teilprozesse ohne Integration denjenigen mit Integration externer Faktoren zeitlich vorausgehen, liegt eine Trennung in Vor- und Endkombination vor.⁶⁸ Lediglich kollektiv eingebrachte externe Faktoren (z.B. die potenziellen Wünsche der Hörerschaft eines Senders oder der potenzielle Ausbildungsbedarf von Studenten) können in eine lagergebundene Produktion einfließen. Entscheidend ist in diesen Fällen, dass kein Einzelauftrag, sondern ein allgemeiner Auftrag (z.B. ein Gesellschaftsauftrag zur Informationsversorgung oder ein genereller Bildungsauftrag) vorliegt.

Eine Qualitätsbeurteilung von Dienstleistungen kann an verschiedenen Punkten anknüpfen.⁶⁹ Für den verfolgten Forschungszweck bieten sich als Anknüpfungspunkte der Qualitätsbeurteilung taktische Entscheidungsobjekte

⁶⁵ Vgl. *Corsten* (1984), S. 263 sowie *Corsten* (1996), Sp. 341.

⁶⁶ Vgl. *Glaser/Geiger/Rohde* (1992), S. 319.

⁶⁷ Vgl. für die Versicherungswirtschaft *Zietsch/Graf v. d. Schulenburg* (1993), S. 877.

⁶⁸ Vgl. *Corsten* (1984), S. 263; *Corsten* (1986), S. 20 f. sowie *Corsten* (1996) Sp. 341.

⁶⁹ Zum Überblick über Ansätze zur Qualitätsbeurteilung vgl. *Grüthoff* (1995), S. 43 ff. sowie *Stauss* (2001), S. 298 ff.

des Dienstleistungsproduzenten an. Hierzu unterscheidet *Donabedian* bei der Beurteilung der Dienstleistungsqualität drei Erscheinungsformen:⁷⁰ die Strukturqualität, die Prozessqualität und die Ergebnisqualität. Im Zusammenhang mit der Strukturqualität werden die Ausstattungsmerkmale der Potenzialfaktoren beurteilt, die zur Dienstleistungsproduktion eingesetzt werden. Vielfach ist zu beobachten, dass Dienstleistungsabnehmer, die Einblick in die Prozessdurchführung haben, die eingesetzten Potenzialfaktoren unabhängig von ihrer Leistungsabgabe beurteilen. Hierbei werden Kriterien, wie z.B. die Flexibilität des sachlichen Potenzialfaktors sowie der Ausbildungsstand und die Beratungsfähigkeit von Mitarbeitern, herangezogen. Bei der Beurteilung der Strukturqualität fließen in die Bewertung durch den Abnehmer häufig auch Kriterien ein, die sich nicht auf die Durchführung einer aktuell nachgefragten Dienstleistung beziehen, sondern auf die Unterhaltung einer längerfristigen Geschäftsbeziehung. Neben Potenzialfaktoren können in analoger Weise auch Verbrauchsfaktoren Gegenstand einer Qualitätsbeurteilung sein.⁷¹ Bei der Beurteilung der Prozessqualität stehen die Art und Weise der Prozessdurchführung sowie die Nutzung der eingesetzten Potenzialfaktoren im Vordergrund. Für eine taktische Kapazitätsplanung ist diese Qualitätskomponente von Bedeutung, falls sich Möglichkeiten zu ihrer Beeinflussung innerhalb dieses Planungsteilsystems ergeben. Damit spielt die Prozessqualität für die taktische Kapazitätsplanung nur dann eine Rolle, wenn Letztere um Aspekte der Prozessplanung und der Wahl alternativer Prozesspläne während der Produktion erweitert wird. Als Ergebnisqualität wird die Qualität der im Zuge einer Dienstleistung erbrachten Produktionsresultate aufgefasst. Auch für diese Komponente der Dienstleistungsqualität gilt, dass sie nur dann für die taktische Kapazitätsplanung relevant ist, wenn Letztere durch Komponenten einer Produktplanung im Sinne einer Produktionsergebnisplanung ergänzt wird.

Da bei Dienstleistungen häufig sowohl Produktionsprozesse als auch Produktionsergebnisse als Absatzobjekte in Leistungsbündeln auftreten, ist die Beurteilung der Prozessqualität eng mit der Beurteilung der Ergebnisqualität verbunden. Zur Beurteilung der Prozess- oder Ergebnisqualität müssen daher die absetzbaren Leistungsbündel genau abgegrenzt und analysiert werden. Komplikationen ergeben sich bei der Qualitätsbeurteilung, falls eine verbundene Produktion von Dienstleistungen auftritt. In diesem Fall kann bei der Beurteilung durch den Dienstleistungsabnehmer einzelnen Leistungen kaum ein separater Qualitätswert zugemessen werden. Weitere Komplikationen ergeben sich für die Wahrnehmung der Dienstleistungsqualität bei einem raschen Wechsel des Leistungsprogramms.⁷²

⁷⁰ Vgl. *Donabedian* (1980), S. 79 ff. sowie für industrielle Dienstleistungen *Homburg/Grabe* (1999), S. 850 ff.

⁷¹ Vgl. *Meyer, Ant./Mattmüller* (1987), S. 191 ff.

⁷² Vgl. *Sherwood* (1994), S. 17.

Unabhängig vom Anknüpfungspunkt der Qualitätsbeurteilung ist festzulegen, aus welcher Perspektive eine Qualitätsbeurteilung erfolgen soll. Grundsätzlich lassen sich hierbei abnehmer- und produzentenbezogene Qualitätsbeurteilungen trennen.⁷³ Eine Qualitätsbeurteilung aus Sicht des Produzenten einer Dienstleistung braucht nicht mit derjenigen des Abnehmers der Leistung übereinzustimmen. Anhand eines Gap-Modells lässt sich die Diskrepanz zwischen den tatsächlichen Anforderungen des Abnehmers und den vom Produzenten angenommenen Abnehmererwartungen in drei Differenzarten zerlegen:⁷⁴

1. Differenzen beim Dienstleistungsabnehmer zwischen der erwarteten und der wahrgenommenen Qualität;
2. Differenzen beim Dienstleistungsabnehmer zwischen der wahrgenommenen und der faktisch realisierten Qualität;
3. Differenzen beim Produzenten zwischen der faktisch realisierten und derjenigen Qualität, von welcher er annimmt, dass sie vom Abnehmer (bzw. Markt) erwartet wird.

Zur Qualitätssicherung muss der Produzent für seine Dienstleistungen Qualitätsstandards festlegen, welche die faktisch zu realisierende Qualität beschreiben. Diese Beschreibung erfolgt i.d.R. anhand von Anforderungen, welche die Ausprägung von Eigenschaften einer Dienstleistung ausdrücken. Unabhängig von den Problemen der Qualitätsmessung⁷⁵ muss zum Zweck der Produktionsplanung das Bestehen fester, nachprüfbarer Standards vorausgesetzt werden, welche die jeweilige Qualitätskategorie einer Dienstleistung kennzeichnen. Dabei sollten nicht nur objektiv nachprüfbare Eigenschaften zur Qualitätsmessung herangezogen werden. Vielmehr ist es aus Sicht des Produzenten einer Dienstleistung auch wichtig, die Qualitätsmessung bzw. -wahrnehmung des Dienstleistungsabnehmers zu antizipieren und das Ergebnis dieser Antizipation in der Produktionsplanung zu berücksichtigen.⁷⁶

Ferner wird als spezielles Problem der Dienstleistungsproduktion angeführt, dass die Qualität einer nachgefragten Dienstleistung vor der Leistungserbringung kaum zu bewerten sei. Vielmehr könne sie erst nach der Leistungsbe-

⁷³ Einen differenzierten Überblick gibt *Garvin* (1988), S. 39 ff.

⁷⁴ Vgl. *Zeithaml/Parasuraman/Berry* (1990), S. 51 ff. sowie *Corsten/Stuhlmann* (1997), S. 12, die darauf hinweisen, dass die im Original zusätzlich angeführte Kommunikationspolitik in Verbindung mit den anderen Problemfeldern (Gaps) keinen eigenständigen Problembereich darstellt. Vgl. ferner *Larsson/Bowen* (1989), S. 216 f. sowie *Benkenstein* (1993), S. 1107.

⁷⁵ Vgl. *Haller* (1993), S. 23 f.; *Stauss* (1987), S. 593 ff. sowie *Stauss/Weinlich* (1996) S. 50 ff.

⁷⁶ *Grönroos* (1982), S. 60 ff., trennt hier zwischen technischer und funktionaler Qualität. Eine Übersicht über Messansätze gibt *Benkenstein* (1993), S. 1102 ff.

digung durch den Abnehmer beurteilt werden.⁷⁷ Als Grund wird die geringe Vergleichbarkeit von nachgefragten Dienstleistungen mit Leistungen, die bereits zu früheren Zeitpunkten erbracht wurden, angeführt. Dabei wird unterstellt, dass eine Beurteilung nur durch Vergleiche und nicht auch durch Anwendung individueller Maßstäbe möglich ist. Auch wird bei dieser Behauptung die Möglichkeit des Abnehmers übersehen, sich vor Prozessdurchführung einen Überblick über die Strukturqualität der Dienstleistungsproduktion zu verschaffen. In der Wirtschaftspraxis wird dieses Problem zunehmend durch eine Zertifizierung und die Vergabe von Gütesiegeln sowie durch Qualitätsnormen gelöst. Letztlich kann festgestellt werden, dass das angeführte Beurteilungsproblem zwar bei kundenindividuell durchgeführten Dienstleistungen in Ansätzen besteht, jedoch das gleiche Problem auch bei der Beurteilung eines selten hergestellten Sachguts (Unikats) auftritt. Dieses Beurteilungsproblem ist daher nicht als dienstleistungsspezifisch einzustufen.

Aus der Integration externer Faktoren ergeben sich ferner Konsequenzen für den zeitlichen Verlauf des Kapazitätsbedarfs. Alle Teilprozesse, an welchen externe Faktoren mitwirken, werden erst nach deren Eintreffen durchgeführt und lösen damit einen terminierten Kapazitätsbedarf aus. Externe Faktoren werden dabei i. d. R. zeitlich nahe zur Kundenauftragserteilung in die Produktionsprozesse integriert. Die Kapazitätsbedarfe dieser Prozesse besitzen dann einen ähnlichen zeitlichen Verlauf wie die Nachfrage. Der beschriebene Effekt tritt auch bei kundenorientierter Sachgutproduktion auf. Letztlich muss davon ausgegangen werden, dass Schwankungen im Nachfrageverlauf und Unsicherheiten der Nachfrage zu vergleichbaren Schwankungen und Unsicherheiten des Kapazitätsbedarfs in denjenigen Produktiveinheiten führen, in denen Endkombinationen von Dienstleistungsprozessen durchgeführt werden.

Die Produktion zahlreicher Dienstleistungen ist durch die Belegung mehrerer unterschiedlicher Produktiveinheiten gekennzeichnet.⁷⁸ Um differenzierte Kapazitätsbedarfe ermitteln bzw. planen zu können, müssen die Teilprozesse dieser Dienstleistungen über die Trennung in Vor- und Endkombination hinaus stärker differenziert werden. Bei den zugehörigen Prozessplänen ist von Teilprozessen auszugehen, die sowohl konvergieren als auch divergieren können.⁷⁹

Bei Dienstleistungsproduktionen werden öfters neue Träger durch Abspalten aus externen Faktoren bzw. aus Zwischenprodukten generiert. So werden z. B. bei bestimmten chirurgischen Eingriffen den Patienten Biopsien entnom-

⁷⁷ Vgl. Cordes (1981), S. 1067 sowie Bowen/Jones (1986), S. 432.

⁷⁸ Vgl. Schmidt (1993), S. 48, die als Beispiel das Bankgewerbe anführt.

⁷⁹ Vgl. Fleck (1977), S. 84; Revesz/Shea/Ziskin (1972), S. 22 sowie Riebel (1963), S. 55 ff. und Küpper (1980), S. 122.

men, die parallel zur weiteren Operation pathologisch untersucht werden. Es liegt dann ein divergierender Objektfluss⁸⁰ vor. Die pathologischen Befunde können anschließend ausschlaggebend für weitere Operationsschritte sein. Hierbei gehen die aus der Biopsie gewonnenen Befunde als Informationen in die weitere Operation ein. Damit konvergiert der Objektfluss wieder. Vergleichbare Vergenzen finden sich auch in der präoperativen Diagnostik. Gleichmaßen können Hilfsprozesse ausgeführt werden, die zwar nicht durch Folgebeziehungen in die eigentliche Prozessdurchführung integriert, jedoch zu deren Durchführung inhaltlich oder absatztechnisch notwendig sind. Beispielsweise kann in einer Klinik neben diagnostischen und chirurgischen Dienstleistungen eine postoperative Pflegeleistung erforderlich werden. Insofern existieren bei der Dienstleistungsproduktion gegebenenfalls mit ihr verbundene (verkettete) Dienstleistungen. Eine absatztechnische Verbundenheit liegt z.B. bei der Bereitstellung eines Telefonanschlusses und der Vermittlung einzelner Gespräche oder zwischen dem Betrieb einer Buslinie und konkreten Personenbeförderungen vor. Im letzteren Fall können die Abnehmer der verbundenen Dienstleistungen in unterschiedlich aggregierter Form als Einzelkunden oder als potenziell zu befördernder Personenkreis auftreten. Die Dienstleistungen haben hier die Gestalt von Beanspruchungsleistungen oder Bereithaltungsleistungen.⁸¹

Bei anderen Dienstleistungen, insbesondere bei denjenigen, die im Rahmen einer Endkombination erst nach Auftragserteilung durchgeführt werden können, ist aufgrund unsicherer Nachfrage mit unsicherem und diskontinuierlichem Arbeitsanfall zu rechnen. Dieser und die gegebenenfalls auftretende zeitliche Bindung von Teilprozessen an Liefertermine führen zu ausgeprägten Belastungsschwankungen der Produktiveinheiten. Für viele Dienstleistungen ist deshalb eine hohe Flexibilität der Produktiveinheiten notwendig, um trotz der erwähnten Einflüsse Prozesse und Produktionsergebnisse mit konstanter Qualität und vorgegebener Mindestlieferbereitschaft realisieren zu können.⁸² Diese Flexibilität betrifft sowohl die quantitative und qualitative Kapazität als auch die Prozesspläne. Sie zeigt sich in der „Anpassflexibilität“, in der Kompensationsfähigkeit und in der Lieferzeitflexibilität. Dabei sind neben variierenden Arbeitsinhalten auch schwankende Zusatzbelastungen zu berücksichtigen, die durch dispositive Tätigkeiten verursacht werden, sowie das zeitlich schwankende Leistungs- und Kreativvermögen der Mitarbeiter. Die genannten Flexibilitäten müssen auf operativer Ebene durch geeignete Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden.⁸³ Neben Maßnahmen zur Nachfragebeeinflussung

⁸⁰ Vgl. *Riebel* (1963), S. 56 f.; *Küpper* (1980), S. 108 ff.

⁸¹ Vgl. *Corsten* (1984), S. 258 sowie *Oettle* (1970), S. 21 und S. 26.

⁸² Vgl. *Morris/Johnston* (1987), S. 15.

⁸³ Vgl. *Showalter/White* (1991), S. 56.

sind typische Maßnahmen zur Flexibilisierung von Dienstleistungskapazitäten u.a.:⁸⁴

1. Einstellung von Teilzeitbeschäftigten;
2. Miete von Zusatzkapazitäten;
3. Einsatz von mehrfachqualifizierten Mitarbeitern;
4. Einführung von flexiblen Arbeitszeitmodellen.

Bei Dienstleistungen wird ein hohes Maß an Flexibilität insbesondere durch die Mehrfachqualifikation und durch den variablen Einsatz des Personals erreicht. Die Personalbedarfsplanung bildet daher bei der Dienstleistungsproduktion einen wichtigen Aufgabenbereich.⁸⁵

Ein letzter Problembereich ist in der Messung der Dienstleistungskapazitäten zu sehen. In qualitativer Hinsicht lassen sich über sachliche Potenzialfaktoren i.d.R. genaue Angaben machen. Dagegen ist bei menschlichen Potenzialfaktoren eine Messung der qualitativen Kapazität aufgrund heterogener Fähigkeiten, über die im Allgemeinen keine vollständige Kenntnis erlangt werden kann, allenfalls komparativ möglich. In quantitativer Hinsicht ist zunächst die Wahl der Maßgröße für die jeweilige Kapazität zu treffen. Schwierigkeiten bereitet dabei insbesondere die Messung eines Teils der immateriellen Produktionsergebnisse (z.B. Umfang der Lernerfolge oder der Werbewirkungen). Diese Schwierigkeiten führen häufig zur Verwendung von Ersatzmaßgrößen.⁸⁶ Als bewährte Ersatzmaßgrößen finden entweder absatzbezogene (z.B. Anzahl der Teilnehmer an einer Lehrveranstaltung) oder einsatzbezogene Größen (z.B. geleistete Lehrstunden) Verwendung. Diese Probleme der Kapazitätsmessung treten jedoch nicht bei allen Dienstleistungsproduktionen auf. Z.B. lässt sich die Kapazität einer Einrichtung zur Datenübermittlung durch die Zahl der in einem Zeitraum sendbaren Bytes sehr genau erfassen.

Bei der Wahl von Maßstäben für Kapazitäten ist ferner das bereits angesprochene Auftreten von Leistungsbündeln⁸⁷ und Kuppelprodukten zu beachten. Die Angabe der Kapazität einer Produktiveinheit, isoliert gemessen durch ihr maximales Leistungsvermögen, impliziert dann das Vorhandensein einer entsprechenden Mindestkapazität derjenigen Produktiveinheiten, die an der Produktion des Leistungsbündels beteiligt sind. Beispielsweise impliziert eine Messung der Kapazität eines Hotels durch die Zahl der zur Verfügung stehenden Betten die Notwendigkeit, eine bestimmte (Mindest-)Sitzplatzzahl im Res-

⁸⁴ Vgl. Lovelock (1992) S. 157; Shemwell/Cronin (1994), S. 16 sowie Skiera/Spann (1998), S. 705 ff.

⁸⁵ Vgl. Corsten (1992), S. 239 f.

⁸⁶ Vgl. McLaughlin/Coffey (1990), S. 47 sowie Scheer (1997a), S. 8.

⁸⁷ Vgl. Reichwald/Möslein (1995), S. 336.

restaurant und eine bestimmte (Mindest-)Zahl an Parkplätzen anzubieten. Die Messung der Kapazität durch eine isolierte Größe, die stellvertretend für alle Komponenten eines Leistungsbündels steht, wird zusätzlich erschwert, wenn die mengenmäßige Zusammensetzung des Leistungsbündels unsicher ist. Gegebenenfalls muss dann auf einen differenzierten Kapazitätsausweis aller an der Produktion beteiligten Produktiveinheiten ausgewichen werden. In diesem Fall kann die Dienstleistungskapazität nicht eindimensional durch einen Skalar, sondern nur mehrdimensional durch einen Vektor gemessen werden.

b) Abgrenzung von Sachgütern und Dienstleistungen

Den Erläuterungen zur Dienstleistungsvielfalt lässt sich entnehmen, dass das Produktionsergebnis eines Dienstleistungsprozesses häufig ein Leistungsbündel aus immateriellen und materiellen Komponenten darstellt. Damit unterscheiden sich Dienstleistungen nur graduell von Leistungsbündeln, die Sachgüter kennzeichnen.⁸⁸ Dies ist der Grund, warum bei der Differenzierung von Sachgütern und Dienstleistungen häufig Schwierigkeiten auftreten. Wird hierzu als Differenzierungsmerkmal die Materialität des Prozessergebnisses herangezogen, bleibt die Trennung unscharf, weil auch Dienstleistungen zu Produktionsergebnissen führen können, die an materielle Träger⁸⁹ gebunden sind. Ein vergleichbares Unschärfeproblem ergibt sich bei der Integration eines externen Faktors als Abgrenzungskriterium. Es treten nämlich nicht nur bei Dienstleistungsproduktionen, sondern auch bei Sachgutproduktionen Teilprozesse auf, in die der Abnehmer der Leistung z.B. durch übermittelte Informationen oder durch erbrachte Eigenleistungen externe Faktoren einfließen lässt.⁹⁰

Dienstleistungen unterscheiden sich daher von Sachgütern nur dadurch, dass bei Ersteren im Leistungsbündel die immateriellen Komponenten überwiegen und eine hohe Integration externer Faktoren vorliegt, während bei Letzteren im Leistungsbündel die materiellen Komponenten dominieren und die Integration externer Faktoren gering ist. Allerdings muss bei dieser abgestuften Unterscheidung in Kauf genommen werden, dass in einem Übergangsbereich die Einschätzung einer Leistung als Dienstleistung (bzw. deren Produktionsergebnis) oder als Sachgut von der Wahrnehmung⁹¹ des Betrachters abhängt. Letzterer kann sowohl der Dienstleistungsabnehmer als auch ihr Produzent sein. Auf diese Weise wird die Einordnung eines Leistungsbündels

⁸⁸ Vgl. *Morris/Johnston* (1987), S. 15 sowie *Hilke* (1989), S. 7 f.

⁸⁹ Vgl. *Haksever* u.a. (2000), S. 15.

⁹⁰ Vgl. *Buttler/Stegner* (1990), S. 934 sowie *Dyckhoff* (2000), S. 48.

⁹¹ Vgl. *Gerhardt* (1987), S. 86 f.

als Dienstleistung oder als Sachgut von der am Markt vorherrschenden Wahrnehmung bzw. Meinung abhängig.⁹²

Die abgestufte Unterscheidung von Dienstleistungen und Sachgütern lässt vermuten, dass zahlreiche Probleme der Dienstleistungsproduktion mit Problemen der Sachgutproduktion, wie z.B. der kundenorientierten Auftragsfertigung, verwandt sind. Trotz der nur graduellen Unterschiede zwischen beiden Güterarten muss für Dienstleistungsproduktionen untersucht werden, welche besonderen Probleme bei ihrer Planung und Steuerung auftreten können.

c) Bedeutung von Dienstleistungsprozessen für die Kapazitätsplanung

In Abschnitt B.I.1 wird Kapazität als das maximale Leistungsvermögen einer Produktiveinheit definiert, das in einem bestimmten Zeitabschnitt bereitsteht. Die vorhandene Kapazität wird durch Dienstleistungen bzw. die zugehörigen Teilprozesse in Anspruch genommen, deren Ergebnisse materielle oder immaterielle Güter für den Absatzmarkt oder Zwischenprodukte für den innerbetrieblichen Wiedereinsatz darstellen. Der Umfang dieser Inanspruchnahme wird kurz als „Beschäftigung“ oder Kapazitätsbedarf bezeichnet und kann sich auf verschiedene Bezugszeiträume und -objekte beziehen. Ist das Objekt die einmalige Durchführung eines Prozesses, bezeichnet der Prozesskoeffizient die Inanspruchnahme einer bestimmten quantitativen Kapazität durch diesen Prozess. Das Problem des Auf- oder Abbaus von Kapazitäten wirft Fragen der taktischen Kapazitätsplanung auf. Für die Beantwortung dieser Fragen muss stets auf Produktionsprozesse und ihre Wiederholungen zurückgegriffen werden, um den Umfang des jeweiligen Kapazitätsbedarfs zu bestimmen. Wirken bei der Erstellung von Dienstleistungen mehrere Produktiveinheiten bzw. Potenzialfaktoren mit, sind die zugehörigen Prozesspläne auf die Art und Weise der Kapazitätsinanspruchnahme zu untersuchen. Hieraus ergeben sich Hinweise auf Möglichkeiten, um aggregierte Produktiveinheiten zu bilden. Dabei sind die angeführten Voraussetzungen zur horizontalen oder vertikalen Aggregation zu beachten. Ferner bestimmen die Art und die Struktur der durchzuführenden Produktionsprozesse das erforderliche qualitative Leistungsvermögen der Produktiveinheiten. Es kann daher festgehalten werden, dass die Analyse von Dienstleistungsprozessen Ausgangspunkt einer differenzierten Planung von Dienstleistungskapazitäten ist.

⁹² Vgl. Scheuch (1982), S. 79.

3. Explikation des Dienstleistungsbegriffs

a) Dienstleistungsbegriff in der allgemeinen Fachsprache

Nachdem im vorangehenden Abschnitt Dienstleistungen auf der sachlichen Ebene beschrieben und erläutert wurden, befasst sich dieser Abschnitt mit ihrer sprachlichen Ebene. Um einen wissenschaftlichen Zugang zu den Problemen der Dienstleistungen und der Planung von Dienstleistungskapazitäten zu finden, ist es unerlässlich, einen zweckmäßigen Begriffsapparat festzulegen. In den Vorbemerkungen zu Nominal- und Realdefinition wird bereits darauf hingewiesen, dass für die Festlegung des Dienstleistungsbegriffs als Realdefinition die Form einer Begriffsexplikation gewählt wird. Diese Definitionsform wird bevorzugt, weil sie die Besonderheiten des Phänomens „Dienstleistung“ sprachlich am besten erfasst. In Abschnitt I.b) wird dieser Weg so beschrieben, dass vor der eigentlichen Begriffsexplikation eine erläuternde Beschreibung wichtiger Eigenschaften und Sachverhalte der Dienstleistungsproduktion erfolgt. Die Begriffsexplikation selbst beginnt hier mit einer Kennzeichnung des Dienstleistungsbegriffs in der allgemeinen Fachsprache und wird nachfolgend mit einem Überblick über präzisierte Begriffe in der dienstleistungswirtschaftlichen Fachsprache (Fachliteratur) sowie schließlich mit einer zweckmäßigen Begriffsdefinition fortgeführt.

Um den ersten Explikationsschritt möglichst kurz zu halten, wird nicht von der außerwissenschaftlichen Umgangssprache ausgegangen, sondern von der allgemeinen Fachsprache. Anknüpfungspunkt ist die Definition und die Gliederung wirtschaftlicher Güter. Dazu finden sich in der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre mehrere Ansätze, deren Spektrum sich durch die Begriffe von *Nicklisch*⁹³, *Gutenberg*⁹⁴ sowie *Kosiol*⁹⁵ und *Chmielewicz*⁹⁶ kennzeichnen lässt. Während Dienste (Dienstleistungen) bei *Nicklisch* als Werte, die ohne die Vermittlung einer Sachform verbraucht werden, bei *Gutenberg* als immaterielle Güter und bei *Kosiol* als ursprüngliche, immaterielle Realgüter gekennzeichnet werden, beschreibt *Chmielewicz* sie als ursprüngliche, naturgegebene oder produzierte, immaterielle Realgüter. Nach der Vorstellung *Chmielewicz*' soll seine etwas tiefere Differenzierung auch volkswirtschaftlichen Zwecken dienen.

In den genannten Beiträgen geht es nicht darum, für ein abgegrenztes Forschungsziel einen zweckmäßigen Dienstleistungsbegriff zu definieren; vielmehr wird beabsichtigt, einen allgemeinen, klassifizierenden begrifflichen

⁹³ Vgl. *Nicklisch* (1932), S. 85 ff.

⁹⁴ Vgl. *Gutenberg* (1983), S. 1.

⁹⁵ Vgl. *Kosiol* (1968), S. 136 ff.

⁹⁶ Vgl. *Chmielewicz* (1972), S. 18 ff.

Überblick über mögliche Elemente des betrieblichen Gütersystems zu geben und in diesem Dienstleistungen zu positionieren. Eine Orientierung der entwickelten Gütersysteme am betrieblichen Rechnungssystem (Rechnungswesen) ist nicht zu übersehen.⁹⁷ Trotz ihrer Bedeutung sind diese vier Definitionen nicht präzise genug, um gerade diejenigen Besonderheiten zu erfassen, die für eine taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten erforderlich sind. Neben diesen Ansätzen existieren weitere präzisierete Begriffsdefinitionen, die sich jedoch nur teilweise an Zwecken der Dienstleistungsproduktion orientieren. Als Vertreter dieser präzisierten Begriffe werden nachfolgend der potenzialorientierte, der prozessorientierte und der ergebnisorientierte Dienstleistungsbegriff erörtert.

b) Präzisierete Dienstleistungsbegriffe in der betriebswirtschaftlichen Literatur

(1) Potenzialorientierter Dienstleistungsbegriff

Der potenzialorientierte Dienstleistungsbegriff ist maßgeblich durch *P.W. Meyer*⁹⁸ und *Ant. Meyer*⁹⁹ geprägt. Eine Dienstleistung wird von ihnen als eine menschliche oder maschinelle Leistungsfähigkeit betrachtet, die durch Kombination interner und externer Faktoren bestimmt wird und ein Absatzobjekt darstellt. Diese Faktorkombination bzw. Produktion wird mit der Zwecksetzung erbracht, eine beabsichtigte Zustandsänderung oder -beibehaltung eines Trägers herbeizuführen. Sie ist durch eine direkte Einbindung externer Faktoren in die Produktion gekennzeichnet, sodass von einer Identität des Produktionsprozesses und der Leistungsabgabe auszugehen ist.¹⁰⁰ Das für den potenzialorientierten Begriff wesentliche Merkmal der Leistungsfähigkeit wird als „Leistungsversprechen“ interpretiert.¹⁰¹ Dieses Leistungsversprechen ist vor Abnahme der Dienstleistung vertraglich zu regeln.

Der potenzialorientierte Dienstleistungsbegriff ist aus Sicht der Kapazitätsplanung mit mehreren Problemen behaftet. Aufgrund der Forderung nach Identität von Produktionsprozess und Leistungsabgabe werden typische Hilfsprozesse (z.B. die Erarbeitung von Marktforschungsergebnissen oder Arbeitsanweisungen), die zur Dienstleistungsproduktion notwendig sind, selbst nicht als Dienstleistungen interpretiert. Der gesamte Bereich des Handels wäre nach dieser Begriffsfestlegung nicht dem der Dienstleistungen zuzurechnen. Die

⁹⁷ Vgl. *Chmielewicz* (1972), S. 18.

⁹⁸ Vgl. *Meyer, P. W.* (1973), S. 40 ff.

⁹⁹ Vgl. *Meyer, Ant.* (1984), S. 198 f. sowie zum Übergang auf die prozessorientierte Definition *Meffert* (1984), S. 3.

¹⁰⁰ Vgl. *Meyer, Ant.* (1987), S. 26.

¹⁰¹ Vgl. *Corsten* (2001), S. 20.

Festlegung des potenzialorientierten Begriffs ist also mit einer unzumutbaren Problemeinengung verbunden.

Kritisch ist ferner zu bemerken, dass die Dienstleistung aus potenzialorientierter Sicht lediglich eine Leistungsfähigkeit des Dienstleistungsproduzenten darstellt. Damit ist die Dienstleistung nicht durch die tatsächliche Produktion einer Leistung (z.B. Durchführung einer Telefonverbindung), sondern durch die Fähigkeit¹⁰² des Produzenten zur Leistungserbringung (d.h. lediglich die Fähigkeit zur Durchführung einer Telefonverbindung) gekennzeichnet. Außerdem unterscheidet sich die Bereitstellung eines Leistungsvermögens im Sinne eines Servicegrades oder einer Dienstbereitschaft (z.B. der Wahrscheinlichkeit für die Zurverfügungstellung einer Telefonverbindung) vom reinen Versprechen einer Leistung. Es stellt sich daher die Frage, ob überhaupt eine Nachfrage nach versprochenen Leistungen existiert oder ob nur eine Nachfrage nach Realisationen von Leistungen in Form einer Produktion (z.B. Herstellung einer konkreten Verbindung) bzw. nach einer Dienstbereitschaft (z.B. Bereitstellung eines Anschlusses) besteht. Zur Kennzeichnung von Dienstleistungsprozessen erscheint nach den genannten Einwänden der potenzialorientierte Dienstleistungsbegriff aus der Sicht einer Planung von Dienstleistungskapazitäten als unzumutbar.

(2) Prozessorientierter Dienstleistungsbegriff

Die prozessorientierte Definition des Dienstleistungsbegriffs stellt auf den prozessualen Charakter ab.¹⁰³ Demnach stellt eine Dienstleistung eine Produktion bei zeitlicher und räumlicher Präsenz eines externen Faktors dar, die mit ihm, teilweise auch an ihm vollzogen wird und zu materiellen oder immateriellen Wirkungen¹⁰⁴ führen kann. Gegenstand des Absatzes kann dabei sowohl der Dienstleistungsprozess selbst (z.B. ein Aufenthalt in einem Sanatorium oder eine stationäre Behandlung in einem Krankenhaus) als auch das Produktionsergebnis (z.B. die wiedergewonnene Gesundheit) sein,¹⁰⁵ das der Bedarfsdeckung dient.

Schwachpunkt des prozessorientierten Dienstleistungsbegriffs ist die zeitliche und räumliche Präsenz des externen Faktors während der Produktion. Sie erweist sich unter praktischen Gesichtspunkten als Merkmal, das zu einer erheblichen Einengung der betrachteten Produktionen führt. Bei enger Ausle-

¹⁰² Vgl. Meyer, *Ant.* (1984), S. 200.

¹⁰³ Vgl. Berekoven (1974), S. 23 ff. sowie Ernenputsch (1986), S. 2.

¹⁰⁴ Anders Hilke (1989), S. 18 ff. Berekoven (1974), S. 29, geht in seiner Definition sogar von einer Präsenz des Dienstleistungsabnehmers aus.

¹⁰⁵ Vgl. Berekoven (1974), S. 25.

gung der räumlichen Präsenz wären alle aus der Ferne (z.B. über Telekommunikation) unterstützten Produktionen (z.B. durch Ferndiagnosen und -wartungen) keine Dienstleistungen. Auch vorbereitende Hilfsprozesse (wie z.B. Versorgungsleistungen in Krankenhäusern) fielen nicht unter diesen Begriff. Schwierigkeiten bereitet auch die begriffliche Erfassung von Dienstleistungen, die unabhängig von der Präsenz eines Abnehmers (z.B. fahrplanmäßige Fahrten eines Personenzuges auch ohne Passagiere) erbracht werden. *Berekoven* trennt deshalb zwischen produzierten Dienstleistungen mit gleichzeitiger Leistungsverwertung und produzierten Dienstleistungen ohne gleichzeitige Leistungsverwertung durch einen Abnehmer. In letzterem Fall stellt sich jedoch die Frage, ob eine Dienstleistung ohne gleichzeitige Leistungsverwertung durch einen Abnehmer trotzdem mit zeitlicher und räumlicher Präsenz externer Faktoren produziert werden kann. Die Unterscheidung *Berekovens* könnte vermieden und die Definition einfacher gehalten werden, wenn zwischen zwei unterschiedlichen Abnehmerkreisen¹⁰⁶ differenziert würde. Bei der Inanspruchnahme einer Personenzugtransportleistung wäre z.B. der Dienstleistungsabnehmer als konkreter Leistungsverwerter direkt in die Fahrt involviert. Bei der fahrplanmäßigen Durchführung von Zugfahrten träte dagegen die Gesamtkundschaft als möglicher Nachfrager nach einer regelmäßigen Transportleistung und damit als abstrakter (potenzieller) Leistungsverwerter auf. Insofern läge in letzterem Fall eine abstrakte Leistungsverwertung in Form der Sicherheit vor, ein Verkehrsmittel nutzen zu können. Externe Faktoren wären in diesem Fall die Informationen der möglichen Nachfrager über ihre Transportwünsche. Im Ergebnis zeigt die Einführung der abstrakten Leistungsverwertung als Form der räumlichen Präsenz, dass die bisherige prozessorientierte Definition des Dienstleistungsbegriffs zu eng ist und nur unter Schwierigkeiten bestimmte reale Phänomene erfassen kann.

Für die Kapazitätsplanung besitzt der prozessorientierte Dienstleistungsbegriff jedoch grundsätzlich den Vorzug, den Produktionsprozess ins Zentrum der Betrachtung zu rücken. Die Zerlegung der Dienstleistungsprozesse in Teilprozesse¹⁰⁷ ermöglicht es, Kapazitätsinanspruchnahmen und die Zwischenspeicherung von Produktionsergebnissen differenziert zu erfassen. Aus der Sicht einer Planung von Dienstleistungskapazitäten erweist sich daher der prozessorientierte Dienstleistungsbegriff als zweckmäßiger Ausgangspunkt einer Begriffsexplikation.

(3) Ergebnisorientierter Dienstleistungsbegriff

Nach der ergebnisorientierten Definition stellt eine Dienstleistung das immaterielle Resultat eines Prozesses zur Deckung fremden Bedarfs dar, das

¹⁰⁶ Vgl. Meyer, *Ant.* (1984), S. 212.

¹⁰⁷ Vgl. Berekoven (1974), S. 24.

eine beabsichtigte Zustandsänderung oder -erhaltung eines Trägers bildet. An der Produktion muss ein externer Faktor mitwirken.¹⁰⁸

Wesentliche Merkmale des ergebnisorientierten Dienstleistungsbegriffs sind die Mitwirkung externer Faktoren in der Produktion und die Immaterialität des Produktionsergebnisses. Die Verwendung des zweiten Merkmals bereitet jedoch einige Schwierigkeiten. So ist generell jede Zustandsänderung oder -erhaltung, die durch eine Produktion herbeigeführt wird, an einen materiellen Träger gebunden. Neben einer Dienstleistung entsteht damit stets auch ein Sachgut. Alle (Teil-)Prozesse, die zur Erstellung (materieller) Träger führen, wären nach dieser Definition nicht Betrachtungsgegenstand. Ähnliche Schwierigkeiten lassen sich spiegelbildlich für die Sachgutproduktion aufzeigen. Werden nämlich bei der Produktion eines materiellen Guts immaterielle Zwischenprodukte erzeugt (z.B. Ausarbeitung kundenindividueller Spezifikationen, Auswertung von Pflichtenheften, Beratungen oder Schulungen), dürfen die zugehörigen Produktionsprozesse nicht zur Sachgutproduktion gerechnet werden. In beiden Fällen ist jedoch eine Abstimmung beider Produktionen in der Produktionsplanung und speziell in der Kapazitätsplanung erforderlich. Aus Sicht der Kapazitätsplanung von Dienstleistungen erweist sich daher eine Konzentration auf Produktionsprozesse, die zu Dienstleistungen im ergebnisorientierten Sinn führen, als zu eng.

Als weiteres Merkmal zur Kennzeichnung des ergebnisorientierten Dienstleistungsbegriffs führt *Maleri*¹⁰⁹ die Immaterialität der in die Produktion eingehenden Einsatzgüter an. Dieser Charakterisierung kann nicht gefolgt werden, da auch sie eine Einengung des Begriffsumfangs nach sich zieht. Beispielsweise werden beim Erbringen klinischer Dienstleistungen Verbandsmaterialien verwendet oder bei Operationen prothetische Hilfsmittel implantiert. Ohne Zweifel sind diese Einsatzgüter materiell. Damit sind weitere Zweifel an der Zweckmäßigkeit des ergebnisorientierten Begriffs angebracht. Insgesamt erweist sich der ergebnisorientierte Dienstleistungsbegriff wegen der dargestellten Schwächen für die Erforschung der Planungsprobleme von Dienstleistungskapazitäten als unzweckmäßig.

c) Definition eines Typusbegriffs der Dienstleistung

In Verbindung mit der Nachfrage nach Dienstleistungen treten die Produktionsprozesse als Determinanten der Kapazitätsinanspruchnahme auf und beeinflussen auf diese Weise die Kapazitätsdimensionierung. Unter dem Forschungsziel der Planung von Dienstleistungskapazitäten bietet es sich daher

¹⁰⁸ Vgl. *Maleri* (1997), S. 37 ff. sowie *Maleri* (1998), S. 120 und 123.

¹⁰⁹ Vgl. *Maleri* (1998), S. 120.

an, die Produktionsprozesse der Dienstleistungen in den Vordergrund der Betrachtung zu rücken und sich dem prozessorientierten Dienstleistungsbegriff¹¹⁰ anzunähern. Der Dienstleistungsbegriff wird damit wie folgt definiert:

„Eine Dienstleistung stellt die Produktion eines Bündels überwiegend immaterieller Güter unter Einsatz interner und externer Faktoren dar.“

Aus der Sicht einer Planung von Dienstleistungskapazitäten ist diese Definition zweckmäßig, d.h., sie genügt den Kriterien der Ähnlichkeit, Exaktheit, Fruchtbarkeit und Einfachheit. Es ist zu betonen, dass diese Definition zwei Merkmale enthält, die abgestuften Charakter haben: die Immaterialität des Produktionsergebnisses (Leistungsbündels) sowie der Einsatz externer Faktoren. Nach den vorab angestellten Überlegungen zum Klassen- und Typusbegriff¹¹¹ handelt es sich daher bei dieser Definition um einen Typusbegriff der Dienstleistung. Abbildung 1 veranschaulicht den fließenden Übergang von Sachgut- und Dienstleistungsproduktion durch dunklere Schraffur bei zunehmendem Dienstleistungscharakter.

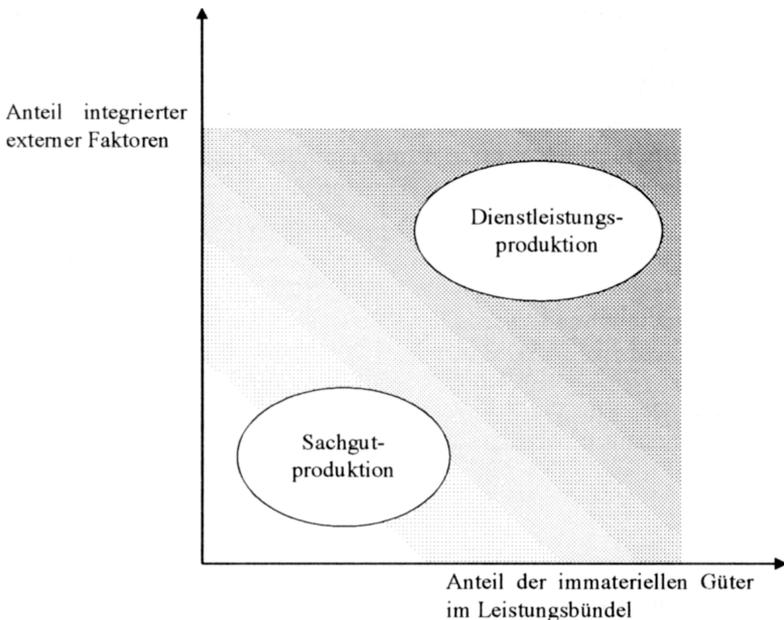


Abbildung 1: Typologische Abgrenzung von Sachgut- und Dienstleistungsproduktion

¹¹⁰ Vgl. S. 59.

¹¹¹ Vgl. S. 44 f.

Dieser Typusbegriff erlaubt eine angemessene Erfassung des „Wesens“ von Dienstleistungen und bietet einen Ausgangspunkt für den Aufbau einer Dienstleistungstypologie, mit der die Erscheinungsvielfalt realer Dienstleistungen beschrieben werden kann. In Verbindung mit der Definition des externen Faktors ist dieser Begriff umfassend. Seine Zweckmäßigkeit erweist sich bei der theoretischen Fundierung, Modellierung und Lösung der Probleme einer taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten.

C. Dienstleistungstypologien für die taktische Kapazitätsplanung

I. Allgemeine Anforderungen an Typologien

Eine Typologie stellt eine Gesamtheit von Typen dar, die auf der Grundlage einer gemeinsamen Merkmalssystematik gebildet wird. Damit eine Typologie als geeignete deskriptive Grundlage für ein Forschungsziel dienen kann, muss sie Anforderungen erfüllen, die sich auf ihre Merkmalssystematik beziehen:¹

1. Die in der Systematik verwendeten Merkmale müssen klar und eindeutig formuliert sein.
2. Die Unterteilung der Typen muss auf den Untersuchungszweck abgestimmt sein.
3. Bei der Formulierung der Merkmale ist darauf zu achten, dass unterschiedliche Merkmale nicht gleiche Merkmalsausprägungen beschreiben.
4. Grundsätzlich sind Merkmale mit sich gegenseitig ausschließenden Ausprägungen zu verwenden. Dabei ist jedoch der abgestufte Charakter der Merkmale² zu beachten, der zu unscharfen Abgrenzungen der Typen führt. Aufgrund der Zuordnung eines Objekts zu einem Typus kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass das Objekt auch die Merkmalsausprägungen eines anderen Typus in abgeschwächter Form erfüllt.
5. Die Zahl der Merkmale, die zur Differenzierung der Typen verwendet wird, sollte möglichst klein sein.³ Die Differenzierung muss jedoch geeignet sein, alle für die Untersuchung relevanten Objekte zu erfassen und zweckgerecht zu unterscheiden.

Nachfolgend werden einige Dienstleistungstypologien, die in der Fachliteratur entwickelt wurden,⁴ dargestellt und anhand der oben genannten Anforderungen beurteilt, wobei insbesondere der Aspekt der Adäquatheit (Zweckmäßigkeit) der in der Merkmalssystematik verwendeten Begriffe von Bedeutung ist. Die Zweckmäßigkeit der Begriffe und der Merkmalssystematik einer

¹ Vgl. *Tietz* (1960), S. 53 ff.

² Vgl. *Tietz* (1960), S. 25.

³ Vgl. *Lehmann* (1976), Sp. 3944.

⁴ Vgl. zu einem Überblick *Cook/Goh/Chung* (1999), S. 318 ff.

Typologie wird daran gemessen, in welchem Umfang es durch sie gelingt, die Einzelprobleme der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten hinreichend präzise zu erfassen. Die zu erläuternden Typologien lassen sich entweder durch die Absatzorientierung ihrer Merkmalsystematik oder durch eine zusätzliche Produktionsorientierung kennzeichnen. Diese Unterscheidung wird nachfolgend aufgegriffen.

II. Absatzorientierte Dienstleistungstypologien

1. Dienstleistungstypologie nach Lovelock

Im Mittelpunkt der typologischen Analysen *Lovelocks*⁵ stehen die Möglichkeiten eines Dienstleistungsabnehmers, auf die Dienstleistungsprozesse des Produzenten Einfluss zu nehmen und die Prozessqualität zu messen. Zum einen unterscheidet er nach der Art des in die Produktion eingebrachten externen Faktors in personen- und in sachbezogene Dienstleistungen. Zum anderen differenziert er Dienstleistungen nach tangiblen und intangiblen Produktionsergebnissen. Das Merkmal der Tangibilität bringt den Grad der physischen Erfassbarkeit und intersubjektiven Überprüfbarkeit des Produktionsergebnisses zum Ausdruck.⁶ Anstelle des aus der angloamerikanischen Terminologie übertragenen Begriffs der Tangibilität wird auch der Begriff der Materialität⁷ gewählt, wobei davon ausgegangen wird, dass materielle Produktionsergebnisse präziser als immaterielle sowohl in ihrer Existenz als auch in ihrer Nutzenstiftung erfasst werden können. Während der Prozess einer Dienstleistung und die von ihm an einem Träger vorgenommene Zustandsgestaltung selbst nicht physisch erfassbar sind, gilt dies für materielle Komponenten des Leistungsbündels, also für den Träger oder weitere Nebenprodukte, nicht. Kern der Überlegungen ist, dass mit einem höheren Anteil an tangiblen Bestandteilen einer Dienstleistung auch die Möglichkeiten verbessert werden, die mit diesen Bestandteilen verbundenen Produktionsergebnisse oder die an ihnen erbrachten Prozesse präziser beurteilen zu können.⁸ Für den Abnehmer einer schwach tangiblen Dienstleistung ergeben sich dann tendenziell geringere Möglichkeiten, um vor, während oder nach der Abnahme der Leistung deren Eigenschaften zu erfassen und mit den eigenen Leistungsanforderungen zu vergleichen.⁹

⁵ Vgl. *Lovelock* (2001), S. 28 ff.

⁶ Vgl. *Lovelock* (2001), S. 28 ff. Ähnliche Merkmale untersuchen *Bowen/Bowers* (1985), S. 79 ff., die organisatorische Gestaltungshinweise erarbeiten.

⁷ Vgl. *Corsten* (2001), S. 52.

⁸ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 431 sowie *Haksever* u.a. (2000), S. 16.

⁹ Vgl. *Darby/Karni* (1973), S. 68 ff.

Anhand zweier Merkmale (Tangibilität, Art des externen Faktors) unterscheidet *Lovelock* die vier Dienstleistungstypen „People Processing“ (tangibel, personenbezogen), „Possession Processing“ (tangibel, sachbezogen), „Mental Stimulus Processing“ (intangibel, personenbezogen) und „Information Processing“ (intangibel, sachbezogen). Da die Wahrnehmung der Tangibilität von der Person abhängt, welche die Qualität einer Dienstleistung physisch zu erfassen oder zu beurteilen hat, ist diese Typenbildung intersubjektiv nicht eindeutig nachzuvollziehen.¹⁰

Aus Sicht der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten beruht die von *Lovelock* gewählte Merkmalssystematik auf Merkmalen, deren Ausprägungen eine Kapazitätsinanspruchnahme bzw. eine Kapazität nur unbestimmt kennzeichnen. Lediglich indirekt und fallabhängig lassen sich Verbindungen zwischen den Ausprägungen der Merkmale und den Prozesskoeffizienten oder dem Kapazitätsbedarf herstellen. Eine Differenzierung von Dienstleistungstypen nach den von *Lovelock* vorgeschlagenen Merkmalen ist daher für den gewählten Forschungszweck zu unpräzise.

2. Dienstleistungstypologie nach Bowen und Jones

Bowen und *Jones*¹¹ stellen Überlegungen zur strategischen Produktgestaltung von Dienstleistungen an. Ausgangspunkt ihrer Betrachtung sind zwei in der Literatur vertretene, unterschiedliche Auffassungen über die Integration von Kunden als menschliche externe Faktoren. Zum einen beziehen sie sich auf die von *Lovelock* und *Young*¹² vertretene Auffassung, dass externe Faktoren als substitutionale Faktoren zu unternehmenseigenen Einsatzgütern auftreten können. Zum anderen verweisen sie auf *Chase*¹³, der integrierte externe Faktoren als Ursachen für Unsicherheiten des Produktionsprozesses aufdeckt. Anliegen von *Bowen* und *Jones* ist es, beide Auffassungen in einem simultanen Transaktionskostenansatz zu verknüpfen. Dazu stellen sie zwei Merkmale heraus, nach welchen sie einzelne Dienstleistungen vier Typen zuordnen. Ein Merkmal ist die Eindeutigkeit der Beurteilung einer Dienstleistung durch den Produzenten und durch den Dienstleistungsabnehmer. Das andere Merkmal ist die Zielübereinstimmung von Produzent und Abnehmer.¹⁴ Als zentrale Ursa-

¹⁰ Vgl. *Corsten* (2001), S. 53.

¹¹ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 429 ff.

¹² Vgl. *Lovelock/Young* (1979), S. 169 sowie *Lovelock* (1993), S. 70.

¹³ Vgl. *Chase* (1978), S. 139.

¹⁴ *Goodwin* (1985), S. 160 ff., berücksichtigt als umfassenderes Typisierungsmerkmal die Bereitschaft von Dienstleistungsproduzent und -abnehmer, eine langfristige Geschäftsbeziehung zu unterhalten.

che für ein mehrdeutiges Leistungsverständnis wird von *Bowen* und *Jones* die Intangibilität von Dienstleistungen angesehen. Diese Mehrdeutigkeit verstärkt sich, je weniger eine Dienstleistung standardisiert ist und je weniger Dienstleistungen der gleichen Art produziert werden (und als Vergleichsmaßstab dienen können).¹⁵ Aus diesem Grund entstehen für den Dienstleistungsabnehmer vor Abnahme der Leistung höhere Informationskosten, ein höheres Eignungsrisiko bei Nutzung der Leistung und eine größere Bereitschaft, sich an mehrere Dienstleistungsproduzenten zu wenden. Neben der Mehrdeutigkeit des Dienstleistungsverständnisses bildet der Mangel an Zielübereinstimmung zwischen Produzent und Abnehmer¹⁶ eine weitere Quelle für Transaktionskosten. Um opportunistische Handlungen¹⁷ einer Vertragsseite zu vermeiden, müssen in diesem Fall vermehrt kostensteigernde Informations- und Kontrollmechanismen unterhalten werden.¹⁸

Anhand der eingeführten Merkmale unterscheiden *Bowen* und *Jones* folgende Dienstleistungstypen:¹⁹

1. „Impersonal Market“ (eindeutiges Leistungsverständnis bei unterschiedlichen Zielvorstellungen von Dienstleistungsproduzent und -abnehmer);
2. „Relational Market“ (eindeutiges Leistungsverständnis bei gleichen Zielvorstellungen von Dienstleistungsproduzent und -abnehmer);
3. „Impersonal Hierarchy“ (mehrdeutiges Leistungsverständnis bei unterschiedlichen Zielvorstellungen von Dienstleistungsproduzent und -abnehmer);
4. „Relational Hierarchy“ (mehrdeutiges Leistungsverständnis bei gleichen Zielvorstellungen von Dienstleistungsproduzent und -abnehmer).

Für ihre vier Dienstleistungstypen schlagen *Bowen* und *Jones* unterschiedliche Strategien vor, um durch den Grad der Kundenintegration sowie durch die Wahl von Koordinationsmechanismen eine transaktionskostenminimale Dienstleistungsproduktion zu erreichen.²⁰

Die Dienstleistungstypologie von *Bowen* und *Jones* ist durch eine einseitige Orientierung an den Transaktionskosten aus dem Verhältnis zwischen dem Dienstleistungsproduzenten und dem Dienstleistungsabnehmer gekennzeichnet. Weitere Kosten, die z.B. aus der Ressourceninanspruchnahme in der Produktion entstehen, bleiben ausgeklammert. Ferner stellt die Dienstleistung für

¹⁵ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 431.

¹⁶ Vgl. *Schneeweiß* (2000), S. 5 und 7 ff.

¹⁷ Vgl. *Darby/Karni* (1973), S. 67 ff.

¹⁸ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 432 sowie *Darby/Karni* (1973), S. 68 ff.

¹⁹ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 434.

²⁰ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 435 ff.

die genannten Autoren ein Gestaltungsobjekt der strategischen Planungsebene dar. Eine Übertragung ihrer Vorgehensweise auf die hier gewählte, taktische Problemstellung ist deshalb nicht ohne weiteres möglich.

Für eine taktische Kapazitätsplanung lassen sich aus dem vorgestellten Ansatz jedoch für Dienstleistungen Hinweise über Einflussgrößen ableiten, welche die Nachfrage und den Kapazitätsbedarf beeinflussen. So kann z.B. bei Mehrdeutigkeit des Dienstleistungsverständnisses eine größere Bereitschaft des Dienstleistungsabnehmers auftreten, sich Informationen bei anderen Dienstleistungsanbietern zu beschaffen. Dieses Verhalten kann zu einem häufigen Lieferantenwechsel sowie zu einer schwankenden und unsicheren Nachfrage bei den Anbietern führen. Außerdem können unterschiedliche Zielvorstellungen von Produzent und Abnehmer beim Dienstleistungsproduzenten vergleichsweise mehr Aktivitäten zur Prozesskontrolle erfordern (z.B. bei der Qualitätsprüfung des in die Produktion eingebrachten externen Faktors).²¹ In diesen Fällen können außerdem abnehmerspezifische Schwankungen der Arbeitsinhalte von Teilprozessen auftreten und schwankende Produktions- bzw. Prozesskoeffizienten nach sich ziehen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich aus der Typologie von *Bowen* und *Jones* zwar Hinweise auf mögliche kapazitätsbeeinflussende Faktoren ergeben, sich die vorgestellte Merkmalsystematik jedoch nicht zu einer zweckmäßigen Typenbildung für die Kapazitätsplanung eignet.

3. Dienstleistungstypologie nach Meyer

*Meyer*²² formuliert eine mehrdimensionale Dienstleistungstypologie, um typengerechte Marketing-Konzepte entwickeln zu können. Als Hauptdifferenzierungsmerkmale dienen die Rechtsform, Kooperationsform, Organisationsform und Leistungsform ganzer Dienstleistungsunternehmen. Speziell das Merkmal der Leistungsform wird weiter differenziert nach der Ausprägung des Leistungsprogramms, der Art des externen Faktors und der Form der Preisbestimmung.²³ Beim Leistungsprogramm unterscheidet *Meyer* eine Leistungsbreite und -tiefe. Während die Leistungsbreite die Anzahl der unterschiedlichen angebotenen Dienstleistungen beschreibt, bezeichnet die Leistungstiefe die jeweilige Anzahl der bei der Produktion zu vollziehenden Teilprozesse.²⁴ Die Form der Preisbestimmung umfasst die branchenüblichen

²¹ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 433.

²² Vgl. *Meyer, Ant.* (1983), S. 51 ff.

²³ Vgl. *Meyer, Ant.* (1983), S. 54 ff.

²⁴ Dabei stellt *Meyer* indirekt auf einzeln absetzbare Teilprozesse ab, vgl. *Meyer, Ant.* (1983), S. 55, wodurch sich das Merkmal von der Produktionstiefe abhebt.

Normpreise, die unternehmenseigene Preisdifferenzierung sowie die Preisaushandlung.²⁵

Für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten sind in erster Linie die Leistungsbreite und die Leistungstiefe von Bedeutung. Sie kennzeichnen die Menge unterschiedlicher Prozessarten und die Zahl unterschiedlicher (Teil-)Prozesse, die zur Erbringung der angebotenen Dienstleistungen durchzuführen sind. Aus beiden Leistungsinformationen lassen sich Anforderungen für die Kapazitätsplanung ableiten. Weitere Merkmale, wie z.B. die Art des externen Faktors oder die Form der Preisbestimmung, lassen nur eine sehr vage Beziehung zum Kapazitätsbedarf erkennen. Eine Übernahme dieser Typologie ist somit für die Kennzeichnung von Problemen der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten nicht zweckmäßig.

III. Produktions- und absatzorientierte Dienstleistungstypologien

1. Dienstleistungstypologie nach Berekoven

Neben den rein absatzorientierten sind auch kombinierte absatz- und produktionsorientierte Dienstleistungstypologien entwickelt worden. Stellvertretend für Letztere werden die Ansätze von *Berekoven*, *Chase*, *Schmerrer* sowie *Corsten* analysiert.

Das Anliegen *Berekovens*²⁶ ist es, konstituierende Merkmale für den Begriff des Dienstleistungsunternehmens herauszuarbeiten. Mit seiner Untersuchung beabsichtigt er nicht, eine problembezogene Typologie zu entwickeln, sondern die begriffliche Basis eines allgemeinen Dienstleistungsverständnisses zu erarbeiten. Dies führt dazu, dass die von ihm herausgearbeiteten Merkmale sowohl aus absatz- als auch aus produktionsorientierter Sicht von Bedeutung sind. Nach leistungs- und abnehmerbezogenen Gesichtspunkten werden sechs Hauptmerkmale zur Differenzierung von Dienstleistungen herausgestellt.

Je nachdem, ob eine Dienstleistung in einer Folge von Teilprozessen produziert wird oder ob sie eine einzige, reine Bereitstellungshandlung darstellt, trennt *Berekoven* prozessuale und statische Dienstleistungen. Unter einem prozessbezogenen Gesichtspunkt werden Leistungsarten mit und ohne direkten Kundenkontakt unterschieden. Eine Dienstleistungsproduktion ohne direkten Kundenkontakt setzt die Existenz eines externen Faktors (z.B. eine Information) voraus, der aus dem Verfügungsbereich des Dienstleistungsabnehmers

²⁵ Vgl. *Meyer, Ant.* (1983), S. 58 f.

²⁶ Vgl. *Berekoven* (1974), S. 32 ff.

stammt und an der Produktion mitwirkt.²⁷ Im Vordergrund dieser Differenzierung steht die Frage, ob eine Dienstleistungsproduktion nur mit direkter Inanspruchnahme des Dienstleistungsabnehmers erfolgen kann oder ob sie auch indirekt über eine Distanz, ohne räumliche Präsenz erbracht werden kann.²⁸ Letzterer Fall setzt voraus, dass dem Dienstleistungsproduzenten leistungsbezogene Informationen übermittelt oder sachliche externe Faktoren überlassen werden. Da auch Informationen den Charakter externer Faktoren besitzen, ist es zweckmäßig, sie sachlichen externen Faktoren gleichzusetzen. Das letzte produktionsorientierte Merkmal bildet die Produktionstiefe. Sie kennzeichnet die Anzahl der Teilprozesse, die zur vollständigen Erbringung einer Dienstleistung durchzuführen sind.²⁹

Hinsichtlich des Absatzobjekts unterscheidet *Berekoven* zwischen Leistungen, die als Dienstleistungsprozess selbst nachgefragt werden (z.B. die Auf-führung eines Theaterstücks),³⁰ und Leistungen, die das Ergebnis eines Dienstleistungsprozesses sind (z.B. ein wiederhergestelltes Unfallfahrzeug).³¹ In letzterem Fall ist für den Dienstleistungsabnehmer das Produktionsergebnis Gegenstand der Kaufentscheidung. Ferner unterscheidet *Berekoven* Absatzobjekte, die als Zwischen- oder Endproduktionsergebnisse primär materiellen oder geistig-abstrakten Charakter besitzen. Hinter dieser Differenzierung steht die Bedeutung, die dem stets vorhandenen materiellen Träger immaterieller Produktionsergebnisse (als Absatzgegenstand) vom Abnehmer beigemessen wird. Zur Differenzierung der Nachfrage wird schließlich zwischen den Ausprägungen einer individuellen und einer einheitlichen Nachfrage unterschieden. Einheitlichkeit drückt dabei die Übereinstimmung der nachgefragten Dienstleistungen in Bezug auf Leistungsart, -ort, -zeit und -menge aus.³² *Berekoven* versteht die von ihm vorgestellten Merkmale nicht als abschließenden Katalog zur Charakterisierung aller beobachtbaren Dienstleistungen. Vielmehr ist er bestrebt, aus der Vielzahl empirisch relevanter Merkmale eine Auswahl zu treffen, die eine Zuordnung von Objekten zu Unternehmenstypen erlaubt.

Die Existenz der von *Berekoven* eingeführten statischen Dienstleistungen kann generell infrage gestellt werden. In der Regel ist nämlich davon auszu-gehen, dass auch reine Bereitstellungshandlungen durch verwaltende Tätigkei-

²⁷ Dienstleistungen oder entsprechende Teilprozesse ohne Kundenkontakt weichen nach *Berekoven*, (1974), S. 38, bereits vom Idealtyp einer Dienstleistung ab.

²⁸ Vgl. *Berekoven* (1974), S. 33.

²⁹ Vgl. *Berekoven* (1974), S. 34, der im Gegensatz zu *Meyer, Ant.* (1983), S. 55, keine Einschränkung auf einzeln absetzbare Produktionsergebnisse der Teilprozesse erkennen lässt, jedoch auch von einer Leistungstiefe spricht.

³⁰ Vgl. auch *Chase/Aquilano/Jacobs* (1998), S. 147.

³¹ Vgl. auch *Scheer/Bold* (1997), S. 552.

³² Vgl. *Berekoven* (1974), S. 33.

ten (z.B. Auftragsannahme und Abrechnung) eingeleitet und abgeschlossen werden. Von Bedeutung ist dagegen das Kriterium der Produktionstiefe und die Frage, ob der Dienstleistungsprozess selbst Gegenstand der Nachfrage sein kann oder nur das durch ihn herbeigeführte Produktionsergebnis. Ein Dienstleistungsproduzent muss sich dann entweder auf die Beurteilung seiner Prozesse und deren Ergebnisse oder nur auf die Beurteilung seiner Produktionsergebnisse einstellen. Die Unterscheidung in primär materielle und in geistig-abstrakte Dienstleistungen entspricht im Wesentlichen derjenigen in tangible und intangible. Insofern lassen sich die Ergebnisse zur Eindeutigkeit von Leistungen auf diese Unterscheidung zurückführen. Die Einheitlichkeit der Dienstleistungen bzw. ihre Standardisierung und ihre Wiederholungsrate sind aus Sicht der Kapazitätsplanung von größerer Bedeutung. Zum einen ist bei geringer Einheitlichkeit der Leistungen mit schwankenden Kapazitätsinanspruchnahmen durch deren Prozesse zu rechnen. Zum anderen führt eine geringe Standardisierung zu erschwerten Vergleichs- und Beurteilungsmöglichkeiten durch den Dienstleistungsabnehmer und damit zu den bereits skizzierten Wirkungen auf die Kundentreue und die Nachfragekontinuität. Die Übereinstimmung von Dienstleistungen nach Leistungszeit und Leistungsmenge kann zur Wiederholungsrate der Dienstleistungen verdichtet werden, welche die Zahl an Leistungen einer bestimmten Art in einem festgelegten Zeitintervall beschreibt. Niedrige Wiederholungsraten bewirken, dass ein Leistungsabnehmer zur Einschätzung der Dienstleistungsqualität gezwungen ist, auf (weit) zurückliegende Realisationen zurückzugreifen, die u.U. eine niedrige Vergleichbarkeit aufweisen.³³ In diesem Fall muss mit den von *Bowen* und *Jones* beschriebenen Wirkungen³⁴ gerechnet werden. Auf der anderen Seite muss hohen Wiederholungsraten Aufmerksamkeit geschenkt werden, falls einige mit der Dienstleistung verbundene Teilprozesse Lerneffekten unterliegen. Soweit diese Effekte auftreten, sind die jeweiligen Kapazitätsinanspruchnahmen z.B. in Abhängigkeit von der kumulierten Zahl aller vergleichbaren Teilprozesse zu erklären.³⁵

Wie den absatzorientierten Typologien lassen sich auch der Typologie *Be-rekovens* nur vage Merkmale und Merkmalsausprägungen für die Kennzeichnung der Planungsprobleme von Kapazitäten entnehmen. Eine Typenbildung nach seinem Merkmalskatalog ist daher für das gewählte Forschungsziel nicht zweckmäßig.

³³ Vgl. *Bowen/Jones* (1986), S. 430.

³⁴ Vgl. S. 67.

³⁵ Vgl. *Kllock/Sabel* (1993), S. 215 ff. sowie *Mochty* (1996), Sp. 1075 ff.

2. Dienstleistungstypologie nach Chase

Einige Schwächen absatzwirtschaftlich orientierter Dienstleistungstypologien greift *Chase*³⁶ auf und entwickelt eine Dienstleistungstypologie, die im Gegensatz zu den rein absatzorientierten Typologien als Grundlage einer produktionsorientierten Gestaltung des Kundenkontaktbereichs dienen soll. Als Typisierungsmerkmal verwendet er den Grad des Kundenkontakts.³⁷ Anders als *Berekoven* definiert *Chase* den Grad des Kundenkontakts nicht in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Dienstleistungsabnehmer und -produzent. Vielmehr bezeichnet er als Grad des Kundenkontakts das Verhältnis derjenigen Zeit, die ein Dienstleistungsabnehmer an der Produktion der für ihn bestimmten Leistung teilnimmt, zur Zeit, die insgesamt zur Produktion der Dienstleistung erforderlich ist. Die Art und Weise der Beteiligung des Abnehmers an der Dienstleistungsproduktion spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle. Ferner grenzt *Chase* die in Anwesenheit bzw. unter Mitwirkung des Leistungsabnehmers produzierte Leistung nicht von anderen Vorleistungen ab. Es unterbleibt ebenfalls eine Definition derjenigen Zeit, die insgesamt zur Produktion einer Dienstleistung erforderlich ist.

Je nachdem, ob ein hoher, mittlerer oder geringer Kundenkontakt während der Produktion vorliegt, trennt *Chase* in reine, gemischte und quasi-fabrikationelle Dienstleistungen.³⁸ Kundenkontakte sieht *Chase* auch als Quellen für Unsicherheiten im Produktionsbereich. Diese Unsicherheiten betreffen sowohl die Zeitpunkte des Auftretens der Nachfrage als auch die Art der Produktionsdurchführung für wechselnde Dienstleistungsabnehmer.³⁹ In diesem Zusammenhang lassen sich z.B. in Versicherungsunternehmen Schadenfallbearbeitungen für Unfallversicherungen, sowohl was den Dienstleistungszeitpunkt als auch was den Arbeitsanfall betrifft, als individuell und unsicher charakterisieren.⁴⁰ *Chase* weist auch darauf hin, dass eine Produktion mit hohem Kundenkontakt durch einen hohen Personaleinsatz⁴¹ gekennzeichnet ist und dass dieser Einsatz tendenziell unsicherer ist als derjenige von Maschinen. Hierbei spielen insbesondere tarif- und arbeitsvertragliche Regelungen sowie gesundheitliche Probleme der Mitarbeiter eine Rolle. Auf der anderen Seite eröffnen geringe Kundenkontakte die Möglichkeit, Teilprozesse, die keine Anwesenheit des Dienstleistungsabnehmers erfordern, terminlich freier zu disponieren und eine operative Kapazitätsanpassung an die Nachfrage zu er-

³⁶ Vgl. *Chase* (1978), S. 138 ff.

³⁷ Vgl. *Chase* (1978), S. 138.

³⁸ Vgl. *Chase* (1978), S. 138 f. sowie *Chase/Tansik* (1983), S. 1040.

³⁹ Vgl. *Chase* (1978), S. 139 sowie *Chase/Tansik* (1983), S. 1039 f.

⁴⁰ Vgl. *Albrecht* (1987), S. 317.

⁴¹ Vgl. *Chase* (1978), S. 139.

leichtern. Um diesen Kapazitätsabgleich möglichst umfassend nutzen zu können, empfiehlt *Chase* die Strategie, Bereiche mit hohem und mit geringem Kundenkontakt organisatorisch zu separieren und Letztere durch Rationalisierungsmaßnahmen zu einer höheren Produktivität zu führen.⁴²

Den Argumenten von *Chase* zu den negativen Wirkungen der Kundenkontakte in der Dienstleistungsproduktion hält *Tansik*⁴³ entgegen, dass Kundenkontakte die Möglichkeit eröffnen, die Kundenbindung zu erhöhen. Bei der Gestaltung der Dienstleistungsprozesse sollte daher ein Mindestmaß an Kundenkontakten beibehalten werden.

Für die Zwecke der Kapazitätsplanung von Dienstleistungen lassen sich aus der Merkmalsystematik von *Chase* einige Merkmale ableiten. Anstelle des Merkmals des Kundenkontakts bietet es sich an, die Unsicherheit der Kapazitäten als Merkmal zu wählen. Dann kann auf eine Differenzierung von Personal- und Maschineneinsatzfaktoren verzichtet werden. Vergleichbares gilt für die Beschreibung des Kapazitätsbedarfs. Auch hier kann anstelle des Kundenkontakts auf direkt wirkende Merkmale, wie die Unsicherheiten der Prozesskoeffizienten und der Nachfrage nach Dienstleistungen, zurückgegriffen werden. Die Typologie von *Chase* erweist sich daher für das hier gewählte Forschungsziel in Teilen als zweckmäßig.

3. Dienstleistungstypologie nach Schmenner

*Schmenner*⁴⁴ weist auf eine Schwäche der Argumentation von *Chase*⁴⁵ hin, der unterstellt, dass sich ein geringer Kundenkontakt wegen vergleichsweise kleiner Unsicherheiten positiv auf die Produktivität der Dienstleistungsproduktion auswirkt. Beispielsweise lässt die kurze Zeit, in der ein Hotelgast jeweils in persönlichem Kontakt mit den Hotelangestellten steht, nicht auf kleine Unsicherheiten und eine hohe Produktivität des Hotels schließen. Entscheidend für die Produktivität sind nach *Schmenner* die Arbeitsintensität einer Dienstleistung als Verhältnis der menschlichen Arbeitszeit zu der gesamten zur Durchführung der Produktion aufzubringenden Zeit, sowie der Grad der Interaktion und die kundenbezogene Spezifizierung einer Dienstleistung.⁴⁶

⁴² Vgl. *Chase* (1978), S. 141; die dortige Bezeichnung „efficiency“ wird hier als Produktivität interpretiert.

⁴³ Vgl. *Tansik* (1990), S. 55.

⁴⁴ Vgl. *Schmenner* (1986), S. 22 ff.

⁴⁵ Vgl. S. 72.

⁴⁶ Vgl. *Schmenner* (1986), S. 23 f. In Bezug auf die gesamte zur Durchführung benötigte Zeit bleibt offen, ob in ihr im Sinne der Durchlaufzeit auch Wartezeiten enthalten sein sollen. Ist dieses nicht der Fall, bietet sich stattdessen die Verwendung des Begriffs der Belegungs- bzw. Durchführungszeit an.

Problematisch an der Typologie *Schmenners* ist der Bezug auf ganze Unternehmen. So sind z.B. in einem Hotel nicht generell nur Bereiche mit geringer Arbeitsintensität und niedrigem Grad der Interaktion und Spezifizierung anzutreffen,⁴⁷ sondern gleichzeitig auch Bereiche mit hoher Arbeitsintensität (z.B. die Küche). Für Zwecke der taktischen Kapazitätsplanung hat eine detaillierte Differenzierung des Kundenkontakts gegenüber einer groben Differenzierung nur wenig zusätzlichen Informationsgehalt. Im Fall der gleichzeitigen Inanspruchnahme von Maschinen- und Personalkapazitäten ist es vielmehr zweckmäßig, bei hohem Kundenkontakt von unsicheren Prozesskoeffizienten für das Personal auszugehen. Diese sind meist unabhängig von entsprechenden Prozesskoeffizienten für die Maschinennutzung.

Die von *Schmenner* angeführte Kundenspezifizierung bedarf einer genaueren Analyse. Eine kundenbezogene Produktion erfordert eine größere Zahl von individuell auf den Dienstleistungsabnehmer zugeschnittenen Prozesswiederholungen. Diese führen in der Regel zu höheren Kapazitätsinanspruchnahmen als vergleichbare Standardprozesse. *Morris*⁴⁸ weist jedoch am Beispiel einer Fortbildungseinrichtung für Führungskräfte nach, dass bei einer kundenbezogenen Produktion die Kapazitätsinanspruchnahme durch begleitende Standardprozesse reduziert werden kann und dabei eine kompensierende Wirkung in Bezug auf die gesamte Kapazitätsinanspruchnahme auftreten kann.

Interessanterweise greifen *Rust* und *Metters*⁴⁹ die vorgeschlagene Typologie *Schmenners* auf und ordnen den einzelnen Dienstleistungstypen in der Literatur behandelte Modelle und Verfahren zur Lösung von Einzelproblemen zu. Bei näherer Hinsicht zeigt sich jedoch, dass sie für diese Zuordnung nicht auf die Differenzierungsmerkmale *Schmenners* zurückgreifen, sondern andere Merkmale heranziehen, mit welchen sie die Notwendigkeit spezieller Modellierungen begründen.

4. Dienstleistungstypologie nach Corsten

Ausgangspunkt der Typologie *Corstens*⁵⁰ sind Merkmale der in die Produktion einfließenden Einsatzgüter. Das erste Hauptmerkmal ist der Stoffcharakter der in die Dienstleistung eingehenden externen Faktoren. Danach gliedert er in stoffliche (Real- und Nominalfaktoren) und unstoffliche Faktoren (Rechte und Informationen). Als weiteres Hauptmerkmal zur Unterscheidung von

⁴⁷ Vgl. *Schmenner* (1986), S. 25.

⁴⁸ Vgl. *Morris* (1988), S. 306.

⁴⁹ Vgl. *Rust/Metters* (1996), S. 435 ff.

⁵⁰ Vgl. *Corsten* (1985), S. 224 ff.

Dienstleistungen, verwendet er – vergleichbar der Arbeitsintensität bei *Schmenner* – das Verhältnis der internen Faktoren Personal zu Maschinen.

Die mit Hilfe der angegebenen Hauptmerkmale und weiterer Merkmale gebildeten Typen beziehen sich ausdrücklich nicht auf ganze Unternehmen, sondern auf Teilbereiche, in denen Dienstleistungsprozesse vollzogen werden.⁵¹ Unter prozessualen Gesichtspunkten entwickelt *Corsten* eine Dienstleistungstypologie mit acht Typen:⁵²

1. Dienstleistungen am lebenden Objekt (Mensch, Tier) ohne Einsatz materieller Träger bei bestehender Subjekt-Objekt-Beziehung während des Produktionsprozesses;
2. Dienstleistungen am sachlichen Objekt (gleichzeitig der materielle Träger) bei bestehender Subjekt-Objekt-Beziehung während des Produktionsprozesses;
3. Dienstleistungen am sachlichen Objekt (gleichzeitig der materielle Träger) bei gelöster Subjekt-Objekt-Beziehung während des Produktionsprozesses;
4. Dienstleistungen am lebenden Objekt mit Einsatz materieller Träger oder bei gelöster Subjekt-Objekt-Beziehung während des Produktionsprozesses;
5. Nominalgüterdienstleistungen;
6. Rechtsgüterdienstleistungen;
7. personengestützte Informationsdienstleistungen;
8. maschinengestützte Informationsdienstleistungen.

Als Merkmale der Typenbildung verwendet *Corsten* den Einsatz eines materiellen Trägers sowie die Art der „Subjekt-Objekt-Beziehungen“.⁵³ Das Einbeziehen eines materiellen Trägers eröffnet die Möglichkeit, Teilprozesse der Dienstleistungsproduktion mit oder ohne Anwesenheit des Dienstleistungsabnehmers durchzuführen, sofern Letzterer in der Lage (oder willens) ist, die Verfügungsgewalt über den externen Faktor vorübergehend abzugeben, also die Subjekt-Objekt-Beziehung für den Zeitraum der Dienstleistungserbringung zu lösen. Diese Teilprozesse können dann vom Dienstleistungsproduzenten terminlich oder räumlich ohne Einwirken des Dienstleistungsabnehmers disponiert werden. Das Einbeziehen eines materiellen Trägers in die Produktion ist ferner Voraussetzung dafür, Produktionszwischenergebnisse auf diesem Träger zu lagern (zu speichern). Sofern eine Lösung der Subjekt-Objekt-Beziehung vorliegt, kann von einer

⁵¹ Vgl. *Corsten* (1985), S. 226 sowie *Corsten* (2001), S. 45.

⁵² Vgl. *Corsten* (2001), S. 47.

⁵³ Vgl. *Corsten* (2001), S. 47.

(partiellen) Aufgabe der Simultaneität⁵⁴ von Produktion und Absatz gesprochen werden.

Die Lagerungsfähigkeit von Produktionszwischenergebnissen stellt ein kontrovers diskutiertes Merkmal der Dienstleistungsteilprozesse dar. Teilweise wird die Existenz lagerungsfähiger Produktionsergebnisse bestritten.⁵⁵ Empirische Befunde sprechen dagegen für ihre Existenz. Anhand der Möglichkeit, in einem Krankenhaus Patienten zwischen einzelnen Behandlungsschritten oder während ihrer Genesung auf (verschiedenen) Stationen unterzubringen,⁵⁶ lässt sich der Einwand gegen eine Lagerungsfähigkeit einfach widerlegen. Prinzipiell kann von der Lagerungsfähigkeit eines Dienstleistungsergebnisses ausgegangen werden, wenn sich dieses auf einem Träger festhalten (speichern) lässt und bis zu seiner späteren Weiterverwendung nicht an Eignung und Qualität verliert. Es kann jedoch nicht in allen Fällen davon ausgegangen werden, dass eine auf einem Träger speicherbare Dienstleistung auch generell lagerungsfähig ist. So kann dasselbe Konzert in einem Tonstudio auf einem Tonträger zwischengespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt mit Integration eines externen Faktors (Zuhörers) eine Zustandsgestaltung, nämlich die Befriedigung eines musikalischen Bedürfnisses, bewirken. In diesem Fall liegt offensichtlich eine Lagerungsfähigkeit vor. Findet ein Konzert dagegen vor einem Publikum statt, erfolgt also die Integration der externen Faktoren während der gesamten Produktion, besteht keine Möglichkeit der Zwischenlagerung. In diesem Fall kann das Produktionsergebnis nur in einem bestimmten Zeitintervall genutzt werden. In anderen Fällen kundenorientierter Dienstleistung (z.B. bei einer Lieferung durch einen Spediteur) ist die zeitliche Begrenzung abhängig vom Einverständnis des Dienstleistungsabnehmers mit einer entsprechenden Vereinbarung. Bei kundenanonymer Dienstleistung (z.B. der Vorbereitung einer Radiosendung für einen bestimmten Sendetermin) sind technische Aspekte der Prozessdurchführung (ein fester Sendezeitraum) von Bedeutung für zeitliche Begrenzungen. Dienstleistungsergebnisse können nach diesen Überlegungen unbegrenzt, begrenzt oder überhaupt nicht lagerungsfähig sein. Prinzipiell besitzt die Lagerungsfähigkeit von Dienstleistungsergebnissen auch für die Kapazitätsplanung Gewicht, weil bei bestehender Lagerungsfähigkeit entsprechende Lagerkapazitäten zu planen sind. Außerdem ist die Lagerungsfähigkeit von Produktionszwischenergebnissen Voraussetzung für einen operativen Kapazitätsabgleich, bei dem der Kapazitätsbedarf an das Kapazitätsangebot durch zeitliche Vorverschiebung von Teilleistungen angepasst wird.

⁵⁴ Vgl. *Corsten* (2001), S. 28.

⁵⁵ Vgl. z.B. *Bechthold/Showalter* (1987), S. 89 sowie *Faßnacht* (1998), S. 724, die eine Lagerungsfähigkeit negieren; dagegen *Meyer, Arn.* (1976), S. 75, der eine mögliche Lagerungsfähigkeit differenziert beschreibt.

⁵⁶ Vgl. *Brettel* (1999), S. 765.

IV. Beurteilung der dargestellten Dienstleistungstypologien

Grundlage einer Beurteilung der dargestellten Dienstleistungstypologien sind die Anforderungen, die in Abschnitt C.I. genannt werden. Ein Blick auf die vorgestellten Dienstleistungstypologien zeigt, dass fast alle Typologien auf einem abgegrenzten System von Merkmalen basieren. Sie erfüllen die Anforderung, klare und eindeutige Merkmale zu verwenden. Keine der Typologien verfolgt jedoch den Zweck, eine taktische Kapazitätsplanung fachsprachlich zu fundieren. Zwar wird für diese Typologien eine Vielzahl von Merkmalen erläutert, eine Diskussion der Struktur der Dienstleistungsprozesse, der Kapazitätsbelastungen oder der zur Verfügung zu stellenden Kapazitäten erfolgt dagegen nicht. Mehrere Typologien dienen auf strategischer Ebene als Formulierungsgrundlage typendifferenzierter Normstrategien⁵⁷, während die Zahl derjenigen Typologien, die zur Entwicklung analytischer Modelle, insbesondere kapazitätsorientierter Planungsmodelle, herangezogen werden können, verschwindend klein ist.⁵⁸ Die Zwecksetzungen der entwickelten Typologien sind i.d.R. andere als die Unterstützung einer Kapazitätsplanung. Ferner werden in fast allen Typologien unterschiedliche Merkmale verwendet. Ein direkter Vergleich der Typologien in Bezug auf die Anforderung, möglichst wenige Merkmale zu verwenden, ist daher nicht möglich. Im Wesentlichen erfüllen die Typologien auch die Anforderungen, überschneidungsfreie Merkmale und sich ausschließende Merkmalsausprägungen zu verwenden. Dem Charakter von Typologien entsprechend sind die Übergangsbereiche dieser sich ausschließenden Merkmalsausprägungen unscharf.

Ein vergleichender Überblick über die Typologien zeigt, dass für die Bildung einiger Typen unter Verwendung unterschiedlicher Bezeichnungen Merkmale verwendet werden, deren Ausprägungen gleiche oder ähnliche Phänomene beschreiben. So lassen z.B. die Unterscheidung von Personen- und Sachbezug sowie die Differenzierung verschiedener Kundenkontakte auf dasselbe Phänomen mehr oder weniger sicherer Prozesskoeffizienten und auf eine verbesserte Einblicknahme des Dienstleistungsabnehmers in die Dienstleistungsproduktion schließen. Eine Berücksichtigung aller vorgeschlagenen Merkmale zum Aufbau einer allgemeinen Dienstleistungstypologie ist deshalb nicht möglich. Diese allgemeine Dienstleistungstypologie wäre auch nicht zweckmäßig, weil sie für eine Analyse besonderer Probleme, wie einer taktischen Kapazitätsplanung, unpräzise Einzeltypen umfasste. Schließlich lässt sich einigen Typologien nicht eindeutig entnehmen, ob es sich tatsächlich um eine Typologie oder um eine einfache Klassifikation handelt.

⁵⁷ Vgl. *Bea/Haas* (2001), S. 182 f.

⁵⁸ Vgl. *Cook/Goh/Chung* (1999), S. 336.

V. Überblick über weitere Merkmale der Typusbildung

Neben den diskutierten Merkmalen, die zur Formulierung von Typen und Typologien herangezogen werden, ist eine Vielzahl weiterer Einzelmerkmale zur Kennzeichnung von Dienstleistungstypen bekannt.⁵⁹ Unter dem Gesichtspunkt einer taktischen Kapazitätsplanung sind hiervon insbesondere prozess- und kapazitätsbezogene, aber auch absatzbezogene abgestufte Merkmale von Interesse.

Die Nachfrage nach Dienstleistungen beispielsweise unterliegt teilweise erheblichen Schwankungen,⁶⁰ deren zeitlicher Verlauf üblicherweise in Form von Zeitreihen erfasst wird.⁶¹ Insbesondere Dienstleistungen mit hohem Kundenkontakt weisen der Tendenz nach in der Nachfrage kurzfristig starke Schwankungen auf. Eine über kurze Zeitintervalle geführte Zeitreihe der Nachfrage lässt in diesem Fall die Überlagerung mehrerer Saisonfaktoren erkennen. Für die taktische Kapazitätsplanung ist eine schwankende Nachfrage als Auslöser eines schwankenden Kapazitätsbedarfs relevant.

Dienstleistungen lassen sich ferner nach ihrem Zeitaspekt⁶² differenzieren. Dabei wird unterschieden, ob eine Dienstleistung für einen festen Zeitabschnitt Gegenstand der Nachfrage ist (z.B. eine Objektbewachung während der Nachtstunden) oder ob eine durch die Produktion bewirkte Zustandsgestaltung nur zu einem bestimmten Zeitpunkt nachgefragt wird (z.B. eine Transportleistung, die bis zu einem bestimmten Termin durchzuführen ist, bei der aber der Zeitausschnitt der Ausführung nicht Gegenstand der Leistungsvereinbarung ist). Im ersten Fall kann von einer festen Kapazitätsbelastung ausgegangen werden, die Bestandteil der Vereinbarungen zwischen Dienstleistungsproduzent und -abnehmer ist. Im zweiten Fall kann die Kapazitätsbelastung variabel sein und ist nicht Bestandteil der getroffenen Vereinbarung. Für die operative Planung des Dienstleistungsproduzenten ergibt sich damit ein größerer Entscheidungsspielraum.

Der Umfang der Annahme von Kundenaufträgen bildet ein weiteres Differenzierungsmerkmal von Dienstleistungen. Zu unterscheiden sind eine vollständige und eine eingeschränkte Nachfrageerfüllung (bzw. Auftragsannahme). Bei vollständiger Nachfrageerfüllung nimmt der Dienstleistungsproduzent die Aufträge aller Nachfrager an. Dieser Fall liegt z.B. im Postverkehr vor, wenn eine Beförderungsverpflichtung (Kontrahierungszwang) gesetzlich

⁵⁹ Einen Überblick über weitere Merkmale geben *Corsten* (2001), S. 31 ff., *Benkenstein/Güthoff* (1996), S. 1500 ff. sowie *Cook/Goh/Chung* (1999), S. 327 ff.

⁶⁰ Vgl. *Bechtold/Showalter* (1987), S. 89; *Ritter* (1988), S. 87 ff. sowie *Cordes* (1981), S. 1067.

⁶¹ Vgl. *Haksever* u.a. (2000), S. 454.

⁶² Vgl. *Corsten* (2001), S. 32.

aufgelegt ist oder eine freiwillige Zusage aus absatzpolitischen Gründen gegeben wird. Andererseits tritt der Fall auf, dass nur eine begrenzte Auftragszahl angenommen wird. Gegenüber den Dienstleistungsabnehmern wird dann z.B. das Versprechen einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für die Annahme eines Auftrags abgegeben. Es lässt sich aber auch unternehmensintern die Zielsetzung verfolgen, einen bestimmten Anteil aller eingehenden Aufträge anzunehmen.

Nach ihrer Determiniertheit lassen sich determinierte und indetermierte Dienstleistungen unterscheiden.⁶³ Indetermierte Dienstleistungen sind in Bezug auf die in sie eingehenden Faktoren oder in Bezug auf ihre Prozessdurchführung Unsicherheiten unterworfen. Neben den bereits angesprochenen Wirkungen externer Faktoren werden diese Unsicherheiten durch interne Faktoren herbeigeführt. Insofern kann die Determiniertheit der Dienstleistungen als komplexes Merkmal verstanden werden, das sich zwar auf die Integration externer Faktoren bezieht, jedoch nach weiteren Ursachen der Indeterminiertheit aufgelöst werden kann.

Bereits bei der Darstellung der Beziehungen zwischen taktischer und operativer Planung wurde auf die Bedeutung der Antizipation operativer Planungsergebnisse durch die taktische Planung hingewiesen.⁶⁴ Für die Antizipation der operativen Planung in der taktischen Kapazitätsplanung sind vor allem die Entscheidungsspielräume der Termindisposition⁶⁵ relevant. In diesem Sinne lassen sich Dienstleistungen in terminlich grob und terminlich fein strukturierte Dienstleistungen differenzieren. Eine terminlich feine Strukturierung liegt vor, wenn in der Termindisposition nur geringe Entscheidungsspielräume bestehen. Anderenfalls ist die Dienstleistung terminlich grob strukturiert. Bei terminlich fein strukturierten Dienstleistungen kann im Gegensatz zu grob strukturierten Dienstleistungen insbesondere nicht davon ausgegangen werden, dass ein operativer Kapazitätsabgleich in den Produktiveinheiten regelmäßig zur Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und zur Verfügung stehender Kapazität führt. Dienstleistungsproduktionen, die diesbezüglich durch geringe Entscheidungsspielräume gekennzeichnet sind, erfordern eine vergleichsweise genaue Abbildung der Termindisposition auf der taktischen Planungsebene. Gegenüber der operativen Planung werden hierfür jedoch nur vergrößerte Daten über die Prozessabläufe zugrunde gelegt. Die Entscheidungsspielräume der Termindisposition werden maßgeblich durch absatz-, prozess- oder beschaffungsbedingte Gegebenheiten bestimmt. So führen z.B. die vorgegebenen Ablaufregeln in den Arbeitsplätzen des Call-Centers einer Bank sowie die abnehmerbestimmten Leistungstermine zu geringen Entschei-

⁶³ Vgl. *Gerhardt* (1987), S. 93 ff. sowie *Friedl* (1997), S. 117.

⁶⁴ Vgl. S. 42.

⁶⁵ Vgl. *Glaser/Geiger/Rohde* (1992), S. 140 ff.

dungsspielräumen in der Terminusdisposition und somit zu einer terminlich feinen Strukturierung. In diesen Arbeitsplätzen ist jeweils zur Betreuung eines neuen Anrufers oder vor einer Buchungsveranlassung zunächst der vorangehende Anruf abzuschließen. Eine Leistung kann hier nur dann erbracht werden, wenn ein Kunde mit seinem Anruf die Dienstleistungsproduktion veranlasst. Eine terminlich feine Strukturierung liegt auch dann vor, wenn bei Durchführung von Projekten feststehende Leistungstermine einzuhalten sind oder durch Zulieferer und Subunternehmen terminliche Restriktionen bestehen, die den Entscheidungsspielraum der Terminusdisposition stark einschränken. Terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktionen sind dagegen z.B. bei öffentlichen Veranstaltungen gegeben, wie in Theatern und Kinos. Hier bestehen für den Dienstleistungsanbieter erheblich größere Spielräume zur Terminusdisposition der von ihm durchzuführenden Teilprozesse, die auf die anbieterbestimmte Festlegung der Leistungstermine zurückzuführen sind. Terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktionen treten verstärkt auch dann auf, wenn als Absatzobjekte nicht Prozesse, sondern Prozessergebnisse im Vordergrund stehen. Die in diesen Produktionen zu verrichtenden Teilprozesse sind zu großen Teilen anbieterbestimmt, woraus sich entsprechende Entscheidungsspielräume für die Terminusdisposition ergeben. Diese Entscheidungsspielräume führen auf der taktischen Planungsebene dazu, dass bei terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktionen eine stark vergrößerte Abbildung der Prozessabläufe zur Antizipation der Planungsergebnisse der operativen Planungsebene genügt.

Das Merkmal der terminlichen Strukturierung steht außerdem in Verbindung mit der Standardisierung⁶⁶ von Dienstleistungen. Mit abnehmender Standardisierung der Leistungen kann davon ausgegangen werden, dass die Teilprozesse der einzelnen Dienstleistungen wegen stärker schwankender Durchführungszeiten intensiver aufeinander abgestimmt werden müssen. Hierbei kennzeichnet die Durchführungszeit die Dauer aller Maßnahmen, die ohne Unterbrechung in einer Produktiveinheit zur Verrichtung der im Prozessplan vorgeschriebenen Tätigkeiten für einen (Teil-)Prozess zu erledigen sind, wenn alle Potenzialfaktoren der Produktiveinheit ausschließlich diesen Prozess bearbeiten.

Mit dem Merkmal der terminlichen Strukturierung der Dienstleistungsprozesse steht auch die Bestimmtheit der Leistungszeitintervalle in Beziehung. Danach lassen sich produzentenbestimmte und abnehmerbestimmte Leistungszeitintervalle unterscheiden, je nachdem, ob der Dienstleistungsproduzent (z.B. ein Konzertveranstalter oder Linienbusbetreiber) oder der Abnehmer (z.B. der Anrufer bei einer Hotline) über das Zeitintervall der Dienstleis-

⁶⁶ Vgl. *Cook/Goh/Chung* (1999), S. 329, die nach diesem Kriterium Projekt-, Kunden- und Standarddienstleistungen unterscheiden.

tungsproduktion bestimmen kann. Ist eine Dienstleistung produzentenbestimmt, besteht für den Produzenten die Möglichkeit, die einzelnen Leistungstermine für unterschiedliche Abnehmer zeitlich zu bestimmen. Auf der taktischen Planungsebene genügt es dann, die Produktion grob strukturiert zu erfassen. Ist dagegen eine Dienstleistung abnehmerbestimmt, muss der Produzent den Abnehmerwünschen nach bestimmten Leistungszeitintervallen gerecht werden. Hieraus resultiert für ihn eine Einschränkung der Entscheidungsspielräume in der Termindisposition, d.h. eine terminlich feine Strukturierung der Dienstleistungsproduktion, sowie die Notwendigkeit, die einzelnen Leistungszeitintervalle genau aufeinander abzustimmen.

VI. Entwicklung einer produktions- und absatzorientierten Dienstleistungstypologie für die taktische Kapazitätsplanung

1. Formulierung relevanter Typisierungsmerkmale

Aus den Merkmalen der dargestellten Typen und Typologien lassen sich diejenigen herausgreifen, die für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten relevant sind und dabei Merkmalsüberschneidungen vermeiden. In einer ersten Gruppe dieser Merkmale werden zwei absatzorientierte Typusmerkmale zusammengefasst, die abgestuft sind:

1. die Saisonalität des Nachfrageverlaufs nach Dienstleistungen,
2. die Wiederholungsrate der Dienstleistungen.

Die Nachfrage nach Dienstleistungen kann, wie bereits erläutert, durch saisonale Einflüsse gekennzeichnet sein. Bei einem hohen Anteil kundenauftragsgebundener Dienstleistungsproduktion verursachen die betroffenen Prozesse Schwankungen der Kapazitätsbedarfe, die mit den saisonalen Schwankungen der Nachfrage verknüpft sind. Daneben ist die Wiederholungsrate der Dienstleistungen ein mit der Sicherheit des Kapazitätsbedarfs verbundenes, eigenständiges Merkmal. Liegt eine niedrige Wiederholungsrate vor, muss sich der Produzent auf wechselnde Prozessabläufe einstellen und den daraus resultierenden Kapazitätsbedarf durch eine genaue zeitliche Einplanung mit seinem Kapazitätsangebot in Einklang bringen. Mit steigender Wiederholungsrate kann umgekehrt damit gerechnet werden, dass der Dienstleistungsproduzent die Prozessabläufe zunehmend besser beherrscht, sodass mit geringerem Planungsaufwand für die Durchführung der einzelnen Teilprozesse und sichererem Kapazitätsbedarf zu rechnen ist.

Neben den absatzorientierten Merkmalen lassen sich in einer zweiten Gruppe zwei abgestufte, gemischt absatz- und produktionsorientierte Typusmerkmale herausstellen, die für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten Gewicht haben:

3. die Sicherheit der Prozesskoeffizienten,
4. das Auftreten von Lerneffekten.

Prozesskoeffizienten können auch ohne Integration externer Faktoren von Unsicherheit betroffen sein. Entsprechende Prozesse werden in erster Linie durch eine nicht vollständig beherrschbare Technik als Unsicherheitsfaktor geprägt. Der Tendenz nach größere Unsicherheiten bestehen jedoch bei Prozessen, in welchen externe Faktoren mitwirken. Die Prozesskoeffizienten dieser Prozesse sind insbesondere von der Qualität der externen Faktoren abhängig. Diese Aussage gilt sowohl für substitutionale als auch für limitationale externe Faktoren. Da das Auftreten externer Faktoren mit Qualitätsunterschieden wiederum vom Absatz bestimmter Dienstleistungen abhängt, gewinnt die Problematik unsicherer Prozesskoeffizienten eine absatzabhängige Dimension. Vergleichbare Aussagen lassen sich über den Einfluss von Lerneffekten auf Prozesskoeffizienten formulieren. Diese Effekte können sowohl externe als auch interne Faktoren betreffen.

In einer dritten Gruppe lassen sich produktionsorientierte Typusmerkmale zusammenfassen, die für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten Bedeutung haben und ebenfalls abgestuft sind. Sie kennzeichnen in erster Linie die Art der Prozessplanung und -durchführung sowie Eigenschaften der Produktiveinheiten. Im Einzelnen handelt es sich um:

5. die Möglichkeiten zur Qualitätsbeurteilung durch den Dienstleistungsabnehmer,
6. die Lagerungsfähigkeit der Prozess(zwischen)ergebnisse,
7. die Sicherheit des Kapazitätsangebots,
8. den Umfang der Nachfrageerfüllung bzw. der Kundenauftragsannahme und
9. die terminliche Strukturierung der Teilprozesse.

Die Möglichkeiten der Qualitätsbeurteilung durch den Dienstleistungsabnehmer sind durch die Art des Dienstleistungsprozesses bestimmt. Sie werden begünstigt durch einen intensiven Personenbezug und mehrfachen Kundenkontakt, durch eine hohe Materialität bzw. Tangibilität des Produktionsergebnisses sowie durch eine hohe Produktionswiederholung standardisierter Leistungen. Ferner erleichtert eine hohe Interaktion während der Produktion die Qualitätsbeurteilung. Auf eine ausgeprägte Qualitätsbeurteilung der Dienstleistungsproduktion durch den Abnehmer kann sich der Dienstleistungsproduzent einstellen, indem er verstärkt Qualitätsrichtlinien für die betreffenden Teilprozesse und die eingesetzten Potenzialfaktoren vorgibt. Die Lagerungsfähigkeit von Produktionsergebnissen ist daran gebunden, dass die Speicherung der Ergebnisse auf einem materiellen Träger möglich ist. Außerdem darf die

Weiterverarbeitung der (zwischen-)gelagerten Produktionsergebnisse bzw. ihr Absatz zu einem späteren Zeitpunkt nicht zum Verlust ihrer Qualität führen. Gegebenenfalls muss aus Gründen der Qualitätssicherung eine zeitliche Verzögerung der Weiterverarbeitung vom Abnehmer akzeptiert werden. Für die Planung der Dienstleistungskapazitäten ist ferner die Sicherheit des Kapazitätsangebots relevant. Sie wird durch eine hohe Arbeitsintensität der Prozesse tendenziell negativ beeinflusst. Der Umfang der Nachfrageerfüllung wird durch keine anderen Merkmalsausprägungen der Dienstleistungsproduktion beeinflusst und deshalb als originäres Merkmal für die Modellierung der Kapazitätsproblematik geführt. Hierbei lassen sich vollständige und eingeschränkte Nachfrageerfüllung unterscheiden. Als letztes der genannten Typusmerkmale spielt die terminliche Strukturierung von Teilprozessen eine Rolle. Sie ist auf der taktischen Planungsebene von Bedeutung, um die Genauigkeit der Abbildung realer Objektflüsse⁶⁷ und die Antizipation der operativen Planung zu beschreiben. Meist genügt es, wegen der Beziehung zwischen der terminlichen Strukturierung und der Bestimmtheit der Leistungszeitintervalle auf die Differenzierung nach letzterem Merkmal zu verzichten. Die terminliche Strukturierung von Teilprozessen hat für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten dann Gewicht, wenn die jeweiligen Prozesse mit einem hohen Kundenkontakt verbunden sind und damit die zeitliche Abstimmung der Teilprozesse zum Gegenstand der Qualitätsbeurteilung wird. Auch vergleichsweise lange Durchführungszeiten von Teilprozessen, die mit einer geringen Wiederholungsrate verbunden sind, führen neben den bereits beschriebenen Qualitätsproblemen zu der Notwendigkeit, einzelne Teilprozesse zeitlich genau aufeinander abzustimmen.

2. Aufbau der Dienstleistungstypologie

Aufgrund der engen Beziehungen zwischen Prozess- und Kapazitätsplanung, wie sie beispielsweise in Optimierungsmodellen zur simultanen Produktions- und Investitionsplanung zum Ausdruck kommen, bietet es sich an, eine Dienstleistungstypologie nach prozessorientierten Merkmalen zu bilden. Es ist bereits erläutert worden, dass die terminliche Strukturierung die Abbildung der Prozesse nachhaltig bestimmt. Sie soll deshalb als erstes Merkmal der Typenbildung gewählt werden. Als zweites Merkmal wird die Sicherheit bzw. Unsicherheit der Prozesskoeffizienten herangezogen. Die Berücksichtigung dieser Unsicherheit ist u.a. erforderlich, sobald ein intensiverer Kundenkontakt, eine unvollständig beherrschte Prozesstechnik oder eine individualisierte Produktion von Dienstleistungen auftritt. Bei feiner terminlicher Strukturie-

⁶⁷ Vgl. Küpper/Helber (1995), S. 13.

nung der Dienstleistungsproduktion wird es erforderlich, eine Abstimmung der Starttermine einzelner Teilprozesse der operativen Ebene durch geeignete Modellierung auf der taktischen Ebene in vergrößerter Form zu antizipieren. Da hierbei die Unsicherheit der Inanspruchnahme von Produktiveinheiten einen besonderen Einfluss auf die Planungsgenauigkeit nimmt, werden alle betroffenen Dienstleistungstypen in der Planung mit unsicheren Prozesskoeffizienten berücksichtigt. Bei grober terminlicher Strukturierung ist dagegen eine genaue Abbildung der Prozesskoeffizienten von untergeordneter Bedeutung, wenn gut beherrschte Prozesse mit geringem Kundenkontakt diese Koeffizienten nahezu deterministisch werden lassen. Liegen dagegen weniger gut beherrschte Prozesse vor, werden auf der taktischen Ebene auch bei einer terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktion unsichere Prozesskoeffizienten erfasst.

Bei feiner terminlicher Strukturierung der Dienstleistungsproduktion ist für die Genauigkeit der Kapazitätsplanung ebenfalls von Bedeutung, ob eine hohe oder eine niedrige Wiederholungsrate der jeweiligen Prozesse vorliegt. Eine Termindisposition von (Teil-)Prozessen auf operativer Ebene, die bei niedriger Wiederholungsrate erfolgt, wird im Vergleich zur Produktion bei hohen Wiederholungsraten genauer durchgeführt. Dies betrifft insbesondere feste Terminvorgaben und Kapazitätszuordnungen. Auf der taktischen Ebene wird diese genauere Planung in geeigneter Weise antizipiert. Dazu werden mittel- bis langfristige Informationen über die Eigenschaften der Prozesskoeffizienten benötigt. In der Regel sind diese Koeffizienten unsicher und bestenfalls für einen ersten Teilplanungszeitraum als deterministisch zu betrachten. Anders als bei feiner terminlicher Strukturierung wird bei grober terminlicher Strukturierung eine genaue zeitliche Abstimmung der Teilprozesse vernachlässigt. Die Wiederholungsrate der Dienstleistungen nimmt dabei keinen oder nur einen unbedeutenden Einfluss auf die operative Planung. Für die Planung auf taktischer Ebene spielt aus diesem Grund die Wiederholungsrate für terminlich grob strukturierte im Gegensatz zu terminlich fein strukturierten Dienstleistungen eine untergeordnete Rolle. Eine Differenzierung dieser Produktionen nach der Wiederholungsrate ist demnach nicht erforderlich.

Damit lassen sich bei einer Ausrichtung an der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten vier Haupttypen der Dienstleistungsproduktion bilden:

1. terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktion mit deterministischen Prozesskoeffizienten (Haupttyp 1),
2. terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktion mit unsicheren Prozesskoeffizienten (Haupttyp 2),
3. terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktion mit hoher Wiederholungsrate der Dienstleistungen (Haupttyp 3),

4. terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktion mit niedriger Wiederholungsrate der Dienstleistungen (Haupttyp 4).

Ausprägungen aller anderen Merkmale zur Differenzierung von Dienstleistungen lassen sich bei diesen Haupttypen ebenfalls ausmachen, wobei sie je nach Haupttyp von höherer oder niedrigerer Relevanz sind. Dementsprechend können die vier Haupttypen bei Bedarf nach den Kriterien 1 sowie 4 bis 8 weiter in Untertypen gegliedert werden. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden im Folgenden diese Untertypen nur dann ausführlich behandelt, wenn sich für sie bei der Problembehandlung und -lösung neue Aspekte ergeben.

D. Formulierung eines allgemeinen Modells zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten

I. Zwecksetzung des allgemeinen taktischen Planungsmodells

Bevor verschiedene Modelle zur taktischen Kapazitätsplanung für einzelne Typen der Dienstleistungsproduktion entwickelt werden, ist es zweckmäßig, ein allgemeines Planungsmodell zu skizzieren, das in abstrakter Form in die zu behandelnde Planungsproblematik einführt. Mit diesem allgemeinen Planungsmodell wird ein Rahmen geschaffen, in den sich, so umfassend wie möglich, alle Ansätze zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten einordnen lassen. Dieses Modell bietet außerdem die Grundlage, für typenbezogene Modellspezifikationen die jeweiligen Anwendungsbedingungen zu erarbeiten. In diesem Sinne beschreibt das allgemeine Modell in abstrakter Form alle Modellkomponenten, die bei der taktischen Kapazitätsplanung für Dienstleistungsproduktionen von Bedeutung sind. Zusätzlich lässt sich das allgemeine Modell heranziehen, um bereits bekannte Ansätze zur Planung oder Analyse von Dienstleistungsproduktionen in den übergeordneten Planungszusammenhang einzuordnen und ihre Aussagekraft zu bewerten.

II. Anforderungen an das allgemeine taktische Planungsmodell

1. Anforderungen an die Einbindung in ein Gesamtplanungssystem

Die taktische Kapazitätsplanung stellt ein Teilproblem der Produktionsplanung dar und besitzt aufgrund ihres längerfristigen Planungszeitraums und der Möglichkeit, über den Auf- und Abbau von Potenzialfaktoren Entscheidungen zu treffen, den Charakter eines Investitionsmodells. Aus diesem Grund soll das allgemeine Planungsmodell auf der Auswertung relevanter Ein- und Auszahlungsreihen beruhen. Da die Ein- und Auszahlungsreihen in direktem Zusammenhang mit der Finanzplanung stehen, soll ferner das jeweilige Investitionsplanungsmodell mit einem Finanzplanungsmodell verknüpft werden.

Grundsätzlich kann bei der taktischen Kapazitätsplanung von einem längeren, mehrperiodigen Planungszeitraum ausgegangen werden. Die Zahl derjenigen Wertgrößen, die durch Entscheidungen während dieses Zeitraums beeinflussbar sind, aber außerhalb des Zeitraums anfallen, bleibt daher gering. Eine Periodisierung dieser Wertgrößen und damit der Übergang zu einer Fun-

dierung des Modells mit Erlös- und Kostengrößen ist deshalb nicht notwendig. Damit entfällt eine Anbindung des allgemeinen Planungsmodells an ein System der Kosten- und Erlösrechnung. Bei einer Zahlungsbasierung des Modells wird gleichzeitig der Rechenaufwand für eine komplizierte Berechnung kalkulatorischer Zinsen auf Basis des zum jeweiligen Zeitpunkt gebundenen Kapitals vermieden.¹ Sie müsste unter Anwendung des *Preinreich-Lücke*-Theorems bzw. dessen Erweiterungen erfolgen.²

Letztlich ist das Modell als Komponente eines Gesamtsystems zur Produktionsplanung zu sehen. Damit müssen entsprechende Verknüpfungen der taktischen Kapazitätsplanung mit anderen Produktionsplanungssystemen auf strategischer, taktischer und operativer Ebene berücksichtigt werden.

2. Anforderungen an die Erfassung des Zielsystems

Für die Planung von Dienstleistungen sind neben monetären auch qualitative Zielsetzungen von Bedeutung.³ Im Idealfall soll deshalb ein allgemeines Modell zur taktischen Kapazitätsplanung das Verfolgen mehrerer Zielsetzungen ermöglichen. Im Rahmen der taktischen Planung wird dabei einerseits den Qualitäten der Leistungen für einzelne Abnehmer Rechnung getragen, andererseits werden auch Qualitätsziele verfolgt, die sich an den Anforderungen potenzieller Abnehmerkreise orientieren. Da eine Messung des Nutzens der Dienstleistungen für die Abnehmer in der Realität schwierig ist, wird die Qualität der Leistungen für den Abnehmer nur aus Sicht des Dienstleistungsproduzenten beurteilt. Mit der Maximierung einer entsprechenden Nutzenfunktion approximiert der Dienstleistungsproduzent damit denjenigen Nutzen, von dem er annimmt, dass er mit einer höchstmöglichen Kundenzufriedenheit korrespondiert. Diese Zielvorstellung kann z.B. zur Realisierung einer Nischenstrategie gewählt werden.

3. Anforderungen an die Erfassung der Produktions- und Nachfragestrukturen

Weiter soll das allgemeine Modell einen Rahmen schaffen, in den sich möglichst viele Ansätze zur taktischen Kapazitätsplanung von Dienstleistun-

¹ Vgl. *Kloock* (1981), S. 876 ff. sowie *Helber* (2000), S. 219.

² Vgl. *Preinreich* (1937), S. 209 ff.; *Lücke* (1955), S. 313 ff. sowie *Bitz* (1976), S. 485 ff.

³ Vgl. v. *Eiff* (2000), S. 54 f.

gen einordnen lassen. Das allgemeine Modell soll deshalb typengerechte Spezifizierungen zulassen.

Der längerfristige Planungszeitraum führt zu erhöhten Unsicherheiten bei der Datenprognose. Im Modell ist diesen Unsicherheiten in geeigneter Weise Rechnung zu tragen. Dabei sollen insbesondere die Unsicherheit der Nachfrage⁴ nach Dienstleistungen und die Unsicherheit der Prozesskoeffizienten⁵ sowie der quantitativen Kapazitäten der eingesetzten Potenzialfaktoren berücksichtigt werden.

Bei der Formulierung des allgemeinen Modells soll ferner von der Produktion mehrerer Dienstleistungsarten⁶ ausgegangen werden, die in mehr als einer Produktiveinheit vollzogen wird. Somit wird die Abbildbarkeit einer mehrstufigen Produktion vorausgesetzt.⁷ Die Formulierung des Modells für den Mehrproduktfall ist besonders dann erforderlich, wenn kundengruppenspezifische Dienstleistungen unterschiedlichen Qualitätsvorstellungen unterliegen oder zu unterschiedlichen Kapazitätsbelastungen führen.

Für die Prozesspläne von Dienstleistungen gelten gegenüber Sachgutproduktionen keine Einschränkungen. Bei der Modellierung der Prozesspläne müssen daher alle existierenden Objektflüsse abbildbar sein. Es ist insbesondere erforderlich, divergierende, konvergierende und parallele Objektflüsse sowie deren Verknüpfungen beschreiben zu können. Gleichzeitig sollen bei der Modellierung der Prozesspläne Lerneffekte beachtet werden. Sie treten insbesondere dann auf, wenn Routineprozesse häufig wiederholt werden. In Abhängigkeit von den jeweils durchgeführten Prozessmengen ist beim Auftreten von Lerneffekten mit sinkenden zeitlichen Inanspruchnahmen der Potenzialfaktoren zu rechnen.

Die Durchführung von Prozessen oder Teilprozessen einer bestimmten Qualität kann es erfordern, jeweils geeignete qualitative Kapazitäten bereitzustellen. Z.B. muss eine mit Hilfe des Internets agierende Direktbank den Qualitätsansprüchen ihrer Kunden dadurch entgegenkommen, dass sie anstelle einer direkten, persönlichen Beratung ein umfangreich ausgestattetes Online-Börseninformationssystem zur Verfügung stellt. Weiterhin kann der Einsatz einer bestimmten Potenzialfaktorart den Einsatz einer komplementären Potenzialfaktorart erforderlich machen. Beispielsweise verlangt der Betrieb einer Reinigungsmaschine in einem Krankenhaus die Existenz eines abgeteilten nichtseptischen Raums. Im allgemeinen Modell sollen deshalb sowohl Bezie-

⁴ Vgl. Meyer, Arn. (1968), S. 118.

⁵ Vgl. Brettel (1999), S. 771.

⁶ Vgl. Brettel (1999), S. 769 sowie Breyer (1986), S. 279.

⁷ Vgl. Altenburger (1980), S. 111 f. mit produktionstheoretischer Intention; Brettel (1999), S. 768 sowie exemplarisch Fleck (1977), S. 83 ff.

hungen zwischen (Teil-)Prozessarten und Potenzialfaktorarten als auch Beziehungen zwischen Potenzialfaktorarten selbst abbildbar sein.

Generell soll das allgemeine Modell helfen, für einen betrachteten Planungszeitraum realitätsnahe Planungsmodelle zu entwickeln, die geeignet sind, optimale qualitative und quantitative Kapazitäten zu bestimmen. In erster Linie sind deshalb Informationen über Kapazitätsvariablen herzuleiten. Eine partialisierte Berechnung optimaler Kapazitäten bei gegebenen Prozessen und Nachfragemengen bewirkt jedoch in Einzelfällen eine erhebliche Partialisierung der taktischen Produktionsplanung, weil wesentliche Beziehungen zwischen der Kapazitätsplanung sowie der Prozess- und Produktionsprogrammplanung vernachlässigt werden. Insofern soll das allgemeine Modell auch zusätzlich Teilprobleme der Prozesswahl und der Produktionsprogrammplanung erfassen können.

III. Anwendungsbedingungen des allgemeinen taktischen Planungsmodells

Entsprechend den Anforderungen an das allgemeine Planungsmodell ergeben sich Anwendungsbedingungen für seine Verknüpfung mit anderen Planungssystemen, die Abbildung der Produktions- und Absatzstruktur und sein Zielsystem. Es lassen sich zwei Gruppen von Anwendungsbedingungen aufstellen:

Die erste Gruppe beschreibt Anwendungsbedingungen über die investitions-theoretische Ausgestaltung der taktischen Kapazitätsplanung sowie über ihre Einbindung in das Produktionsplanungssystem. Letzteres lässt sich nach der strategischen, taktischen und der operativen Planungsebene differenzieren. Für die Investitionsplanungskomponente des allgemeinen Modells werden folgende Anwendungsbedingungen formuliert:

- A.1: Der Planungszeitraum ist festgelegt und in eine endliche Zahl gleich langer Perioden eingeteilt.
- A.2: Monetäre Bewertungen werden durch Einzahlungsüberschüsse erfasst, die sich aus der Differenz der relevanten Einzahlungen abzüglich der entsprechend zurechenbaren Auszahlungen bestimmen. Alle Einzahlungsüberschüsse sind nach Perioden differenziert.
- A.3: Alle Alternativen der Anlage oder der Aufnahme finanzieller Mittel zur Durchführung des Investitionsprojekts sind bekannt.

Zur Einbindung der taktischen Kapazitätsplanung in ein Gesamtsystem der Produktionsplanung ist zunächst die Verbindung zur strategischen Planung zu beschreiben. Hierzu gelten folgende Bedingungen:

- A.4: Die Technik der einsetzbaren Potenzialfaktoren ist bekannt. Insbesondere sind die Strukturbeziehungen für die Zusammensetzung der Produktiveinheiten aus Potenzialfaktoren gegeben. Die Potenzialfaktoren einer Produktiveinheit sind der Produktiveinheit fest zugeordnet und können nicht in einer anderen Produktiveinheit eingesetzt werden.
- A.5: Es können Vorgaben über Kapazitäten auf aggregiertem Niveau aus der strategischen Planung vorliegen, die auf der taktischen Ebene durch Restriktionen erfasst werden. Zu Zwecken der taktischen Planung stehen diese Daten für einen kürzeren Planungszeitraum als zeitlich disaggregierte Vorgaben zur Verfügung, z.B. in Form von Mindestkapazitäten während des Planungszeitraums oder als Kapazitäten am Ende des Planungszeitraums. Entsprechende Angaben beziehen sich dann auf aggregierte Produktiveinheiten.

Neben Planungen, die der taktischen Kapazitätsplanung auf strategischer Ebene übergeordnet sind, bestehen auf der taktischen Ebene Prozess- und Programmpläne, die an sie angrenzen und mit ihr verknüpft werden müssen. Diese taktischen Pläne müssen bereits auf die zugehörigen strategischen Pläne abgestimmt sein. Zur Verknüpfung der taktischen Kapazitätsplanung mit den übrigen taktischen Teilplanungen sind Anwendungsbedingungen für das geplante Produktionsprogramm, seine Sicherheit, die zu seiner Erledigung notwendigen (Teil-)Prozesse sowie deren Struktur und Sicherheit zu formulieren. Entsprechende Daten sind für die taktische Kapazitätsplanung Vorgaben. Eine schwache Koordination der Teilpläne, die hier möglich ist, kann vermieden werden, indem eine taktische Kapazitätsplanung für alternative taktische Absatz- oder Produktionsprogramme sowie Prozesspläne durchgeführt wird. Auf diesem Wege ist es möglich, eine Rückkopplung von der Kapazitätsplanung zu den anderen Teilplänen der taktischen Produktionsplanung vorzunehmen und eine zufriedenstellende Gesamtabstimmung zu erreichen. Für die Anbindung an die übrigen taktischen Teilpläne gelten folgende Anwendungsbedingungen:

- A.6: Es liegt ein nach Dienstleistungsarten und Perioden differenziertes taktisches Absatz- oder Produktionsprogramm vor. Seine Realisation ist mit Risiko verbunden, das sich durch Verteilungsfunktionen der Produktionsmengenvorgaben beschreiben lässt. Das Zeitraster der Absatz- oder Produktionsprogrammplanung kann dabei feiner in Teilperioden differenziert sein als dasjenige der Einzahlungsüberschüsse. Falls eine Erweiterung der Problematik um Komponenten einer Produktionsprogrammplanung vorgesehen ist, wird lediglich die Kenntnis des Absatzprogramms in Form einer stochastischen Nachfrage nach einzelnen Leistungsarten vorausgesetzt.

A.7: Zur Produktion einer Dienstleistung können mehrere Teilprozesse durchzuführen sein. Deren Struktur (Objektfluss) ist jeweils in einem Prozessplan enthalten, der Ergebnis der taktischen Prozessplanung ist. Die Durchführung eines Teilprozesses in einer Produktiveinheit ist durch genau einen Prozessplan bestimmt.

Zusätzlich zur Abstimmung mit strategischen und taktischen Planungen muss die taktische Kapazitätsplanung auch mit der operativen Planung abgestimmt werden. In erster Linie ist es dabei erforderlich, festzulegen, mit welcher Genauigkeit die Ergebnisse der operativen Planung auf der taktischen Ebene antizipiert werden oder ob im Extremfall Komponenten der operativen Planung in die taktische Ebene einzubeziehen sind. Für die Anbindung der taktischen Kapazitätsplanung an die operative Planungsebene sowie die Antizipation der Produktionsdurchführung gelten folgende Anwendungsbedingungen:

A.8: Es liegen funktionale Beziehungen zur vergrößerten Beschreibung der operativen Planung und der Durchführung der Produktion vor. Für lagerungsfähige Produktionsergebnisse sind entsprechende Daten über deren Lagerung gegeben.

A.9: Ergebnisse aus der operativen Planung werden auf der taktischen Ebene in vergrößerter Form berücksichtigt und führen zu keiner Rückkopplung bzw. einem Neuaufwurf der taktischen Planung.

A.10: Die Prozesskoeffizienten menschlicher Potenzialfaktoren können men- genabhängigen Lerneffekten unterliegen.

Eine zweite Gruppe von Anwendungsbedingungen beschreibt Annahmen über das Zielsystem. Dieses charakterisiert ein Mehrzielproblem:

A.11: Es wird die Maximierung des Nutzens einer Reihe von Einzahlungüberschüssen sowie die Maximierung des Nutzens einer Reihe von Qualitätsgrößen der Produktiveinheiten und der erbrachten Leistungen angestrebt.

A.12: Alle Größen zur Kennzeichnung der Dienstleistungsqualitäten sind kardinal messbar. Die Funktionen zur Bestimmung des monetären Nutzens und des Nutzens aus qualitätsbestimmenden Faktoren sind linear.

Im folgenden Abschnitt IV. wird zunächst das allgemeine Planungsmodell entwickelt, das auf den formulierten Anwendungsbedingungen beruht. Diese enthalten noch keine Aussagen über die Saisonalität des Nachfrageverlaufs, die Lagerungsfähigkeit der Produktionsergebnisse sowie den Umfang der Nachfrageerfüllung. Im Einzelfall sind die Anwendungsbedingungen zu spezifizieren, um typengerechte Planungsmodelle der Dienstleistungsproduktion präzise formulieren zu können.

IV. Struktur des allgemeinen Modells zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten

Um die Probleme der taktischen Kapazitätsplanung für eine möglichst große Zahl von Dienstleistungsproduktionen beschreiben zu können, wird ein allgemeines Modell formuliert, dessen Zwecksetzung in einer ersten Formalisierung der abzubildenden Strukturen besteht. Diese werden zunächst mit Hilfe unspezifizierter Relationen modelliert. Die Relationen⁸ übernehmen die Aufgabe, abstrakte Beziehungen zwischen Entscheidungsvariablen herzustellen. Bei einer typenspezifischen Konkretisierung des allgemeinen Modells sind später alle Variablen sowie die betreffenden Relationen problembezogen zu spezifizieren bzw. zu modifizieren. Ferner müssen die typenspezifischen Modelle gegebenenfalls um Hilfsvariablen ergänzt werden und enthalten neuinterpretierte oder auf konstante Werte festgelegte Variablen.

Das Mehrzielsystem des Kapazitätsplanungsproblems führt im allgemeinen Modell zu einer vektoriellen Zielfunktion. Zum einen soll hier ein monetärer Nutzen maximiert werden, der durch einen Nutzenvektor \overline{UF} bezeichnet wird. Reduziert auf eine eindimensionale Größe kann ein entsprechender Skalar den Kapital- oder den Endwert der betrachteten Zahlungsüberschüsse wiedergeben. Als Vektor kann er auch einen $T+1$ -dimensionalen Entnahmestrom kennzeichnen, wobei T die Zahl der Perioden darstellt, zu deren Ende jeweils die relevanten Einzahlungsüberschüsse erfasst werden. Neben dem monetären Nutzen soll zum anderen ein Vektor des qualitativen Nutzens \overline{UQ} (gegebenenfalls nach einer Überführung in eine kardinal messbare Größe) maximiert werden. Seine Dimension ist im allgemeinen Modell nicht festgelegt, sondern ergibt sich erst aus der jeweiligen typenbezogenen Modellspezifikation. Damit lautet die allgemeine Zielfunktion:

$$(D-1) \quad \max (\overline{UF}, \overline{UQ}).$$

Der Vektor des monetären Nutzens \overline{UF} ergibt sich aus der Auswertung der Finanzrelationen F . Sie beschreiben die Gleichungen des finanziellen Gleichgewichts, das bei der geplanten Durchführung eines Investitionsprojekts in allen Perioden einzuhalten ist. In diese Relationen gehen zum einen die von den Absatz- bzw. Produktionsmengen der Dienstleistungen abhängigen Einzahlungsüberschüsse \overline{EZD} ein. Zum anderen sind in diesen Gleichgewichtsbedingungen die Einzahlungsüberschüsse aus der Investition und aus dem Einsatz

⁸ Relationen werden hier als Sprachelemente aufgefasst, die über einer Menge auch unscharf definierter Terme formuliert sind und zu einem Ausdruck führen, vgl. *Ebbinghaus/Flum/Thomas* (1978) S. 15 f. und S. 18.

sowie der Veräußerung von Potenzialfaktoren \overrightarrow{EZP} zu berücksichtigen. Ferner wird das Gleichgewicht durch die Einzahlungsüberschüsse \overrightarrow{EZF} aus der Investition in Finanzanlagen sowie aus der Aufnahme von Fremd- und Eigenkapital beeinflusst. Als letzte Komponente des finanzielles Gleichgewichts sind zielrelevante Größen \overrightarrow{UF} , wie z.B. ein Entnahmestrom oder ein Endwert, zu berücksichtigen. Die Menge der Finanzrelationen F wird dann charakterisiert durch:

$$(D-2) \quad F (\overrightarrow{EZD}, \overrightarrow{EZP}, \overrightarrow{EZF}, \overrightarrow{UF}).$$

In die Menge der Finanzrelationen gehen drei Reihen von Einzahlungsüberschüssen \overrightarrow{EZD} , \overrightarrow{EZP} und \overrightarrow{EZF} ein. Die Einzahlungsüberschüsse aus dem Absatz und der Produktion der Dienstleistungen \overrightarrow{EZD} sind abhängig von den produzierten Leistungsmengen \overrightarrow{X} , während die Einzahlungsüberschüsse \overrightarrow{EZP} von der Anzahl der in den jeweiligen Perioden auf- bzw. abgebauten Potenzialfaktoren sowie deren aktueller Nutzungsdauer im Veräußerungszeitpunkt abhängen. Die Anzahl der während der einzelnen Perioden eingesetzten Potenzialfaktoren wird durch den Vektor \vec{z} symbolisiert. Damit lassen sich die Relationen der Einzahlungsüberschüsse aus der Dienstleistungsproduktion $\in ZD$ und der Bereitstellung der Potenzialfaktoren $\in ZP$ erklären:

$$(D-3) \quad \in ZD (\overrightarrow{X}, \overrightarrow{EZD});$$

$$(D-4) \quad \in ZP (\vec{z}, \overrightarrow{EZP}).$$

Auf eine Erläuterung der Einzahlungsüberschüsse aus der Investition in Finanzanlagen sowie aus der Aufnahme von Fremdkapital \overrightarrow{EZF} wird hier verzichtet, weil die Berücksichtigung entsprechender Probleme zu außerordentlich komplexen Modellbildungen führt. Da diese Probleme nicht den Kern der vorliegenden Thematik bilden, werden sie nachfolgend nur in reduzierter Form modelliert.

Der qualitative Nutzen der Dienstleistungsproduktion \overrightarrow{UQ} bestimmt sich aus der Auswertung der Qualitätsrelationen Q . Diese Qualitätsrelationen beschreiben den Nutzen, der sich aus der Beurteilung der Strukturqualität, der Prozessqualität und der Ergebnisqualität ergibt. Qualitätsrelationen zur Abbildung der Strukturqualität stellen ausschließlich einen Zusammenhang zwischen dem Nutzen \overrightarrow{UQ} und dem Bestand an Potenzialfaktoren \vec{z} her. Neben der quantitativen Kapazität, die aus diesem Bestand hervorgeht, spielt auch seine qualitative Zusammensetzung bei der Qualitätsbeurteilung eine Rolle. Beispielsweise können das Alter der eingesetzten Potenzialfaktoren, aber auch

der Ausbildungsstand des eingesetzten Personals oder der Komfort einer zur Selbstbedienung installierten Anlage berücksichtigt werden. Zur Beschreibung des Nutzens der Prozessqualität ist eine Beziehung zwischen den produzierten Mengen der Dienstleistungen \vec{X} , der Potenzialfaktoranzahl \vec{z} und dem Nutzen \overline{UQ} herzustellen. Auch hier sind qualitative und quantitative Eigenschaften des Potenzialfaktorbestands von Bedeutung. Bei der Abbildung der Prozessqualität steht deren Verbindung mit der Prozessdurchführung im Vordergrund. Letztere wird indirekt durch Zuordnungen der Komponenten von \vec{X} zu Komponenten von \vec{z} spezifiziert. Diese Zuordnungen drücken z.B. die Notwendigkeit aus, bestimmte Potenzialfaktoren einzusetzen, um eine Prozessart mit einer bestimmten Qualität durchführen zu können. Auch die Länge der jeweiligen Wartezeiten (Leerzeiten) in den einzelnen Produktiveinheiten ist von beiden Vektoren abhängig. Da auch einzelne Teilprozesse, die Bestandteile eines zur Dienstleistungsproduktion notwendigen (Gesamt-)Prozesses sind, Gegenstand einer Qualitätsbeurteilung sein können, ist hierzu der Vektor \vec{X} nach Teilprozessen zu differenzieren.

Eine spezielle Erscheinungsform der Prozessqualität stellt die Höhe der Nachfrageerfüllungs- bzw. Auftragsannahmerate dar. Allgemein kann sie durch das Verhältnis zwischen produzierten und nachgefragten Dienstleistungsmengen oder durch eine Durchführungswahrscheinlichkeit für die jeweils nachgefragten Dienstleistungsarten ausgedrückt werden. Bei einem geplanten Kapazitätsbestand müssen dabei die Produktionsmengen \vec{X} , für welche Kapazitäten bereitgestellt werden, und die aus der Produktions- und Absatzprogrammplanung entnommenen nachgefragten Dienstleistungsmengen \vec{R} in Beziehung gesetzt werden. Entsprechende Bedingungen sind weiter unten Gegenstand der Relationen (D-13).

Zur Beschreibung der Ergebnisqualität muss eine Beziehung zwischen den Produktionsergebnissen und dem Nutzen \overline{UQ} hergestellt werden. Da bei Dienstleistungen sowohl Prozesse als auch deren Produktionsergebnisse Absatzobjekte darstellen können, sollen diese nachfolgend nicht unterschieden werden. Führt ein (Teil-)Prozess zu genau einem Produktionsergebnis, genügt es, Letzteres genau durch die Komponente des Teilprozesses im Vektor \vec{X} kenntlich zu machen. Führt hingegen ein Teilprozess zu mehreren Prozessergebnissen, können für diese formal eigene Teilprozesse ohne Kapazitätsinanspruchnahme mit einer Durchführungszeit von Null definiert werden. Wie bei der Prozessqualität sind auch zur Abbildung der Ergebnisqualität Beziehungen zwischen dem Bestand an Potenzialfaktoren und den nunmehr als Prozessergebnissen interpretierten Komponenten des Vektors \vec{X} herzustellen. Auf diese Weise können analog zur Abbildung der Prozessqualität Bedingungen formu-

liert werden, die das Erreichen eines bestimmten Produktionsergebnisses an das Vorhandensein notwendiger Potenzialfaktoren knüpfen.

Formal lautet die Menge der Qualitätsrelationen zur Abbildung des Nutzens aller drei Komponenten der Dienstleistungsqualität:

$$(D-5) \quad \mathcal{Q}(\vec{z}, \vec{X}, \vec{UQ}).$$

Es ist bereits gesagt worden, dass es zur Durchführung der taktischen Kapazitätsplanung erforderlich ist, die Planung auf operativer Ebene und die Durchführung der Dienstleistungsproduktion in vergrößerter Form abzubilden. Diese Abbildungen betreffen die Berechnung der quantitativen Kapazitäten, den Abgleich von zur Verfügung zu stellender (verfügbarer) Kapazität und Kapazitätsbedarf sowie die Struktur der Teilprozesse und eine gegebenenfalls erfolgende Lagerung von Produktionsergebnissen. Zweck der taktischen Kapazitätsplanung ist es, die Anzahl der Potenzialfaktoren in den jeweiligen Produktiveinheiten bzw. die Ausprägungen des Vektors \vec{z} zu berechnen. Unter Beachtung der Verknüpfung der Potenzialfaktoren innerhalb der Produktiveinheiten ergeben sich dann deren jeweilige Kapazitäten, die mit einem Vektor \vec{KA} bezeichnet werden. Zu ihrer Berechnung wird auf die Kapazitäten der einzelnen Potenzialfaktoren zurückgegriffen, die in einem Vektor \vec{A} verzeichnet sind. Die tatsächlichen Verknüpfungen sind im Einzelfall zu spezifizieren. Sie enthalten Angaben über die horizontale oder vertikale Aggregation von Potenzialfaktoren bzw. von untergeordneten Produktiveinheiten zu übergeordneten Produktiveinheiten. Ihre Struktur wird in den Relationen \mathcal{KA} berücksichtigt:

$$(D-6) \quad \mathcal{KA}(\vec{z}, \vec{A}, \vec{KA}).$$

Gegebenenfalls sind bei dieser Berechnung der Kapazitäten vorhandene Bestände an Potenzialfaktoren zu Beginn des Planungszeitraums \vec{z}_{anf} sowie benötigte Restbestände am Ende des Planungszeitraums \vec{z}_{end} zu berücksichtigen. Letztere lassen sich als disaggregierte Vorgabewerte einer Kapazitätsstrategie interpretieren.

Falls aus der strategischen Kapazitätsplanung Vorgaben über Mindestkapazitäten \vec{ka}_{min} beachtet werden müssen, sind diese mit den Kapazitäten \vec{KA} in Beziehung zu setzen. Zu diesem Zweck werden die Relationen \mathcal{KM} benötigt:

$$(D-7) \quad \mathcal{KM}(\vec{KA}, \vec{ka}_{min}).$$

Des Weiteren sind technisch oder rechtlich bedingte Beziehungen zwischen einzelnen Potenzialfaktorarten zu berücksichtigen. Die Relationen $\kappa\tau$ enthalten entsprechende Beziehungen, die über den Vektor \vec{z} definiert werden:

$$(D-8) \quad \kappa\tau (\vec{z}).$$

In den Relationen $\kappa\mathcal{P}$ werden jeweils die verfügbaren Kapazitäten \vec{KA} und der Kapazitätsbedarf der Produktiveinheiten in Beziehung gesetzt. In die Berechnung des Kapazitätsbedarfs gehen dabei die Menge der jeweils durchzuführenden Teilprozesse \vec{X} sowie die jeweiligen Kapazitätsinanspruchnahmen durch einen Teilprozess ein. Diese Kapazitätsinanspruchnahmen werden durch den Vektor \vec{BP} der Prozesskoeffizienten symbolisiert. Die Relationen $\kappa\mathcal{P}$ lassen sich dann in der nachfolgenden Form beschreiben:

$$(D-9) \quad \kappa\mathcal{P} (\vec{KA}, \vec{X}, \vec{BP}).$$

Zur weiteren Kennzeichnung der Dienstleistungsproduktion ist die Struktur der Teilprozesse zu beschreiben, die zur Durchführung einer Dienstleistung notwendig sind. Diese Struktur gibt die Menge der durch die Beendigung eines Teilprozesses jeweils ausgelösten weiteren Teilprozesse in einem Prozessplan an. Mit Hilfe des Vektors \vec{b} werden zum einen die Mengenverhältnisse und zum anderen die Reihenfolgebeziehungen zwischen den einzelnen Teilprozessen dargestellt. Die Strukturen der Teilprozesse lassen sich dann mit Hilfe der Relationen \mathcal{P} beschreiben:

$$(D-10) \quad \mathcal{P} (\vec{X}, \vec{b}).$$

Neben der Inanspruchnahme von Produktiveinheiten sind in der Kapazitätsplanung ferner Lagerkapazitäten für lagerungsfähige Produktionsergebnisse zu berücksichtigen. Zur Abbildung der Lagerhaltung während einer Periode (Modellierung der innerperiodischen Lagerhaltung) wird der Bedarf an Lagerkapazität in Abhängigkeit von der Menge der Teilprozesse \vec{X} definiert, die zu lagerungsfähigen Produktionsergebnissen führen, sowie vom Vektor der jeweiligen Lagerinanspruchnahmen \vec{bl} durch eine Einheit des betreffenden Produktionsergebnisses. Dem sich hieraus ergebenden Lagerkapazitätsbedarf muss eine verfügbare Lagerkapazität \vec{KL} gegenüberstehen. Die innerperiodische Lagerhaltung wird dann mit den Relationen $\kappa\mathcal{L}$ modelliert:

$$(D-11) \quad \kappa\mathcal{L} (\vec{KL}, \vec{X}, \vec{bl}).$$

Um einen Überhang an Kapazitätsbedarf in der Dienstleistungsproduktion einer Periode auszugleichen, kann gegebenenfalls in einer der vorangehenden Perioden ein Lagerbestand aufgebaut werden. Zur Abbildung dieser periodenübergreifenden Lagerhaltung von Produktionsergebnissen sind die Relationen \mathcal{P} und \mathcal{KL} dynamisch zu verknüpfen. Im Modell müssen dazu die Relationen \mathcal{P} um einen Vektor der aktuellen Lagerhaltungsmengen \overrightarrow{LM} ergänzt werden. Die Relationen \mathcal{KL} setzen dann diese Lagerhaltungsmengen \overrightarrow{LM} unter Anwendung der jeweiligen Lagerinanspruchnahmen \overrightarrow{bl} in Beziehung zur Lagerhaltungskapazität \overrightarrow{KL} . Anstelle der Relationen (D-10) und (D-11) gelten dann die Relationen:

$$(D-10.1) \quad \mathcal{P}(\overrightarrow{LM}, \overrightarrow{X}, \overrightarrow{b});$$

$$(D-11.1) \quad \mathcal{KL}(\overrightarrow{KL}, \overrightarrow{LM}, \overrightarrow{bl}).$$

Treten bei bestimmten Dienstleistungsteilprozessen Lerneffekte auf, sinken mit steigender Anzahl dieser Prozesse die entsprechenden Prozesskoeffizienten \overrightarrow{BP} . Die Anzahl der im Zeitablauf insgesamt geleisteten Teilprozesse ergibt sich als Summe entsprechender Komponenten des Vektors \overrightarrow{X} . Zur Beschreibung der Lerneffekte sind Lernkoeffizienten zu ermitteln. Diese werden durch den Vektor $\overrightarrow{\ell}$ symbolisiert. Zusammengefasst lassen sich dann Lerneffekte durch die Relationen \mathcal{LE} beschreiben:

$$(D-12) \quad \mathcal{LE}(\overrightarrow{BP}, \overrightarrow{X}, \overrightarrow{\ell}).$$

Aus der taktischen Produktionsprogrammplanung können für die taktische Kapazitätsplanung unterschiedliche Eingangsdaten vorliegen. Zum einen kann dies ein taktisches Absatzprogramm mit Nachfrageprognosen sein, zum anderen kann dies ein auf grob differenzierte, strategisch geplante Kapazitäten abgestimmtes Produktionsprogramm sein. Diese Daten gehen in die taktische Kapazitätsplanung als vorgegebene Produktionsmengen ein. Verkürzt sollen sie als Nachfrage \overrightarrow{R} bezeichnet werden, um sie von den Produktionsmengen der Dienstleistungen \overrightarrow{X} zu unterscheiden, deren Kapazitätsbedarf in der Kapazitätsplanung gedeckt wird. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Nachfragen \overrightarrow{R} für einen längeren Planungszeitraum vorgegeben werden und sie damit Unsicherheiten unterworfen sind. Je nachdem, wie Komponenten einer taktischen Produktionsprogrammplanung in die Kapazitätsplanung integriert sind, müssen die Mengen der produzierten und der nachgefragten Dienstleistungen abgestimmt werden. Aus diesem Grund stehen die zu produzierenden Dienstleistungen bzw. ihre Teilprozesse \overrightarrow{X} , differenziert nach Art

und Periode, in Beziehung zu der vorgegebenen Nachfrage nach Dienstleistungen \vec{R} . Zur Abbildung der Nachfrageerfüllung (bzw. der Erfüllung des Absatz- und Produktionsprogramms) sind entsprechende Bedingungen in der Relation \mathcal{N} zusammengefasst:

$$(D-13) \quad \mathcal{N}(\vec{X}, \vec{R}).$$

Sofern im Einzelfall eine Dienstleistungsproduktion ohne vorliegenden Auftrag in Verbindung mit der Lagerung des erzielten Prozessergebnisses möglich ist, sind diese Relationen um Lagerhaltungsmengen zu erweitern. Gegebenenfalls müssen auch Verbundbeziehungen zwischen den Dienstleistungen und deren Teilprozessen berücksichtigt werden, die aus dem Absatz von Leistungsbündeln resultieren. Sie stellen Beziehungen zwischen den Komponenten des Vektors \vec{R} dar. Demgemäß sind diese Beziehungen in Relationen $\forall B$ folgender Gestalt wiederzugeben:

$$(D-14) \quad \forall B(\vec{R}).$$

V. Überblick über bereits bekannte Ansätze zur taktischen Planung von Kapazitäten

1. Investitionstheoretische Ansätze

Probleme der taktischen Kapazitätsplanung werden üblicherweise im Zusammenhang mit einer Investitionsplanung für die Sachgüterproduktion untersucht. Die hierzu entwickelten Ansätze bilden eine industrielle, nicht auf Dienstleistungen spezifizierte Produktion ab. Simultane Modelle zur Produktions- und Investitionsplanung wurden u.a. von *Charnes/Cooper/Miller* sowie *Hax, Jacob* und *Swoboda*⁹ entwickelt. Diese simultanen Ansätze erlauben prinzipiell eine hohe Abbildungstreue der Realität, die im konkreten Modellierungsfall durch unternehmensspezifische Beschreibungen zu erreichen ist. Zusätzlich zur Planung des Investitions- und Produktionsprogramms liegt es nahe, angrenzende Gebiete in die Planung zu integrieren. Modelle mit Berücksichtigung von Finanzierungsalternativen stammen u.a. von *Albach, Seelbach, Blumentrath* und *Schweim*.¹⁰ Der Bedarf an Personal und dessen Entwicklung

⁹ Vgl. *Charnes/Cooper/Miller* (1959), S. 21 ff.; *Hax* (1964), S. 430 ff.; *Jacob* (1962), S. 651 ff.; *Jacob* (1964), S. 487 ff. und S. 551 ff. sowie *Swoboda* (1965), S. 148 ff.

¹⁰ Vgl. *Albach* (1962), S. 25 ff.; *Seelbach* (1967), S. 42 ff.; *Blumentrath* (1969), S. 75 ff. sowie *Schweim* (1969), S. 76 ff.

sowie Steuerzahlungen werden z.B. bei *Rosenberg*¹¹ berücksichtigt. Ferner analysiert *Zäpfel*¹² die Aufnahme neuer Produktarten in das Produktprogramm. Bereits früh wurde auch auf die Bedeutung von Unsicherheiten in der Investitionsplanung hingewiesen, die als Folge des langfristigen Planungscharakters den Problemen immanent ist.¹³ Diese Unsicherheiten bzw. Risiken betreffen in erster Linie die Nachfrage nach Leistungen, die pro Leistungseinheit erzielbaren Einzahlungsüberschüsse sowie die Einzahlungsüberschüsse, die bei der Veräußerung eines Potenzialfaktors erzielt werden können.¹⁴ Im angrenzenden Gebiet der Finanzplanung werden darüber hinaus Risiken in Bezug auf die Einhaltung von Liquiditätsbeschränkungen sowie die Einhaltung von Lieferanten- und Wechselkrediten als relevant erachtet.¹⁵

Für die Aufgabenstellung der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten bieten die Modelle zur simultanen Investitionsplanung eine geeignete Ausgangsbasis. Sie enthalten Elemente, die eine dienstleistungsbezogene Spezifizierung von Prozessen und Produkten zulassen.

Um sowohl den Fragen einer taktischen Kapazitätsplanung als auch den Problemen der taktischen Prozess- und Programmplanung gerecht zu werden, lassen sich die investitionstheoretischen Planungsmodelle in ein geschlossenes Planungsgesamtsystem integrieren. Als Zielsetzung gilt dabei in erster Linie die Optimierung einer monetären Größe. In Bezug auf die Erfassung der Produktions- und Absatzstrukturen von Dienstleistungen müssen die Ansätze der simultanen Investitionsplanung jedoch in wesentlichen Teilen spezifiziert werden. Hiervon sind in erster Linie die Relationen zur Erfassung der Dienstleistungsqualität (D-5) sowie die Relationen zur Kapazitätsberechnung aggregierter Produktiveinheiten (D-6) betroffen. Die Relationen (D-8), die technische oder sonstige Verknüpfungen zwischen Potenzialfaktoren beschreiben, lassen sich hingegen erst für konkrete Anwendungen formulieren. Bei der dienstleistungsbezogenen Spezifizierung eines allgemeinen Investitionsplanungsansatzes sind auch die Relationen (D-9) bis (D-11) von Bedeutung. Mit ihrer Hilfe gelingt es, Probleme der Dienstleistungsproduktion typendifferenziert zu modellieren. Die Entwicklung eines allgemein gehaltenen, nicht typengerechten Investitionsplanungsansatzes ist in Anbetracht der Erscheinungsvielfalt von Dienstleistungen nicht zu empfehlen.

Ferner sollte den Risiken, die sich bei einer Dienstleistungsproduktion ergeben, angemessen Rechnung getragen werden. Zwar liegen mit einigen sto-

¹¹ Vgl. *Rosenberg* (1975), S. 36 ff. sowie S. 67 ff. und 104 ff.

¹² Vgl. *Zäpfel* (1979), Sp. 1709 ff.

¹³ Vgl. *Jacob* (1967), S. 153 ff. sowie *Hax* (1970), S. 129 ff.

¹⁴ Vgl. *Inderfurth* (1982), 26 ff.

¹⁵ Vgl. *Bühler/Gehring/Glaser* (1979), S. 54 ff.

chastischen Modellen zur Investitionsplanung bei unspezifizierter Produktion bereits ausgereifte Ansätze mit einer geeigneten methodischen Unterstützung vor,¹⁶ darüber hinaus sollten jedoch vermehrt Risiken in Betracht gezogen werden, welche die Prozessstrukturen, insbesondere die Prozesskoeffizienten, und die Dienstleistungskapazitäten betreffen. Die bekannten Modelle zur simultanen Investitionsplanung besitzen ferner eine nicht unerhebliche Komplexität. Es liegt damit nahe, für die Lösung dieser Modelle nach geeigneten Heuristiken zu suchen.¹⁷ Eine Modellierung des Planungsproblems von Dienstleistungskapazitäten sollte unter diesem Aspekt in einem Rahmen erfolgen, der eine Lösbarkeit prinzipiell zulässt oder zumindest den Ausgangspunkt für die Formulierung geeigneter Heuristiken schafft.

2. Data-Envelopment-Analysis

Ein bereits für die Kapazitätsplanung von Dienstleistungsproduktionen verwendeter Analyse-Ansatz ist die Data-Envelopment-Analysis.¹⁸ Sie ist entwickelt worden, um die Effizienz von Entscheidungs- oder Organisationseinheiten (Stellen, Abteilungen, Bereiche) zu überprüfen. Dabei sollen effiziente von ineffizienten Entscheidungseinheiten unterschieden und letztere durch den Grad ihrer Ineffizienz gekennzeichnet werden. Den Ausgangspunkt dieses Ansatzes bilden Entscheidungseinheiten, deren Inputs und Outputs nach einheitlichen Merkmalen in Vektoren erfasst werden. Die Komponenten dieser Vektoren brauchen keine monetären Größen zu sein, wodurch erreicht werden soll, dass sich auch Unternehmensbereiche vergleichen lassen, die nicht an monetären Zielsetzungen orientiert sind.¹⁹ Zahlreiche Anwendungen der Data-Envelopment-Analysis beziehen sich auf Dienstleistungsproduktionen im öffentlichen, einige auch auf solche im privatwirtschaftlichen Bereich.²⁰ U.a. sind Analysen für Filialbanknetze,²¹ Krankenhäuser²² sowie für Fluglinien, Gerichte und Schulen²³ durchgeführt worden.

Entscheidungseinheiten, die durch die Data-Envelopment-Analysis beurteilt werden sollen, stellen frei definierbare Unternehmensbereiche dar, denen In-

¹⁶ Vgl. *Inderfurth* (1982), S. 95 ff. und S. 147 ff.

¹⁷ Vgl. *Kruschwitz* (1977), S. 209 ff.

¹⁸ Vgl. *Charnes/Cooper/Rhodes* (1978), S. 430 ff.

¹⁹ Vgl. *Charnes/Cooper/Rhodes* (1978), S. 429.

²⁰ Vgl. die Übersicht bei *Schefczyk* (1996), S. 177.

²¹ Vgl. *Oral/Yolalan* (1990), S. 287 ff. sowie *Giokas* (1991), S. 550 ff.

²² Vgl. *Meyer/Wohlmannstetter* (1985), S. 272 ff. sowie *Banker/Conrad/Strauss* (1986), S. 35 ff.

²³ Vgl. *Schefczyk/Gerpott* (1994), S. 938 ff.; *Lewin/Morey/Cook* (1982), S. 404 ff. sowie *Bessent/Bessent/Kennington/Reagan* (1982), S. 1360 ff.

put und Output eindeutig zugerechnet werden können. Prinzipiell lassen sich mit diesem Instrument Entscheidungseinheiten unterschiedlicher Kapazitätsausstattung miteinander vergleichen. Als Ergebnis liegen Informationen darüber vor, inwiefern die untersuchten Kapazitätsausstattungen der Entscheidungseinheiten zu effizienten Produktionen führen. Dabei ist in Betracht zu ziehen, dass in diese Analyse spezifische Produktionsprogramme und Prozessarten der Entscheidungseinheiten als maßgebliche Komponenten einfließen. Direkte Aussagen über Kapazitätsausstattungen der Bereiche können damit nicht ohne weiteres gewonnen werden.

Die Data-Envelopment-Analysis bezweckt die Beurteilung historischer Daten.²⁴ Insofern stellt sich die Frage nach ihrer Einbettung in ein Planungssystem nicht. Sie ist jedoch als Instrument von Bedeutung, um besonders verbesserungsbedürftige Entscheidungseinheiten zu identifizieren und Maßnahmen einzuleiten, die zu einer verbesserten Struktur der Entscheidungseinheit führen. In diesem Sinne ist sie ein Instrument der Rationalisierung. Für Verbesserungen der Kapazitätsausstattung einer Entscheidungseinheit können aus einem derartigen Vergleich mit anderen existierenden Entscheidungseinheiten gegebenenfalls nützliche Änderungsmaßnahmen abgeleitet werden. Für den Bereich der Dienstleistungsproduktion besitzt die Data-Envelopment-Analysis den Vorteil, durch eine vektorielle Output-Beschreibung mehrere Zielgrößen in den Vergleich einzubeziehen. In diesem Punkt besitzt sie Ähnlichkeiten mit den Relationen (D-1) des allgemeinen Modells. Denkbar wäre es in diesem Zusammenhang, neben monetären Größen auch qualitative Eigenschaften der produzierten Dienstleistungen und der Flexibilität der Produktiveinheiten in den Vergleich einfließen zu lassen. Eine analytische Betrachtung funktionaler Zusammenhänge zwischen Input und Output ist nicht Bestandteil der Data-Envelopment-Analysis. Entsprechend werden durch sie wesentliche Teile der Relationen (D-3) bis (D-14) nicht tangiert. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Data-Envelopment-Analysis nach ihrer Intention nicht zur Durchführung einer taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten anbietet. Als ein vorgeschaltetes Instrument zur Identifizierung verbesserungswürdiger Entscheidungseinheiten, das auf historische Daten zurückgreift, ist ihre Anwendung jedoch in Erwägung zu ziehen. Der Gedanke einer Mehrzielverfolgung sollte in einer taktischen Planung aufgegriffen oder zumindest nicht vernachlässigt werden.

²⁴ Vgl. *Kleine* (2001), S. 224.

3. Warteschlangenbasierte Planungsansätze

Für Dienstleistungsproduktionen mit feiner terminlicher Strukturierung existieren Ansätze, die auf der Auswertung von Warteschlangensystemen basieren. Insbesondere auf dem Gesundheitssektor wurden bereits früh Ansätze dieser Art verwendet.²⁵ Allgemein besitzen warteschlangenbasierte Ansätze den Vorteil, Durchlaufzeiten bzw. Verweildauern nicht als exogene Größen eines Produktionssystems anzusehen, sondern sie als systemendogene Größen u.a. in Abhängigkeit von der Nachfrage und von den Kapazitätsausstattungen zu erklären. Gerade in klinischen Bereichen ist dieser Erklärungsansatz für eine realitätsgetreue Abbildung der Leistungserbringung notwendig.²⁶ So beschäftigt sich z.B. *Bailey*²⁷ mit der Bettenausstattung einer Klinik, wobei er auf einfache *M/M/1*-Modelle zurückgreift. Weiterführende Ansätze liegen zur Analyse von Wartelisten auf Operationsplätze²⁸ sowie zur Kapazitätsplanung für Ambulanzen und für Diagnostikbereiche vor.²⁹ Eine detaillierte Beschreibung einer Krankenhausdiagnostik liefert *Hegemann*.³⁰ Er bildet diesen Bereich als mehrstufiges Leistungssystem durch ein Warteschlangenmodell ab und überprüft seine Modellierung an einem praktischen Anwendungsfall. Das abgebildete Leistungssystem umfasst für ambulant und stationär zu behandelnde Patienten jeweils eindeutige Systemzugänge und eröffnet für unterschiedliche Patientenarten die Möglichkeit, differierende Prozessstrukturen bzw. Prozesskoeffizienten in den einzelnen Unterabteilungen zu berücksichtigen. Beschrieben wird ein Zwei-Produkt-Fall. Das System ist als offenes Warteschlangensystem definiert, sodass unbeschränkte Aufnahme- und Unterbringungsmöglichkeiten (Lagerungsmöglichkeiten) unterstellt werden. Mit diesem Warteschlangenmodell stellt *Hegemann* einen Ansatz vor, der auch auf andere Dienstleistungsproduktionen übertragen werden kann. Verbesserungsfähig erscheint jedoch die Verwendung von *M/M/c*-Warteschlangensystemen zur Abbildung von Produktiveinheiten. Zwar erlauben die *M/M/c*-Modelle eine einfache Bestimmung von Leistungskennziffern, sie unterstellen jedoch exponentialverteilte Servicezeiten³¹, die nur bedingt realitätsnahe Abbildungen empirischer Verteilungen ermöglichen.

²⁵ Vgl. *Bailey* (1954), S. 139 ff.

²⁶ Vgl. *Breyer* (1986), S. 279.

²⁷ Vgl. *Bailey* (1954), S. 139 f.

²⁸ Vgl. *Worthington* (1987), S. 413 ff.

²⁹ Vgl. *Taylor/Templeton* (1980), S. 1169 ff. sowie *Fandel/Hegemann* (1986), S. 1129 ff.

³⁰ Vgl. *Hegemann* (1986), S. 124 ff.

³¹ Vgl. *Hegemann* (1986), S. 126.

Auch aus anderen Dienstleistungsbereichen liegen warteschlangenbasierte Ansätze vor. Sie betreffen die Personal- und Schalterplanung in Banken,³² die Zuweisung von Sozialwohnungen³³ sowie die Analyse von Call-Centern und Telefonzentralen³⁴. Diese Ansätze dienen in erster Linie der Systembeschreibung und Prozessgestaltung und nicht einer an monetären Zielen orientierten Kapazitätsgestaltung.

Anders stellt sich die Situation bei der Abbildung von Sachgutproduktionen mittels Warteschlangensystemen dar. Für flexible Fertigungssysteme und Fließproduktionen existiert eine Reihe warteschlangenbasierter Ansätze, die zur Optimierung der Kapazitäten in Produktionssystemen dienen.³⁵ Dabei werden auch monetäre Ziele verfolgt, die durch die Höhe der Sachgutbestände und Ressourceninanspruchnahmen beeinflusst werden. Ferner existieren produktionswirtschaftlich orientierte Ansätze sowie einfache Planungsansätze für Dienstleistungskapazitäten, die ebenfalls auf eine wartesystembasierte Modellierung zurückgreifen.³⁶

Die meisten warteschlangenbasierten Ansätze sind keiner Planungsebene eindeutig zugeordnet. Sofern sie der Modifikation oder dem Aufbau eines Potenzialfaktorbestands dienen, können sie jedoch der taktischen Planungsebene zugerechnet werden. Charakteristisch für diese Ansätze ist der Versuch, ein möglichst realitätstreu Abbild der Produktionsabläufe zu erreichen, wobei implizit vereinfachende Annahmen über die operative Planung getroffen werden. Damit sind warteschlangenbasierte Ansätze durch eine extensive Ausgestaltung der Relationen (D-9) bis (D-11) geprägt. Sofern Durchlaufzeiten als Grundlage einer Qualitätsmessung dienen, gilt dies auch für die Relationen (D-5). Nur wenige warteschlangenbasierte Ansätze sind an monetären Zielsetzungen orientiert. Vielmehr zeigt sich, dass gerade sehr spezialisierte Ansätze aus dem Bereich der Dienstleistungsproduktion zeitliche und mengenmäßige Ersatzziele verfolgen. Monetäre Relationen, wie (D-1) bis (D-3), werden also nur vereinzelt, i.d.R. auf Kosten- und Erlösbasis, in die Modellierung integriert. Am weitesten sind Ansätze zur Planung von Fertigungssystemen der Sachgutproduktion entwickelt. In ihnen finden sich auch Lagerbestandsabbildungen, die sich im Wesentlichen unter die Relationen (D-11) einordnen las-

³² Vgl. Foote (1976), S. 34 ff. sowie Deutsch/Marbert (1980), S. 63 ff.

³³ Vgl. Kaplan (1988), S. 385 ff.

³⁴ Vgl. Sze (1984), 230 ff.; Akşin/Harker (1999), S. 22 ff. sowie Akşin/Harker (2001), S. 326 ff.

³⁵ Vgl. Vinod/Solberg (1985), S. 1143 ff.; Yao/Shanthikumar (1986), 247 ff.; Shanthikumar/Yao (1987), S. 1174 f. sowie Tempelmeier/Kuhn (1993), 348 ff.

³⁶ Vgl. Bitran/Tirupati (1989), S. 550 ff.; Häfner (1992), S. 109 ff.; Stidham (1992), S. 1122 ff.; Fitzsimmons/Sullivan (1982), S. 269 ff. sowie in ersten Ansätzen Klinge (1997), S. 98 ff.

sen. Lerneffekte nach (D-12) werden hingegen weitestgehend vernachlässigt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die warteschlangenbasierten Planungsansätze für Fertigungssysteme nicht unreflektiert auf Dienstleistungsproduktionen übertragen lassen. Sie bieten jedoch für terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktionen mit hoher Wiederholungsrate die Möglichkeit, durch eine analoge Vorgehensweise zu zweckmäßigen Modellierungen zu gelangen.

VI. Kennzeichnung der Entwicklungslücke

Nach den bisherigen Ausführungen lässt sich feststellen, dass kein systematischer und vollständiger Ansatz zur Lösung der Probleme der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten existiert. Sofern Probleme dieser Art untersucht werden, handelt es sich um sehr eng abgegrenzte Problemstellungen oder abstrakte Abhandlungen zur Systembeschreibung. Ferner lassen diese Ansätze nur vage erkennen, welche Aufgabe sie in einem Gesamtsystem zur Produktionsplanung erfüllen können. Dennoch geben einzelne Ansätze oder Gruppen dieser Ansätze wichtige Hinweise zur Behandlung der Problematik einer taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten. Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass es bislang für die taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten keinen Lösungsansatz gibt, der

- typengerecht formuliert ist,
- spezifische Unsicherheiten bzw. Risiken angemessen berücksichtigt,
- monetäre Zielsetzungen verfolgt und
- Qualitätssachverhalte explizit erfasst.

Als Ausgangspunkt einer Entwicklung von Modellen zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten bieten sich in erster Linie simultane investitionstheoretische Modelle an, die jedoch an die speziellen Anforderungen der Dienstleistungsproduktion anzupassen sind. Aufgrund der Bandbreite existierender Dienstleistungsproduktionen sollte diese Anpassung differenziert für unterschiedliche Typen der Dienstleistungsproduktion vorgenommen werden, wobei insbesondere die typenspezifischen Unsicherheiten und Qualitätssachverhalte zu berücksichtigen sind.

E. Modellentwicklungen zur taktischen Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion

I. Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion mit deterministischen Prozesskoeffizienten (Haupttyp 1)

1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen

Aus der Vielzahl existierender Dienstleistungsproduktionen lassen sich Produktionstypen abgrenzen, bei denen eine terminlich grob strukturierte Produktion mit deterministischen (oder als quasi-deterministisch behandelten) Prozesskoeffizienten vorliegt. Sie treten z.B. bei der Kommissionierung von Aufträgen und im Transportbereich von Logistikzentren auf, die auf Verbrauchsmaterialien von Krankenhäusern spezialisiert sind. Auch turnusmäßige Abfahren in Abfallentsorgungsunternehmen sowie die Publikumsplatzierung in einem Theater oder einem Kino stellen Ausprägungen dieses Typs dar. Diese Dienstleistungsbereiche zeichnen sich durch gleichförmige Prozesse bzw. Routineprozesse mit vernachlässigbaren Schwankungen der Prozessinhalte aus, wobei sich die Routine auf den Prozessplan und nicht auf geistig-kreative bzw. künstlerische Verrichtungselemente z.B. einer Theateraufführung oder eines Konzerts bezieht. Diese Routineprozesse werden weitestgehend beherrscht, und ihr zeitlicher Ablauf führt in der operativen Planung zu keinem größeren Bedarf an Neuplanung. Meist unterliegen die Termine dieser Dienstleistungen primär einer unternehmenseigenen Bestimmung, woraus sich i.d.R. größere Entscheidungsspielräume für die operative Termindisposition ableiten. Die betreffenden Unternehmen und ihre Produktionsbereiche sind aus taktischer Sicht lediglich durch Unsicherheiten in Bezug auf die Absatzmengen und die Kapazität der einsetzbaren Produktiveinheiten gekennzeichnet. Nachfolgend wird unterstellt, dass Unsicherheiten in Gestalt von Risiken erfassbar sind, also die unsicheren Größen als Zufallsvariablen mit bekannter Stochastik¹ auftreten. Aus der Stochastik der Absatzmengen resultiert ein stochastisches taktisches Absatz- bzw. Produktionsprogramm, das in der taktischen Kapazitätsplanung zu berücksichtigen ist. Bei der Stochastik der Kapazitäten spielt in erster Linie die Stochastik des Leistungsvermögens der einge-

¹ Vgl. Bamberg/Coenenberg (2000), S. 23 ff.

setzen Mitarbeiter eine Rolle. Sie bildet dann ein Schwerpunktproblem, wenn die Produktion der Dienstleistungen personalintensiv ist. In diesem Fall sind in besonderem Maße Krankenstände, Urlaubsgewährungen sowie sonstige Absenzen der Mitarbeiter zu berücksichtigen. Es ist daher davon auszugehen, dass das Leistungsvermögen der Potenzialfaktoren entweder als deterministische Größe oder als Zufallsvariable modelliert werden muss.

Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren sind i.d.R. in bestimmten Strukturen miteinander verknüpft. Diese Strukturen werden durch vertikale oder horizontale Aggregationen gebildet. Auf der untersten Ebene befinden sich nicht aggregierte Potenzialfaktoren. Deren Aggregation führt zu Produktiveinheiten, welche selbst zu übergeordneten Produktiveinheiten aggregiert werden können. Bei der Aggregation untergeordneter zu übergeordneten Produktiveinheiten können zusätzlich nicht aggregierte Potenzialfaktoren berücksichtigt werden. Diese Aggregation und die Annahmen über die Prozesskoeffizienten sowie den Zeitbezug der Kapazitätsangaben führen zu einer Konkretisierung der Anwendungsbedingung A.4 des allgemeinen Modells. Hierzu wird A.4 für eine terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktion mit deterministischen (oder als quasi-deterministisch behandelten) Prozesskoeffizienten um die Anwendungsbedingung AEI.4 ergänzt:

AEI.4: Es treten Potenzialfaktoren mit deterministischem oder stochastischem Leistungsvermögen auf. Potenzialfaktoren mit stochastischem Leistungsvermögen besitzen eine normalverteilte Kapazität mit bekanntem Erwartungswert und bekannter Varianz. Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten können zu übergeordneten Produktiveinheiten aggregiert werden. Dabei ist jeweils eine Produktiveinheit höchstens Bestandteil einer einzigen übergeordneten Produktiveinheit. Auf der untersten Ebene befinden sich ausschließlich Potenzialfaktoren. Potenzialfaktoren derselben Art können auf mehreren Aggregationsebenen in Produktiveinheiten eingehen. Sofern gleichartige Potenzialfaktoren in unterschiedliche Produktiveinheiten eingehen, wird für ihre Kapazitäten in den betreffenden Produktiveinheiten stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt. Alle Kapazitätsangaben beziehen sich auf Perioden, auf die auch die Einzahlungsüberschüsse zugerechnet werden.

Verknüpfungen der taktischen mit der strategischen Planungsebene werden in der Anwendungsbedingung A.5 festgelegt. Im vorliegenden Fall der Dienstleistungsproduktion soll eine lockere Verknüpfung beider Planungsebenen erfasst werden. Hierzu wird angenommen, dass sich Kapazitätsvorgaben, die aus der strategischen Planung stammen, auf der taktischen Ebene ausschließlich auf Produktiveinheiten beziehen, die sich auf der höchsten Aggregationsebene befinden. Damit ist die allgemeine Anwendungsbedingung A.5 zu ergänzen:

AEI.5: Aus der strategischen Planung können für die taktische Kapazitätsplanung Vorgaben über Mindestkapazitäten vorliegen. Diese sind periodendifferenziert und beziehen sich auf die (quantitative) Kapazität derjenigen Produktiveinheiten, welche sich auf dem höchsten Aggregationsniveau befinden.

Für die Kapazitätsplanung wird angenommen, dass sie auf einem vorläufigen taktischen Produktions- und Absatzprogramm beruht. Letzteres wird als stochastisch vorausgesetzt. Die Struktur dieses Programms ist in der Kapazitätsplanung im Wesentlichen unveränderlich, d.h., es wird eine uneingeschränkte Erfüllung des geplanten Produktions- und Absatzprogramms unterstellt. Aufgrund der Stochastik der Nachfrage sowie der quantitativen Kapazität der eingeplanten Potenzialfaktoren kann je nach Typ der Verteilungsfunktionen der Fall eintreten, dass nicht alle Realisationen des stochastischen Produktions- und Absatzprogramms in den geplanten Produktiveinheiten produziert werden können. Hieraus kann eine stochastische Einschränkung des Produktionsprogramms abgeleitet werden. Sie kann als Komponente einer Produktionsprogrammplanung in der Kapazitätsplanung interpretiert werden und ist als solche zulässig. Damit konkretisiert die Anwendungsbedingung AEI.6 die Anwendungsbedingung A.6:

AEI.6: Die Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden wie die Einzahlungsüberschüsse. Für die taktische Kapazitätsplanung liegt die Struktur des Produktions- und Absatzprogramms fest. Die einzelnen Nachfragemengen stellen stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, deren stetige Verteilungsfunktionen mit ersten und zweiten Momenten bekannt sind.

Da im vorliegenden Fall operativ in erster Linie gleiche Prozesse mit einer gewissen Routine durchgeführt werden, besteht auf der taktischen Planungsebene der Produktion kein Bedarf, die Ergebnisse der genauen zeitlichen Einplanung der operativen Ebene sowie der zeitlichen Abstimmung einzelner Teilprozesse zu antizipieren. Die Möglichkeit, die Produktion in Routineprozessen durchzuführen, beruht dabei vornehmlich auf einer geringen aktiven Mitwirkung der Dienstleistungsabnehmer, die nur wenige Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Prozessdurchführung besitzen. Dies führt zu Prozesskoeffizienten, die nur schwach ausgeprägten Schwankungen unterliegen und deshalb als deterministische Größen behandelt werden können. In Bezug auf die Lagerhaltung von Trägern mit Produktionsergebnissen sollen im Folgenden zunächst Produktionsbereiche betrachtet werden, in denen eine Lagerhaltung eine untergeordnete Rolle spielt. Hiervon sind Dienstleistungen betroffen, die z.B. der Informationsverarbeitung dienen und nur zu unbedeutenden Lagerinanspruchnahmen führen. Damit sind die Anwendungsbedingungen A.7 und A.8 um die Anwendungsbedingungen AEI.7 und AEI.8 zu ergänzen:

AEI.7: Den Prozessplänen lassen sich für alle Teilprozesse und Potenzialfaktoren deterministische Prozesskoeffizienten entnehmen.

AEI.8: Präzedenzbeziehungen zwischen Teilprozessen sind nicht relevant, lediglich mengenmäßige Abhängigkeiten zwischen Prozessen liegen als deterministische Größen vor. Eine Lagerhaltung von Trägern mit Produktionsergebnissen führt weder zu relevanten Einzahlungsüberschüssen noch zu einer signifikanten Inanspruchnahme von Lagerkapazität.

Bei voll beherrschten Prozessen, die bereits längere Zeit unverändert durchgeführt werden, können Lerneffekte ausgeschlossen werden. Anstatt der Anwendungsbedingung A.10 im allgemeinen Modell gilt dann die Anwendungsbedingung AEI.10:

AEI.10: Es treten keine Lerneffekte auf.

Anstelle der Maximierung einer Nutzenfunktion der Dienstleistungsqualität wird hier für die Dienstleistungsproduktion zunächst die Einhaltung von qualitativen Mindestnutzen verlangt. Dabei spielen nur diejenigen Produktiveinheiten eine Rolle, die der Nutzenbewertung durch einen Dienstleistungsabnehmer offen stehen. Außerdem wird die im allgemeinen Modell angestrebte Maximierung eines monetären Nutzens zur Maximierung des Endwertes des Investitionsprogramms konkretisiert. Finanzierungsalternativen sind nicht Gegenstand der Planung. Stattdessen wird ein einheitlicher Kalkulationszinssatz vorausgesetzt. Damit lautet die Anwendungsbedingung AEI.11 anstelle der Anwendungsbedingung A.11 des allgemeinen Modells:

AEI.11: Ziel ist es, den Endwert einer Reihe von Einzahlungsüberschüssen zu maximieren, die sich aus der Investition in ein Potenzialfaktorprogramm ergeben. Der angenommene Kundennutzen aus der Strukturqualität der Dienstleistungsproduktion muss in allen Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene, die der Nutzenbewertung durch den Dienstleistungsabnehmer unterliegen, einen vorzuziehenden Mindestwert erreichen.

Alle anderen Anwendungsbedingungen des allgemeinen Modells sind auch im Fall der terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktion mit deterministischen Prozesskoeffizienten gültig. Bis auf die Ausnahme sehr einfacher Produktionsstrukturen, verursacht z.B. durch eine einstufige Produktion oder wenige standardisierte Prozesse, durchlaufen die Prozesse auch bei Haupttyp 1 mehrere Produktiveinheiten und können dabei unterschiedliche Prozesspläne besitzen. In den betreffenden Bereichen bzw. Unternehmen werden u.a. auch Leistungen erbracht, die miteinander verbunden sind. So setzt z.B. die Belieferung eines Krankenhauses aus einem Logistikzentrum für Verbrauchsmaterialien neben den einzelnen Kommissionierungen und Liefere-

rungen voraus, dass eine tägliche Lieferbereitschaft zur Deckung kurzfristiger Bedarfe durch geeignete Transportkapazitäten aufrechterhalten wird. Analog stellt die Bahn neben einzelnen Personen- und Gütertransporten eine allgemeine Verfügbarkeit ihrer Leistung bereit, die es Kunden ermöglicht, ohne langfristige Absprachen Einzelleistungen in Anspruch zu nehmen. Dementsprechend werden in diesen Unternehmen neben Einzelleistungen auch Bereitstellungs- bzw. Sicherheitsleistungen erbracht. Verbundene Leistungen sind aus diesem Grund auch Gegenstand des Grundmodells 1. Hingegen sind Komponenten einer Produktionsprogrammplanung nur unter Einhaltung der Struktur des Produktions- und Absatzprogramms Gegenstand der Modellierung. In Bezug auf die Auftragsannahme wird zunächst von einer vollständigen Nachfrageerfüllung durch die Produktion ausgegangen. Gegebenenfalls sind jedoch Abstriche von dieser Festlegung entsprechend der Anwendungsbedingung AEI.6 möglich.

Bei Haupttyp 1 ist von einer geringen bis fehlenden Mitwirkung der Dienstleistungsabnehmer am Produktionsprozess (z.B. bei einer Theateraufführung und den betreffenden Proben) auszugehen. Die passive Beteiligung des Dienstleistungsabnehmers sorgt zwar dafür, dass der von ihm eingebrachte externe Faktor weder als substitutionaler Faktor eingesetzt werden noch die Qualität seiner Leistungen zu einer Störung der Produktion führen kann. Es besteht jedoch aufgrund der passiven Beteiligung für die Dienstleistungsabnehmer die Möglichkeit, einzelne Teilprozesse bei ihrer Durchführung zu beurteilen. Im Grundmodell 1 soll dieser Beurteilungsmöglichkeit durch eine Nutzenbewertung Rechnung getragen werden, mit welcher der Dienstleistungsproduzent versucht, den Nutzen des Dienstleistungsabnehmers zu erfassen bzw. planerisch zu berücksichtigen. Komponenten einer Prozess- oder Produktionsprogrammplanung sind nicht Gegenstand der Modellierung. Weder durch eine Gestaltung der Prozesse noch durch eine Auswahl der Produktionsergebnisse können also die Prozess- oder die Produktqualität beeinflusst werden. Lediglich auf die Strukturqualität der Produktiveinheiten lässt sich durch Entscheidungen über die eingesetzten Potenzialfaktoren einwirken.

Die Messung des Nutzens der Strukturqualität ist problematisch. Zum einen muss eine geeignete verursachende Größe festgestellt werden, zum anderen muss eine realitätsgetreue Nutzenfunktion bestimmt werden, die den Nutzen potenzieller Abnehmer wiedergibt. Es sollen daher zunächst einfache Nutzenfunktionen beschrieben werden, die eine Lösung des Problems erlauben. Für den Nutzen der Strukturqualität wird angenommen, dass sich ein Abnehmer ohne eine Möglichkeit zur Beurteilung des Prozessgeschehens durch die Existenz oder Anzahl bestimmter Potenzialfaktoren zu einer bestimmten Qualitätsbeurteilung bewegen lässt und daraus für sich einen Nutzen ableitet. Ferner wird angenommen, dass sich die Teilnutzen der Qualitätsbewertung einzelner Potenzialfaktoren zu einem Gesamtnutzen addieren lassen, der sich jeweils auf

eine Produktiveinheit bezieht. Dabei wird unterstellt, dass die Qualitätsbewertung unabhängig von der Leistungstiefe und damit auch unabhängig von der Komplexität der Dienstleistungen ist.² Für alle durch die Dienstleistungsabnehmer beobachtbaren Produktiveinheiten, die sich auf der höchsten Aggregationsebene befinden, soll der jeweilige Gesamtnutzen einen gewünschten Mindestnutzen übersteigen. Zur Modellierung dieses Sachverhalts wird Anwendungsbedingung A.12 folgendermaßen ergänzt:

AEI.12: Der Nutzen der Strukturqualität geplanter Potenzialfaktoren wird für alle Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene jeweils anhand einer linearen Nutzenfunktion aus der Summe der Teilnutzen der installierten Potenzialfaktoren bestimmt. Die Nutzen der Produktiveinheiten hängen entweder von der Existenz oder von der Anzahl bestimmter Potenzialfaktoren in der Produktiveinheit ab und müssen einen Mindestnutzen erreichen.

Die Ausgestaltung der Prozesse und die Planung der Produktionsergebnisarten sind Gegenstand der Prozess- und Produktplanung. Diese sind nicht in die Kapazitätsplanung integriert. Eine qualitative Prozessgestaltung ist daher – bis auf eine Ausnahme – nicht entscheidungsrelevant. Die Ausnahme bildet der Annahmegrad der Dienstleistungsaufträge, der als Maßgröße einer Prozessqualität interpretiert wird. Dienstleistungsabnehmer sind i.d.R. daran interessiert, dass das versprochene Dienstleistungsprogramm sowohl in Bezug auf die Prozessart als auch in Bezug auf das Produktionsergebnis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit realisiert wird. Z.B. wird erwartet, dass eine Haftpflichtversicherung telefonisch 24 Stunden pro Tag erreichbar ist oder ein Linienflug nicht überbucht ist. Dazu müssen im Modell Nebenbedingungen sicherstellen, dass zur Durchführung bestimmter Prozesse und zum Erreichen ausgewählter Produktionsergebnisse genügend Kapazität zur Verfügung steht. Nebenbedingungen dieser Art lassen sich als Mindestanforderungen an die zur Verfügung stehende Kapazität bei einem bestimmten Kapazitätsbedarf in Verbindung mit einer vorgegebenen Nachfrageerfüllungsrate darstellen.

2. Formulierung des Grundmodells 1

Das Grundmodell 1 zum Haupttyp 1 einer terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktion mit deterministischen Prozesskoeffizienten beruht auf den typenbezogenen spezifizierten Anwendungsbedingungen AEI.4 bis AEI.8 sowie AEI.10 bis AEI.12. Es stellt eine Spezifikation des allgemeinen

² Vgl. zur Problematik der Qualitätsmessung komplexer Dienstleistungen *Homburg/Kebbel* (2001), S. 484 ff.

Modells dar und wird wegen seiner stochastischen Formulierung nicht direkt gelöst.

Der Planungszeitraum des Grundmodells 1 ist in gleich lange Perioden t ($t = 1, \dots, T$) eingeteilt. Einer Hilfskonstruktion dienen zusätzlich die Perioden 0 und $T+1$. Anschaffungen zu Beginn der Periode 0 kennzeichnen diejenigen Potenzialfaktoren, welche vor Beginn des Planungszeitraums bereitgestellt wurden. Ferner stehen Veräußerungen von Potenzialfaktoren am Ende der Periode $T+1$ stellvertretend für Veräußerungen nach dem Ende des Planungszeitraums. Zum Ende der Perioden fallen jeweils Einzahlungsüberschüsse an, die von der Zahl der jeweiligen Teilprozesse und vom aktuellen Bestand an Potenzialfaktoren abhängen. Dabei ist zu beachten, dass die Produktion absatzfähiger Dienstleistungen mehrere Teilprozesse umfassen kann. Soweit innerhalb eines Leistungsbündels auch ein Sachgut entsteht, wird dessen Erstellung durch die jeweils beteiligten Teilprozesse abgebildet. Für einzelne Leistungen, wie z.B. die Anlieferung von Produkten, kann es erforderlich sein, für jede Einheit eines zu liefernden Sachguts genau einen (Liefer-)Prozess zu definieren. Aus Gründen einer einfachen Notation sei angenommen, dass alle Teilprozesse, die in einem Prozessplan an letzter Stelle stehen und damit zum Abschluss einer Dienstleistung führen, die Indizes $1, \dots, \hat{n}$ besitzen. Diese Teilprozesse kennzeichnen gleichzeitig die jeweiligen Dienstleistungen, sodass sich das Produktprogramm durch die Menge der Teilprozesse $1, \dots, \hat{n}$ wiedergeben lässt. Alle anderen Teilprozesse sind durch $\hat{n} + 1, \dots, N$ indiziert.

Aufgrund der formulierten Anwendungsbedingungen ergibt sich für die Zielfunktion und die Finanzrelationen ein gegenüber dem allgemeinen Modell einfacherer Aufbau. Für ihre Formulierung gilt die folgende Notation:³

- $ed_{n,t}$: Einzahlungsüberschuss pro in Periode t geleisteter Mengeneinheit der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n ($n = 1, \dots, N$), der am Ende der Periode t anfällt;
- $R_{n,t}$: Menge der Dienstleistungen bzw. der sie charakterisierenden, letzten Teilprozesse der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), die während der Periode t entsprechend dem Produktions- und Absatzprogramm durchgeführt werden sollen;
- $X_{n,t}$: Produktionsmenge der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n , die während der Periode t zur Erfüllung des Produktions- und Absatzprogramms innerhalb der Kapazitätsplanung vorgesehen sind und für die Kapazität eingeplant wird;
- i : Kalkulationszinssatz (periodenbezogen);

³ Nachfolgend werden Zufallsvariablen durch große Buchstaben und deterministische Größen durch kleine Buchstaben bezeichnet. Ausgenommen hiervon sind Indizes.

- $ep_{k,t,t'}$: Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;
- $z_{m,k,t,t'}$: Anzahl der Einheiten der Potenzialfaktorart k in der Produktiv-einheit m ($m = 1, \dots, M$), die zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert werden;
- EZD_t : Einzahlungsüberschuss der Teilprozesse aller zu produzierenden und abzusetzenden Dienstleistungen am Ende der Periode t ;
- ezp_t : Einzahlungsüberschuss der Bereithaltung aller Potenzialfaktoren am Ende der Periode t ;
- END_t : Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzial-faktoren, bezogen auf das Ende der Periode t .

Anstelle der allgemeinen Zielfunktion (D-1) ist der Endwert des Investitionsprogramms am Ende des Planungszeitraums zu maximieren. Damit lautet die Zielfunktion für das Grundmodell 1:

$$(E-1) \quad \max END_T .$$

Zur Berechnung der Endwerte sind die Finanzrelationen

$$(E-2) \quad END_t = END_{t-1} \cdot (1 + i) + EZD_t + ezp_t \quad \text{für } t = 0, \dots, T$$

mit $END_{-1} := 0$ rekursiv zu berechnen.

In diese Berechnung des Endwertes END_T gehen die Einzahlungsüber-schussreihen der Dienstleistungen EZD_t und der Bereithaltung der Potenzial-faktoren ezp_t ein. Sie bestimmen sich aus den Relationen (E-3) und (E-4), wel-che die Relationen (D-3) und (D-4) des allgemeinen Modells konkretisieren:

$$(E-3) \quad EZD_t = \sum_{n=1}^N ed_{n,t} \cdot X_{n,t} \quad \text{für } t = 1, \dots, T,$$

$$(E-4) \quad ezp_t = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{t'=0}^{t+1} \sum_{t''=t}^{T+1} ep_{k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''} \quad \text{für } t = 0, \dots, T.$$

Hierin beschreiben die Variablen $z_{m,k,0,t'}$ den Anfangsbestand an Potenzial-faktoren der Art k in der Produktiv-einheit m , die zu Beginn des Planungszeit-raums bereits vorhanden sind und zum Ende der Periode t'' veräußert werden. Sofern den im Anfangsbestand vorhandenen Potenzialfaktoren nach Anschaf-fungsterminen differenzierte Zahlungsreihen zugeordnet werden sollen, sind diese Variablen weiter aufzugliedern. Der Bestand an Potenzialfaktoren am Ende des Planungszeitraums wird durch die Variablen $z_{m,k,t,T+1}$ erfasst. Analog findet auch hier keine (im Einzelfall notwendige) Aufgliederung der Potenzi-alfaktoren nach ihrem Veräußerungstermin im Anschluss an $T+1$ statt.

Nach den formulierten Anwendungsbedingungen wird der Nutzen der Strukturqualität aller Produktiveinheiten in Nebenbedingungen erfasst. Für jeweils eine Produktiveinheit m ($m = 1, \dots, M$) muss hierzu der Gesamtnutzen uq_m , der sich aus der Summe der Nutzenbewertungen der jeweils installierten Potenzialfaktoren ergibt, einen Mindestnutzen erreichen. Bei der Berechnung des Gesamtnutzens einer Produktiveinheit ist auch ihre Struktur zu beachten. Zum einen setzt sich eine Produktiveinheit direkt aus Potenzialfaktoren zusammen, zum anderen kann sie aus der Aggregation untergeordneter Produktiveinheiten entstehen. Während Potenzialfaktoren einer Art mehreren Produktiveinheiten jeweils fest zugeordnet werden können, sind untergeordnete Produktiveinheiten jeweils Bestandteil nur einer übergeordneten Produktiveinheit.

Bei der Berechnung des Nutzens der Strukturqualität einer Produktiveinheit sind zwei Möglichkeiten der Nutzenstiftung einzelner Potenzialfaktoren zu beachten. Entscheidet lediglich die Existenz einer bestimmten Potenzialfaktorart über die Qualität der betrachteten Produktiveinheit, ist diese Existenz mit einem spezifischen, existenzabhängigen Nutzen zu bewerten. Nimmt dagegen die Anzahl der Potenzialfaktoren Einfluss auf die Nutzenbewertung der Strukturqualität, muss ein anzahlabhängiger Nutzenfaktor pro Einheit des Potenzialfaktors definiert werden.

Für die Abbildung der Nutzenfunktionen, der Strukturen der Produktiveinheiten sowie der quantitativen Kapazitätsangebote wird auf folgende Notation zurückgegriffen:

- $uq_{m,t}$: Gesamtnutzen der Strukturqualität der Produktiveinheit m in der Periode t ;
- $MK(m, t)$: Menge der Potenzialfaktoren, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt (d.h. nicht auf dem Weg über untergeordnete Produktiveinheiten) zugeordnet werden;
- $M(m, t)$: Menge der Produktiveinheiten, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt untergeordnet werden;
- $uq_{\min,m,t}$: Mindestnutzen der Strukturqualität der Produktiveinheit m in der Periode t ;
- $ue_{m,k}$: existenzabhängiger Nutzenkoeffizient ($ue_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität des Einsatzes der Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m beigemessen wird;
- $ua_{m,k}$: anzahlabhängiger Nutzenkoeffizient ($ua_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität einer Einheit der Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m beigemessen wird;

- $y_{m,k,t}$: binäre Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn eine (keine) Einheit der Potenzialfaktorart k in der Periode t direkt einer Produktiveinheit m zugeordnet wird;
- $KA_{m,t}$: geplante (quantitative) Kapazität der Produktiveinheit m in der Periode t ;
- $A_{m,k,t,t'}$: quantitative Kapazität einer Einheit der Potenzialfaktorart k , die in der Periode t , bei Anschaffung der Einheit zu Beginn der Periode t' und Veräußerung am Ende von t'' in der Produktiveinheit m eingesetzt wird;
- $ka_{\min,m,t}$: aus der strategischen Planung vorgegebene Mindestkapazität der Produktiveinheit m in der Periode t .

Bei der mehrperiodigen Planung der Dienstleistungskapazität muss davon ausgegangen werden, dass zu Beginn des Planungszeitraums bereits ein Anfangsbestand an Kapazitäten vorhanden ist. Dieser wird durch die Variablen $z_{m,k,0,t'}$ gekennzeichnet.

Die Abbildung eines Mindestnutzens und dessen Einhaltung wird im ersten Teil der Bedingungen (E-5) erfasst. (E-5) enthält darüber hinaus die Gleichungen zur Berechnung des Nutzens der Strukturqualität der nicht aggregierten Produktiveinheiten. Diese Gleichungen gehen aus der Spezifizierung der Relationen (D-5) des allgemeinen Modells hervor und beziehen sich auf alle Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene mit Kundeneinblicknahme. Da davon auszugehen ist, dass ein Potenzialfaktor, der bereits zu Beginn des Planungszeitraums veräußert wird, im Hinblick auf die Strukturqualität keinen Nutzen stiftet, beziehen sich die Bedingungen (E-5) auf die Perioden $t = 1, \dots, T$:

(E-5) $uq_{m,t} \geq uq_{\min,m,t}$ für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$; wobei:

$$uq_{m,t} = \sum_{m \in M(m,t)} uq_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} ue_{m,k} \cdot y_{m,k,t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} ua_{m,k} \cdot z_{m,k,t',t''}$$

$$\text{mit: } y_{m,k,t} \leq \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} z_{m,k,t',t''} \cdot$$

In der Berechnung des Nutzens der Strukturqualität $uq_{m,t}$ gibt der erste Summand die Summe der Nutzen entsprechender Qualitäten untergeordneter Produktiveinheiten an. Im zweiten Summanden werden die Nutzengrößen für Potenzialfaktoren erfasst, deren Existenz qualitativ beurteilt wird. Der dritte Summand fasst die Nutzen der Qualitäten für Potenzialfaktoren zusammen, die durch die Anzahl dieser Faktoren bestimmt sind. Damit Potenzialfaktoren im zweiten und dritten Summanden nicht doppelt geführt werden, sind bei der

Erfassung eines Potenzialfaktors in einem Summanden im jeweils anderen Summanden Nutzenkoeffizienten mit dem Wert 0 anzusetzen.

Bei der Berechnung der quantitativen Kapazität einer Produktiveinheit muss, wie bei der Berechnung des Nutzens der Strukturqualität, der Aufbau der Produktiveinheit berücksichtigt werden. Hierbei sind die horizontale Aggregation untergeordneter Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren sowie deren vertikale Aggregation zu trennen. Bei horizontaler Aggregation werden die quantitativen Kapazitäten der untergeordneten Produktiveinheiten und der zusätzlich eingesetzten Potenzialfaktoren summiert. Dabei ist zu beachten, dass die Kapazität einer Potenzialfaktoreinheit als Durchschnittskapazität der gleichartigen Potenzialfaktoren erfasst wird, die in eine Aggregation eingehen. Lediglich auf der untersten Ebene der Potenzialfaktoren berechnet sich die jeweilige Gesamtkapazität einer direkt aus diesen Faktoren durch Aggregation gebildeten (aggregierten) Produktiveinheit aus dem Produkt der Durchschnittskapazität und der Anzahl der eingesetzten Faktoren. Sofern Produktiveinheiten in die Aggregation zu einer übergeordneten Produktiveinheit eingehen, werden hingegen die Kapazitäten der untergeordneten Produktiveinheiten summiert. Da bei der Dienstleistungsproduktion des Haupttyps 1 keine terminlichen Dispositionen von Teilprozessen abgebildet bzw. ihre operative Planung antizipiert werden, sollten in diesen Durchschnittsgrößen Abschläge für ablaufbedingte Stillstandszeiten⁴ berücksichtigt werden. Bei der vertikalen Aggregation entscheidet dagegen die Kapazität derjenigen untergeordneten Produktiveinheit bzw. des Potenzialfaktors über die Gesamtkapazität der aggregierten Produktiveinheit, die am kleinsten ist, d.h., die einen Kapazitätsengpass darstellt.

Bei Anwendung der beiden Aggregationsformen kann die zur Verfügung zu stellende (verfügbare) Kapazität mit Hilfe der folgenden Gleichungen erfasst werden, welche die Relationen (D-6) des allgemeinen Modells konkretisieren:

(E-6) Bei horizontaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$KA_{m,t} = \sum_{m \in M(m,t)} KA_{m,t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} A_{m,k,t',t''} \cdot Z_{m,k,t',t''},$$

bei vertikaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$KA_{m,t} = \min \left\{ \min_{m \in M(m,t)} KA_{m,t} ; \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \leq t, t'' \leq T+1}} A_{m,k,t',t''} \right\},$$

⁴ Vgl. Rosenberg (1975), S. 34.

wobei wiederum die Größen $z_{m,k,0,t}$ die zu Beginn des Planungszeitraums bereits vorhandenen Bestände an Potenzialfaktoren der Art k in der Produktivseinheit m kennzeichnen. Alternativ zur Verrechnung der durchschnittlichen Kapazität einer Potenzialfaktorart, wie sie oben beschrieben wird, besteht in den Gleichungen zur horizontalen Aggregation die Möglichkeit, die Kapazität der jeweils aggregierten Produktivseinheit durch Summierung der einzelnen Kapazitäten ihrer Potenzialfaktoren zu bestimmen. Hierdurch wird ausgedrückt, dass die Kapazitäten der einzelnen Potenzialfaktoren nicht wie in (E-6) alle gleichförmig, sondern jeweils verschieden schwanken können. Bei horizontaler Aggregation ergibt sich die Kapazität einer Produktivseinheit m in Periode t in diesem Fall nach:

$$KA_{m,t} = \sum_{m \in M(m,t)} KA_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} \sum_{h=1}^{z_{m,k,t',t''}} A_{m,k,t',t''} \text{ ,}$$

wobei h hilfsweise als Zählindex verwendet wird. Diese Form der Berechnung aggregierter Kapazitäten ist nur dann zweckmäßig, wenn die jeweilige Zahl an eingesetzten Potenzialfaktoren als ganzzahlige Größe behandelt wird. Um z.B. die Kapazität Teilzeitbeschäftigter abzubilden, muss eine eigene Potenzialfaktorart definiert werden.

Ferner können strategische Anforderungen an Mindestbestände einzelner Potenzialfaktorarten am Ende des Planungszeitraums formuliert werden. Zu diesem Zweck werden für die Variablen $z_{m,k,t,t}$ Nebenbedingungen eingeführt, in denen ein Mindestbestand $z_{\min,m,k}$ für die Potenzialfaktorart k in der Produktivseinheit m am Ende der Periode T gefordert wird. Die Anzahl aller am Ende der Periode T in der Produktivseinheit verfügbaren Potenzialfaktoren der Art k ergibt sich durch Summation über alle Potenzialfaktoren, die bis zum Anfang der Periode T angeschafft und nicht vor dem Ende der (fiktiven) Folgeperiode $T+1$ veräußert wurden. Die zusätzlich einzufügenden Nebenbedingungen lauten dann:

$$\sum_{t'=0}^T z_{m,k,t',T+1} \geq z_{\min,m,k} \text{ , für } m = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K.$$

Auf der taktischen Planungsebene können überdies aus der strategischen Planung Vorgaben über Mindestkapazitäten $ka_{\min,m,t}$ während des Planungszeitraums vorliegen, wobei in der praktischen Umsetzung mit einer Konzentration auf wenige Potenzialfaktorarten zu rechnen ist. Nach den formulierten Anwendungsbedingungen sind diese strategischen Vorgaben auf diejenigen Produktivseinheiten eingeengt, die sich auf der höchsten Aggregationsebene befinden. Zur Berücksichtigung dieser strategischen Vorgaben sind die Relationen (D-7) des allgemeinen Modells zu konkretisieren:

$$(E-7) \quad KA_{m,t} \geq ka_{\min,m,t}$$

$m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Bei Dienstleistungsproduktionen tritt eine Reihe von Besonderheiten auf, die beim Einsatz unterschiedlicher Potenzialfaktoren zu beachten sind. Zu beobachten sind u.a. Produktionen, in denen der Einsatz einer Potenzialfaktorart den Einsatz einer anderen Potenzialfaktorart, z.B. bei der Ausstattung eines Hotels mit Einrichtungsgegenständen, erzwingt. Ebenfalls anzutreffen sind Produktionen, in denen der Einsatz einer Potenzialfaktorart den Einsatz einer anderen ausschließt, z.B. bei der alternativen Energieversorgung einer chemischen Reinigung mit Strom oder Dampf. Die in der Realität auftretenden, besonderen Konstellationen unterschiedlicher Potenzialfaktoren können auf diese Weise nur grob skizziert werden. Sie entziehen sich einer allgemeinen und gleichzeitig konkreten Modellierung. Auf eine Konkretisierung der Bedingungen (D-8) wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

Die zentrale Aufgabe der taktischen Kapazitätsplanung besteht darin, Kapazitäten für einen mehrperiodigen Planungszeitraum so zu dimensionieren, dass auftretende Kapazitätsbedarfe zielorientiert gedeckt werden. Diese generelle Aufgabe spiegelt sich in der Zielfunktion und in denjenigen Nebenbedingungen wider, die zur Konkretisierung der allgemeinen Bedingungen (D-9) und (D-10) führen. Hierin wird zunächst verlangt, dass in allen Perioden und in allen Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene jeweils die zur Verfügung stehende Kapazität mindestens dem Kapazitätsbedarf entspricht. Bei der Berechnung des Kapazitätsbedarfs sind im vorliegenden Fall einer terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktion ausschließlich mengenmäßige Strukturbeziehungen zwischen den Teilprozessen zu berücksichtigen. Hierzu dienen Prozessmengenrelationen, die jeweils angeben, wie viele Teilprozesse einer Art insgesamt für die Durchführung der Dienstleistungen bzw. des sie charakterisierenden, letzten Teilprozesses benötigt werden. Reihenfolgebeziehungen zwischen den einzelnen Teilprozessen werden bei der Abbildung der Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 1 nicht betrachtet.

Zur Modellierung der beschriebenen Sachverhalte dient folgende Notation:

$bp_{m,t}$: deterministische Inanspruchnahme der Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene in der Periode t durch eine Einheit der Teilprozessart n .

$b_{n,n',t}$: Menge der Teilprozesse der Art n , die zur Durchführung einer Dienstleistung der Art n' in der gleichen Periode t notwendig sind.

In den folgenden Nebenbedingungen (E-8) werden jeweils der Kapazitätsbedarf an einer Produktiveinheit und ihre in einer Periode zur Verfügung zu

stellende Kapazität in Beziehung gesetzt. Gegenstand der Kapazitätsplanung sind ausschließlich Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene. Der gesamte Kapazitätsbedarf an einer dieser Produktiveinheiten m in der Periode t berechnet sich aus der Summe der Kapazitätsbedarfe derjenigen Teilprozesse, welche diese Produktiveinheit in Anspruch nehmen. Da die jeweilige Menge der durchzuführenden Teilprozesse als Zufallsvariable definiert ist, sind auch die Kapazitätsbedarfe der Teilprozesse sowie der gesamte Kapazitätsbedarf der Produktiveinheit Zufallsvariablen. Die Verteilungsfunktion des gesamten Kapazitätsbedarfs der Produktiveinheit lässt sich durch Faltung der Verteilungsfunktionen der prozessbezogenen Kapazitätsbedarfe berechnen. Bei der zur Verfügung zu stellenden Kapazität handelt es sich gleichfalls um eine Zufallsvariable. Die Nebenbedingung (E-8) stellt also nicht in jedem Falle sicher, dass die spätere Realisation des stochastischen Kapazitätsbedarfs durch die realisierte verfügbare Kapazität auch tatsächlich gewährleistet ist:

$$(E-8) \quad \sum_{n=1}^N b_{p_{m,n,t}} \cdot X_{n,t} \leq KA_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Strukturbeziehungen zwischen Teilprozessen werden durch die Nebenbedingungen (E-9) beschrieben. Sie stellen die oben eingeführten Prozessmengenrelationen dar, die angeben, wie viele Teilprozesse der Art n insgesamt in der Periode t für die Dienstleistungen n' ($n' = 1, \dots, \hat{n}$) benötigt werden.

$$(E-9) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot X_{n,t} = X_{n',t} \quad \text{für } n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Hierbei ist zu beachten, dass die jeweilige Menge der durchzuführenden untergeordneten Teilprozesse $n > \hat{n}$ direkt in Abhängigkeit von den Dienstleistungsmengen $n' \leq \hat{n}$ definiert ist.

Für die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 1 wird angenommen, dass kein Teilprozess zu Produktionsergebnissen führt, deren Lagerung für die Abbildung der Produktion relevant ist. Ferner wird unterstellt, dass keine Lerneffekte auftreten. Im Grundmodell 1 entfallen somit diejenigen Nebenbedingungen, die zur Spezifizierung der Relationen (D-11) und (D-12) führen. Gleichfalls entfallen die typengebundenen Spezifizierungen der Relationen (D-14), weil die Nachfragen stochastisch unabhängig sind. Für das Produktions- und Absatzprogramm wird nach (D-13) eine vollständige Nachfrageerfüllung beschrieben. Die Nachfrage nach Dienstleistungen, die aus dem Produktions- und Absatzprogramm entnommen wird, bezieht sich auf vollständig abgeschlossene Dienstleistungsprozesse. Diese sollen nachfolgend jeweils durch ihren letzten Teilprozess charakterisiert werden. Sofern dabei

ein Teilprozess sowohl der letzte einer Prozessfolge (bzw. eines Arbeitsplans) für eine Dienstleistungsart und gleichzeitig noch Element der Prozessfolge einer anderen Dienstleistungsart ist, muss für die erstere Dienstleistungsart ein fiktiver Teilprozess eingeführt werden. Die Bedingungen zur Beschreibung der vollständigen Nachfrageerfüllung lauten dann für alle jeweils letzten Teilprozesse $n \in \{1, \dots, \hat{n}\}$ der Dienstleistungsarten:

$$(E-10) \quad X_{nt} = R_{nt} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T.$$

Durch die Gleichungen (E-10) wird eine vollständige Nachfrageerfüllung aller durch das Produktions- und Absatzprogramm beschriebenen Nachfragen ausgedrückt. Die stochastischen Produktionsmengen der Dienstleistungen müssten dazu genau die gleichen Realisationen der aus dem Produktions- und Absatzprogramm vorgegebenen Nachfragen besitzen. Praktisch kann dieser Fall dann eintreten, wenn eine Produktion erst dann ausgelöst wird, wenn ein konkreter Kundenauftrag vorliegt. Dies gilt analog für die untergeordneten Teilprozesse $n = \hat{n} + 1, \dots, N$. Die durch (E-9) und (E-10) bezeichneten Gleichungen sind deshalb als Definitionsgleichungen für die Verteilungsfunktionen der zu produzierenden Dienstleistungsmengen und der hierfür durchzuführenden Teilprozesse zu verstehen.

Als wichtige Entscheidungsvariablen für den Auf- und Abbau von Potenzialfaktoren treten im Grundmodell 1 die Größen $z_{m,k,t,t'}$ auf. Sie beeinflussen mittelbar die Zufallsvariablen $KA_{m,t}$ mit positiven reellwertigen und END_t mit beliebigen reellwertigen Realisationen. Ferner bestimmen sie die Variablen $uq_{m,t} \in \mathbb{R}$ und $y_{m,k,t} \in \{0, 1\}$. Je nach Variabilität des entsprechenden Potenzialfaktors müssen den Variablen $z_{m,k,t,t'}$ unterschiedliche Wertebereiche zugewiesen werden. Lassen sich die Potenzialfaktoren nur in wenigen, diskreten Quantitäten auf- und abbauen, sind diese Variablen mit $z_{m,k,t,t'} \in \mathbb{N}^0$ zu berücksichtigen. Können die Quantitäten dagegen, wie z.B. bei Aushilfspersonal, stetig variiert werden, wird $z_{m,k,t,t'} \geq 0$ gefordert.

Die Berücksichtigung einer stochastischen Produktionsmenge X_{nt} als Basis der Berechnung des Kapazitätsbedarfs führt in den Nebenbedingungen (E-8) zur Stochastik des Kapazitätsbedarfs, der gegebenenfalls einer stochastischen verfügbaren Kapazität $KA_{m,t}$ gegenübersteht. Damit besteht nur dann die Möglichkeit, eine mit Sicherheit zulässige Lösung in Bezug auf die Nebenbedingungen (E-8) zu erhalten, wenn die Zustandsräume dieser beiden Zufallsvariablen nach oben bzw. nach unten beschränkt sind. Ist dies nicht der Fall, kann keine mit Sicherheit zulässige Kapazitätsplanung erfolgen. Damit ist auch eine mit Sicherheit vollständige Erfüllung der Nachfrage bzw. des vorgegebenen Produktions- und Absatzprogramms R_{nt} nicht zu gewährleisten. Ebenso schlägt sich der Einfluss der stochastischen Größen in den risikobehafteten Einzahlungsüberschüssen EZD , und Endwerten END , nieder, die in Abhängig-

keit von den Produktionsmengen X_{nt} definiert sind. Die begrenzten, stochastischen Kapazitäten der Produktiveinheiten führen auch hier dazu, dass nicht alle Realisationen der Nachfrage und damit der Zufallsvariablen EZD , und END , umgesetzt werden können. Entsprechende Probleme sind auch bei der Formulierung der nachfolgenden Ersatzmodelle zu beachten.

3. Ersatzmodelle zum Grundmodell 1

a) Erwartungswertmodell

Im oben formulierten Grundmodell 1 treten zwei Gruppen von Zufallsvariablen auf, welche die Nachfragen und die Kapazitäten der Potenzialfaktoren beschreiben. Durch sie werden ein erheblicher Teil der Nebenbedingungen sowie die Zielfunktion beeinflusst. Aufgrund der Stochastik der Nebenbedingungen kann nicht in allen Fällen sichergestellt werden, dass eine gewählte Kombination von Potenzialfaktoren zu einer Lösung desjenigen Problems führt, welches sich aus dem Grundmodell 1 bei Realisation der Zufallsvariablen ergibt.

Da beim vorliegenden taktischen Planungsproblem von Dienstleistungskapazitäten, selbst bei stark partialisierten Modellformulierungen und Modellbildungen, auf hoch aggregiertem Niveau mit einer erheblichen Zahl an Nebenbedingungen zu rechnen ist, wird es erforderlich, die Stochastik des Modells durch einfache Ersatzmodellformulierungen zu eliminieren. Eine vereinfachende Abbildung der Stochastik im Grundmodell 1 besteht darin, anstatt aller Zufallsvariablen jeweils ihre Erwartungswerte zu berücksichtigen.⁵ Damit wird das stochastische Modell durch ein einfaches deterministisches Modell ersetzt. Diese Vorgehensweise ist für die Formulierung von Ersatzmodellen bei ausschließlich stochastischen Nebenbedingungen gebräuchlich. Die Verwendung von Erwartungswerten als deterministische Ersatzgrößen für Zufallsvariablen ist in der Zielfunktion dagegen problematisch. Auf diese Weise wird nicht der erwartete Zielfunktionswert maximiert, der sich aus dessen Verteilung ergibt, sondern eine deterministische Zielfunktion, auf welche die Stochastik von Kapazitäten und Nachfragen keinen Einfluss mehr ausübt. In diesem Fall bleiben insbesondere unbefriedigte Nachfragen und entsprechende Ausfälle der Einzahlungsüberschüsse unberücksichtigt. Dennoch kann das folgende Erwartungswertmodell gerade für umfangreiche Modelle gute erste Lösungshinweise liefern.

⁵ Vgl. u.a. *Ermoliev/Wets* (1988), S. 21 oder *Dinkelbach* (1975), Sp. 3243. Zur Notwendigkeit der Formulierung von Ersatzmodellen vgl. *Bühler* (1972), S. 683.

An die Stelle der Maximierung des stochastischen Endwertes am Ende des Planungszeitraums nach) tritt bei Formulierung des Erwartungswertmodells die Maximierung des erwarteten Endwertes am Ende der Periode T . Aus Gründen der rechnerischen Vereinfachung wird dieser Erwartungswert nicht über die Verteilung der Produktions- und Absatzmengen ermittelt, die sich in Abhängigkeit von den Entscheidungen über die einzusetzenden Potenzialfaktoren ergibt. Vielmehr bestimmt sich der Erwartungswert $E(END_T)$ aus der rekursiven Summierung von erwarteten und deterministischen Einzahlungsüberschüssen, die sich mittelbar aus den erwarteten Nachfragen nach Dienstleistungen berechnen lassen. Neben dem als deterministisch unterstellten Einzahlungsüberschuss der Bereithaltung von Potenzialfaktoren $e zp_t$ geht in diese Berechnung periodenweise auch der Erwartungswert des jeweiligen Einzahlungsüberschusses der Dienstleistungen $E(EZD_t)$ ein. Die Bedingungen (E-1) und (E-2) des Grundmodells 1 sind daher im Erwartungswertmodell durch

$$(E-11) \quad \max E(END_T),$$

$$(E-12) \quad E(END_t) = E(END_{t-1}) \cdot (1 + i) + E(EZD_t) + e zp_t$$

für $t = 0, \dots, T$ mit $E(END_{-1}) := 0$ zu ersetzen.

Im Grundmodell 1 wird durch die Bedingungen (E-10) die Übereinstimmung der Produktionsmengen $X_{n,t}$ mit den Nachfragemengen $R_{n,t}$ festgelegt. Damit stimmen auch die Erwartungswerte der beiden jeweils korrespondierenden Zufallsvariablen überein. Aus diesem Grund werden die Erwartungswerte der Einzahlungsüberschüsse $E(EZD_t)$ der Dienstleistungen in der Periode t direkt von den erwarteten Nachfragen $E(R_{n,t})$ abgeleitet, die aus der taktischen Produktions- und Absatzprogrammplanung vorliegen:

$$(E-13) \quad E(EZD_t) = \sum_{n=1}^N e d_{n,t} \cdot E(R_{n,t}).$$

Da die Erwartungswerte der Nachfrage nicht beeinflussbar sind, stellen die erwarteten Einzahlungsüberschüsse $E(EZD_t)$ keine entscheidungsrelevanten Größen dar. Im Erwartungswertmodell wird also ausschließlich eine Maximierung der aufgezinnten Einzahlungsüberschüsse aus der Bereithaltung der Potenzialfaktoren angestrebt. Ferner wird deutlich, dass dieses Modell nur eingeschränkt als geeignetes Ersatzmodell einzustufen ist. Die Verteilungsfunktionen der $R_{n,t}$ werden nämlich direkt der Berechnung der Erwartungswerte $E(EZD_t)$ zugrunde gelegt, wobei vernachlässigt wird, dass bei unbeschränkten Trägern der Verteilungsfunktionen hohe Realisationen der Nachfrage bei festen, zu erwartenden Kapazitäten nicht realisiert werden können. Auf diese Weise wird der Erwartungswert der durchgeführten Dienstleistungen bzw. der befriedigten Nachfrage überschätzt.

Die deterministischen Bedingungen (E-4) und (E-5) können aus dem Grundmodell 1 in das Erwartungswertmodell übernommen werden. Auch im Erwartungswertmodell geben sie die Berechnung der Einzahlungsüberschüsse der Bereithaltung der Potenzialfaktoren sowie die Nebenbedingungen zur Einhaltung der Strukturqualität wieder. Anstelle der Zufallsvariablen in den Bedingungen (E-6) sind zur Berechnung der Kapazität einer Produktiveinheit nunmehr Erwartungswerte anzuwenden. Dabei ist die Berechnung der Kapazität einer Produktiveinheit, die aus horizontaler Aggregation untergeordneter Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren entsteht, unproblematisch. In diesem Fall ergibt sich die erwartete Kapazität einer übergeordneten Produktiveinheit aus der Summe der Erwartungswerte der jeweils untergeordneten Einheiten bzw. Potenzialfaktoren. Bei vertikaler Aggregation hingegen entstehen Probleme bei der Berechnung der erwarteten Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit. Als Approximation kann bei der Berechnung des Erwartungswertes der minimalen Kapazität der untergeordneten Einheiten auf die minimale erwartete Kapazität dieser Einheiten zurückgegriffen werden. Eine ähnliche Approximation wird im Rahmen der stochastischen Netzplantechnik verwendet, in der das jeweilige Maximum mehrerer untergeordneter Erwartungswerte als Maximum des Erwartungswertes der übergeordneten Zufallsvariablen verwendet wird.⁶ Aus den Nebenbedingungen (E-6) werden für das Erwartungswertmodell die folgenden Bedingungen entwickelt:

(E-14) Bei horizontaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$E(KA_{m,t}) = \sum_{m' \in M(m,t)} E(KA_{m',t}) + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} E(A_{m,k,t',t''}) \cdot z_{m,k,t',t''},$$

bei vertikaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$E(KA_{m,t}) = \min \left\{ \min_{m' \in M(m,t)} E(KA_{m',t}); \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \leq t \leq t'' \leq T+1}} E(A_{m,k,t',t''}) \right\}.$$

Werden Potenzialfaktoren oder Produktiveinheiten mit deterministischer Kapazität aggregiert, sind in den Gleichungen (E-14) anstelle der Erwartungswerte $E(KA_{m,t})$ bzw. $E(A_{m,k,t',t''})$ die deterministisch bestimmten Ergebnisse $ka_{m,t}$ bzw. $a_{m,k,t',t''}$ zu verwenden. Über die Qualität der Approximation lassen sich nur bedingt Aussagen machen. Sowohl die Approximation der Erwartungswerte bei horizontaler Aggregation als auch die Annahme, dass die Minima normalverteilter Zufallsgrößen wiederum Normalverteilungen genügen, sind kritisch zu bewerten. In Dienstleistungsproduktionen treten diese Aggregationsprobleme dann auf, wenn die Kapazitäten menschlicher Potenzialfaktoren

⁶ Vgl. die Ergebnisse im Anhang sowie Küpper/Lüder/Streitferdt (1975), S. 169.

ren zu aggregieren sind. Werden ein menschlicher Potenzialfaktor mit stochastischer Kapazität und eine Anlage mit deterministischer Kapazität zu einer Produktiveinheit vertikal aggregiert, treten i.d.R. erhebliche Differenzen zwischen der meist niedrigeren, erwarteten menschlichen Kapazität und der deterministischen Anlagenkapazität auf. In diesem Fall erweisen sich die angeführten Approximationen der Erwartungswerte jedoch meist als hinreichend genau.⁷

Förderlich wirkt auf die Güte der Approximationen ferner, wenn im Anschluss an vertikale Aggregationen die dabei gebildeten Produktiveinheiten in großer Zahl nochmals zu einer übergeordneten Produktiveinheit horizontal aggregiert werden. In diesem Fall kann nach dem zentralen Grenzwertsatz angenommen werden, dass die Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit wiederum näherungsweise normalverteilt ist. Hierbei sollte jedoch gewährleistet sein, dass die Kapazitäten der Produktiveinheiten nach vertikaler Aggregation auch der Bedingung des zentralen Grenzwertsatzes⁸ genügen. Als Beispiel lassen sich Arbeitsplätze zur Kommissionierung von Aufträgen anführen. Die stochastische Kapazität der Mitarbeiter ist hier zunächst vertikal mit der Kapazität von Pack- und Sortiereinrichtungen zu aggregieren. Bestimmend für die Kapazität eines Einzelplatzes ist i.d.R. die menschliche Kapazität. Werden dann Kapazitäten dieser Arbeitsplätze weiter zur Kapazität der Kommissionierungsabteilung aggregiert, kann bei einer hinreichend großen Zahl an Arbeitsplätzen wieder von einer Gesamtkapazität ausgegangen werden, die näherungsweise einer Normalverteilung genügt und einen Erwartungswert in Höhe der Summe der erwarteten menschlichen Kapazität hat.

Im Erwartungswertmodell ist außerdem eine Bedingung zu formulieren, nach der auf der höchsten Aggregationsebene strategisch vorgegebene Mindestkapazitäten der Produktiveinheiten $ka_{\min,m,t}$ eingehalten werden sollen. Statt der stochastischen Kapazität $KA_{m,t}$ berücksichtigen die nachfolgenden Nebenbedingungen als Ersatz für die Bedingungen (E-7) nur die entsprechenden Erwartungswerte:

$$(E-15) \quad E(KA_{m,t}) \geq ka_{\min,m,t}$$

$m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Ebenso wird für die Gegenüberstellung des stochastischen Kapazitätsbedarfs und der zur Verfügung stehenden Kapazität als Ersatz für die Bedingun-

⁷ Vgl. Anhang S. 260 ff.

⁸ Vgl. *Bauer* (1991), S. 238 ff.

gen (E-8) nur eine Beziehung zwischen den jeweiligen Erwartungswerten hergestellt:

$$(E-16) \quad \sum_{n=1}^N b p_{m,n,t} \cdot E(X_{n,t}) \leq E(KA_{m,t})$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Der Ersatz der Zufallsvariablen durch ihre Erwartungswerte betrifft auch die Prozessmengenrelationen nach (E-9). Der Erwartungswert der Zahl vorgelagerter Teilprozesse n , die zur Durchführung nachgelagerter Teilprozesse n' notwendig sind, lässt sich durch Summierung der entsprechenden erwarteten Dienstleistungsproduktionsmengen $E(X_{n',t})$, jeweils multipliziert mit dem Koeffizienten $b_{n,n',t}$, berechnen:

$$(E-17) \quad \sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot E(X_{n',t}) = E(X_{n,t}) \quad \text{für } n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Als verbindendes Element zwischen den zu produzierenden Dienstleistungsmengen $X_{n,t}$ und den nach dem Produktions- und Absatzprogramm zu erfüllenden Nachfragen $R_{n,t}$ sind die Gleichungen (E-10) in das Erwartungswertmodell umzusetzen. Ihre Ersatzformulierung lautet:

$$(E-18) \quad E(X_{n,t}) = E(R_{n,t}) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T.$$

Die Wertebereiche der Variablen $z_{m,k,t,t'} \in \mathbb{N}^0$ bzw. $z_{m,k,t,t'} \geq 0$ sowie der weiteren Variablen ändern sich gegenüber Grundmodell 1 nicht. Anstelle der Zufallsvariablen mit ihren Realisationen sind nunmehr lediglich Erwartungswerte mit entsprechenden Wertebereichen zu berücksichtigen.

Das hier vorgestellte Erwartungswertmodell besitzt neben dem Vorteil seiner leichten Lösbarkeit und seiner verteilungsunabhängigen Formulierung auch mehrere Nachteile. Unter anderem wird bei der Formulierung eines Erwartungswertmodells den Risikopräferenzen des Entscheidungsträgers keine Beachtung geschenkt. Des Weiteren können Diskrepanzen zwischen den Zulässigkeitsbereichen des stochastischen Grundmodells 1 und dem dazugehörigen Erwartungswertmodell auftreten.⁹

⁹ Vgl. *Dinkelbach* (1982), S. 100 f.

b) *Einstufiges Chance-Constrained-Modell*

Chance-Constrained-Modelle¹⁰ beruhen auf der Vorgabe von Anspruchsniveaus, die Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit der Einhaltung einer jeweils betrachteten Nebenbedingung geben. Wird für ein Entscheidungsproblem ein gemeinsames Anspruchsniveau festgelegt, das die Wahrscheinlichkeit der Erfüllung aller stochastischen Nebenbedingungen beschreibt, liegen „joint chance constraints“ vor. Für das hier beschriebene Problem der Planung von Dienstleistungskapazitäten werden hingegen für alle stochastischen Nebenbedingungen in Form von „disjoint chance constraints“ jeweils eigene Anspruchsniveaus definiert.¹¹

Für die Definitionsgleichungen (E-10) im Grundmodell I bestehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten, um die stochastischen Nebenbedingungen durch Chance-Constrained-Formulierungen zu ersetzen. In diesem Abschnitt wird die Vorgehensweise gewählt, den Charakter der Definitionsgleichung aufzugeben. An die Stelle der stochastisch definierten Produktionsmengen $X_{n,t}$ treten deterministische Planproduktionsmengen $x_{n,t}$, die mit vorgegebenen Anspruchsniveaus die jeweilige Nachfrage nach Dienstleistungen erfüllen sollen. Als Alternative zu diesem „einstufigen“ Modell kann in einem „mehrstufigen“ Modell der Charakter der Definitionsgleichungen beibehalten werden, indem die Stochastik der nachgefragten Dienstleistungen direkt in Chance-Constrained-Formulierungen aller Nebenbedingungen einfließt, die zur Beschreibung der Produktion mit Hilfe der Zufallsvariablen $X_{n,t}$ dienen.

Als Zielgröße wird im einstufigen Chance-Constrained-Modell ersatzweise ein deterministischer Endwert end_t am Ende des Planungszeitraums maximiert:

$$(E-19) \quad \max end_T .$$

Dieser Endwert wird durch eine rekursive Auswertung der Gleichungen bestimmt:

$$(E-20) \quad \begin{aligned} end_t &= end_{t-1} \cdot (1 + i) + ezd_t + ezp_t \\ \text{für } t &= 0, \dots, T \text{ mit } end_{-1} := 0 . \end{aligned}$$

¹⁰ Vgl. u.a. *Charnes/Cooper* (1960), S. 73 ff.; *Charnes/Cooper* (1963), S. 19 ff. sowie *Bühler* (1973), S. 101 ff. und *Dinkelbach/Kleine* (1996), S. 117.

¹¹ Vgl. *Kall/Ruszczynski/Frauendorfer* (1988), S. 57 ff. sowie *Riess* (1996), S. 131 ff.

In diese Gleichungen fließt jeweils ein deterministischer Ersatzwert für die Einzahlungsüberschüsse der Dienstleistungen einer Periode t ein. Dieser bestimmt sich in Analogie zur stochastischen Formulierung in (E-3) als:

$$(E-21) \quad ezd_t = \sum_{n=1}^N ed_{n,t} \cdot x_{n,t}, \quad \text{für } t = 0, \dots, T,$$

wobei deterministische Planproduktionsmengen $x_{n,t}$ in die Berechnung eingehen. Inwieweit diese Planproduktionsmengen geeignet sind, auch abzusetzende Dienstleistungsmengen abzubilden, wird am Ende dieses Abschnitts mit Hilfe abgewandelter Frakttilmodellgleichungen erläutert.

Für die Berechnung der Einzahlungsüberschüsse der Bereithaltung von Potenzialfaktoren ezp_t kann direkt auf das Grundmodell 1 zurückgegriffen werden. Auch die Bedingungen zur Einhaltung einer Mindeststrukturqualität in den einzelnen Produktiveinheiten bleiben erhalten. Die Bedingungen (E-4) und (E-5) sind also auch für das vorliegende Chance-Constrained-Modell relevant.

Schwierigkeiten bereitet die Ersetzung der stochastischen Bedingungen zur Berechnung der verfügbaren Kapazität aggregierter Produktiveinheiten. Die Kapazitäten der Potenzialfaktoren lassen sich nach den angeführten Anwendungsbedingungen durch Normalverteilungen beschreiben, deren jeweilige Erwartungswerte $E(A_{m,k,t,t'})$ und Standardabweichungen $\sigma(A_{m,k,t,t'})$ bekannt sind. Die Verteilung der Kapazität einer übergeordneten Produktiveinheit muss aus diesen Verteilungen abgeleitet oder mindestens durch sie approximiert werden. Nachfolgend wird eine Vorgehensweise gewählt, die in ähnlicher Weise bei der Bestimmung längster Wege in PERT-Netzplänen¹² verfolgt wird. Und zwar wird unterstellt, dass nicht nur die Summen, sondern auch die Minima normalverteilter Zufallsvariablen wiederum hinreichend genau Normalverteilungen genügen. Bei der Berechnung der Verteilungsfunktionen für die Kapazitäten aggregierter Produktiveinheiten genügt es dann, sich auf die (näherungsweise) Bestimmung ihrer Erwartungswerte und Standardabweichungen zu beschränken. Anstelle der in (E-6) formulierten Aggregationsbedingungen für stochastische Kapazitäten werden zu diesem Zweck Berechnungsvorschriften zur Bestimmung ihrer Verteilungsparameter vorgestellt. Dafür sei eine zusätzliche Notation vereinbart:

$\Phi(\cdot)$: Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung;

$\varphi(\cdot)$: Dichtefunktion der Standardnormalverteilung;

$\sigma(\cdot)$: Standardabweichung einer zu spezifizierenden Zufallsvariablen;

¹² Vgl. Küpper/Lüder/Streitferdt (1975), S. 169 f.

$\alpha_{m,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit dafür, dass die in der Periode t in Produktiveinheit m zur Verfügung zu stellende (verfügbare) Kapazität $KA_{m,t}$ ausreichend zur Erfüllung der Mindestkapazität $ka_{\min,m,t}$ ist;

$P\{ \}$: Wahrscheinlichkeit für das in $\{ \}$ spezifizierte Ereignis.

Um die horizontale Aggregation im Chance-Constrained-Modell zu beschreiben, sei zunächst unterstellt, dass sich die betrachtete Produktiveinheit m nur aus untergeordneten Produktiveinheiten m' (und gegebenenfalls aus Potenzialfaktoren) zusammensetzt, deren verfügbare Kapazitäten Normalverteilungen genügen. Kapazitäten, die aus der Multiplikation dieser Kapazitäten mit deterministischen Werten oder durch Summation dieser Kapazitäten entstehen, sind folglich ebenfalls normalverteilt. Die Erwartungswerte $E(KA_{m,t})$ und die Standardabweichungen $\sigma(KA_{m,t})$ der Kapazitäten übergeordneter Produktiveinheiten berechnen sich dann als Ersatz für entsprechende Bedingungen in (E-6) nach:

(E-22) (horizontale Aggregation) für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$E(KA_{m,t}) = \sum_{m' \in M(m,t)} E(KA_{m',t}) + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} E(A_{m,k,t',t''}) \cdot z_{m,k,t',t''},$$

$$\sigma(KA_{m,t}) = \left(\sum_{m' \in M(m,t)} \sigma^2(KA_{m',t}) + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} \sigma^2(A_{m,k,t',t''}) \cdot z_{m,k,t',t''}^2 \right)^{1/2},$$

wobei zur Berechnung der Standardabweichung Gleichungen auftreten, die in den Größen $z_{m,k,t',t''}$ nichtlinear sind.

Bei der Berechnung der Varianzen übergeordneter Produktiveinheiten ist erstens zu beachten, dass für die Kapazitäten der Potenzialfaktoren stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt wird, die sich nach den Anwendungsbedingungen über die Aggregation von Produktiveinheiten auch auf die aus ihnen aggregierten Produktiveinheiten übertragen lässt. Zweitens wird bei der Berechnung der Standardabweichung eine Situation abgebildet, in der die Kapazitäten der einzelnen Potenzialfaktoren jeweils mit $z_{m,k,t',t''}$ multipliziert werden. Dieser Fall ist z.B. relevant, wenn in einer Abteilung mehrere Mitarbeiter einer Kapazitätskategorie zu einer Gruppe zusammengefasst werden, deren Kapazität gleichförmig stochastisch schwankt, und keine varianzreduzierenden Effekte aus der Summierung ihrer verfügbaren Kapazität entstehen. In diesem Fall wird nicht die $z_{m,k,t',t''}$ -fache Addition der betreffenden Kapazitäten beschrieben.

Sind bei horizontaler Aggregation auch Produktiveinheiten oder Potenzialfaktoren mit deterministischen Kapazitäten zu berücksichtigen, müssen in diesen Gleichungen statt der Erwartungswerte die betreffenden deterministischen Kapazitätswerte verwendet werden. An die Stelle ihrer Standardabweichungen ist der Wert 0 zu setzen.

Im Gegensatz zur horizontalen bereitet die vertikale Aggregation von Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren erhebliche Probleme. Die Verteilungsparameter der Kapazität einer übergeordneten Produktiveinheit werden wie im Erwartungswertmodell nur approximiert. Hierbei spielt vor allem der Zweck eine Rolle, die approximierten Werte der Erwartungswerte und Standardabweichungen möglichst einfach zu berechnen und nichtlineare Abhängigkeiten¹³ der Verteilungsparameter von den Parametern untergeordneter Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren zu vermeiden. In Verallgemeinerung der Ergebnisse und der Vorgehensweise, die im Anhang für zwei Zufallsvariablen dargestellt sind, treten an die Stelle der Gleichungen (E-6) im Grundmodell I die folgenden Beziehungen:

(E-23) (vertikale Aggregation) für $m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T$:

$$E(KA_{m,t}) = \min \left\{ \min_{m \in M(m,t)} E(KA_{m',t}); \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \geq t; t'' \geq T+1}} E(A_{m,k,t',t''}) \right\}$$

und

$$\sigma(KA_{m,t}) = \begin{cases} \sigma_1(KA_{m,t}) & \text{für } \min_{m \in M(m,t)} E(KA_{m',t}) > \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \geq t; t'' \geq T+1}} E(A_{m,k,t',t''}) \\ \sigma_2(KA_{m,t}) & \text{für } \min_{m \in M(m,t)} E(KA_{m',t}) < \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \geq t; t'' \geq T+1}} E(A_{m,k,t',t''}) \end{cases},$$

wobei:

$$\sigma_1(KA_{m,t}) = \sigma(KA_{m',t}) \quad \text{mit } m' = \arg \min_{m \in M(m,t)} E(KA_{m',t}) \quad \text{und}$$

$$\sigma_2(KA_{m,t}) = \sigma(A_{m,k',t',t''}) \quad \text{mit } k' = \arg \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \geq t; t'' \geq T+1}} E(A_{m,k',t',t''}).$$

In (E-23) wird als Approximation des Erwartungswertes $E(KA_{m,t})$ der Kapazität einer übergeordneten Produktiveinheit das Minimum aus den erwarteten Kapazitäten aller ihr direkt untergeordneten Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren bestimmt. Die Standardabweichung dieser Produktiveinheit bzw. dieses Potenzialfaktors bildet gleichzeitig die Approximation der Standardabweichung $\sigma(KA_{m,t})$ der übergeordneten Produktiveinheit. Im Fall gleicher Erwartungswerte sei (hier ohne Formalisierung) das Maximum der relevanten Standardabweichungen maßgeblich. Allgemein bereiten die Gleichungen (E-23) im Hinblick auf eine Modelllösung erhebliche Schwierigkeiten. Zwar kann der Erwartungswert $E(KA_{m,t})$ verhältnismäßig einfach über geeignete Ungleichun-

¹³ Vgl. Anhang S. 260 ff.

gen berechnet werden. Die Bestimmung der zugehörigen Standardabweichung ist jedoch für höher aggregierte Produktiveinheiten nicht ohne weiteres möglich und kann nur durch Einführung von Binärvariablen erfolgen. Wie bei der horizontalen Aggregation lassen sich mit diesen Bedingungen auch deterministische Kapazitäten berücksichtigen. Statt der Erwartungswerte müssen in die Gleichungen die betreffenden deterministischen Kapazitäten eingesetzt werden. An die Stelle ihrer Standardabweichungen tritt der Wert 0.

Die Einhaltung von Mindestkapazitäten, die im Grundmodell 1 durch die Gleichungen (E-7) beschrieben wird, ist in der dargestellten Modellierung durch Chance-Constrained-Formulierungen zu gewährleisten. Den Anwendungsbedingungen entsprechend beziehen sich diese Formulierungen auf die höchste Aggregationsebene der Produktiveinheiten.

$$(E-24) \quad P\{KA_{m,t} \geq ka_{\min,m,t}\} \geq \alpha_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene};$
 $t = 1, \dots, T.$

Diese Bedingungen können auch durch die Bedingungen

$$(E-25) \quad \Phi\left(\frac{E(KA_{m,t}) - ka_{\min,m,t}}{\sigma(KA_{m,t})}\right) \geq \alpha_{m,t} \quad \text{bzw.}$$

$$E(KA_{m,t}) - \sigma(KA_{m,t}) \cdot \Phi^{-1}(\alpha_{m,t}) \geq ka_{\min,m,t}$$

ersetzt werden.

Als zentrales Element des einstufigen Chance-Constrained-Modells sind Bedingungen zu beachten, die Beziehungen zwischen den geplanten Produktionsmengen $x_{n,t}$ und den stochastischen Nachfragen $R_{n,t}$ herstellen. Die stochastischen Nachfragen werden im Ersatzmodell nur mit jeweils vorzugebenen Wahrscheinlichkeiten $\beta_{n,t}$ vollständig erfüllt. Je nach Vorgabe dieser Wahrscheinlichkeit und Gestalt der Nachfrageverteilung wird damit nicht mehr die vollständige Nachfrageerfüllung für alle stochastischen Realisationen der Zufallsvariablen abgebildet. Die Größen $x_{n,t}$ sind daher keine Dienstleistungs- bzw. Teilprozessmengen, die auf jeden Fall zur Produktion gelangen, auch wenn keine entsprechenden Kundenaufträge vorliegen. Vielmehr haben sie ausschließlich in der taktischen Kapazitätsplanung den Charakter von Planproduktionsmengen. Zur Modellierung der beschriebenen Beziehungen wird die bisherige Notation ergänzt:

$FR_{n,t}(r_{n,t})$: Verteilungsfunktion der vorgegebenen Produktions- und Absatzmenge („Nachfrage“) $R_{n,t}$ an Dienstleistungen der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$) in Periode t ;

- $x_{n,t}$: deterministische Planprozessmenge der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart n ($n = 1, \dots, N$) in Periode t ;
- $\beta_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Produktionsmenge $x_{n,t}$ zur Erfüllung der Nachfrage $R_{n,t}$ ausreichend ist ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- $\gamma_{m,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass für die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehenen Planproduktions- bzw. Teilprozessmengen $x_{n,t}$ ($n = 1, \dots, N$) ausreichend Kapazität $KA_{m,t}$ zur Verfügung steht.

Im einstufigen Chance-Constrained-Modell lautet die Ersatzformulierung der Gleichungen (E-10):

$$(E-26) \quad P\{x_{n,t} \geq R_{n,t}\} \geq \beta_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T,$$

bzw.

$$x_{n,t} \geq FR_{n,t}^{-1}(\beta_{n,t}).$$

Neben den Nachfragebeziehungen müssen auch die Prozessmengenrelationen betrachtet werden. Zu diesem Zweck sind diejenigen Teilprozessmengen $x_{n,t}$ zu berechnen, die jeweils zur Produktion der Dienstleistungen n' insgesamt durchzuführen sind. In (E-9) müssen hierzu die Zufallsvariablen durch entsprechende Planwerte ersetzt werden:

$$(E-27) \quad \sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot x_{n',t} = x_{n,t} \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Für die Planmengen der durchzuführenden Teilprozesse muss ebenfalls genügend Kapazität vorgesehen werden. Dabei sind auf der höchsten Aggregationsebene Produktiveinheiten zu unterscheiden, deren zur Verfügung stehende Kapazitäten deterministisch oder normalverteilt sind. Im letzteren Fall sind entsprechende Chance-Constrained-Bedingungen zu formulieren. Liegt nach der horizontalen und vertikalen Aggregation eine Produktiveinheit m vor, deren Kapazität $ka_{m,t}$ deterministisch ist, ergeben sich folgende Bedingungen als Ersatz für (E-8):

$$(E-28) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot x_{n,t} \leq ka_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Wenn die betreffenden Produktiveinheiten normalverteilte Kapazitäten besitzen, lauten die Chance-Constrained-Bedingungen:

$$(E-29) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^N b p_{m,n,t} \cdot x_{n,t} \leq KA_{m,t} \right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Diese Bedingungen lassen sich zu den in $E(KA_{m,t})$ und $\sigma(KA_{m,t})$ linearen Restriktionen

$$(E-30) \quad \sum_{n=1}^N b p_{m,n,t} \cdot x_{n,t} \leq E(KA_{m,t}) - \sigma(KA_{m,t}) \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t})$$

umformulieren.

Auch im Chance-Constrained-Modell bleiben die Wertebereiche der Variablen $z_{m,k,t,t'} \in \mathbb{N}^0$ bzw. $z_{m,k,t,t'} \geq 0$ sowie der weiteren Variablen erhalten. Anstelle der Zufallsvariablen mit ihren Realisationen werden hier Erwartungswerte, Standardabweichungen und deterministische Planwerte verwendet. Speziell für die Planwerte der Teilprozessmengen ist zusätzlich $x_{n,t} \geq 0$ zu verlangen.

Nach erfolgter Formulierung des Modells sollen nochmals die Zielfunktion und die Einzahlungsüberschüsse der Dienstleistungen ezd_i näher betrachtet werden. Diese Einzahlungsüberschüsse sind in Abhängigkeit von den Planprozessmengen der Dienstleistungen definiert. Ihre Festlegung in (E-21) beruht auf der Annahme, dass die Realisation der Zufallsvariablen zu Dienstleistungsmengen führt, die von Nachfragern auch abgenommen werden. Da entsprechende Realisationen der Zufallsvariablen jedoch nicht sicher sind, kann die Wahrscheinlichkeit ihrer Absicherung durch abgewandelte Fraktilmodellgleichungen von Interesse sein. Hierzu sind die Einzahlungsüberschüsse ezd_i als Summe maximaler Zahlungsuntergrenzen zu definieren, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten $\delta_{n,t}$ eingehalten werden. Diese maximalen Zahlungsuntergrenzen lauten:

$$(E-31) \quad \max \{ ed'_{n,t} \cdot x_{n,t} \mid P \{ ed'_{n,t} \cdot x_{n,t} \leq ed'_{n,t} \cdot R_{n,t} \} \geq \delta_{n,t} \}$$

für $n = 1, \dots, \hat{n} ; t = 1, \dots, T$.

Dies entspricht Planprozessmengen in Höhe von: $\max \{ x_{n,t} \mid P \{ x_{n,t} \leq R_{n,t} \} \geq \delta_{n,t} \}$. Somit werden Planwerte für $x_{n,t}$ gesucht, welche die Bedingung

$$(E-32) \quad 1 - FR_{n,t}(x_{n,t}) \geq \delta_{n,t} \text{ bzw. } x_{n,t} \leq FR_{n,t}^{-1}(1 - \delta_{n,t})$$

erfüllen.

Da in diesen Ausdrücken nicht alle Teilprozesse $n = 1, \dots, N$, sondern nur die jeweils letzten Teilprozesse einer Dienstleistung $n = 1, \dots, \hat{n}$ erfasst werden, sind über die Prozessmengenrelationen modifizierte Einzahlungsüberschüsse $ed'_{n,t}$ zu bestimmen. Bei der Ergänzung des einstufigen Chance-

Constrained-Modells um diese Nebenbedingungen werden die Einzahlungsüberschüsse ezd_t aus der Zielfunktion entfernt, und es wird lediglich eine Maximierung des Endwertes aus den Einzahlungsüberschüssen der Bereitstellung der Produktiveinheiten angestrebt. Daneben ist zu beachten, dass die Ungleichungen (E-26): $x_{n,t} \geq FR_{n,t}^{-1}(\beta_{n,t})$ für $n = 1, \dots, \hat{n} \leq N$; $t = 1, \dots, T$, einzuhalten sind. Für Werte $\delta_{n,t} > 1 - \beta_{n,t}$ existiert dann keine zulässige Lösung des Ersatzmodells. Erst für Werte $\delta_{n,t} < 1 - \beta_{n,t}$ besteht die Möglichkeit, zulässige Lösungen zu erhalten. Sollen beide Wahrscheinlichkeiten $\delta_{n,t}$ und $\beta_{n,t}$ mit hohen Werten angesetzt werden, bestehen jedoch Konflikte zwischen der möglichst vollständigen Nachfrageerfüllung und der Absicherung der erzielbaren Einzahlungsüberschüsse der Dienstleistungen. Je höher die Wahrscheinlichkeit $\delta_{n,t}$ gesetzt wird, die jeweilige Nachfrage vollständig erfüllen zu können, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit anzusetzen, dass die Einzahlungsüberschüsse der Prozessdurchführungen auch tatsächlich bei einer Nachfrage realisiert werden, welche größer oder gleich der Prozessmenge ist.

c) Mehrstufiges Chance-Constrained-Modell

Neben der Möglichkeit, die Definitionsgleichungen (E-10) des Grundmodells 1 mit Hilfe von Anspruchsniveaus zu Chance-Constrained-Formulierungen abzuändern, kann alternativ die Stochastik der nachgefragten Dienstleistungen direkt berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck fließen in alle Nebenbedingungen, auf welche die Produktionsmengen $X_{n,t}$ Einfluss nehmen, Informationen über die Nachfrageverteilungen ein. Die Verteilungen der Prozessmengen untergeordneter Teilprozesse werden dann unmittelbar aus den Verteilungen der Dienstleistungsmengen bzw. der sie charakterisierenden Teilprozesse bestimmt. Letztere Verteilungen gehen dabei direkt und unter Vernachlässigung eventueller Mengenbeschränkungen durch Kapazitätsengpässe in die jeweilige Berechnung der Verteilung eines untergeordneten Teilprozesses ein. Mit der direkten Übernahme der Nachfrage aus der Produktions- und Absatzprogrammplanung entfällt gegenüber dem einstufigen Chance-Constrained-Modell die Notwendigkeit, eine Mindestwahrscheinlichkeit $\beta_{n,t}$ für die Erfüllung der Nachfrage wie in (E-26) anzugeben.

Bei der Formulierung des Modells kann, bis auf die Nebenbedingung (E-19), auf die Bedingungen (E-19) bis (E-25) zurückgegriffen werden. Die Bedingungen (E-21) dienen zur Beschreibung der Einzahlungsüberschüsse der Dienstleistungen und müssen gesondert diskutiert werden. Insbesondere die Verfahrensweise zur Berechnung der Kapazität aggregierter Produktiveinheiten lässt sich aus dem einstufigen Ansatz übernehmen. Im mehrstufigen sind im Gegensatz zum einstufigen Modell die Bedingungen (E-9) nicht mehr als deterministisches Gleichungssystem auszuwerten. Vielmehr werden anhand

der Prozessmengenrelationen in (E-9) Verteilungsparameter für die Produktionsmengen der jeweils vorangehenden Teilprozesse ermittelt. Als Verteilungsparameter dienen hierbei wiederum die Erwartungswerte und Standardabweichungen. Der Ersatz für die Bedingungen (E-9) nimmt folgende Gestalt an:

$$(E-33) \quad \sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot E(X_{n',t}) = E(X_{n,t}) \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T;$$

$$(E-34) \quad \left(\sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t}^2 \cdot \sigma^2(X_{n',t}) \right)^{1/2} = \sigma(X_{n,t}) \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Ausgangspunkt dieser Berechnungen sind die Parameter der Teilprozesse $n = 1, \dots, \hat{n}$, die mit den korrespondierenden Verteilungsparametern der nachgefragten Dienstleistungsmengen übereinstimmen. Für $n = 1, \dots, \hat{n}$ wird deshalb anstelle der Bedingungen (E-10) festgelegt:

$$(E-35) \quad E(X_{n,t}) = E(R_{n,t}) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T;$$

$$(E-36) \quad \sigma(X_{n,t}) = \sigma(R_{n,t}) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Das Modell muss gewährleisten, dass mit vorgegebenen Mindestwahrscheinlichkeiten $\gamma_{m,t}$ die spätere Realisation des Kapazitätsbedarfs durch die verfügbaren Kapazitäten möglich ist. Je nachdem, ob die betrachtete Produktivseinheit m eine deterministische oder eine stochastische Kapazität besitzt, sind unterschiedliche Chance-Constrained-Formulierungen zu wählen. Für Produktivseinheiten mit deterministischen Kapazitäten $ka_{m,t}$ gelten die Nebenbedingungen:

$$(E-37) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot X_{n,t} \leq ka_{m,t} \right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Ist die jeweilige Menge der Teilprozesse, die in einer Produktivseinheit durchzuführen sind, hinreichend groß, kann davon ausgegangen werden, dass die Summe der Kapazitätsbedarfe nach dem zentralen Grenzwertsatz näherungsweise normalverteilt ist. Dies gilt auch ohne Anwendung des zentralen Grenzwertsatzes dann, wenn die Nachfragen nach Dienstleistungen näherungsweise Normalverteilungen genügen. Dann können die Bedingungen (E-37) auch zu

$$(E-38) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot E(X_{n,t}) + \left(\sum_{n=1}^N bp_{m,n,t}^2 \cdot \sigma^2(X_{n,t}) \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t}) \leq ka_{m,t}$$

umformuliert werden.¹⁴ Liegen hingegen Produktiveinheiten mit stochastischen Kapazitäten vor, ist eine Chance-Constrained-Bedingung folgender Gestalt einzufügen:

$$(E-39) \quad P\left\{\sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot X_{n,t} \leq KA_{m,t}\right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Soweit sowohl die Summen der stochastischen Kapazitätsbedarfe als auch die Kapazitäten Normalverteilungen genügen, kann (E-39) umgewandelt werden zu:

$$(E-40) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot E(X_{n,t}) + \left(\sigma^2(KA_{m,t}) + \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t}^2 \cdot \sigma^2(X_{n,t}) \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t}) \leq E(KA_{m,t})$$

Durch (E-40) werden in $\sigma(KA_{m,t})$ nichtlineare Nebenbedingungen in das Modell aufgenommen.

Letztlich ist die Formulierung der Einzahlungsüberschüsse in Abhängigkeit von der Durchführung der Prozesse zu treffen. Im mehrstufigen Chance-Constrained-Modell stehen Planproduktionsmengen als Basis zur Berechnung dieser Einzahlungsüberschüsse nicht zur Verfügung. Ersatzweise kann auf die erwarteten Prozessmengen zurückgegriffen werden, was bei einer großen Zahl von Prozessen und bei Risikoneutralität zu rechtfertigen ist:

$$(E-41) \quad E(EZD_t) = \sum_{n=1}^N ed_{n,t} \cdot E(X_{n,t}), \quad \text{für } t = 0, \dots, T.$$

Diese Erwartungswerte $E(EZD_t)$ ersetzen die deterministischen Werte ezd_t in den Gleichungen (E-20). Die jeweiligen Summen der Einzahlungsüberschüsse der Dienstleistungen sind dann auch in diesem Modell nicht entscheidungsrelevant. Damit beruht die Zielfunktion ausschließlich auf geplanten Einzahlungsüberschüssen der Bereithaltung von Potenzialfaktoren.

¹⁴ Vgl. Kall/Wallace (1994), S. 236.

4. Variationen der Ersatzmodelle

a) Variationen der Nachfragestruktur

(1) Eingeschränkte Nachfrageerfüllung

Im Grundmodell I wurde eine im Wesentlichen vollständige Erfüllung der Nachfragen vorgesehen, die der taktischen Kapazitätsplanung als (vorläufige) Ergebnisse der taktischen Produktionsprogrammplanung zugrunde liegen. Nachfolgend wird dieser Aspekt der Anwendungsbedingung AEI.6 revidiert. Ihre Neufassung lautet:

AEI.6.1: Die Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden wie die Einzahlungsüberschüsse. Das taktische Produktions- und Absatzprogramm wird durch die taktische Kapazitätsplanung dahingehend revidiert, dass die Nachfrage nach Dienstleistungen planmäßig nur eingeschränkt erfüllt wird. Die einzelnen Nachfragemengen stellen stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, deren stetige Verteilungsfunktionen mit ersten und zweiten Momenten bekannt sind.

In der Praxis ist der in dieser Neufassung der Anwendungsbedingung beschriebene Fall weit verbreitet. Er tritt insbesondere dann auf, wenn die Produktion durch eine langfristige Bindung an bestimmte Potenzialfaktoren geprägt ist, deren Kapazität fest und deterministisch ist. In diesen Fällen ist es von Bedeutung, die Auswirkungen eingeschränkter Produktionsmengen auf die Nachfrageerfüllung gesondert zu betrachten. Bei der Planung eines Hotels wird z.B. die Anzahl der einmal festgelegten Zimmer dazu führen, dass mit Sicherheit nur eine bestimmte Zahl an Übernachtungsgästen aufgenommen wird. Als weiteres Beispiel lässt sich ein Logistikzentrum für Krankenhausverbrauchsartikel anführen. Hier wird nur eine beschränkte Zahl von Anlieferungen, z.B. einmal oder zweimal täglich, für Standardartikel angeboten. Hiervon ausgenommen sind i.d.R. Eillieferungen, die als selbstständige Dienstleistungen geführt werden und nach den Anwendungsbedingungen zur uneingeschränkten Nachfrageerfüllung zu modellieren sind.

Durch die neu gefasste Anwendungsbedingung AEI.6.1 wird eine Situation beschrieben, in der auf der taktischen Ebene Nachfragen in Form prognostizierter Absatzhöchstmengen für Dienstleistungen vorliegen. Die Kapazitätsplanung bestimmt nunmehr auch maximal durchführbare Mengen an Dienstleistungsaufträgen. Damit werden stochastische Nachfragen nicht mehr als Größen angesehen, die es nach Möglichkeit zu erfüllen gilt, sondern als stochastische Obergrenzen für die zu planenden Produktionsmengen.

Im Gegensatz zu den Produktionsmengen, die im einstufigen Chance-Constrained-Modell zum Grundmodell 1 festgelegt werden, sollen die im vorliegenden Fall in der Kapazitätsplanung geplanten Produktionsmengen nach Möglichkeit die stochastische Nachfrage nicht übersteigen. Diese Bedingung ist dann relevant, wenn die geplanten Kapazitäten den einzelnen Dienstleistungsarten fest zugeordnet werden. Konsequenz einer Überschreitung der Nachfrage wäre es dann, der Produktion bestimmter Dienstleistungsarten Kapazitäten zuzuordnen, die nicht vollständig genutzt würden. Unterhalb der stochastischen Nachfrage dürfen die Produktionsmengen der Dienstleistungen frei geplant werden. Um zu verhindern, dass in dieser Situation bestehende Vertragsverpflichtungen nicht erfüllt werden, empfiehlt es sich, Produktions- und Absatzmengen einzuführen, für die neue Anspruchsniveaus zu definieren sind. Sie drücken Mindestwahrscheinlichkeiten dafür aus, dass keine unnötigen, die Nachfrage übersteigenden Produktionsmengen an Dienstleistungen eingeplant werden:

$r_{\min,n,t}$: Produktions- und Absatzmengen der Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);

$\bar{\beta}_{n,t}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Produktionsmenge $x_{n,t}$ die Nachfrage $R_{n,t}$ nicht übersteigt ($n = 1, \dots, \hat{n}$).

Zur Abbildung der unvollständigen Nachfrageerfüllung kann ansonsten auf die Notation der vorangehenden Modelle zurückgegriffen werden. Im Gegensatz zum Grundmodell 1 wird in der vorliegenden Variante des Modells die Definitionsgleichung der Produktionsmengen (E-10) aufgegeben. Damit brauchen die Produktionsmengen nicht mehr mit den Nachfragemengen übereinzustimmen und werden zum Gegenstand der Entscheidung. Gegenüber dem Grundmodell 1 müssen also alle als Zufallsvariablen $X_{n,t}$ gekennzeichneten Produktionsmengen durch Planproduktionsmengen $x_{n,t}$ ersetzt werden. An die Stelle der geforderten Übereinstimmung von Produktion und Nachfrage nach (E-10) treten in dieser Modellvariante stochastische Produktionsmengenobergrenzen sowie deterministische Produktionsmengenuntergrenzen. Allgemein lauten die Bedingungen zur Einhaltung einer Produktionsmengenobergrenze:

$$(E-42) \quad x_{n,t} \leq R_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Werden für diese Ungleichungen deterministische Ersatzformulierungen in einem Erwartungswertmodell gesucht, sind die stochastischen Größen $R_{n,t}$ vereinfachend durch ihren Erwartungswert $E(R_{n,t})$ zu ersetzen. In einer Chance-Constrained-Formulierung werden die Ungleichungen (E-42) durch Beziehungen ersetzt, welche jeweils die Erfüllung eines bestimmten Anspruchsniveaus wiedergeben. Diese Anspruchsniveaus liegen als Eintrittswahrschein-

lichkeiten $\bar{\beta}_{n,t}$ vor, welche jeweils die Wahrscheinlichkeit beschreiben, dass für eine Nachfrage nach einer Dienstleistungsart n keine überhöhte Planproduktionsmenge vorgesehen ist:

$$(E-43) \quad P\{x_{n,t} \leq R_{n,t}\} \geq \bar{\beta}_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Zusätzlich zur Modellierung der Produktionsobergrenzen ist die Beschreibung von Produktionsmengenuntergrenzen $r_{\min,n,t}$ erforderlich. Sie werden durch die Ungleichungen

$$(E-44) \quad x_{n,t} \geq r_{\min,n,t}$$

berücksichtigt.

(2) Saisonale Schwankungen der Nachfrage

Die Nachfrage nach Dienstleistungen unterliegt in vielen Fällen saisonalen Schwankungen. Dabei sind unter saisonalen Schwankungen diejenigen Abweichungen von einer Basisnachfrage zu verstehen, die im Zeitablauf unabhängig von einem Nachfragetrend durch ein sich wiederholendes Muster von Saisonkoeffizienten beschrieben werden können. Ein Saisonkoeffizient drückt das rechnerische Verhältnis der Nachfrage einer bestimmten Periode bzw. Teilperiode zu einer Basisnachfrage aus. Saisonale Schwankungen betreffen vor allem Dienstleistungen, die unter Mitwirkung des Abnehmers in kundenauftragsorientierter Produktion erbracht werden. In der Realität sind saisonale Schwankungen auch innerhalb sehr kurzer Zeiträume zu beobachten,¹⁵ sie können sogar während eines Tages auftreten. In erster Linie sind davon Dienstleistungen betroffen, die nur zu bestimmten Geschäftszeiten erbracht werden. Zu Beginn dieser Geschäftszeiten treten dann hohe Nachfragen auf, die durch unerfüllte Nachfragen vor ihrem Beginn verursacht werden. Daneben bestehen in Wochenzeiträumen tageweise oder in Monatszeiträumen wochenweise Nachfrageschwankungen mit saisonalem Charakter. Beispielsweise werden Nachfragespitzen in Krankenhäusern mit Notaufnahme im Verlauf des Vormittags beobachtet. Zusätzlich wird diese Nachfrage durch das Verhalten überweisender niedergelassener Ärzte beeinflusst, die zum Wochenende auf Überweisungen verzichten oder sie aufgrund eigener Sprechzeiten nicht vornehmen. Neben diesen saisonalen Schwankungen, die kurze Zeiträume betreffen, existieren Schwankungen, die durch monats-, quartals- oder jahresbezogene Saisonkoeffizienten zu charakterisieren sind. Im Gesundheitswe-

¹⁵ Zu einem Beispiel aus dem Bankbereich vgl. *Förderreuther* (1977), S. 81 f.

sen werden z.B. jahreszeitabhängige Krankheitsbilder, wie Herz- und Kreislaufschwächen, Grippen oder Sportverletzungen beobachtet, die durch monatsbezogene Saisonkoeffizienten abzubilden sind. Ähnliche Nachfrageverläufe kennzeichnen auch andere Bereiche, wie das Hotel- und Gaststättenwesen, Kfz-Versicherungen, Lehranstalten mit Ferienregelungen oder Sommerakademien.

Die externe Nachfrage nach Dienstleistungen beeinflusst zunächst die Absatz- und Produktionsprogrammplanung, deren Ergebnisse für die taktische Kapazitätsplanung als Eingangsdaten vorliegen. Für die Kapazitätsplanung ist es erforderlich, zwischen saisonalen Nachfrageschwankungen zu unterscheiden, deren Zykluslänge mehrere Perioden umfasst, und solchen, deren Zykluslänge kleiner als eine Periode ist. Erstere sollen als periodische (saisonale) Schwankungen und Letztere als innerperiodische (saisonale) Schwankungen der Nachfrage bezeichnet werden. Zur Erfassung innerperiodischer Nachfrageschwankungen ist eine verfeinerte Zeiteinteilung des Planungszeitraums erforderlich. Hierzu werden alle Perioden in eine feste Anzahl gleich langer Teilperioden unterteilt. Für die Abbildung der periodischen und der innerperiodischen Nachfrageschwankungen ist hierauf aufbauend die Anwendungsbedingung AEI.6 erneut zu modifizieren:

AEI.6.2:Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden bzw. Teilperioden, auf die sich auch die Einzahlungsüberschüsse beziehen. Die Länge überperiodischer Saisonzyklen beträgt jeweils ein ganzzahliges Vielfaches einer Periodenlänge. Ferner beträgt die Länge einer Periode ein ganzzahliges Vielfaches der auftretenden Saisonzyklen innerperiodischer Nachfrageschwankungen. Für die taktische Kapazitätsplanung liegt die Struktur des Produktions- und Absatzprogramms fest. Alle Nachfragemengen stellen in Bezug auf die Dienstleistungsarten stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, deren stetige Verteilungsfunktionen mit ersten und zweiten Momenten bekannt sind.

Zur Darstellung periodischer Nachfrageschwankungen kann das Grundmodell I formal ohne größere Probleme ergänzt werden. Dies ist naheliegend, da entsprechende Nachfrageberechnungen in den Bereich der Produktionsprogrammplanung fallen. Eine substantielle Änderung der Problemstruktur wird dabei nicht bewirkt. Daher erübrigt sich eine Diskussion zugehöriger Ersatzmodelle. Ausgangspunkt der periodischen Nachfragen bildet jeweils eine Basisnachfrage, die sich aus der Division der während des Saisonzyklus insgesamt auftretenden Nachfrage durch die Zahl der Saisonperioden ergibt. Zur Berechnung der Periodennachfragen ist zunächst eine geeignete Notation einzuführen:

- zt_n : Länge eines periodischen Saisonzyklus der Nachfrage für Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), gemessen in Perioden;
- sz_n : Index ($\in \mathbb{N}$) der Saisonzyklen der Nachfrage nach Dienstleistungsart n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- ε_{n,t° : Saisonkoeffizient der Nachfrage nach Dienstleistungsart n in der t° -ten Periode jedes Saisonzyklus sz_n ;
- RB_{n,sz_n} : Basisnachfrage nach Dienstleistungsart n in allen Perioden des Saisonzyklus sz_n .

Liegen aus der taktischen Produktionsprogrammplanung lediglich die Basisnachfragen vor, müssen diese zu Periodennachfragen umgerechnet werden. Zu diesem Zweck ist das Grundmodell 1 um Verknüpfungen der vorgegebenen Nachfragen zu ergänzen. Die Verknüpfungen lassen sich durch folgende Gleichungen abbilden:

$$(E-45) \quad R_{n,(sz_n-1)z_n+t^\circ} = RB_{n,sz_n} \cdot \varepsilon_{n,t^\circ}$$

$$\text{für } t^\circ = 1, \dots, zt_n; sz_n = 1, \dots, \lceil T/zt_n \rceil$$

$$\text{mit } (sz_n - 1) \cdot zt_n + t^\circ \leq T; n = 1, \dots, \hat{n}.$$

Zur Abbildung innerperiodischer Nachfrageschwankungen ist es notwendig, zusätzlich zur getroffenen Periodeneinteilung ein feineres Zeitraster von Teilperioden einzuführen. Aus Gründen einer vereinfachten Darstellung sei hier unterstellt, dass die innerperiodischen Nachfrageschwankungen aller Dienstleistungsarten die gleiche Zykluslänge aufweisen. Zur Darstellung dient dann die folgende Notation:

- zt' : Länge eines innerperiodischen Saisonzyklus, gemessen in Teilperioden;
- sz' : Anzahl der innerperiodischen Saisonzyklen sz der Nachfrage nach Dienstleistungen in einer Periode;
- ε'_{n,t° : Saisonkoeffizient der Dienstleistungsart n in der t° -ten Teilperiode jedes Saisonzyklus sz , $sz = 1, \dots, sz'$;
- $RB'_{n,t} = R_{n,t} / zt' \cdot sz'$: Basisnachfrage nach Dienstleistungsart n in einer Teilperiode der Periode t ;
- $RF_{n,\tau}$: Nachfrage nach Dienstleistungsart n in derjenigen Teilperiode τ , die sich (bei gegebenem t , sz , t°) aus der Gleichung $\tau = zt' \cdot ((t - 1) \cdot sz' + sz - 1) + t^\circ$ berechnen lässt;
- $XF_{n,\tau}$: Produktionsmenge der Dienstleistungsart n in der Teilperiode τ , mit:

$$X_{n,t} = \sum_{\tau = zt' \cdot sz' \cdot (t-1) + 1}^{zt' \cdot sz' \cdot t} XF_{n,\tau};$$

- $x_{f_{n,\tau}}$: deterministische, in der taktischen Kapazitätsplanung berücksichtigte Planproduktionsmenge der Dienstleistungsart n in Teilperiode τ ;
- $\beta'_{n,\tau}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehene Planproduktionsmenge $x_{f_{n,\tau}}$ ausreichend zur Erfüllung der Nachfrage $RF_{n,\tau}$ ist ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- $\gamma'_{m,\tau}$: (Mindest-)Wahrscheinlichkeit, dass für die in der taktischen Kapazitätsplanung vorgesehenen Planproduktions- bzw. Teilprozessmengen $x_{f_{n,\tau}}$ ($n = 1, \dots, N$) ausreichend Kapazität $KAF_{m,\tau}$ zur Verfügung steht.

Wird davon ausgegangen, dass aus der taktischen Produktionsprogrammplanung lediglich die Periodennachfragen nach Dienstleistungen vorliegen, sind entsprechende Umrechnungen über die Basisnachfrage vorzunehmen. Als Nachfrage der Teilperiode τ ergibt sich:

$$(E-46) \quad RF_{n,\tau} = RB'_{n,t} \cdot \varepsilon'_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; \quad zt' \cdot sz' \cdot (t-1) + 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot t.$$

Aus diesen teilperiodenbezogenen Nachfragen lassen sich wiederum Produktionsmengen ableiten. Dabei wird die uneingeschränkte Erfüllung der Nachfrage wie in den Gleichungen (E-10) zugrunde gelegt. Für die teilperiodenbezogenen Produktionsmengen werden diese Gleichungen umgeschrieben zu:

$$(E-47) \quad XF_{n,\tau} = RF_{n,\tau} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; \quad 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot T.$$

Im Erwartungswertmodell können diese Größen durch ihre periodendifferenzierten Erwartungswerte ersetzt werden. Dieser Fall soll jedoch zugunsten des einstufigen Chance-Constrained-Modells zurückgestellt werden. Im einstufigen Chance-Constrained-Modell müssen die Ersatzformulierungen (E-26) modifiziert werden. Hierbei sind auch die Anspruchsniveaus bzw. die Wahrscheinlichkeiten für die Nachfrageerfüllung nach Teilperioden zu differenzieren. Die Ungleichungen dafür lauten dann:

$$(E-48) \quad P\{x_{f_{n,\tau}} \geq RF_{n,\tau}\} \geq \beta'_{n,\tau} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; \quad 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot T.$$

Sobald innerperiodische Nachfrageschwankungen auftreten, sind auch die Kapazitäten nach Teilperioden zu differenzieren. Ferner ist es notwendig, Annahmen über die Flexibilität der Produktiveinheiten bei Anpassungen der Kapazitäten an schwankende Nachfragen zu treffen. Bei dieser Flexibilität handelt es sich um die Kompensationsfähigkeit der Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten. Ist eine Produktiveinheit in der Lage, ihre gesamte Kapazität einer jeweiligen Periode durch operative oder untergeordnete taktische Maßnahmen bedarfsgerecht auf die Teilperioden zu verteilen, besteht eine vollständige Kompensationsfähigkeit von Nachfrageschwankungen. Diesem Ideal nähern sich personalintensive Dienstleistungsproduktionen, in denen Mehr-

arbeitszeiten, Jahresarbeitszeit- oder Schichtmodelle bzw. Zusatzkräfte auf Abruf eingesetzt werden. Das Grundmodell 1 ist für diesen Fall der vollständigen Kompensationsfähigkeit um die Gleichungen

$$X_{n,t} = \sum_{\tau=zt' \cdot sz'(t-1)+1}^{zt' \cdot sz' \cdot t} XF_{n,\tau} \quad \text{mit den Realisationen} \quad x_{n,t} = \sum_{\tau=zt' \cdot sz'(t-1)+1}^{zt' \cdot sz' \cdot t} xf_{n,\tau}, \quad n = 1, \dots, \hat{n}$$

zu erweitern. Auf ihrer Grundlage bleiben auch im einstufigen Chance-Constrained-Modell die Bedingungen (E-27) bis (E-30) erhalten.

Der konträre Fall lässt sich durch eine vollständig fehlende Kompensationsfähigkeit von Nachfrageschwankungen kennzeichnen. In ihm werden die Kapazitäten der Produktiveinheiten gleichmäßig auf Teilperioden verteilt. Die teilperiodenbezogenen (stochastischen) Kapazitäten der Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene belaufen sich dann auf $KAF_{m,t} := KA_{m,t} / (zt' \cdot sz')$. Für deterministische Kapazitäten gilt analog $kaf_{m,t} := ka_{m,t} / (zt' \cdot sz')$. Entsprechend sind in diesem zweiten Fall auch die geplanten Produktionsmengen nach Teilperioden differenziert zu führen. Im einstufigen Chance-Constrained-Modell werden zunächst die Prozessmengenrelationen (E-27) durch teilperiodendifferenzierte Gleichungen ersetzt:

$$(E-49) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} b_{n,n,t} \cdot xf_{n,\tau} = xf_{n,\tau}$$

für $n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; zt' \cdot sz'(t-1) + 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot t$.

Mit Hilfe der geplanten Prozessmengen bzw. Produktionsmengen der Dienstleistungen werden auch die Kapazitätsbedarfe der Teilperioden berechnet. Analog zu den Bedingungen (E-8) im Grundmodell 1 dienen hierzu die Summanden in den Bedingungen (E-50) und (E-51), die den jeweils in der Teilperiode zur Verfügung stehenden Kapazitäten gegenübergestellt werden: Sind diese Kapazitäten deterministisch, werden anstelle der Ungleichungen (E-28) die Bedingungen

$$(E-50) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot xf_{n,\tau} \leq kaf_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M\}$ m ist Element der höchsten Aggregationsebene;
 $t = 1, \dots, T; zt' \cdot sz'(t-1) + 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot t$

in das Modell aufgenommen. Für Produktiveinheiten mit stochastischer Kapazität sind die Bedingungen (E-29) durch

$$(E-51) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot xf_{n,\tau} \leq KAF_{m,t} \right\} \geq \gamma'_{m,\tau}$$

für $m \in \{1, \dots, M\}$ m ist Element der höchsten Aggregationsebene;
 $t = 1, \dots, T; zt' \cdot sz'(t-1) + 1 \leq \tau \leq zt' \cdot sz' \cdot t$

zu ersetzen.

Einen dritten Fall stellen vollständig unflexible Kapazitäten dar, die für einzelne Teilperioden in unterschiedlicher Höhe geplant werden können. In diesem Fall müssen die Bestände an Potenzialfaktoren der Teilperioden in die Modellierung aufgenommen werden. Damit ergibt sich eine Modellstruktur, die weitestgehend mit der Struktur des Grundmodells 1 bzw. seiner Ersatzmodelle übereinstimmt und sich zunächst nur durch die feinere Zeiteinteilung in Teilperioden unterscheidet. Entsprechend müssen auch die Einzahlungsüberschüsse neu berechnet werden. Hierbei kann entweder das Zeitraster der Perioden aufgegeben und durch ein System von Teilperioden ersetzt werden, oder es sind die jeweils in einer Periode anfallenden, teilperiodenbezogenen Einzahlungen zu summieren. Aufgrund der angesprochenen Ähnlichkeit und des operativen Planungscharakters dieses Problemfalls wird hier auf eine differenzierte Darstellung verzichtet.

(3) Korrelierte Nachfragen

Vielfach bestehen zwischen nachgefragten Dienstleistungsmengen Abhängigkeiten. Sie beruhen entweder auf dem Angebot konkurrierender Dienstleistungen, die als Alternativen in Anspruch genommen werden können, oder sie entstehen beim Absatz von Leistungsbündeln, in denen Basisleistungen kundenindividuell um Zusatzleistungen ergänzt werden können. Konkurrierende Dienstleistungen treten z.B. im Hotelgewerbe auf, wenn einem Gast Zimmer unterschiedlicher Kategorien angeboten werden, oder in Logistikzentren, die klinische Verbrauchsmaterialien sowohl gebündelt als auch gebrauchorientiert kommissionieren und bereitstellen. Ergänzende Dienstleistungen treten in diesen Dienstleistungsbereichen ebenfalls auf. Beispielsweise werden in Hotels der gehobenen Kategorie zusätzlich zur Logierleistung auch Leistungen zum Abhalten von Konferenzen, Vorträgen, Kongressen oder privaten Veranstaltungen offeriert. Dieses Beispiel verdeutlicht besonders anschaulich die Bedeutung der Definition einer Dienstleistung als Typusbegriff mit abgestuften Merkmalen. Bei den angegebenen ergänzenden Dienstleistungen handelt es sich um Leistungen, die häufig auch selbstständig abgesetzt werden. Damit unterscheiden sie sich von Leistungen, die, wie Gastronomieleistungen oder Fitness-Programme, ausschließlich an Abnehmer der Logierleistungen abgegeben werden. Letztere Leistungen werden i.d.R. nicht zwangsläufig von allen Dienstleistungsabnehmern genutzt, sodass die Inanspruchnahmen entsprechender Kapazitäten der Küche oder des Fitnessbereichs mit unsicheren bzw. risikobehafteten Prozesskoeffizienten verbunden sind. Diese Bereiche sind dem folgenden Haupttyp 2 mit Dienstleistungsproduktionen zuzuordnen, für die stochastische Prozesskoeffizienten gelten. In der Modifikation des Haupttyps 1 werden hingegen korrelierte Leistungen bei sicheren Prozesskoeffizien-

ten betrachtet. Dazu ist es notwendig, die Anwendungsbedingung AEI.6 erneut zu modifizieren:

AEI.6.3: Die Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden wie die Einzahlungsüberschüsse. Die Struktur des Produktions- und Absatzprogramms liegt für die taktische Kapazitätsplanung fest. Die einzelnen Nachfragemengen stellen Zufallsvariablen dar, für deren stetige Verteilungsfunktionen erste und zweite Momente bekannt sind. Nachfragen können paarweise korreliert sein. In diesem Fall sind die betreffenden Kovarianzen bekannt.

Das Grundmodell 1 bleibt bei der Modellierung dieser Änderung, die durch die Relationen (D-14) im allgemeinen Modell erfasst wird, erhalten. Im Erwartungswertmodell werden die zusätzlichen Informationen über die Korrelationen einzelner Nachfragen ebenso wie im einstufigen Chance-Constrained-Modell nicht berücksichtigt. Änderungen ergeben sich jedoch im mehrstufigen Chance-Constrained-Modell bei der Berechnung der Varianzen vorgelagerter Teilprozesse $n = \hat{n} + 1, \dots, N$. Für diese sind die Kovarianzen der abschließenden Teilprozesse bzw. Dienstleistungen $cov(X_{n',t}; X_{n'',t})$ für $n', n'' = 1, \dots, \hat{n}$ zu berücksichtigen. Statt der Gleichungen (E-34) sind dann folgende Beziehungen einzufügen:

$$(E-52) \quad \left(\sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t}^2 \cdot \sigma^2(X_{n',t}) + 2 \sum_{n'=1}^{\hat{n}} \sum_{n''=1}^{n'-1} b_{n,n',t} \cdot b_{n,n'',t} \cdot cov(X_{n',t}; X_{n'',t}) \right)^{1/2} \\ = \sigma(X_{n,t}) \\ \text{für } n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Hierbei ist zu beachten, dass die Menge der durchzuführenden untergeordneten Teilprozesse $n > \hat{n}$ jeweils direkt in Abhängigkeit von den Dienstleistungsmengen $n', n'' < \hat{n}$ definiert ist. Kovarianzen zwischen den Prozessmengen untergeordneter Prozesse sind damit für die Modellbildung nicht von Bedeutung.

b) Variationen der Produktionsstruktur

(1) Berücksichtigung von Hilfsprozessen

In zahlreichen Produktionen des Haupttyps 1 treten Hilfsprozesse auf, die nur indirekt zur Durchführung einer Dienstleistung erforderlich sind, jedoch die laufende Betriebstätigkeit der Produktion gewährleisten und dabei die gleichen Produktiveinheiten in Anspruch nehmen wie diejenigen Teilprozesse, die

als Elemente einer absetzbaren Dienstleistung zu erbringen sind. Diese Hilfsprozesse dienen der Erfüllung organisatorischer und sozialer Aufgaben oder der Wahrnehmung von Führungs- oder Ausbildungsaufgaben. Auch wenn ihrer Durchführung keine Einzahlungsüberschüsse zugerechnet werden können, ist ihre Kapazitätsinanspruchnahme zu berücksichtigen. Im Grundmodell 1 können diese Hilfsprozesse durch fiktive Dienstleistungen abgebildet werden, für die Nachfragen unabhängig von der Produktions- und Absatzplanung auftreten. Damit ist das Grundmodell 1 um fiktive Nachfragen $R_{n,t}$ sowie Produktionsmengen $X_{n,t}$ zu ergänzen, die modelltechnisch wie Teilprozesse zur Erbringung von Dienstleistungen zu behandeln sind.

(2) Auftreten von Lerneffekten

Werden bei einer Dienstleistungsproduktion Prozesse reorganisiert oder neu eingeführt, ist mit mengen- und personenabhängigen Lerneffekten zu rechnen. Lerneffekte treten dabei insbesondere bei personalintensiven Dienstleistungsproduktionen auf. Nach den dargestellten Anwendungsbedingungen ist bei den Produktionen des Haupttyps 1 nur von einer passiven Beteiligung der Dienstleistungsabnehmer am Produktionsprozess auszugehen. Sofern bei der Durchführung der Prozesse Lerneffekte auftreten, betreffen diese daher in erster Linie unternehmenseigene Mitarbeiter.

Gegenstand der taktischen Kapazitätsplanung ist es u.a., für menschliche Potenzialfaktoren den Auf- oder Abbau zu planen. Eine nach Personen differenzierte Fluktuation in den einzelnen Dienstleistungsbereichen wird dabei nicht betrachtet. Auch eine detaillierte Personaleinsatzplanung ist nicht Gegenstand der taktischen Planung. Es kann also auf der taktischen Ebene keine Aussage darüber getroffen werden, welche mengenabhängigen Lernerfolge einzelne Mitarbeiter erreichen. Auf der taktischen Ebene ist es deshalb erforderlich, vereinfachende Annahmen über Lerneffekte zu treffen.¹⁶

Lernen kann im Mehrproduktfall von Dienstleistungen in Form heterogenen oder homogenen Lernens auftreten.¹⁷ Bei heterogenem Lernen ist ein Subjekt nicht in der Lage, aus der Durchführung einer Prozessart für die Durchführung einer anderen Art zu lernen. Auftretende Lerneffekte beziehen sich deshalb jeweils getrennt auf einzelne Prozess- bzw. Teilprozessarten. Bei homogenem Lernen sind dagegen die aus der Durchführung eines Prozesses gewonnenen Erfahrungen direkt auf die Durchführung anderer Prozessarten übertragbar.

¹⁶ Zu weiteren Möglichkeiten einer aggregierten Modellierung von Lern- bzw. Erfahrungseffekten vgl. *Kloock/Sabel/Schuhmann* (1987), S. 10 ff.

¹⁷ Vgl. *Werkmeister* (2000), S. 166 f.

Empirisch gut bestätigt sind insbesondere mengenabhängige Lerneffekte, bei denen die Inanspruchnahme eines Faktors bzw. einer Produktiveinheit für eine Prozessdurchführung in Abhängigkeit von der Menge der insgesamt durchgeführten Prozesse erklärt ist.¹⁸ Grundsätzlich bieten sich zwei Möglichkeiten an, diese Lerneffekte abzubilden. Die erste Möglichkeit beruht auf der Beobachtung, dass sich die Faktorinanspruchnahme für eine Prozesseinheit bei jeweiliger Verdoppelung der Menge durchgeführter Prozesse um einen konstanten Satz verringert. Um die Inanspruchnahme einer Produktiveinheit m zu beschreiben, gilt die folgende Notation:

- ℓ_n : Lernkoeffizient der Teilprozessart n , $n = 1, \dots, N$;
 $\Xi_{n,t}$: Zählindex für die Teilprozesse der Art n , die in Periode t durchgeführt werden, $1 \leq \Xi_{n,t} \leq X_{n,t}$;
 $X_{n,0}$: Menge der vor $t = 1$ durchgeführten Teilprozesse der Art n ;
 $bp_{m,n,0}$: lernabhängiger Kapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die erste Durchführung eines Teilprozesses der Art n ;
 $bp_{m,n}(\Xi_{n,t})$: Kapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die Durchführung des $\Xi_{n,t}$ -ten Teilprozesses der Art n ;
 $bp_{\min,m,n}$: lernunabhängiger Mindestkapazitätsbedarf in Produktiveinheit m für die Teilprozesse der Art n .

Bezogen auf die kumulierte Zahl an (Teil-)Prozessdurchführungen der Art n kann die Inanspruchnahme der Produktiveinheit m für die Durchführung des $\Xi_{n,t}$ -ten Teilprozesses in der Periode t auf einem ersten, exponentiellen Weg beschrieben werden:¹⁹

$$(E-53) \quad bp_{m,n}(\Xi_{n,t}) := bp_{m,n,0} \cdot \left(\sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} + \Xi_{n,t} \right)^{-\ell_n}$$

Der Kapazitätsbedarf für die gesamten Teilprozesse der Art n , die in der Periode t in der Produktiveinheit m durchgeführt werden, ergibt sich durch Summierung dieser einzelnen Kapazitätsbedarfe nach:

$$(E-54) \quad \sum_{\Xi_{n,t}=1}^{X_{n,t}} bp_{m,n}(\Xi_{n,t}) = bp_{m,n,0} \cdot \sum_{\Xi_{n,t}=1}^{X_{n,t}} \left(\sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} + \Xi_{n,t} \right)^{-\ell_n}$$

Im Fall heterogenen Lernens bestimmt sich der Kapazitätsbedarf anstatt nach (E-8) durch Summation der prozessbezogenen Kapazitätsbedarfe über al-

¹⁸ Vgl. Wright (1936), S. 122 ff. sowie Lippert (1976), S. 285.

¹⁹ Vgl. Baur (1979), Sp. 1118 f.

le Prozessarten. Im Modell ist vorzusehen, dass diese Summe kleiner ist als die zur Verfügung stehende Kapazität:

$$(E-55) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,0} \cdot \sum_{\Xi_{n,t}} \left(\sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} + \Xi_{n,t} \right)^{-\ell_n} \leq KA_{m,t};$$

für $m \in \{1, \dots, M\}$ | m ist Element der höchsten Aggregationsebene};
 $t = 1, \dots, T$.

Da in diesen Ausdrücken komplexe Summenformeln über laufende Werte $\Xi_{n,t}$ ausgewertet werden müssen, empfiehlt sich für sie eine Approximation. Diese basiert auf der Betrachtung von Integralausdrücken anstelle von Summen.²⁰ Für (E-55) führt diese Approximation nach einigen Umformungsschritten zu:

$$(E-56) \quad \sum_{n=1}^N \frac{bp_{m,n,0}}{1 - \ell_n} \cdot \left(\left(\sum_{t'=1}^t X_{n,t'} \right)^{1-\ell_n} - \left(\sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} \right)^{1-\ell_n} \right) \leq KA_{m,t};$$

für $m \in \{1, \dots, M\}$ | m ist Element der höchsten Aggregationsebene};
 $t = 1, \dots, T$.

Dieser exponentielle Weg zur Beschreibung von Lernen wird in der Literatur teilweise kritisiert, weil er keine Mindestkapazitätsbedarfe der einzelnen Teilprozesseinheiten und keine Starterfahrungen berücksichtigt.²¹ Eine zweite, empirisch ebenfalls gut abgesicherte Möglichkeit zur Beschreibung von Lernen in der Produktion wird deshalb in der folgenden hyperbelförmigen Darstellung²² gesehen, welche auf die vorliegende Problemstellung angewendet wird:

$$(E-57) \quad bp_{m,n}(\Xi_{n,t}) := \frac{bp_{m,n,0}}{X_{n,0} + \sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} + \Xi_{n,t}} + bp_{\min,m,n}.$$

Auf diesem Wege kann der Kapazitätsbedarf ebenfalls durch Integration approximiert werden. Im Fall heterogenen Lernens lauten dann die geänderten Nebenbedingungen (E-8):

²⁰ Vgl. Mochty (1996), Sp. 1080.

²¹ Vgl. Buzacott/Shantikumar (1993), S. 156.

²² Vgl. Lippert (1976), S. 285.

$$(E-58) \quad \sum_{n=1}^N \left(\left(bp_{\min,m,n} \cdot X_{n,t} - 0,5 \cdot bp_{m,n,0} \right) \cdot \left(\sum_{t'=1}^t X_{n,t'} + X_{n,0} \right)^{-2} - \left(\sum_{t'=1}^{t-1} X_{n,t'} + X_{n,0} \right)^{-2} \right) \leq KA_{m,t};$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Ein anderes Bild ergibt sich bei homogenem Lernen. Bei ihm ist zur Abbildung des Lerneffektes einer Teilprozessart nicht nur deren kumulierte Prozessmenge, sondern auch diejenige aller relevanten Teilprozessarten von Bedeutung. Zur Vereinfachung sei hier unterstellt, dass alle Teilprozessarten zur Erfassung von Lerneffekten relevant sind. In Anlehnung an *Werkmeister*²³ sind dann die Nebenbedingungen (E-8) durch:

$$(E-59) \quad \frac{bp_{m,0}}{1-\ell} \cdot \left(\sum_{n=1}^N \sum_{t'=1}^t a_{n,t'} X_{n,t'} \right)^{1-t} - \left(\sum_{n=1}^N \sum_{t'=1}^{t-1} a_{n,t'} X_{n,t'} \right)^{1-t} \leq KA_{m,t};$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$,

zu ersetzen. In dieser Formulierung müssen die teilprozessspezifischen Parameter $bp_{m,n,0}$ und ℓ_n gegen entsprechende Durchschnittsgrößen $bp_{m,0}$ und ℓ ausgetauscht werden. Unterschiedliche Lerngeschwindigkeiten hängen dann ausschließlich von den Gewichtungsfaktoren $a_{n,t}$ ab. Es bleibt hier unbeachtet, dass die Lerneffekte innerhalb einer Periode von der Reihenfolge der Prozessdurchführungen abhängen. Daher bietet es sich an, eine andere, nach Teilprozessen differenzierte Formulierung zu wählen, in der die Lerneffekte nicht an der jeweils aktuell kumulierten Zahl von durchgeführten Teilprozessen anknüpfen, sondern an der Zahl derjenigen Teilprozesse, die bis zum Ende der vorangehenden Periode realisiert worden sind. Dann lautet der Ersatz für die Nebenbedingungen (E-59):

$$(E-60) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,0} \cdot \left(\sum_{n'=1}^N \sum_{t'=1}^{t-1} a_{n',t'} X_{n',t'} \right)^{-\ell_n} \leq KA_{m,t};$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Diese Form der Approximation besitzt den Vorteil, Einzelsummierungen wie in den Nebenbedingungen (E-55) zu vermeiden. Eine Approximation, wie

²³ Vgl. *Werkmeister* (2000), S. 167.

sie für (E-55) durch (E-56) mit Hilfe der Auswertung vergleichbarer Integrale vorgenommen wird, entfällt daher.

Die entwickelten Modellvariationen der Lerneffekte im Grundmodell 1 lassen sich für ein Erwartungswertmodell oder für das einstufige Chance-Constrained-Modell relativ einfach aufgreifen. Dazu müssen die Zufallsvariablen des Grundmodells 1 im Erwartungswertmodell lediglich durch ihre Erwartungswerte ersetzt werden, woraus sich konstante Kapazitätsinanspruchnahmen pro Teilprozesseinheit ergeben. In den Chance-Constrained-Modellen ergeben sich hingegen größere Probleme, da hier entweder variable Planproduktionsmengen für die Teilprozesse oder deren approximierter Verteilungsparameter in die ersatzweisen Berechnungen der Koeffizienten $bp_{m,n}(\mathcal{E}_{n,t})$ eingehen.

Die bisher vorgenommenen Abbildungen der Lerneffekte haben den Nachteil, in Abhängigkeit von den Produktionsmengen der jeweiligen Produktiv-einheiten definiert zu sein und Einfluss auf die Prozesskoeffizienten zu nehmen. Damit wird vernachlässigt, dass in einer Produktiv-einheit Personal mit unterschiedlichem Ausbildungsstand und unterschiedlichen Lernfähigkeiten eingesetzt werden kann. Insbesondere lassen sich auf diese Weise (negative) Wirkungen eines laufenden Personalauf- und -abbaus nicht erfassen. Aus diesem Grund sollte auch personenbezogenen bzw. potenzialfaktorabhängigen Lerneffekten Rechnung getragen werden. Eine Möglichkeit hierzu bietet die Anpassung der Koeffizienten $A_{m,k,t,t'}$, welche die quantitative Kapazität einer Potenzialfaktorart k für eine Prozessdurchführung in der Periode t angeben. Um Lerneffekte auszudrücken, können diese Koeffizienten (bzw. ihre Verteilungsfunktionen) im Zeitablauf mit steigenden Werten modelliert werden.

Letztlich ist noch die Anwendungsbedingung AEI.10 zu modifizieren. Um Lerneffekte zuzulassen, lautet sie in abgewandelter Form:

AEI.10.2: Die Prozesskoeffizienten unternehmenseigener menschlicher Potenzialfaktoren (Mitarbeiter) können Lerneffekten unterliegen, die entweder von der kumulierten Produktionsmenge der jeweiligen Dienstleistung, von der gesamten Produktionsmenge mehrerer Dienstleistungsarten oder von der Zeit seit der erstmaligen Bereitstellung eines Potenzialfaktors abhängen.

(3) Qualitätszielsetzungen der Dienstleistungsproduktion

Bei zahlreichen Dienstleistungsproduktionen ist die qualitative Ausgestaltung ihrer Prozesse und Produktiv-einheiten von Interesse. Für die Kapazitätsplanung bedeutet dies auf der taktischen Ebene, nicht die Einhaltung struktureller Mindestqualitäten zu berücksichtigen, sondern die Maximierung des Qualitätsnutzens anzustreben. Es sind dann Qualitätszielfunktionen in das Grundmodell 1 aufzunehmen und die entsprechenden Nebenbedingungen

(E-5) zu eliminieren. Anstatt Qualitätsziele satisfizierend zu verfolgen, wird damit ihre Extremierung angestrebt. Diese Modifikation des Grundmodells 1 führt zu einem Vektoroptimierungsmodell, in dem sowohl der Endwert des Investitionsprojekts als auch die Nutzen struktureller Qualitäten zu maximieren sind. In Anlehnung an die Gleichungen zur Berechnung der strukturellen Qualität in (E-5) sowie an die bereits im Grundmodell 1 verwendete Zielfunktion lautet die modifizierte Zielfunktion:

$$(E-61) \quad \max \left\{ \begin{array}{l} END_T \\ uq_{1,t} \\ \dots \\ uq_{M,t} \end{array} \right\}$$

für alle $m = 1, \dots, M$ der höchsten Aggregationsebene mit Kundeneinblicknahme.

Um die abhängige Variable dieser Zielfunktion einwertig zu gestalten, ist es notwendig, eine Kompromisszielfunktion zu formulieren oder mit Hilfe eines Goal-Programming die Summe der Abweichungen von Vorgabewerten zu extremieren.

(4) Flexibilität von Produktiveinheiten

Bei den Dienstleistungsproduktionen, die in diesem Abschnitt behandelt werden, ist die Zahl der Potenzialfaktoren die zentrale Größe, die eine Abbildung der Produktion bei risikobehafteten Kapazitäten und Nachfragen gewährleistet. Hierzu wird im Grundmodell 1 für alle Dienstleistungen unterstellt, dass jeweils ein Teilprozess in genau einer Produktiveinheit durchgeführt wird. Diese Anwendungsbedingung ist in denjenigen Fällen aufzugeben, in denen Teilprozesse nicht nur in einer, sondern in mehreren Produktiveinheiten alternativ durchgeführt werden können. Beispielsweise kann bei Überbuchung eines Fluges den Passagieren angeboten werden, ihren Flug in einer höherwertigen Klasse fortzusetzen. Ähnliche Möglichkeiten der „Anpassflexibilität“ von Produktiveinheiten ergeben sich in Hotels. Zur Modellierung dieses Problems ist die Anwendungsbedingung A.7 erneut zu modifizieren. Anstelle der eindeutigen Zuordnung jeweils eines Teilprozesses zu einer Produktiveinheit muss nunmehr der letzte Satz dieser Anwendungsbedingung lauten:

AEI.7.1: Die Durchführung eines Teilprozesses kann in unterschiedlichen Produktiveinheiten nach unterschiedlichen Prozessplänen erfolgen.

Zur Modellierung des beschriebenen, flexiblen Einsatzes von Produktiveinheiten sind zunächst die Produktionsmengen $X_{n,t}$ einer Teilprozessart n in Periode t nach den Produktiveinheiten m zu differenzieren, in denen sie durchge-

führt werden. Gegenstand der Planung sind in dieser Modellmodifikation also Produktionsmengen $X_{m,n,t}$. Da i.d.R. bei einer Nutzung von Ausweichproduktiveinheiten andere Einzahlungsüberschüsse anfallen als bei Belegung der Stammproduktiveinheit, müssen ferner die Einzahlungsüberschüsse aus der Durchführung eines Teilprozesses nach den jeweiligen Produktiveinheiten differenziert werden. Sie werden durch $ed_{m,n,t}$ symbolisiert. Anstelle der Nebenbedingungen (E-3) und (E-8) bis (E-10) gelten dann die folgenden Bedingungen:

$$(E-62) \quad EZD_t = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N ed_{m,n,t} \cdot X_{m,n,t} \quad \text{für } t = 1, \dots, T;$$

$$(E-63) \quad \sum_{n=1}^N bp_{m,n,t} \cdot X_{m,n,t} \leq KA_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$;

$$(E-64) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot \sum_{m=1}^M X_{m,n',t} = \sum_{m=1}^M X_{m,n,t} \quad \text{für } n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T;$$

$$(E-65) \quad \sum_{m=1}^M X_{m,n,t} = R_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T.$$

In diesen Bedingungen wird, außer in (E-63), die Produktionsmenge $X_{n,t}$ durch die Summe der $X_{m,n,t}$ ersetzt. Um gegebenenfalls einige Zuordnungen von Teilprozessen n auf Produktiveinheiten m auszuschließen, ist es erforderlich, Nebenbedingungen einzuführen, die für die betreffende Zuordnung $X_{m,n,t} = 0$ setzen, oder die dargestellte Summierung auf die erlaubten Kombinationen zu beschränken.

Die Umsetzung der Bedingungen (E-62) bis (E-65) in einem Erwartungswertmodell ist unproblematisch. Gegenüber dem Grundmodell 1 bilden die erwarteten Produktionsmengen $E(X_{m,n,t})$ Entscheidungsvariablen, mit deren Hilfe über die Verteilung ihrer Summe auf unterschiedliche Produktiveinheiten entschieden wird. Zu der reinen Kapazitätsplanung, wie sie dem Grundmodell 1 zugrunde gelegt ist, kommt auf diese Weise eine Planungskomponente der Produktionsdurchführung hinzu.

Auch die Formulierung eines einstufigen Chance-Constrained-Modells zur diskutierten Modellmodifikation verursacht keine größeren Probleme. An die Stelle der Nebenbedingungen (E-26) treten nunmehr lineare Bedingungen, welche die Erfüllung der Nachfrage durch eine Summe von Produktionsmengen verlangen:

$$(E-66) \quad \sum_{m=1}^M x_{m,n,t} \leq FR_{n,t}^{-1}(\beta_{n,t}) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T.$$

Der Modellierung des Problems in einem mehrstufigen Chance-Constrained-Modell steht entgegen, dass die Bedingungen (E-65) nicht mehr zur Definition der Produktionsmengen bzw. ihrer Verteilungen herangezogen werden können. Vielmehr läßt sich aus den Verteilungen der Nachfragen $R_{n,t}$ jeweils nur eine Verteilung für eine Summe stochastischer Produktionsmengen ableiten. Diese Verteilungen können jedoch nicht ohne zusätzliche Annahmen für eine weitere Auswertung, z.B. für die Berechnung eines Kapazitätsbedarfs, herangezogen werden.

(5) Lagerungsfähigkeit von Produktionsergebnissen

Bei einigen Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 1 besteht die Möglichkeit, Produktions-(zwischen-)ergebnisse auf Trägern zu lagern. Zahlreiche Teilprozesse, die zu lagerungsfähigen Produktionsergebnissen führen, sind Elemente der Vorproduktion. Ein Beispiel hierfür ist die Sterilisierung und Kommissionierung von Verbrauchsmaterialien für Operationssäle und Diagnosebereiche. Diese Teilprozesse werden in einem speziellen Logistikzentrum ohne konkreten „Kundenauftrag“ in lagergebundener Produktion durchgeführt. Ähnliche Beispiele hierzu sind die Bereitstellung von Software auf CD-ROM oder im Internet sowie die Produktion von Musiksendungen in Rundfunkanstalten. Aber auch bei einer Integration von Dienstleistungsabnehmern in die Teilprozesse treten Lagerungen von Prozessergebnissen auf. Dieser Fall ist insbesondere dann zu beobachten, wenn, wie in einem Schauspielhaus, die Besucher nur passiv am Prozess beteiligt sind, d.h. nicht oder nur geringfügig auf die Gestaltung des Prozessgeschehens Einfluss nehmen, und die Aufführung durch ein Fernsichteam aufgenommen wird. Es liegt hier eine Kuppelproduktion mehrerer Dienstleistungen vor, die teilweise als Vorproduktion einzustufen ist.

Im Zusammenhang mit der Lagerungsfähigkeit von Zwischen- und Endergebnissen ist zwischen innerperiodischer und periodenübergreifender Lagerung zu unterscheiden. Bei innerperiodischer Lagerung werden die in einer Periode auf Lager genommenen Prozessergebnisse im Wesentlichen in der gleichen Periode weiterbearbeitet oder abgesetzt. Ausnahmen bilden die gegen Ende der Periode erzielten Produktionsergebnisse, die zu Beginn der folgenden Periode weiterverarbeitet werden. Periodenübergreifende Lagerhaltung liegt vor, wenn größere Mengen an Prozessergebnissen in einer Periode auf Lager genommen werden, um in einer der folgenden Perioden weiterverarbeitet oder abgesetzt zu werden. Zur Erfassung der angeführten Lagerungsprobleme ist die Anwendungsbedingung AEI.8 zu modifizieren.

Die Abbildung der innerperiodischen Lagerhaltung auf der taktischen Planungsebene zwingt dazu, die Prozesse der Ein- und Auslagerung in vergrößer-

ter Form abzubilden. Zu diesem Zweck werden Kenntnisse über operativ angewendete Lagerhaltungspolitiken vernachlässigt und lediglich eine durchschnittliche Inanspruchnahme des Lagers durch die Prozessergebnisse erfasst. Die zur Abbildung innerperiodischer Lagerhaltung zusätzlich erforderliche Notation lautet:

- kl_{jt} : Kapazität des Lagers j ($j = 1, \dots, J$) in der Periode t ;
 ezl_{jt} : Einzahlungsüberschuss aus der Bereithaltung einer Einheit Lagerkapazität des Lagers j , berechnet am Ende der Periode t ;
 $bl_{j,n,t}$: durchschnittliche Inanspruchnahme des Lagers j in der Periode t durch eine Einheit des Prozessergebnisses der Teilprozessart n .

Mit Hilfe der definierten Koeffizienten lassen sich die Relationen KL des allgemeinen Modells aus (D-11) zu den Nebenbedingungen

$$(E-67) \quad bl_{j,n,t} \cdot X_{n,t} \leq kl_{j,t} \quad \text{für } j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T$$

spezifizieren, um die das Grundmodell 1 ergänzt wird. Gegebenenfalls lassen sich auch die Ungleichungen (E-67) modifizieren, um die gemeinsame Nutzung von Lagerräumen durch Prozessergebnisse unterschiedlicher Teilprozesse darzustellen. Ferner muss die Zahlungswirksamkeit der Bereitstellung von Lagerkapazitäten berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck sind Einzahlungsüberschüsse in Abhängigkeit von den in Periode t bereitgestellten Lagerkapazitäten zu definieren und der Zielfunktion (E-2) hinzuzufügen. Der zusätzlich benötigte Term lautet:

$$(E-68) \quad \sum_{j=1}^J ezl_{j,t} \cdot kl_{j,t}.$$

Die Erweiterung der weiter vorn dargestellten Ersatzmodelle um die Ausdrücke (E-67) und (E-68) bereitet keine Probleme und kann nach den gleichen Methoden wie die bisherigen Ersatzformulierungen getroffen werden.

Zur Abbildung einer periodenübergreifenden Lagerhaltung ist es erforderlich, die Lagerbestände am Ende der Perioden zu erfassen. Hierzu dient die Notation:

- $lb_{n,t}$: Lagerbestand an Prozessergebnissen der Art n ($n = 1, \dots, N$) am Ende der Periode t ($t = 0, \dots, T$);
 $bl'_{j,n,t}$: Inanspruchnahme des Lagers j am Ende der Periode t durch eine Einheit des Prozessergebnisses der Teilprozessart n .

Auch bei einer periodenübergreifenden Lagerung müssen Restriktionen eingehalten werden. Diese beziehen sich auf die Lagerbestände, die jeweils am Ende einer Periode vorhanden sind. Um den Auf- und Abbau von Lagerbe-

ständen darzustellen, sind die Prozessmengenrelationen (E-9) um Lagerbestandsvariablen $lb_{n,t}$ zu erweitern. Die in einer Periode t durchzuführenden Teilprozesse $X_{n,t}$ der Art n ergeben sich dann aus den am Ende der Periode t auf Lager gehaltenen Prozessergebnissen $lb_{n,t}$ zuzüglich der in der gleichen Periode für nachgelagerte Prozesse benötigten Prozessergebnisse sowie abzüglich der bereits zum Ende der Vorperiode auf Lager genommenen Produktionsergebnisse $lb_{n,t-1}$.

$$(E-69) \quad X_{n,t} = lb_{n,t} - lb_{n,t-1} + \sum_{n'=1}^{\hat{n}} b_{n,n',t} \cdot X_{n',t} \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Für die jeweils letzten, die Dienstleistungsart kennzeichnenden Teilprozesse sind ferner die Nebenbedingungen (E-10) um Lagerbestandsvariablen zu ergänzen. Entsprechende Lagerungen von Produktionsergebnissen betreffen z.B. verkaufsfertige Tonträger. Die ergänzten Nebenbedingungen lauten:

$$(E-70) \quad X_{n,t} + lb_{n,t-1} - lb_{n,t} = R_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Sie sind als definierende Bedingungen für die Verteilungen der Produktionsvariablen $X_{n,t}$ zu verstehen, die nunmehr in Abhängigkeit von den als Entscheidungsvariablen auftretenden Lagerbeständen bestimmt sind. Gegebenenfalls sind für das Ende des Planungszeitraums ebenfalls Bestände einzuplanen. Zu diesem Zweck sind die Anwendungsbedingungen entsprechend zu ergänzen und die Modelle zu modifizieren.

Die Berücksichtigung der Nebenbedingungen (E-69) und (E-70) ist in einem Erwartungswertmodell unproblematisch. Im Vergleich zu (E-17) und (E-18) stellen jedoch die Produktionsmengen Entscheidungsvariablen dar und sind nicht mehr als entscheidungsunabhängige Erwartungswerte zu behandeln. Dadurch wird deutlich, dass mit der Einführung einer periodenübergreifenden Lagerhaltung Komponenten der Produktionsprogrammplanung in das Kapazitätsplanungsmodell integriert werden. Auch das einstufige Chance-Constrained-Modell ist in einfacher Weise um die Lagerbestandsvariablen zu ergänzen. Hingegen muss beim mehrstufigen Chance-Constrained-Modell berücksichtigt werden, dass die Verteilungsfunktionen der Produktionsmengen in Abhängigkeit von einer dem Anwendungsfall entsprechenden Zahl an Entscheidungsvariablen $lb_{n,t}$ zu definieren sind. Die Lösbarkeit eines entsprechenden Ersatzmodells dürfte deshalb nur für wenige kleinere Anwendungsfälle gegeben sein.

5. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung

Im Haupttyp 1 sind Dienstleistungsproduktionen zusammengefasst, die sich auf der operativen Ebene durch größere Entscheidungsspielräume für die

Termin disposition sowie durch Prozesskoeffizienten auszeichnen, die als deterministische Größen angesehen werden. Dem Produktionstyp entsprechend werden im Grundmodell 1 nur Unsicherheiten in Bezug auf das Absatzprogramm und die Höhe der Kapazitäten berücksichtigt. Damit dienen die Modellentwicklungen für den Haupttyp 1 vornehmlich der Abbildung solcher Produktionsbereiche, in denen zur Erbringung von Dienstleistungen Routineprozesse vollzogen werden und in denen nicht fortlaufend Prozessinnovationen stattfinden. Gleichzeitig wird von einer höheren Wiederholungsrate der Prozesse ausgegangen.

Entsprechend den Anforderungen an das allgemeine Modell handelt es sich beim Grundmodell 1 um einen zahlungsbasierten Ansatz. Dieses einfache Modell zur Endwertmaximierung lässt sich flexibel um mehrere Komponenten einer Investitions- und Finanzplanung erweitern, sofern sich dieses im Hinblick auf die Lösbarkeit als möglich erweist. Die Zahlungsbasierung, die für das allgemeine Modell gewählt wurde, lässt für die bereichsbezogene Modellierung von Dienstleistungen jedoch auch Probleme erkennen. Die bereichsbezogene taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten setzt nämlich voraus, dass die Planungsprobleme partiell gelöst werden können. Insbesondere dürfen keine in einem Modell zur taktischen Kapazitätsplanung eines Bereichs abgebildeten Entscheidungsgrößen Einfluss auf die Kapazitätsplanung weiterer Produktionsbereiche ausüben. Ist eine derartige Partialmodellbildung möglich, können den Entscheidungsvariablen relevante Zahlungsänderungen und damit pagatorische Größen eindeutig zugewiesen werden. Werden bei der Partialisierung dagegen strukturelle Beziehungen zwischen den Entscheidungsgrößen verschiedener Produktionsbereiche bewusst vernachlässigt, sind diese Interdependenzen durch die Verrechnung von Opportunitätswerten approximativ abzubilden. Dies bedeutet streng genommen die Abkehr von einer reinen Zahlungsbasierung (pagatorischen Bewertung), da entsprechende Größen Opportunitätskosten enthalten. Diese Probleme einer zahlungsbasierten Investitionsrechnung treten zwar allgemein auf.²⁴ Bei der hier verfolgten, nach Typen und Bereichen differenzierten Modellierung von Dienstleistungsproduktionen gewinnen sie jedoch besondere Bedeutung. Andererseits erscheint der Übergang auf eine Kostenbasierung einschließlich einer Periodisierung von Wertgrößen als unzweckmäßig, da hierbei zusätzliche Probleme bei der Berechnung von Residualgewinnen auftreten.

Schwerpunktmäßig sind die für den Haupttyp 1 entwickelten Modelle auf die taktische Kapazitätsplanung ausgerichtet. Durch die Berücksichtigung strategisch vorgegebener Mindestkapazitäten lassen sie sich in einem hierarchischen Produktionsplanungssystem mit der strategischen Kapazitätsplanung verknüpfen. Auf der taktischen Ebene werden außerdem Interdependenzen zur

²⁴ Vgl. *Schmeeweiß* (1993), S. 1028 ff.

Prozessplanung und zur Programmplanung erfasst. Die taktische Prozessplanung führt zu Prozessplänen, aus denen sich Prozesskoeffizienten und Prozessmengenrelationen generieren lassen. Umgekehrt besteht die Möglichkeit, die entwickelten Modelle in die Prozessplanung zu integrieren. Hierzu können für einzelne Prozesse die wertmäßigen Konsequenzen der Prozessgestaltung unter Beachtung der resultierenden Kapazitätsinanspruchnahmen untersucht werden.

Prinzipiell lassen sich in das Grundmodell 1 und in die daraus abgeleiteten Modelle auch Komponenten der Produktionsprogrammplanung einbinden. So lässt sich insbesondere eine eingeschränkte Erfüllung des vorgegebenen Absatzprogramms berücksichtigen. Auch saisonalen Schwankungen und korrelierten Nachfragen kann Rechnung getragen werden. Dabei ist jedoch von einer erheblichen Zunahme der Modellvariablen auszugehen.

Eine typengerechte Spezifizierung des Grundmodells 1 und seiner Ersatzmodelle ist in vielen Varianten möglich. Bei der Abbildung von Lerneffekten zeigt sich, dass sowohl heterogenes als auch homogenes Lernen nur approximativ abgebildet werden können. Während beide Lernformen in Erwartungswertmodellen noch zu einer vertretbaren Zunahme der Modellkomplexität führen, gilt dies für Chance-Constrained-Modelle nicht mehr. Als Alternative zur Modellierung lernabhängiger Prozesskoeffizienten bietet sich eine lernabhängige Modifikation der Kapazitäten menschlicher Potenzialfaktoren an. Diese Form der Abbildung des Lernverhaltens erlaubt es, Lerneffekte in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit eines Mitarbeiters zum Unternehmen bzw. zum Produktionsbereich zu erfassen. In einer weiteren Spezifizierung des Grundmodells 1 werden Lager berücksichtigt. In diesen lassen sich Träger aufbewahren, auf denen Ergebnisse von Dienstleistungen gespeichert sind. Die Modellierung der Lager führt je nach Art des Ersatzmodells zu Problemen, die einer Lösbarkeit dieser Modelle entgegenstehen.

In Grundmodell 1, in seinen Ersatzmodellen und in seinen Varianten führen die auf (E-6) aufbauenden Nebenbedingungen zu komplexen Rechenvorgängen. Während sich die horizontale Aggregation von untergeordneten Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren zu einer übergeordneten Einheit durch Summation der Variablen erfassen lässt, müssen die Minimum-Vorschriften bei vertikaler Aggregation in einzelne Nebenbedingungen aufgelöst werden. Sofern es sich bei den Kapazitäten untergeordneter Produktiveinheiten um stochastisch beeinflusste Variablen handelt, müssen Approximationen zur Berechnung der Verteilungsparameter für die Kapazität der übergeordneten Produktiveinheit herangezogen werden. Approximationen, die ähnlich wie die PERT-Approximation für Maximumvorschriften formuliert sind, erweisen sich nur als eingeschränkt tauglich. In vielen Anwendungsfällen dürften jedoch die Vorschriften zur Berechnung der Kapazität aggregierter Produktiveinheiten weniger schwierig auszuwerten sein, wenn in diesen nur eine sto-

chastisch beeinflusste Kapazität mit anderen, deterministischen Kapazitäten zu verknüpfen ist. Bei kleineren und mittleren Dienstleistungsunternehmen treten ferner oft nur wenige Aggregationsebenen auf. In diesen Fällen ist es möglich, statt der komplexen Bedingungen nach (E-6) einfachere, lineare Abhängigkeiten zwischen deterministischen Kapazitäten oder Potenzialfaktoren direkt abzubilden.

Das Grundmodell 1 und die aus ihm abgeleiteten Modelle bilden für Dienstleistungen den Mehrproduktfall ab. Prinzipiell lassen sich alle auftretenden Objektflüsse mit Hilfe der formulierten Modelle beschreiben. Bei den Produktionen des Haupttyps 1 wird den Anwendungsbedingungen entsprechend auf die Abbildung einer Termindisposition und auf die Abbildung von Ablaufregeln verzichtet. Deshalb reduzieren sich die aus den Objektflüssen gewonnenen Informationen auf Mengenverhältnisse zwischen Dienstleistungsarten und ihren Teilprozessen.

Bis auf Einzelfälle erweisen sich die Modelle des Haupttyps 1 als lösbar, sofern nicht eine große Zahl diskret variierbarer Potenzialfaktoren oder Potenzialfaktoren mit komplexer Aggregationsstruktur abgebildet werden muss. Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet stellen diese Modelle u.U. eine fruchtbare Alternative zur Verwendung einer (Prozess-)Kostenrechnung im Dienstleistungsproduktionsbereich²⁵ dar. Dieses Rechnungskonzept greift zwar ähnlich wie die hier gewählte Modellierung auf Prozesse als wertbeeinflussende Faktoren²⁶ zurück und soll ebenfalls lang- bis mittelfristige Entscheidungsfindungen unterstützen. Dabei wird im Allgemeinen eine Entscheidungsfindung anhand von Kostenvergleichen ins Auge gefasst. Neben den auftretenden rechnungssystemspezifischen Problemen²⁷ lässt die Prozesskostenrechnung jedoch eine Anbindung an ein zugrunde liegendes Planungssystem vermissen. Die Rechnungsziele der Prozesskostenrechnung korrespondieren daher nicht mit den hier gewählten Planungszielen. Insofern bleibt eine Prozesskostenrechnung für konkrete Planungsaufgaben der Dienstleistungsproduktion lediglich ein heuristisches Instrument der Entscheidungsunterstützung.

²⁵ Vgl. *Serfling/Jeiter* (1995), S. 321 ff. sowie im Ansatz kritisch *Pampel* (1996), S. 321 ff.

²⁶ Vgl. *Vikas* (1988), S. 61.

²⁷ Vgl. *Glaser* (1992), S. 282 ff.

II. Kapazitätsplanung bei terminlich grob strukturierter Dienstleistungsproduktion mit stochastischen Prozesskoeffizienten (Haupttyp 2)

1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen

Zu einem weiteren Haupttyp der Dienstleistungsproduktion (Haupttyp 2) lassen sich terminlich grob strukturierte Dienstleistungsproduktionen zusammenfassen, die im Gegensatz zum vorangehenden Haupttyp 1 in höherem Maße unsichere bzw. risikobehaftete Prozesskoeffizienten besitzen. Diese Unsicherheit lässt sich auf verschiedene Ursachen zurückführen, die eine allgemeine Standardisierung der Produktionsprozesse erschweren. Eine dieser Ursachen bildet die vergleichsweise hohe Kundenindividualität der Prozesse. Diese ist wiederum u.a. durch die Qualität (speziell: die Individualität) der externen Faktoren bestimmt. Entsprechende Probleme treten z.B. deutlich in der Schadenregulierung von Privathaftpflichtversicherern auf. In diesen Produktionen bestehen nur geringe Möglichkeiten, Schaden-Regulierungsprozesse zu standardisieren, da die Vielfalt auftretender Schadenursachen laufend zu neuen Schadenanalysen zwingt. In der Realität wird diesem Problem damit begegnet, dass nur ausgewählte Schadenfälle intensiv begutachtet werden. Neben der Qualität der sachlichen externen Faktoren spielt auch die Qualität menschlicher externer Faktoren in denjenigen Produktionen eine Rolle, an denen der Dienstleistungsabnehmer aktiv mitwirkt. Beispiele hierfür sind Ausbildungsleistungen, die auf den Wissensstand der auszubildenden Teilnehmer abgestimmt werden müssen.

Unabhängig von der Gegenständlichkeit des externen Faktors haben die Produktionen des hier behandelten Haupttyps 2 gemeinsam, dass keine detaillierte terminliche Strukturierung von Teilprozessen vorgenommen wird. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass mit Ausnahme weniger Teilprozesse die Durchführungstermine durch den Dienstleistungsproduzenten bestimmt sind und die Produktionen zu einem großen Teil nur zu diesen Terminen stattfinden. Hiervon weichen nur diejenigen Teilprozesse ab, die einer ersten, prozessauslösenden Kontaktaufnahme (z.B. einer Schadenmeldung in einer Kfz-Versicherung) bedürfen. Ferner tritt der Fall einer groben terminlichen Strukturierung ein, wenn eine detaillierte terminliche Abstimmung wegen unkalkulierbarer Verzögerungen bei der Mitwirkung externer Faktoren oder bei den Leistungen von Subunternehmern²⁸ unmöglich wird. So ist z.B. bei Schadenregulierungen zu beobachten, dass zwischen den einzelnen Teilprozessen der

²⁸ Zur Bedeutung der Ausgliederung von Produktionsprozessen vgl. *Altenburger* (1980), S. 180 f. sowie *Förderreuther* (1977), S. 85 ff.

Bearbeitung erhebliche Wartezeiten verstreichen, weil Geschädigte die Schadenbehebung hinauszögern oder Sachverständige Abgabetermine für Gutachten nicht einhalten.

Zur Modellierung der Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 2 ist die Anwendungsbedingung A.7 zu ergänzen. Der Unsicherheit der Prozesskoeffizienten wird dabei wieder in Form stochastischer Größen Rechnung getragen. Die Bestimmung entsprechender Verteilungen kann für bekannte Prozessarten auf der Basis von Vergangenheitswerten erfolgen. Für neu eingeführte Prozessarten besteht i. d. R. die Möglichkeit, auf Daten vergleichbarer Prozessarten zurückzugreifen. Im Folgenden wird der Fall behandelt, dass sich stochastische Prozesskoeffizienten hinreichend genau mit Hilfe von Normalverteilungen abbilden lassen. Die spezifizierende Ergänzung der Anwendungsbedingung A.7 lautet:

AEII.7: Den Prozessplänen lassen sich für alle Teilprozesse und Produktivseinheiten deterministische oder stochastische Prozesskoeffizienten entnehmen. Stochastische Prozesskoeffizienten sind mit jeweils bekanntem Erwartungswert und bekannter Standardabweichung normalverteilt. Sie sind ferner jeweils für beliebige Perioden und Produktivseinheiten voneinander sowie von der jeweiligen Produktionsmenge des betreffenden Teilprozesses stochastisch unabhängig.

Auf strategischer Ebene wird häufig angestrebt, die beschriebenen Prozesse nach Kundengruppen zu differenzieren, um auf diese Weise die Streuung der Inanspruchnahmen der Produktivseinheiten innerhalb einzelner Prozessarten zu reduzieren. Beispielsweise kann in der Kfz-Schadenregulierung nach leichten, mittleren und großen Schäden differenziert werden, denen jeweils unterschiedliche Bearbeitungs- bzw. Prozesspläne zugeordnet sind. Für die taktische Kapazitätsplanung ist deshalb auch bei Haupttyp 2 von einem Mehrproduktfall auszugehen.

In vielen Fällen beruht die Unsicherheit der Prozesskoeffizienten auf persönlichem Kundenkontakt während der Dienstleistungsproduktion. Zur Durchführung dieser Teilprozesse sind häufig menschliche Potenzialfaktoren (Mitarbeiter) einzusetzen, die im Gegensatz zu sachlichen Potenzialfaktoren individuell auf die Vorstellungen des Dienstleistungsabnehmers eingehen können. Der verstärkte Einsatz menschlicher Potenzialfaktoren führt sehr oft zu Problemen mit der Unsicherheit des menschlichen Leistungsvermögens. Noch mehr als in Haupttyp 1 ist es deshalb notwendig, unsichere bzw. risikobehaftete quantitative Kapazitäten zu modellieren. Damit ist die für den Haupttyp 1 gesetzte Anwendungsbedingung AEI.4 für den Haupttyp 2 zu übernehmen.²⁹ Gleiches gilt für die Anwendungsbedingung AEI.5, welche die

²⁹ Vgl. S. 106.

Existenz strategischer Vorgaben über Mindestkapazitäten beschreibt, die auf der höchsten taktischen Aggregationsebene der Produktiveinheiten zu beachten sind.

Zahlreiche Produktionen des Haupttyps 2 sind durch stochastische Einflüsse auf die Menge der nachgefragten Dienstleistungen geprägt. In der Schadenregulierung von Kfz-Versicherungen sind hierfür Naturereignisse, wie Hagel-schäden oder Wintereinbrüche, verantwortlich. Auch eine verschlechterte wirtschaftliche Situation der Kasko-Versicherten führt zu zeitversetzten Schadenregulierungen, wenn die Versicherten eine Selbstbeteiligung oder keinen vollständigen Schadenersatz zu erwarten haben. Wiederum wird davon ausgegangen, dass aus der Produktionsprogrammplanung entsprechende Prognosen über die Produktions- und Absatzmengen vorliegen, für die zielgerichtet Kapazitäten geplant werden müssen. Diese (vorläufigen) Prognosen über das Produktions- und Absatzprogramm sollen auch hier in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet werden. Im Anschluss an die Kapazitätsplanung lassen sich die Produktions- und Absatzmengen unter Berücksichtigung von Plankapazitäten konkretisieren. Beispielsweise ist in einer Haftpflichtversicherung damit zu rechnen, dass bei einer Ausweitung des Kundenkreises auch die Nachfrage nach Schadenbearbeitungen mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung in der Abteilung Schadenregulierung steigt. Für die Schadenregulierung ist dann eine neue Kapazitätsplanung auf Basis der geschätzten Nachfrageerhöhung erforderlich. Um die Produktionsprogrammplanung mit dieser Kapazitätsplanung zu koordinieren, wird das Ergebnis der Kapazitätsplanung an die Produktionsprogrammplanung übermittelt. Diese Überlegungen führen zu der Schlussfolgerung, dass die Konkretisierung der Anwendungsbedingung A.6 durch die Anwendungsbedingung AEI.6 auch für die Produktionen des Haupttyps 2 zu übernehmen ist.

Unsichere bzw. stochastische Mengenrelationen zwischen den Teilprozessen können eine weitere Quelle der Unsicherheit des Kapazitätsbedarfs darstellen. Vorläufig soll bei der Formulierung eines Grundmodells 2 davon ausgegangen werden, dass die Unsicherheit des Kapazitätsbedarfs nur auf stochastischen Prozesskoeffizienten beruht. Dementsprechend bleibt hier die Anwendungsbedingung AEI.8 als Ergänzung zur Anwendungsbedingung A.8 erhalten. Ebenso sollen gemäß Anwendungsbedingung AEI.10 Lerneffekte zunächst ausgeschlossen bleiben. Ihre Bedeutung ist zwar bei einem hohen Anteil an menschlichen Potenzialfaktoren nicht zu unterschätzen, dieses Problem wird jedoch erst später in einer Variation des Grundmodells 2 analysiert. Letztlich bleiben die Anwendungsbedingungen AEI.11 über die Ausgestaltung der Zielfunktion sowie AEI.12 über die Formulierung von Nutzenfunktionen³⁰ auch für die vorliegende Problematik relevant. Die Anwendungsbedingungen

³⁰ Vgl. S. 108 ff.

A.1 bis A.3 sowie A.9 des allgemeinen Modells können ebenfalls übernommen werden.³¹

2. Formulierung des Grundmodells 2

Die Modellierung einer terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktion mit stochastischen Prozesskoeffizienten unterscheidet sich von derjenigen mit deterministischen Prozesskoeffizienten durch die Umsetzung der Anwendungsbedingungen AEI.7 und AEII.7. Dementsprechend muss die Notation lediglich um stochastische Prozesskoeffizienten erweitert werden:

$BP_{m,n,t}$: stochastische Inanspruchnahme der Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene in der Periode t durch eine Einheit der Teilprozessart n .

Damit können für eine Periode und eine Produktiveinheit der höchsten Aggregationsebene die Kapazitätsbedarfe durch Summierung der Produkte aus der Produktionsmenge eines Teilprozesses $X_{n,t}$ und dem Prozesskoeffizienten $BP_{m,n,t}$ berechnet werden. Die Ungleichungen (E-7) beschreiben die Bedingungen, dass diese Summen jeweils kleiner oder gleich der zur Verfügung zu stehenden (verfügbaren) Kapazität $KA_{m,t}$ sein sollen.

$$(E-71) \quad \sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot X_{n,t} \leq KA_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Sowohl die für den vorangehenden Haupttyp 1 mit deterministischen Prozesskoeffizienten entwickelte Zielfunktion (E-1) als auch die Nebenbedingungen (E-2) bis (E-10) bleiben mit Ausnahme von (E-8) erhalten:

$$(E-72) \quad \max END_T;$$

$$(E-73) \quad END_t = END_{t-1} \cdot (1 + i) + EZD_t + ezp_t \quad \text{für } t = 0, \dots, T \text{ mit } END_{-1} := 0;$$

$$(E-74) \quad EZD_t = \sum_{n=1}^N ed_{n,t} \cdot X_{n,t};$$

$$(E-75) \quad ezp_t = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{t'=0}^{t+1} \sum_{t''=t}^{T+1} ep_{k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''} \quad \text{für } t = 0, \dots, T;$$

$$(E-76) \quad uq_{m,t} \geq uq_{\min m,t} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T; \text{ wobei:}$$

³¹ Vgl. S. 89 und 91.

$$uq_{m,t} = \sum_{m' \in M(m,t)} uq_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} ue_{m,k} \cdot y_{m,k,t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} ua_{m,k} \cdot z_{m,k,t',t''}$$

mit: $y_{m,k,t} \leq \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} z_{m,k,t',t''}$

und: $z_{m,k,0,0} := 0 \forall k, m$;

(E-77) bei horizontaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$KA_{m,t} = \sum_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} A_{m,k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''}$$

bei vertikaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$KA_{m,t} = \min \left\{ \min_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t}; \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \leq t; t'' \leq T+1}} A_{m,k,t',t''} \right\};$$

(E-78) $KA_{m,t} \geq ka_{\min,m,t}$

$m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T$;

(E-79) $\sum_{n=1}^{\hat{n}} b_{n,n,t} \cdot X_{n,t} = X_{n,t}$ für $n = \hat{n} + 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$;

(E-80) $X_{n,t} = R_{n,t}$ für $n = 1, \dots, \hat{n} \leq N$; $t = 1, \dots, T$.

Die Entscheidungsvariablen besitzen im Grundmodell 2 die gleichen Wertebereiche wie im Grundmodell 1.³² Gegebenenfalls sind auch hier für einen konkreten Anwendungsfall zusätzliche Bedingungen einzufügen, um technische oder andere Verknüpfungen zwischen den eingesetzten Potenzialfaktoren darzustellen. Aufgrund des allgemeinen Charakters des Grundmodells 2 wird auf eine Konkretisierung der davon betroffenen Bedingungen (D-8) verzichtet.

3. Ersatzmodelle zum Grundmodell 2

Aufgrund der modellmäßigen Ähnlichkeiten zwischen den Grundmodellen des Haupttyps 1 und 2 genügt es, bei der Formulierung von Ersatzmodellen auf die jeweiligen Änderungen gegenüber den Ersatzmodellen für den Haupttyp 1 einzugehen. Diese Änderungen betreffen ausschließlich die Ungleichungen (E-71).

Wie beim Erwartungswertmodell zum Haupttyp 1 werden in den Ungleichungen (E-71) die Zufallsvariablen durch ihre Erwartungswerte ersetzt. Liegen dabei deterministische Kapazitäten vor, sind jeweils anstelle der erwarteten Kapazität $E(KA_{m,t})$ die entsprechenden deterministischen Werte $ka_{m,t}$ zu berücksichtigen. Damit lauten die Ersatzformulierungen:

$$(E-81) \quad \sum_{n=1}^N E(BP_{m,n,t}) \cdot E(X_{n,t}) \leq E(KA_{m,t})$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Auch in einem einstufigen Chance-Constrained-Modell ist zwischen deterministischen und stochastischen Kapazitäten zu trennen. Gegenüber den Bedingungen (E-71) werden hier anstatt der stochastischen Produktionsmengen $X_{n,t}$ deterministische Planproduktionsmengen $x_{n,t}$ berücksichtigt. Auf dieser Grundlage lassen sich die folgenden Erwartungswerte und Standardabweichungen für den Kapazitätsbedarf in der Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene in Periode t berechnen:

$$(E-82) \quad E\left(\sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot x_{n,t}\right) = \sum_{n=1}^N E(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t};$$

$$(E-83) \quad \sigma\left(\sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot x_{n,t}\right) = \left(\sum_{n=1}^N \sigma^2(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t}^2\right)^{1/2}$$

Die Verteilungsparameter aus (E-82) und (E-83) bilden die Grundlage für Chance-Constrained-Formulierungen, die eine Erfüllung der stochastischen Nebenbedingungen bei der späteren Realisation der stochastischen Inanspruchnahme $BP_{m,n,t}$ mit einer Mindestwahrscheinlichkeit $\gamma_{m,t}$ sichern. Hierbei wird von der Anwendungsbedingung Gebrauch gemacht, dass diese Inanspruchnahmen normalverteilt sind. Für den Fall einer deterministischen Kapazität der Produktiveinheit m lauten die Chance-Constrained-Bedingungen:

$$(E-84) \quad P\left\{\sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot x_{n,t} \leq ka_{m,t}\right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T,$

bzw.

$$(E-85) \quad \sum_{n=1}^N E(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t} + \left(\sum_{n=1}^N \sigma^2(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t}^2 \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t}) \leq ka_{m,t} .$$

Liegen aus der Aggregation für eine Produktiveinheit hingegen stochastische Kapazitäten $KA_{m,t}$ vor, lauten die entsprechenden Chance-Constrained-Formulierungen:

$$(E-86) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot x_{n,t} \leq KA_{m,t} \right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T,$

bzw.

$$(E-87) \quad \sum_{n=1}^N E(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t} + \left(\sigma^2(KA_{m,t}) + \sum_{n=1}^N \sigma^2(BP_{m,n,t}) \cdot x_{n,t}^2 \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t}) \leq E(KA_{m,t})$$

Komplizierter als im einstufigen Fall ist für das Grundmodell 2 die mehrstufige Chance-Constrained-Formulierung der modifizierten Restriktionen. Diese Formulierung basiert auf dem Gedanken, die Verteilungen untergeordneter Teilprozesse aus den Nachfrageverteilungen der Dienstleistungen abzuleiten. Wie im Grundmodell 1 werden die Verteilungen unabhängig von möglichen Kapazitätsengpässen übergeordneter Teilprozesse berechnet. Als Nebenbedingungen (zur Ersetzung der Restriktionen (E-71)) sind folgende Bedingungen einzufügen:

$$(E-88) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot X_{n,t} \leq KA_{m,t} \right\} \geq \gamma_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $t = 1, \dots, T.$

Probleme bei der Auswertung dieser Ungleichungen bereitet neben ihrem nichtlinearen Charakter das Auftreten zweier multiplikativ verknüpfter Zufallsvariablen $BP_{m,n,t}$ und $X_{n,t}$. Zwar genügen beide Zufallsvariablen Normalverteilungen, für ihr Produkt gilt dies jedoch nicht. Dieses Problem tritt in analoger Form auch bei der Berechnung des stochastischen Umsatzes als Produkt eines normalverteilten Preises mit einer normalverteilten Absatzmenge auf.³³ Die Lösung des Problems kann in einer Approximation der Verteilung der

³³ Vgl. Jaedicke/Robichek (1964), S. 324 ff.

Produktionsmenge durch eine Normalverteilung gesucht werden, die durch die entsprechenden Parameter der Produktbildung zweier Zufallsvariablen gekennzeichnet ist. Analysen zeigen für kleine Variationskoeffizienten beider Verteilungen eine zufriedenstellende Genauigkeit der Approximation.³⁴ Im vorliegenden Fall wird die geringe Genauigkeit bei der Berechnung eines einzelnen Produkts von $BP_{m,n,t}$ und $X_{n,t}$ nach dem zentralen Grenzwertsatz durch die anschließende Summenbildung über alle relevanten Teilprozessarten gemildert. Da beide Komponenten $BP_{m,n,t}$ und $X_{n,t}$ als stochastisch unabhängig angenommen werden, kann die Varianz ihres Produkts durch die Multiplikation ihrer Varianzen approximiert³⁵ werden. Die Auswertung der Ungleichungen (E-88) kann dann in der Form

$$(E-89) \quad \sum_{n=1}^N E(BP_{m,n,t}) \cdot E(X_{n,t}) + \left(\sigma^2(KA_{m,t}) + \sum_{n=1}^N \sigma^2(BP_{m,n,t}) \cdot \sigma^2(X_{n,t}) \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_{m,t}) \leq E(KA_{m,t})$$

erfolgen. Anstatt der angeführten Approximation ist es auch möglich, die im Anhang dargestellte exakte Berechnung der Varianz des Produkts zweier Zufallsvariablen zu verwenden. Dabei ist jedoch mit erheblich komplexeren Nebenbedingungen zu rechnen, da quadrierte Erwartungswerte in die Summenbildung der zweiten Zeile von (E-89) eingehen.

4. Überblick über typenspezifische Variationen der Ersatzmodelle

a) Variationen der Nachfragestruktur

Die terminlich grob strukturierten Dienstleistungsproduktionen bei stochastischen Prozesskoeffizienten des Haupttyps 2 lassen sich unter absatzbezogenen Gesichtspunkten in ähnliche Untertypen differenzieren wie die Produktionen des Haupttyps 1. Für ihre Modellierung ergeben sich somit keine neuen Gesichtspunkte. Es wird daher an dieser Stelle auf die Modifikationen der Modelle des Haupttyps 1 verwiesen.

b) Variationen der Produktionsstruktur

Auch nach produktionsbezogenen Gesichtspunkten lassen sich für Haupttyp 2 ähnliche Untertypen wie für die Produktionen des Haupttyps 1 bilden. Auf

³⁴ Vgl. Ferrara/Hayya/Nachman (1972), S. 302 ff.

³⁵ Vgl. Anhang S. 262 f.

eine Besonderheit soll jedoch verwiesen werden, die mit der Stochastik der Prozesskoeffizienten verwandt ist. Und zwar lassen sich Produktionen beobachten, in denen die Mengenrelationen zwischen den Teilprozessen $B_{n,n;t}$ stochastisch sind. Im erwähnten Fall der Schadenregulierung einer Kfz-Haftpflichtversicherung wird zur Durchführung einer Regulierung nicht in jedem Fall ein Sachverständigengutachten eingeholt. Vielmehr wird bei einer Schadenmeldung über die Hinzuziehung eines Sachverständigen in Abhängigkeit von der erwarteten Schadenhöhe und von weiteren Kriterien im Einzelfall entschieden. Für die Leistungsgruppe der kleineren Schäden wird im Regelfall kein Sachverständiger mit einer Begutachtung betraut. Um jedoch die Richtigkeit dieser Schadenmeldungen nicht völlig außer Acht zu lassen, werden sie nach zufälliger Auswahl begutachtet. Bei der Kapazitätsplanung für hauseigene Gutachter bietet es sich an, entsprechende Nebenbedingungen zu formulieren. Anstelle der Nebenbedingungen (E-79) gelten dann die Gleichungen:

$$(E-90) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} B_{n,n;t} \cdot X_{n,t} = X_{n,t} \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Ihre Umsetzung im Erwartungswertmodell durch Berücksichtigung der erwarteten Mengenrelationen $E(B_{n,n;t})$ anstelle der Zufallsvariablen $B_{n,n;t}$ führt formal zurück zum Grundmodell 2. In einem einstufigen Chance-Constrained-Modell lassen sich die Bedingungen (E-90) ähnlich wie die Bedingungen (E-26) bzw. (E-80) fassen. Hierzu werden Wahrscheinlichkeiten $\eta_{n,t}$ dafür vorgegeben, dass die geplante Produktionsmenge $x_{n,t}$ eines untergeordneten Teilprozesses mindestens so groß ist wie die durch Dienstleistungen bzw. ihre Teilprozesse induzierte Menge der betreffenden Teilprozessart. Die entsprechenden Nebenbedingungen lauten:

$$(E-91) \quad P \left\{ \sum_{n=1}^{\hat{n}} B_{n,n;t} \cdot x_{n,t} \leq x_{n,t} \right\} \geq \eta_{n,t} \quad \text{für } n = \hat{n}+1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Voraussetzung für die Auswertung dieser Nebenbedingungen ist es, eine geeignete Verteilungsfunktion der Summen über $B_{n,n;t} \cdot x_{n,n;t}$ zu finden oder sie zu approximieren. Sofern die Summenbildung über hinreichend viele Summanden erfolgt oder normalverteilte Summanden vorliegen, kann nach dem zentralen Grenzwertsatz oder direkt aus der Faltungseigenschaft der Normalverteilung von einer Normalverteilung der betreffenden Summen ausgegangen werden. Als Konsequenz ist dann eine nichtlineare Nebenbedingung in das Modell aufzunehmen.

Eine mehrstufige Chance-Constrained-Formulierung lässt sich für diese Nebenbedingungen ebenfalls treffen. Bei der jeweiligen Berechnung der Verteilung der Produktionsmenge eines untergeordneten Teilprozesses sind wiederum für die einzelnen Summanden die Verteilungen des Produktes zweier Zufallsvariablen $B_{n,n;t} \cdot X_{n,n;t}$ zu ermitteln bzw. zu approximieren. Auf die hie-

raus resultierenden Probleme wurde bereits im Zusammenhang mit den Bedingungen (E-88) eingegangen.

5. Anwendungsbeispiel zum Grundmodell 2

Zu den Dienstleistungsproduktionen, die durch den Haupttyp 2 erfasst werden, zählt u.a. die bereits erwähnte Schadenbearbeitung einer Kfz-Versicherung.³⁶ Für sie wird nachfolgend anhand des Grundmodells 2 eine Kapazitätsplanung beschrieben, die auf anonymisierten Echtdateien beruht. Als Dienstleistungen, die durch eine Schadenbearbeitung erbracht werden, sind Prozesse zu verstehen, die zur Erfassung und Regulierung aufgetretener Schäden eines Anspruchstellers führen. In der Kasko-Sparte sind die Anspruchsteller eigene Versicherungskunden, in der Haftpflicht-Sparte sind es durch Versicherungskunden geschädigte Personen. Neben den Prozessen der eigentlichen Schadenbearbeitung werden weitere Prozesse des Versands von Formularen, der Kundenbestandsführung sowie der Schulung und der Fachaufsicht eigener Mitarbeiter durchgeführt.

Die Prozesse der Schadenbearbeitung durchlaufen die beiden Produktivitäten (Abteilungen) „Serviceabteilung“ und „Schadenregulierung“, wie in Abbildung 2 dargestellt. Zunächst gehen Schadenfälle in der „Serviceabteilung“ per Fax, Telefon oder Post ein und werden per Computer erfasst. Fallabhängig werden dort bereits Mietwagen kooperierender Unternehmen und Sachverständige vermittelt. Nach der Schadenhöhe werden dann Spezialschäden von Normalschäden getrennt. Erstere werden weiter in Kasko- und Haftpflichtfälle unterschieden. Hat der Anspruchsteller bereits eigene Sachverständige oder Anwälte hinzugezogen, gilt der betreffende Schaden unabhängig von der Schadenhöhe als Spezialschaden, da bei seiner Regulierung mit einem erheblich höheren Arbeitseinsatz und mit der Inanspruchnahme weiterer Sachverständiger zu rechnen ist. Neben den genannten Schäden existiert noch die Gruppe der Totalentwendungen (Fahrzeugdiebstähle). Diese Schäden sind durch einen hohen Arbeitsaufwand im Zusammenhang mit der jeweiligen Fallaufklärung gekennzeichnet. Letztlich besteht bei jeder Schadenbearbeitung die Möglichkeit, dass ein versuchter Versicherungsbetrug vorliegt. Entsprechende Fälle führen ebenfalls zu erhöhtem Arbeitseinsatz und werden deshalb von Normal- und Spezialschäden ohne vermuteten betrügerischen Hintergrund getrennt. Neben den eigentlichen Schadenbearbeitungen werden, wie oben beschrieben, weitere Prozesse durchgeführt. Hierzu gehören auch stichprobenar-

³⁶ Allgemein zur Produktion in Versicherungen, vgl. *Farny* (1979), Sp. 2139 ff.

tig veranlasste Gutachten von Sachverständigen (SV), die kleinere Normal-
schäden zu überprüfen haben.

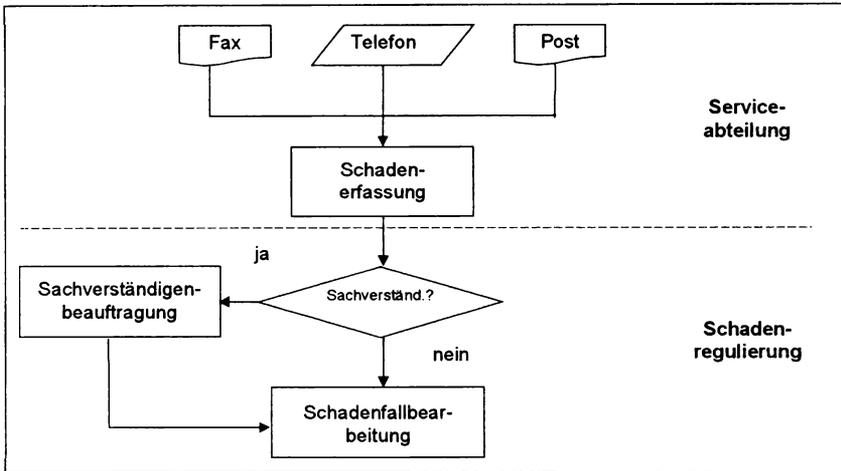


Abbildung 2: Prozessstruktur der Schadenbearbeitung einer Kfz-Versicherung

Nach dem Teilprozess der Schadenerfassung in der Serviceabteilung werden alle Schadenfälle an die Abteilung Schadenregulierung weitergeleitet. Diese Produktiveinheit führt alle Teilprozesse aus, die zur Regulierung der gemeldeten Schäden führen. Eine Sonderaufgabe nehmen hier die Gruppenleiter wahr. Zum einen obliegen ihnen die Aufgaben bzw. Teilprozesse der Arbeitseinteilung und der Führung der Gruppenmitglieder sowie der Schulung und der Fachaufsicht. Zum anderen nehmen Gruppenleiter die gleichen Aufgaben der Schadenregulierung wie ihre Mitarbeiter wahr. Zu Modellierungszwecken werden die Gruppenleiter zu einer eigenen Produktiveinheit „Gruppenleitung“ zusammengefasst. In allen drei Produktiveinheiten ($m = 1, \dots, 3$) treten jeweils die Potenzialfaktorarten „Arbeitsplatzausstattung“ und „Mitarbeiter“ auf. Die insgesamt sechs Potenzialfaktorarten ($k = 1, \dots, 6$) werden dabei den Produktiveinheiten mit aufsteigender Indexnummerierung ($m = 1: k = 1, 2; \text{etc.}$) zugewiesen. Da davon ausgegangen werden kann, dass die Kapazität einer Arbeitsplatzausstattung deterministisch ist und die höchste Realisation einer stochastischen menschlichen Kapazität übersteigt, genügt es, die Kapazität einer Produktiveinheit aus der Gesamtheit der Kapazitäten der dort beschäftigten Mitarbeiter zu bestimmen. Auf eine isolierte Betrachtung der Kapazität der Arbeitsplatzausstattungen ($k = 1, 3, 5$) wird verzichtet. Stattdessen

wird die Anforderung modelliert, dass jeder Mitarbeiter über einen eigenen Arbeitsplatz mit entsprechender Ausstattung verfügen muss. Auf eine Modellierung der Abteilungsleitungen für die Serviceabteilung und die Schadenregulierung lässt sich ebenfalls verzichten. Zwei entsprechende Führungskräfte werden unabhängig von der Kapazitätsplanung in diesen beiden Abteilungen beschäftigt.

Die Nachfrage nach Schadenregulierungen ist im Zeitablauf größeren stochastischen Schwankungen ausgesetzt. Insbesondere treten wetterbedingt bei Hagelschauern oder Eiseinbrüchen überdurchschnittlich viele Schadenfälle auf. Zusätzliche Prognoseprobleme bereitet das unsichere Wissen über Versicherungsguppen, die in der Zukunft unter Vertrag genommen werden. Die Inanspruchnahmen der Kapazitäten durch die unterschiedlichen Teilprozesse sind ebenfalls stochastischen Schwankungen unterworfen. Dies ist im Wesentlichen auf die unterschiedlich intensive Mitwirkung der Anspruchsteller und auf die teilweise unklaren Rechtsverhältnisse zurückzuführen. Auch unregelmäßig erhobene Einsprüche gegen Schadenregulierungen bewirken erhebliche Wiedereinarbeitungszeiten und erhöhen die jeweilige Kapazitätsinanspruchnahme. Tabelle 1 enthält die Erwartungswerte E und Standardabweichungen σ der Prozesskoeffizienten BP_n , sowie der nachgefragten Leistungsmengen R_n , die für einen Planungszeitraum von 3 Perioden gelten. Lediglich die Zahl der Schulungsveranstaltungen ist deterministisch.

Für alle drei Produktiveinheiten sind die jeweils bereitzustellenden Potenzialfaktoren zu planen. Die Bereitstellung neuer Mitarbeiter und ihre spezielle Schulung für den Bereich der Schadenbearbeitung erweist sich als schwierig. Das Versicherungsunternehmen ist deshalb bestrebt, seine Mitarbeiter je nach Qualifikationskategorie bzw. Potenzialfaktorart über einen jeweiligen Mindestzeitraum hinweg zu halten. Mitarbeiter der Serviceabteilung sollen mindestens zwei Jahre, Mitarbeiter der Schadenregulierung mindestens drei Jahre und Gruppenleiter mindestens vier Jahre ununterbrochen beschäftigt werden. Für alle Ausstattungen gilt eine Mindestnutzungsdauer von vier Perioden. Zu Beginn des Planungszeitraums liegt ein Anfangsbestand an Potenzialfaktoren $z_{k,anf}$ vor. Aus Vereinfachungsgründen wird im gewählten Beispiel dessen Altersstruktur bzw. die Betriebszugehörigkeit der einzelnen Potenzialfaktoren nicht differenziert. Vielmehr wird unterstellt, dass sich alle im Anfangsbestand erfassten Potenzialfaktoren bereits genau eine Periode im Einsatz befinden. Alle menschlichen Potenzialfaktoren ($k = 2, 4, 6$) besitzen stochastische Kapazitäten $A_{m,k}$. Die Kapazitäten der Arbeitsplatzausstattungen sind aus den oben genannten Gründen nicht relevant, lediglich ihr Anfangsbestand ist in Tabelle 2 enthalten. Zusätzlich sind für alle Produktiveinheiten strategische Vorgaben für einen Mindestendbestand $ka_{\min,m,4}$ vermerkt.

Tabelle 1

Prozessbezogene Daten

Produktiv- einheit:	Service $m = 1$	Schad.- regul. $m = 2$	Grupp- leitung $m = 3$	Periode 01	Periode 02	Periode 03
Prozess [Index, Bezeichnung]	BP_n			$R_{n,1}$	$R_{n,2}$	$R_{n,3}$
	[$E \sigma$, Teilprozessindex]			[$E \sigma$]		
1 Formuldienst 1	0,2 0,02	–	–	17000 2550	17000 2550	17000 2500
2 Bestandsdienst 2	0,2 0,01	–	–	28000 2800	29000 2900	30000 3000
3 Normalschaden 12	0,3 0,15	1,2 0,15	–	58000 8500	60000 9000	63000 11000
4 SV Stich- proben 4	–	0,4 0,04	–	2300 100	2300 100	2400 100
5 Haftpflicht spe- zial 13	0,4 0,25	3,4 1,0	–	4400 660	4400 660	4500 670
6 Kasko spezial 14	0,4 0,2	2,4 0,6	–	1000 150	1200 180	1400 210
7 Total- entwendung 15	0,3 0,1	8,3 1,8	–	400 90	380 90	350 80
8 Betrug 8	–	8,1 2,0	–	70 14	70 14	70 14
9 Schulung 9	–	–	60 6,0	25 -	25 -	25 -
10 Fachaufsicht 10	–	–	0,3 0,1	7000 700	7000 700	7000 700
11 Gruppenlei- tung/Ausbildung 11	–	–	2,5 0,8	1600 25	1600 25	1600 25

Aufgrund der Mindestbeschäftigungs- und -nutzungsdauern ist die Zahl der Variablen $z_{m,k,t}$ eingeschränkt. Für die zulässigen Indexkombinationen enthält Tabelle 3 Auszahlungsreihen, die als negative Einzahlungsüberschussreihen – $ep_{k,t,t}$ zu verstehen sind. Einzahlungsüberschüsse, die sich den einzelnen Dienstleistungen direkt zurechnen lassen, sind im Fall der Schadenbearbeitung vernachlässigbar gering. Auf einen Ausweis der Einzahlungsüberschüsse $ed_{n,t}$ kann daher verzichtet werden.

Tabelle 2

Kapazitäts- und Potenzialfaktorbestandsdaten

m	$ka_{\min,m,4}$	k	$A_{m,k} [E \sigma]$, sofern stochastisch	$z_{k,anf}$
1	33000	1	(4950)	20
		2	1650 90	20
2	89100	3	(4950)	54
		4	1650 70	54
3	15300	5	(4950)	9
		6	1700 70	9

Zur Formulierung eines Planungs- bzw. Entscheidungsmodells wird für alle drei Perioden ein Kalkulationszinssatz von 10% veranschlagt. Als Ersatz für das Grundmodell 2 dient ein einstufiges Chance-Constrained-Modell. Für die darin enthaltenen Chance-Constrained-Formulierungen sind geeignete Anspruchsniveaus bzw. Wahrscheinlichkeiten anzugeben: Die Wahrscheinlichkeiten für die Einhaltung der Mindestkapazität $\alpha_{m,t}$ haben einen einheitlichen Wert von 90%, die Wahrscheinlichkeiten für die Erfüllung der Nachfragen $\beta_{n,t}$ einen Wert von 50% und die Wahrscheinlichkeiten genügend hoher Kapazitäten $\gamma_{m,t}$ einen Wert von 90%. Als Verteilungsfunktionen der Kapazitäten, Prozesskoeffizienten und Nachfragen werden jeweils Normalverteilungen unterstellt, wobei gegebenenfalls auch auf andere Verteilungsarten, z.B. für die Nachfragemengen, zurückgegriffen werden kann.

Zur Modellierung der Schadenbearbeitung muss Grundmodell 2 nur geringfügig angepasst werden. Auch hier wird die Zielsetzung der Endwertmaximierung nach (E-72) verfolgt, zu der die Relationen (E-73) bis (E-75) auszuwerten sind. Auf die Relationen zur Wahrung minimaler Strukturqualitäten (E-76) wird hier verzichtet. Der Kundenkontakt besitzt nämlich im vorliegenden Fall eine so geringe Intensität, dass kein Anspruchsteller Nutzen aus der Bereitstellung einer bestimmten strukturellen Qualität ziehen könnte. Die Notwendigkeit, einen entsprechenden Kundennutzen abzuschätzen und bei der Kapazitätsplanung zu berücksichtigen, entfällt daher.

Tabelle 3

Negative Einzahlungsüberschussreihen $-ep_{k,t,t''}$

m,k	t',t''	$t = 0$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	m,k	t',t''	$t = 0$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	
1,1	0,3	-	20	20	19	1,2	0,1	-	85	-	-	
	0,4	-	20	20	20		0,2	-	80	85	-	
	1,4	15	20	20	20		0,3	-	80	80	85	
	2,4	-	15	20	20		0,4	-	80	80	80	
	3,4	-	-	15	20		1,2	10	80	85	-	
	4,4	-	-	-	15		1,3	10	80	80	85	
							1,4	10	80	80	80	
							2,3	-	10	80	85	
							2,4	-	10	80	80	
							3,4	-	-	10	80	
							4,4	-	-	-	10	
2,3	0,3	-	20	20	19		2,4	0,2	-	100	110	-
	0,4	-	20	20	20			0,3	-	100	100	110
	1,4	15	20	20	20			0,4	-	100	100	100
	2,4	-	15	20	20	1,3		20	100	100	110	
	3,4	-	-	15	20	1,4		20	100	100	100	
	4,4	-	-	-	15	2,4		-	20	100	100	
						3,4		-	-	20	100	
						4,4		-	-	-	20	
3,5	0,3	-	20	20	19	3,6		0,4	-	120	120	120
	0,4	-	20	20	20			1,4	25	120	120	120
	1,4	15	20	20	20		2,4	-	25	120	120	
	2,4	-	15	20	20		3,4	-	-	25	120	
	3,4	-	-	15	20		4,4	-	-	-	25	
	4,4	-	-	-	15							

Die Relationen (E-77) zur Berechnung der Kapazität horizontal und vertikal aggregierter Produktiveinheiten vereinfachen sich durch die zusätzliche Anforderung, dass jeder Mitarbeiter über genau eine Arbeitsplatzausstattung verfügen muss. Zur Modellierung dieser Anforderung werden folgende Restriktionen in das Grundmodell 2 integriert:

$$\sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} z_{m,2m-1,t',t''} \geq \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} z_{m,2m,t',t''} .$$

Um die Kapazitäten der Produktiveinheiten 1,2 und 3 zu berechnen, genügt es dann, die Beziehungen

$$KA_{m,t} = \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} A_{m,2m,t',t,t''} \cdot z_{m,2m,t',t''}$$

auszuwerten. Ferner gelten die Prozessmengenrelationen nach (E-27).

Als Ersatzmodell für das stochastische Problem dient ein einstufiges Chance-Constrained-Modell, bei dessen Konzipierung auf Formulierungen nach (E-82) bis (E-87) zurückgegriffen wird. Für die Schadenbearbeitung interessieren in erster Linie die Ersatzformulierungen der Kapazitätsbeschränkungen. Sie lauten:

$$\sum_{n=1,2,12}^{15} E(BP_n) \cdot x_{n,t} + \left(\sigma^2(KA_{1,t}) + \sum_{n=1,2,12}^{15} \sigma^2(BP_n) \cdot x_{n,t}^2 \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_1) \leq E(KA_{1,t})$$

$$\sum_{n=3}^{11} E(BP_n) \cdot x_{n,t} + \left(\sigma^2(KA_{2,t}) + \sigma^2(KA_{3,t}) + \sum_{n=3}^{11} \sigma^2(BP_n) \cdot x_{n,t}^2 \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_2) \leq E(KA_{2,t}) + E(KA_{3,t})$$

$$\sum_{n=9}^{11} E(BP_n) \cdot x_{n,t} + \left(\sigma^2(KA_{3,t}) + \sum_{n=9}^{11} \sigma^2(BP_n) \cdot x_{n,t}^2 \right)^{1/2} \cdot \Phi^{-1}(\gamma_3) \leq E(KA_{3,t}) .$$

Die zweite Gruppe der oben formulierten Bedingungen zeigt, dass zur Schadenregulierung die Kapazitäten der Gruppenleiter mit beansprucht werden können. Hier liegt eine Abwandlung der ursprünglichen Bedingungen (E-7) und (E-78) vor, in denen jeweils nur die Kapazität einer Produktiveinheit zur Deckung des Kapazitätsbedarfs der Teilprozesse eingesetzt wird. Da im Fallbeispiel die Summe der zur Verfügung gestellten Kapazitäten der Produktiveinheiten 2 und 3 zur Schadenbearbeitung herangezogen wird, erübrigt sich die Bildung einer aggregierten Produktiveinheit, die nach (E-7) und (E-78) zu berücksichtigen wäre.

Das beschriebene Chance-Constrained-Modell kann unter der Annahme stetiger Variablen für die Potenzialfaktoren in kurzer Zeit als nichtlineares Problem gelöst werden. Die Annahme stetig variierbarer Potenzialfaktoren ist im gewählten Fallbeispiel nicht unrealistisch, da im Versicherungsunterneh-

men die Möglichkeit besteht, auch Teilzeitkräfte für die Schadenregulierung einzustellen.

Die Lösung des stetigen Problems mit Hilfe der Standardsoftware „Lingo“ empfiehlt, in der Serviceabteilung ($m = 1$) alle 20 Mitarbeiter aus dem Zeitraum vor Planungsbeginn zu halten und zu Beginn der Perioden 1 (2 bzw. 3) um 1,82 (0,67 bzw. 0,95) Mitarbeiter aufzustocken. Diese erhöhte Mitarbeiterzahl sollte auch über das Ende des Planungszeitraums hinaus beschäftigt werden. Zu den gleichen Zeitpunkten sollten für die Mitarbeiter entsprechende Arbeitsplatzausstattungen angeschafft werden. In diesem Punkt ist jedoch die Lösung des stetigen Problems unrealistisch, weil Arbeitsplätze nur in ganzzahligen Quantitäten bereitgestellt werden können.

In der Schadenregulierung ($m = 2$) wird ebenfalls der Anfangspersonalbestand von 54 Mitarbeitern beibehalten. Zu Beginn der Perioden 1 (2 bzw. 3) ist er um 1,88 (1,51 bzw. 2,36) Mitarbeiter aufzustocken, wobei wiederum bis zum Ende des Planungszeitraums kein Mitarbeiter freigesetzt wird. Als Gruppenleiter ($m = 3$) sind die zu Planungsbeginn vorhandenen 9 Mitarbeiter beizubehalten. Sie sind zu Beginn der Perioden 1 (2 bzw. 3) um 0,31 (0,25 bzw. 0,39) Mitarbeiter zu ergänzen. Zeitgleich mit den Einstellungen der Mitarbeiter in der Schadenregulierung und mit den Einstellungen von Gruppenleitern sind entsprechende Arbeitsplatzausstattungen bereitzustellen. Als Zielfunktionswert ergibt sich ein Endwert von -35.156,68 Geldeinheiten (GE).

Sofern nur Vollzeitbeschäftigte beschäftigt werden können, erfasst das Chance-Constrained-Modell ein gemischt-ganzzahliges, nichtlineares Problem. Eine Berechnung der Lösung mit Hilfe der Standardsoftware Lingo ist im vorliegenden Fall möglich. Sie führt zur einem lokalen Optimum, das auch nach einer Nachoptimierung nicht mit Sicherheit einem globalen Optimum entspricht. Diese Entsprechung wird jedoch dadurch bestärkt, dass nach dem Beschreiten unterschiedlicher Lösungswege gleiche Ergebnisse aufgetreten sind.

Nach der Lösung des ganzzahligen Kapazitätsplanungsproblems empfiehlt es sich, in der Serviceabteilung ($m = 1$) alle 20 vor Planungsbeginn beschäftigten Mitarbeiter über das Ende des Planungszeitraums hinaus zu halten und diesen Personalbestand zu Beginn der Periode 1 um 2 sowie zu Beginn der Perioden 2 und 3 jeweils um 1 Mitarbeiter aufzustocken. Alle neu eingestellten Mitarbeiter sind über das Ende des Planungszeitraums hinaus zu beschäftigen. Die Zahl der Arbeitsplatzausstattungen ist zeitgleich und in gleicher Höhe aufzustocken. In der Schadenregulierung ($m = 2$) muss der Anfangsbestand von 54 Mitarbeitern ebenfalls über das Ende des Planungszeitraums hinaus gehalten werden. Die Mitarbeiterzahl ist hier zu Beginn der Periode 1 um 2, zu Beginn der Periode 2 um 1 und zu Beginn der Periode 3 um weitere 3 Mitarbeiter aufzustocken. Gleichzeitig müssen in entsprechendem Umfang die Arbeitsplatzausstattungen ergänzt werden. In der Gruppenleitung ($m = 3$) ist

der Anfangsbestand von 9 Gruppenleitern ebenfalls über das Ende des Planungszeitraums hinaus zu halten. Zusätzlich sollte zu Beginn der Periode 1 ein weiterer Gruppenleiter beschäftigt werden, der auch über das Ende des Planungszeitraums hinaus tätig ist. In den Perioden 2 und 3 sind keine zusätzlichen Gruppenleiter erforderlich. Wiederum muss zeitgleich und in gleicher Zahl für Arbeitsplatzausstattungen gesorgt werden. Weitere Einstellungen sind in keiner Produktiveinheit vorzunehmen. Als Zielfunktionswert der ganzzahligen Lösung ergibt sich ein Endwert von $-35.509,76$ GE. Zu bemerken ist, dass dieser nur um $1,004\%$ ($\approx 353,08$ GE) niedriger ist als bei der Lösung des korrespondierenden stetigen Problems. Ein Vergleich der beiden Lösungen lässt zusätzlich erkennen, dass die Einstellungstermine der Mitarbeiter sowie die zugehörigen Beschäftigungsdauern nach beiden Lösungen übereinstimmen. Lediglich die Zahl der neu einzustellenden Mitarbeiter differiert schwach, bedingt durch die Ganzzahligkeitsanforderung.

6. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung

Wie die Produktionen des Haupttyps 1 sind die Produktionen, die im Haupttyp 2 zusammengefasst sind, durch größere Entscheidungsspielräume sowie einen geringen Bedarf an einer genauen Berücksichtigung der operativen Termindisposition gekennzeichnet. Gleichfalls weisen die Prozesse in beiden Dienstleistungsproduktionen hohe Wiederholungsraten auf. Neben Unsicherheiten in Bezug auf das Absatzprogramm und die Höhe der verfügbaren Kapazitäten zeichnen sie sich zusätzlich durch unsichere Prozesskoeffizienten aus. Als Gründe dieser Unsicherheit lassen sich lückenhafte Kenntnisse über die Qualität sachlicher externer Faktoren sowie über die Mitwirkung menschlicher externer Faktoren feststellen. Daher kann der Dienstleistungsproduzent i.d.R. keine Routineprozesse ohne kundenindividuelle Anpassung durchführen. Vielmehr ist er gezwungen, jeden einzelnen Prozess auf die aktuellen Gegebenheiten und Zielvorstellungen eines Dienstleistungsabnehmers abzustimmen.

Das Grundmodell 2 der taktischen Kapazitätsplanung weist Ähnlichkeiten mit dem Grundmodell 1 auf, sodass sich bei der Diskussion der Modellierungsmöglichkeiten auf das Grundmodell 1 und die aus ihm abgeleiteten Modelle verweisen lässt. Das Gleiche gilt für die Aussagen über die Einordnung des Grundmodells in ein Gesamtplanungssystem. Deutliche Unterschiede ergeben sich jedoch bei einer genaueren Analyse der nichtlinearen Nebenbedingungen, welche die Lösbarkeit eines Modells nachhaltig beeinflussen. Auch im Grundmodell 2 wird davon ausgegangen, dass sich alle Unsicherheiten durch stochastische Größen beschreiben lassen. Bei der Berücksichtigung stochastischer Prozesskoeffizienten treten in den Erwartungswertmodellen, wie sie hier eingeführt werden, keine zusätzlichen Probleme auf. Bereits bei ein-

stufigen Chance-Constrained-Modellen führt die Umsetzung der Nebenbedingungen (E-71) zu nichtlinearen Bedingungen (E-85) und (E-87). Entsprechendes gilt auch für die mehrstufige Formulierung. Bei der Berechnung einer stetigen Lösung des angeführten Beispiels ergeben sich unter Anwendung des Standard-Solvers Lingo rechnerabhängig Rechenzeiten im Sekundenbereich. Ein völlig anderes Bild ergibt sich, wenn die Potenzialfaktoren nur diskret variiert werden können. In diesem Fall treten relativ lange Rechenzeiten auf, welche die Lösbarkeit und Praktikabilität des Modells infrage stellen. Im Zusammenhang mit der mehrstufigen Formulierung eines Chance-Constrained-Modells tritt ferner das Problem der Verteilungsapproximation des Produkts zweier normalverteilter Größen $BP_{m,n,t}$ und $X_{n,t}$ auf. Für kleine Variationskoeffizienten beider Größen lässt sich die dargestellte Approximation durch eine Normalverteilung akzeptieren. Auch bei einer großen Zahl von Teilprozessen, über welche die anschließende Summierung dieser Produkte erfolgt, kann diese Approximationsform bei geringfügig höheren Variationskoeffizienten aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes als zufriedenstellend angesehen werden. Im Anwendungsfall sind ferner die Approximationen der Standardabweichungen kritisch zu überprüfen.

Anhand des Anwendungsbeispiels wird die Frage nach der Zurechenbarkeit relevanter Einzahlungsüberschüsse auf die Entscheidungsvariablen, die bereits für das Grundmodell 1 aufgeworfen wurde, erneut deutlich. Kapazitätsentscheidungen, die über die Bereitstellung von Potenzialfaktoren in der Serviceabteilung sowie in der Schadenregulierung zu treffen sind, beeinflussen auch die Kapazitätsanspruchnahme und Kapazitätsplanung zentraler Einrichtungen des Unternehmens. Insbesondere sind Auswirkungen auf die zentrale Datenverarbeitung und das Personalwesen zu berücksichtigen. Die Kapazitätsplanung dieser zentralen Einrichtungen ist darüber hinaus abhängig von Kapazitätsentscheidungen in weiteren Bereichen, z.B. in anderen Versicherungssparten und Bestandsabteilungen. Um Änderungen von Einzahlungsüberschüssen dieser Bereiche durch Kapazitätsentscheidungen für die Schadenbearbeitung zu prognostizieren, sind daher bestimmte Annahmen über die Auswirkungen von Kapazitätsentscheidungen auf andere Bereiche zu treffen. Mit diesen Annahmen wird das ursprünglich simultan zu lösende Problem der Kapazitätsplanung aufgespaltet und partiell gelöst. Die tatsächliche Zahlungswirksamkeit der ausgegrenzten Entscheidungsvariablen dieser Bereiche lässt sich nur näherungsweise erfassen. Bei den Prognosewerten der Einzahlungsüberschüsse, die in anderen Bereichen (wie der Datenverarbeitung) durch die Entscheidung in der Serviceabteilung oder in der Schadenregulierung tangiert werden, handelt es sich dann streng genommen um Kosten und nicht um Zahlungen.

Das behandelte Anwendungsbeispiel deutet für die Serviceabteilung noch eine besondere Fragestellung an. Andere Versicherungen führen nämlich diese

Abteilung als reines Call-Center, das nur telefonisch zu erreichen ist und sämtliche weiteren Teilprozesse der Bearbeitung an nachgelagerte Abteilungen abtritt. Für diese Call-Center ist eine genaue terminliche Abstimmung der einzelnen Durchführungen in der Art erforderlich, dass jeweils ein Telefonat abgeschlossen sein muss, bevor ein neues angenommen werden kann. Ein Ausgleich von Stillstandzeiten durch andere Tätigkeiten (z.B. die nicht zeitpunktgebundene Bearbeitung von Briefen oder Faxen) entfällt. Bei dieser Organisation der Serviceabteilung ist aufgrund der präzisen terminlichen Abstimmung der Prozesse von einer terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktion auszugehen. Damit unterstreicht das Beispiel zugleich die Notwendigkeit, die taktische Kapazitätsplanung typengerecht nach Bereichen zu differenzieren. Ferner verdeutlicht das Beispiel die Bedeutung von Subunternehmen und Netzwerken für die Dienstleistungsproduktion. Zum einen ist die Serviceabteilung bestrebt, Anspruchsteller an Vertragswerkstätten weiterzupfählen und ihnen Leihwagen von Vertragspartnern zu vermitteln. Je nach Bedarfsfall werden zum anderen durch die Schadenregulierung externe Rechtsanwälte und Sachverständige beauftragt.

Im Sinne des allgemeinen Modells ist auch das Grundmodell 2 für den Mehrproduktfall konzipiert. Dieses Merkmal gewinnt hier eine größere Bedeutung als beim Grundmodell 1. In der Prozessplanung zu Haupttyp 2 wird nämlich vielfach versucht, die Heterogenität innerhalb der Prozess- bzw. Dienstleistungsarten zu reduzieren, die sich in hohen Standardabweichungen der Prozesskoeffizienten äußert. Als Maßnahme werden einzelne Dienstleistungsarten u.a. nach Kundengruppen differenziert. Für die Anwendung des Grundmodells 2 und seiner abgeleiteten Modelle ist im Fall dieser Differenzierung mit einer größeren Anzahl unterschiedlicher Prozessarten zu rechnen. Innerhalb einer Prozessart treten dann jedoch geringere Schwankungen der Prozesskoeffizienten auf.

Auch saisonale Schwankungen des Absatzprogramms sind für das Grundmodell 2 von Bedeutung. Da gegenüber dem Grundmodell 1 bei den Ersatzmodellen des Grundmodells 2 verstärkt nichtlineare Bedingungen auftreten, ist bei einer Zunahme der Variablenzahl, bedingt durch eine steigende Zahl von Teilperioden, mit einer zusätzlichen Erhöhung der Komplexität zu rechnen. Insbesondere bei der Berücksichtigung von Lerneffekten dürften Komplexitätsprobleme der Anwendung des Grundmodells 2 entgegenstehen.

F. Modellentwicklungen zur taktischen Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion

I. Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion mit hoher Wiederholungsrate der Prozesse (Haupttyp 3)

1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen

Zahlreiche Dienstleistungsproduktionen sind dadurch charakterisiert, dass ihre Teilprozesse bei hoher Wiederholungsrate erst nach Eintreffen eines Kundenauftrags begonnen werden können und hieraus eine Einengung des Entscheidungsspielraums der operativen Termindisposition folgt. Diese Wirkung wird auch durch die Notwendigkeit verursacht, starre Ablaufregeln bei der Dienstleistungsproduktion einhalten zu müssen. Die verbleibenden Entscheidungsspielräume werden in vielen Fällen durch eine detaillierte Termindisposition¹ genutzt, deren Ergebnis in vergrößerte Form auf der taktischen Ebene zu antizipieren ist. Die Zwecksetzungen einer fein strukturierten Termindisposition sind auf operativer Ebene das Erreichen möglichst hoher Kapazitätsauslastungen kostenintensiver Potenzialfaktoren sowie die Realisation kurzer Durchlaufzeiten der mitwirkenden Dienstleistungsabnehmer. Auch die Kontinuität der Prozesse (z.B. bei der Herstellung von Speisen in einer Großküche) kann als Grund für geringe Entscheidungsspielräume und deshalb für eine detaillierte Termindisposition auftreten. Eine detaillierte Termindisposition wird z.B. im Pflegebereich von Krankenhäusern auf Wochenbasis durchgeführt. Im Operationsbereich werden Maßnahmen der Termindisposition sogar bis hin zu einer Feinterminierung auf Tagesbasis angewendet. In anderen Dienstleistungsproduktionen erfolgt eine terminliche Abstimmung einzelner Teilprozesse durch Vorgabe detaillierter Ablaufregeln. Dies gilt insbesondere dann, wenn wesentliche Teilprozesse in Anwesenheit und unter Mitwirkung des Dienstleistungsabnehmers vollzogen werden. Diese Teilprozesse sind in vielen Fällen zusätzlich dadurch gekennzeichnet, dass sie nicht nach freier Entscheidung des Dienstleistungsproduzenten unterbrochen werden können. Beispiele für diese fein strukturierten Dienstleistungsproduktionen stellen Schalterabfertigungen auf Bahnhöfen oder telefonische Auftragsdurchführun-

¹ Vgl. *Schlüchtermann/Sibbel* (1999), S. 65.

gen sowie Abwicklungen von Online-Transaktionen in Banken dar. Für Kliniken lassen sich hierzu Notaufnahmen und Diagnosebereiche als Beispiele anführen.

In Dienstleistungsproduktionen mit feiner terminlicher Strukturierung existieren auch Teilprozesse, an denen Dienstleistungsabnehmer insofern intensiv mitwirken, als sie abnehmerspezifische Produktionsfaktoren in die Produktion einbringen und in der Lage sind, den Vollzug der Produktion in größeren Teilen mitzugestalten und zu bewerten. In Fällen von Dienstleistungsproduktionen, die z.B. im Schalterverkehr durchgeführt werden, wirken die Dienstleistungsabnehmer in eigener Person mit. Für den Dienstleistungsproduzenten bedeutet dies, dass er seine Produktion auf die Abnehmeranforderungen in Bezug auf die Länge der Warte- und Durchlaufzeiten anpassen muss. Die intensive Mitwirkung der Dienstleistungsabnehmer an der Produktion hat ferner abnehmerspezifisch schwankende Arbeitsinhalte zur Folge. Dafür lassen sich jedoch i.d.R. mehr oder weniger standardisierte Prozesspläne anwenden. Eine hohe Standardisierung wird beispielsweise bei Bankgeschäften erreicht. Dagegen sind in den bereits angesprochenen klinischen Bereichen, in Steuerberatungspraxen oder in Reisebüros neben Routineprozessen auch individuelle Prozesse mit sehr differenzierten (fallabhängigen) Inhalten feststellbar.

Die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 sind ferner durch eine hohe Wiederholungsrate gleichartiger Aufträge charakterisiert. Dabei besitzen Dienstleistungen ein und derselben Art Prozesspläne, die lediglich durch kleinere Unterschiede der Prozessinhalte und durch schwankende Durchführungszeiten gekennzeichnet sind. Es ist ferner zu beobachten, dass diese Prozesspläne aufgrund der Kundenindividualität der Dienstleistungen keine festen Abläufe der Teilprozesse determinieren. Z.B. ergibt sich bei der Vermittlung von Pauschalreisen in vielen, jedoch nicht allen Fällen, dass eine zusätzliche Bahn- oder Flugverbindung vermittelt werden muss. Die Durchführung bestimmter Teilprozesse einer Dienstleistung kann in diesen Fällen nur mit einer bestimmten Häufigkeit angegeben werden. Damit ergeben sich für die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 ähnliche Quellen für Risiken wie Haupttyp 2. Diese Risiken betreffen die Nachfragemengen, unsichere Prozesskoeffizienten sowie Prozesspläne mit variierenden Abläufen. In einigen Fällen personalintensiver Dienstleistungsproduktionen ist auch mit risikobehafteten quantitativen Kapazitäten der Produktiveinheiten zu rechnen. Für die Produktionen des Haupttyps 3 müssen daher einige Anwendungsbedingungen des allgemeinen Modells entsprechend präzisiert werden. Die Anwendungsbedingungen A.1 bis A.3, die einen endlichen Planungszeitraum und die Kenntnis relevanter Zahlungsströme beschreiben, sind auch für den Haupttyp 3 gültig. Ein Konkretisierungsbedarf liegt dagegen für die Strukturbeziehungen zwischen den einzelnen Produktiveinheiten bzw. deren Aggregation nach Anwendungsbedingung A.4 vor.

Auf der taktischen Planungsebene ist es für den Haupttyp 3 erforderlich, die Ergebnisse der operativen Ablaufplanung in ihren Grundstrukturen zu antizipieren. Insbesondere müssen die Reihenfolgen der Auftragsbearbeitung in den einzelnen Produktiveinheiten, die Länge der Warte- und Durchlaufzeiten sowie das Erreichen von Produktionsteilergebnissen und deren Weiterleitung an andere Produktiveinheiten taktisch in vergrößerter Form abgebildet werden. Zur Beschreibung der Produktionsdurchführung sind zunächst Produktiveinheiten und Bedienungsschalter festzulegen.

Unter einem Bedienungsschalter ist hier eine Produktiveinheit zu verstehen, in der die untergeordneten Produktiveinheiten und Potenzialfaktoren zur Abwicklung aller Prozesse jeweils stets gemeinsam eingesetzt werden. Eine Verteilung des Kapazitätsbedarfs eines konkreten Prozesses auf mehrere Bedienungsschalter ist ausgeschlossen. Z.B. werden in einem Reisebüro Buchungsanfragen jeweils nur an einem Schalter bearbeitet. Damit beziehen sich die Durchführungszeiten der im Haupttyp 3 beschriebenen Prozesse auf die Durchführung in einem einzelnen Bedienungsschalter. Sofern mehrere gleichartige Bedienungsschalter über einen gemeinsamen Warte- oder Lagerraum (z.B. einen Schaltervorraum oder eine Warteschleife einer Telefonanlage) verfügen, werden sie zu übergeordneten Produktiveinheiten bzw. Abteilungen zusammengefasst. In dem entsprechenden Warte- oder Lagerraum können ankommende Kunden oder Patienten aufgenommen bzw. Träger externer Faktoren „zwischenlagert“ werden. Produktiveinheiten, die direkt aus der Aggregation gleichartiger Bedienungsschalter entstehen oder die nur aus einem einzigen Bedienungsschalter bestehen, der in keine weitere Aggregation eingeht, sind der höchsten Aggregationsebene zugeordnet. Für sie werden keine eigenen Kapazitäten ausgewiesen, sofern sie nicht gleichzeitig einem einzelnen Bedienungsschalter entsprechen. Verfügen gleichartige Bedienungsschalter (z.B. Kassen) über getrennte Warte- oder Lagerräume mit jeweils eigenen Zugängen und eigenen Abfertigungsregeln, können diese Schalter nicht zusammengefasst werden.

Im Haupttyp 3 sind die Dienstleistungsproduktionen durch den Einsatz menschlicher Potenzialfaktoren geprägt. Diesem Haupttyp lassen sich jedoch auch automatisierte Produktionen zurechnen, die, wie z.B. Online-Banken, durch die Verwendung nicht vollkommen ausfallsicherer maschineller Potenzialfaktoren gekennzeichnet sind. Die einzelnen Produktiveinheiten werden i.d.R. nur durch wenige Aggregationen aus Potenzialfaktoren gebildet. Dennoch wird in einem Grundmodell 3 zunächst der Rahmen geschaffen, um alle eingeführten Aggregationsformen abbilden zu können. Damit ergeben sich für das Grundmodell 3 einer terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktion ähnliche Anforderungen an die Aggregation wie für die vorangehenden Grundmodelle. Da jedoch für Ersatzmodelle mit Schwierigkeiten bei der Bestimmung optimaler oder zufrieden stellender Lösungen zu rechnen ist, kann

es im Einzelfall erforderlich werden, die hier geforderte Anwendungsbedingung AFI.4 zu verschärfen. Im Allgemeinen ist dabei zu erwarten, dass nicht alle in den Produktiveinheiten eingesetzten Potenzialfaktoren stochastische Kapazitäten besitzen. Dementsprechend sind auch in Bezug auf die Produktiveinheiten gegebenenfalls deterministische Kapazitäten zu berücksichtigen.

AFI.4: Es treten Potenzialfaktoren mit deterministischer oder stochastischer Kapazität auf. Potenzialfaktoren mit stochastischem Leistungsvermögen besitzen eine Kapazität mit bekanntem Erwartungswert und bekannter Varianz. Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten können zu übergeordneten Produktiveinheiten aggregiert werden. Dabei ist eine Produktiveinheit jeweils höchstens Bestandteil einer einzigen übergeordneten Produktiveinheit. Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene können sich aus mehreren gleichartigen Bedienungsschaltern zusammensetzen, die als untergeordnete Produktiveinheiten interpretiert werden. Auf der untersten Ebene befinden sich ausschließlich Potenzialfaktoren. Potenzialfaktoren derselben Art können auf mehreren Aggregationsebenen in Produktiveinheiten eingehen. Sofern gleichartige Potenzialfaktoren in unterschiedliche Produktiveinheiten eingehen, wird für ihre Kapazitäten in den betreffenden Produktiveinheiten stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt. Alle Kapazitätsangaben beziehen sich auf Perioden, auf die auch die Einzahlungsüberschüsse zugerechnet werden.

Auch für die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 sind bei der taktischen Kapazitätsplanung Vorgaben aus der strategischen Planung zu erfüllen. Da eine detaillierte Analyse des Produktionssystems nicht Gegenstand der strategischen Planung ist, beziehen sich strategische Kapazitätsvorgaben nur auf Bedienungsschalter ausgewählter Produktiveinheiten, welchen auf strategischer Planungsebene eine Schlüsselfunktion beigemessen wird. Auch für die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 wird eine lockere Verknüpfung der beiden Planungsebenen unterstellt, die in der Vorgabe von Mindestkapazitäten ihren Ausdruck findet. Dementsprechend ist die Anwendungsbedingung A.5 des allgemeinen Modells um die Anwendungsbedingung AFI.5 zu ergänzen:

AFI.5: Aus der strategischen Planung können für die taktische Kapazitätsplanung Vorgaben über Mindestkapazitäten vorliegen. Diese sind periodendifferenziert und beziehen sich auf die jeweilige gesamte (quantitative) Kapazität ausgewählter Produktiveinheiten.

In Bezug auf den Planungszeitraum wird wie bei den Haupttypen 1 und 2 die Annahme getroffen, dass der Planungszeitraum in gleich lange Perioden unterteilt ist. Für die taktische Kapazitätsplanung wird, wie bei den Haupttypen 1 und 2, unterstellt, dass ein vorläufiges Produktions- und Absatzpro-

gramm aus der taktischen Produktionsprogrammplanung als „Nachfrage“ vorliegt und im Wesentlichen vollständig zu erfüllen ist.

AFI.6: Die Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden wie die Einzahlungsüberschüsse. Die Struktur des Produktions- und Absatzprogramms liegt für die taktische Kapazitätsplanung fest. Die einzelnen Nachfragemengen stellen stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, für die Erwartungswerte und Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeiten bekannt sind.

Im Gegensatz zu den Dienstleistungsproduktionen bei terminlich grober Strukturierung müssen für die terminlich fein strukturierten auf der taktischen Planungsebene zumindest vergrößerte Angaben über die zeitliche Abfolge von Teilprozessen berücksichtigt werden. Die Prozesspläne enthalten deshalb die Folgen der Produktiveinheiten, die zur Durchführung einer Dienstleistung jeweils in Anspruch genommen werden. Den Prozessplänen sind ferner taktisch relevante Informationen über die Prozesskoeffizienten zu entnehmen, die zur Berechnung der dienstleistungs- und produktiveinheitsbezogenen Bedienungs-raten erforderlich sind. Da bei den Produktionen des Haupttyps 3 die Qualität der mitwirkenden externen Faktoren wechselt, sind die einzelnen Teilprozessfolgen nicht mit Sicherheit bestimmt. Diese Folgen können daher nur durch Übergangswahrscheinlichkeiten charakterisiert werden, welche die Wahrscheinlichkeit für den Übergang eines Teilprozesses von einer Produktiveinheit zu einer anderen beschreiben. Die Mitwirkung externer Faktoren führt zu Prozessinhalten, die operativ an die speziellen Kundenwünsche angepasst werden, oder zu Prozessinhalten, die aufgrund unvorhersehbarer Schwankungen der Qualität externer Faktoren variieren. Wie im Haupttyp 2 leitet sich daraus für die taktische Kapazitätsplanung die Notwendigkeit ab, die Prozesskoeffizienten als stochastische Größen zu interpretieren. Die genannten Probleme führen zur Ergänzung der allgemeinen Anwendungsbedingung A.7:

AFI.7: Die zur Produktion der Dienstleistungen notwendigen Teilprozesse sind durch die Zuordnung der jeweiligen Dienstleistung auf eine Produktiveinheit eindeutig identifiziert. Eine unmittelbare Wiedereinordnung eines Teilprozesses in den Warteraum (Warteschlange) derjenigen Produktiveinheit, die er gerade verlassen hat, ist nicht möglich. Die Abfolge der Teilprozesse, die zur Produktion einer Dienstleistung notwendig sind, wird durch die Folge der in Anspruch zu nehmenden Produktiveinheiten beschrieben. Diese Folgen sind nicht festgelegt, vielmehr existieren Wahrscheinlichkeiten für den Übergang eines Prozesses von einer Produktiveinheit zu einer anderen. Kein Teilprozess darf unter- oder abgebrochen werden. Den Prozessplänen lassen sich ferner für alle Teilprozesse und Produktiveinheiten

deterministische oder stochastische Prozesskoeffizienten entnehmen. Im letzteren Fall liegen für die Prozesskoeffizienten Erwartungswerte und Standardabweichungen vor. Die Prozesskoeffizienten sind ferner jeweils für beliebige Perioden und Produktiveinheiten voneinander sowie von der jeweiligen Produktionsmenge des betreffenden Teilprozesses stochastisch unabhängig. Auch die Zwischenankunftszeiten der Teilprozesse sind stochastisch unabhängig von ihren Durchführungszeiten.

Ein Bestandteil der Beschreibung von Dienstleistungsproduktionen mit terminlich feiner Strukturierung ist auf der taktischen Ebene die Antizipation der operativen Produktionsplanung und der hieraus resultierenden Realisation der Produktion. Die Zahl möglicher Ausgestaltungen der operativen Planung kann auf der taktischen Ebene nur grob erfasst werden. Hier soll eine nach Prioritätsregeln durchgeführte operative Planung berücksichtigt werden. Diese Form der Abbildung erscheint insofern gerechtfertigt, als bei Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 zahlreiche Teilprozesse mit Kundenkontakt nach der First-come-first-served-Regel durchgeführt werden. Eine Bevorzugung bestimmter Kundengruppen ist im Zuge der operativen Planung dann zu beobachten, wenn z.B. Geschäftskunden in einem Reisebüro durch einen gesonderten Mitarbeiter betreut oder sogenannte „Heavy Trader“ bei einer Direktbank anhand ihrer Kundennummer erkannt und einem speziellen Bankangestellten zugewiesen werden. Eine entsprechende Bevorzugung kann durch das Einrichten unterschiedlicher Prozessgruppen abgebildet werden. Mit der Antizipation der operativen Produktionsplanung verbindet sich auch die Notwendigkeit, die Lagerhaltung bzw. die Unterbringung in Warteräumen zu beschreiben. Einige Dienstleistungsproduktionen sind dadurch geprägt, dass sie unter realistischen Nachfragebedingungen stets über genügend Lager- bzw. Wartemöglichkeiten verfügen oder letztere gegen vernachlässigbar geringe Auszahlungen (Gebühren) bzw. Kosten zusätzlich bereitgestellt werden können. Dabei besteht im Allgemeinen die Möglichkeit, die Lagerhaltung für unterschiedliche Produktiveinheiten und Bedienungskanäle in einem gemeinsamen „Lagersystem“ zu vollziehen. Ein derartiges Lagersystem stellen z.B. elektronische Informationssysteme in informationsverarbeitenden Dienstleistungsbereichen oder Warteschleifen in Telefonanlagen dar. Auch in Bezug auf menschliche externe Faktoren besteht z.B. in Kliniken in vielen Fällen die Möglichkeit, Patienten in geeigneten Räumen anderer Stationen zu versorgen. Dies trifft jedoch auf spezielle Abteilungen, wie septische oder intensivmedizinische Abteilungen, nur begrenzt zu. Ähnliche Wartemöglichkeiten dienen in Behörden und in Supermarktheken der Unterbringung Wartender. Für das Grundmodell 3 wird zur Berücksichtigung der operativen Planung in der taktischen Kapazitätsplanung die Einhaltung der folgenden Anwendungsbedingung AFI.8 unterstellt:

AFI.8: Zur Erfassung der operativen Planung ist eine Abbildung hinreichend genau, bei der in allen Produktiveinheiten Prioritätsregeln angewendet werden. Diese Prioritätsregeln werden ausschließlich auf Basis der Eigenschaften derjenigen Teilprozesse ausgewertet, die jeweils zu einem Auswahlzeitpunkt im Warteraum der jeweiligen Produktiveinheit auf Durchführung warten. Die Aufnahme in die Warte- bzw. Lagerräume ist unbeschränkt.

Nach dieser Anwendungsbedingung wird verlangt, dass sich eine Dienstleistungsproduktion hinreichend genau, z.B. durch die Modellierung einer First-come-first-served-Regel (FCFS-Regel) oder einer zufälligen Auftragsauswahl, beschreiben lässt. Die Verwendung der Kürzeste-Operationszeit-Regel (KOZ-Regel) ist ebenfalls möglich, wird hier jedoch nicht verfolgt. Hingegen ist es nicht möglich, z.B. eine Strukturierung von Teilprozessen nach der Schlupfzeitregel (GSZ-Regel) oder der dynamischen Wertregel (HWZ-Regel) abzubilden.

Für Grundmodell 3 wird ein Neuaufwurf der taktischen Planung nach Durchführung der untergeordneten operativen Planung entsprechend der allgemeinen Anwendungsbedingung A.9 nicht zugelassen. Die Anwendungsbedingung A.10 wird vorläufig außer Kraft gesetzt, indem vorausgesetzt wird:

AFI.10: Es treten keine Lerneffekte in den einzelnen Bedienungsschaltern auf.

Für die Anwendungsbedingung AFI.11 kann auf die Anwendungsbedingung AEI.11 verwiesen werden. Auch für den Fall der terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktion wird anstelle der unspezifizierten Zielfunktion des allgemeinen Modells die folgende Zielsetzung festgelegt:

AFI.11: Ziel ist es, den Endwert einer Reihe von Einzahlungsüberschüssen zu maximieren, die sich aus der Investition in ein Potenzialfaktorprogramm ergeben. Der angenommene Kundennutzen aus der Strukturqualität der Dienstleistungsproduktion muss in allen Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene, die der Nutzenbewertung durch den Dienstleistungsabnehmer unterliegen, einen vorzugebenden Mindestwert erreichen. Analog sind für die einzelnen Teilprozesse Mindestnutzen einzuhalten, damit eine vorgegebene Prozessqualität gewährleistet wird.

In öffentlichen Bereichen werden Dienstleistungen erbracht, die, wie z.B. die Leistungen eines Arbeitsamtes oder eines Einwohnermeldeamtes, in engem Kundenkontakt an Schaltern vollzogen werden. In diesen Bereichen wird angestrebt, bei einem gegebenen Budget den Nutzen der erbrachten Dienstleistungen über ein geplantes Mindestniveau hinauszuführen oder zu maximieren. Auch diesen Zielsetzungen kann in einer Modellvariante Rechnung getragen werden.

Im Grundmodell 3 wird zur Charakterisierung des Nutzens der erbrachten Dienstleistungen die Anwendungsbedingung A.12 ergänzt. Zum einen soll durch den Dienstleistungsproduzenten, wie in den vorangehenden Grundmodellen, der Strukturqualität dadurch Rechnung getragen werden, dass der Produzent den Nutzen seiner Dienstleistungen für potenzielle Abnehmer prognostiziert. Dabei wird der Nutzen der strukturellen Kapazität aus der Anzahl bestimmter Potenzialfaktoren, z.B. der Anzahl ausgebildeter Fachkräfte in den Produktiveinheiten, abgeleitet. Entsprechende Probleme der Nutzenmessung wurden bereits im Zusammenhang mit Grundmodell 1 diskutiert. Die Prozessqualität lässt sich auch für den Haupttyp 3 der taktischen Kapazitätsplanung nur eingeschränkt beeinflussen. Eine wesentliche Kenngröße der Prozessqualität bildet jedoch die Durchlaufzeit. Einflüsse von Kapazitätsentscheidungen auf die Höhe von Durchlaufzeiten können im Grundmodell 3 antizipiert werden, sodass gegenüber den vorangehenden Grundmodellen eine präzisere Nutzenerfassung möglich ist:

AFI.12: Der Nutzen der Strukturqualität geplanter Potenzialfaktoren wird für alle Produktiveinheiten auf der höchsten Aggregationsebene jeweils anhand einer linearen Nutzenfunktion aus der Summe der Teilnutzen der installierten Potenzialfaktoren bestimmt. Die Strukturqualität der Produktiveinheiten hängt entweder von der Existenz oder der Anzahl bestimmter Potenzialfaktoren in der Produktiveinheit ab. Der Nutzen der Prozessqualität wird anhand der Durchlaufzeiten gemessen. Letztere dürfen vorgegebene, teilprozessbezogene Höchstwerte nicht übersteigen, um die angestrebten Mindestnutzen zu erreichen. Die Durchlaufzeit eines Teilprozesses ist von der jeweils in der Produktiveinheit anzutreffenden Menge durchzuführender Teilprozesse sowie der Zahl der Bedienungsschalter und deren Durchführungsrate abhängig.

2. Formulierung des Grundmodells 3

Unter Beachtung der formulierten Anwendungsbedingungen ergibt sich Grundmodell 3, das als Spezifikation einer terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktion aus dem allgemeinen Modell hervorgeht. Auch in Grundmodell 3 wird von einem Planungszeitraum ausgegangen, der in gleich lange Perioden t ($t = 1, \dots, T$) unterteilt und hilfsweise um die Perioden 0 und $T+1$ ergänzt ist. Über diesem Planungszeitraum wird, wie in den vorangehenden Grundmodellen, die Zielsetzung einer Endwertmaximierung verfolgt. Zur Beschreibung dieser Zielsetzung ist es erforderlich, eine in Teilen neue Notation einzuführen. Insbesondere ist bei der Beschreibung der Teilprozessarten zu beachten, dass sich diese in Periode t durch die Zuordnung einer Dienstleistung n zu Produktiveinheit m eindeutig charakterisieren lassen und zu einem i.d.R. negativen Einzahlungsüberschuss führen. Zur Beschreibung der Komponenten der Zielfunktion dient die folgende Notation:

- $ed_{m,n,t}$: Einzahlungsüberschuss pro in der Periode t geleisteten Einheit eines Teilprozesses der Art (m,n) ($n = 1, \dots, \hat{n}$; $m = 1, \dots, M$), der bei der Durchführung der Dienstleistungsart n in der Produktiveinheit m am Ende dieser Periode anfällt;
- $X_{m,n,t}$: Produktionsmenge der Teilprozesse der Art (m,n) , die während der Periode t zur Erfüllung des Produktions- und Absatzprogramms vorgesehen sind und für welche Kapazität zur Verfügung gestellt wird;
- i : Kalkulationszinssatz (periodenbezogen);
- $ep_{k,t,t'}$: Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;
- $z_{m,k,t,t'}$: Anzahl der Einheiten von Potenzialfaktorart k , die für jeden Bedienungsschalter der Produktiveinheit m zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert werden;
- $c_{m,t}$: (dimensionslose) Anzahl gleichartiger Bedienungsschalter, die während der Periode $t+1$ in der Produktiveinheit m zu Verfügung stehen;
- EZD_t : Einzahlungsüberschuss aller Teilprozesse der zu produzierenden und abzusetzenden Dienstleistungen am Ende der Periode t ;
- ezp_t : Einzahlungsüberschuss für die Bereithaltung aller Potenzialfaktoren am Ende der Periode t ;
- END_t : Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzialfaktoren, bezogen auf das Ende der Periode t .

Wie in den vorangehenden Grundmodellen lautet die Zielfunktion unter Verwendung dieser Notation:

$$(F-1) \quad \max END_T,$$

die rekursiv aus den Gleichungen

$$(F-2) \quad END_t = END_{t-1} \cdot (1 + i) + EZD_t + ezp_t \quad \text{für } t = 0, \dots, T$$

mit $END_{-1} := 0$ zu bestimmen ist.

Periodenweise werden in dieser Berechnung des Endwertes stochastische Einzahlungsüberschüsse aus der Durchführung von Dienstleistungen EZD_t , sowie Einzahlungsüberschüsse für die Bereitstellung von Potenzialfaktoren ezp_t , berücksichtigt. Da die Teilprozesse der Dienstleistungen im Gegensatz zu (E-3) durch die Kombination einer Dienstleistung n und einer Produktivein-

heit m gekennzeichnet sind, berechnen sich die Einzahlungsüberschüsse EZD_t durch Summation über diese beiden Indizes:

$$(F-3) \quad EZD_t = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{\hat{n}} ed_{m,n,t} \cdot X_{m,n,t} \quad \text{für } t = 1, \dots, T.$$

Die Einzahlungsüberschüsse für die Bereithaltung der Potenzialfaktoren werden analog zu den ersten beiden Grundmodellen nach (E-4) berechnet:

$$(F-4) \quad ezp_t = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{t'=0}^{t+1} \sum_{t''=t}^{T+1} ep_{k,t',t''} \cdot c_{m,t} \cdot z_{m,k,t',t''} \quad \text{für } t = 0, \dots, T.$$

Diese Gleichungen unterscheiden sich von denjenigen nach (E-4) darin, dass sich die Variablen für die Zahl an Potenzialfaktoren $z_{m,k,t',t''}$ auf einen der gleichartigen Bedienungsschalter beziehen, der in der Produktiveinheit m eingerichtet ist. Zur Berechnung der Einzahlungsüberschüsse aus allen in Anspruch genommenen Potenzialfaktoren muss diese Anzahl jeweils mit der Zahl der Bedienungsschalter $c_{m,t}$ multipliziert werden, die in der Produktiveinheit m installiert sind. Die Formulierung der Zielfunktion verdeutlicht dabei, dass in den Bedienungsschaltern einer Produktiveinheit nicht nur die gleiche Anzahl an Potenzialfaktoren vorliegen muss, sondern auch deren Nutzungsdauern übereinstimmen sollen. Sofern von dieser strengen Form der Übereinstimmung aller Bedienungsschalter jeweils einer Produktiveinheit abgewichen wird, erfordert dies eine Neufassung des Modells. Wie bei der Hilfskonstruktion in (E-4) kennzeichnen auch hier die Variablen $z_{m,k,0,t''}$ den Anfangsbestand an Potenzialfaktoren der Art k in der Produktiveinheit m , die zu Beginn des Planungszeitraums bereits vorhanden sind und zum Ende der Periode t'' veräußert werden sollen. Der Bestand an Potenzialfaktoren, der über den Planungszeitraum hinaus gehalten werden soll, wird wie (E-4) durch die Variablen $z_{m,k,t',T+1}$ beschrieben.

Ein wichtiger Unterschied zum vorangehenden Grundmodell 2 liegt in der Planung teilprozessbezogener Durchlaufzeiten. Diese dienen als Maßstab zur Bestimmung der Prozessqualität des jeweiligen Teilprozesses. Um die Durchlaufzeit eines Teilprozesses unter Berücksichtigung anderer Teilprozesse und deren jeweiliger Durchführungszeiträume erklären zu können, müssen die zur Verfügung stehende Kapazität sowie die Produktionsmengen weiterer Teilprozesse berücksichtigt werden. Da eine mehrstufige Dienstleistungsproduktion vorgesehen ist, muss damit gerechnet werden, dass die Durchführung von Teilprozessen in anderen Produktiveinheiten Einfluss auf die Durchführung von Teilprozessen in der betrachteten Produktiveinheit nimmt. Aus diesem Grund werden die Durchlaufzeiten aller Teilprozesse in Abhängigkeit von den Kapazitäten der Produktiveinheiten bzw. der jeweiligen Bedienungsschalter, von der Anzahl Letzterer sowie von den Produktionsmengen des gesamten Dienstleistungsproduktionssystems erklärt. Außerdem sollen im Grundmodell 3

die Durchlaufzeiten eine vorgegebene Schranke nicht überschreiten. Zusätzlich zur Prozessqualität bleiben die Bedingungen zur Einhaltung der Strukturqualität (E-5) erhalten. Als Notation dient dabei:

- $d_{\max,m,n,t}$: höchste zulässige Durchlaufzeit eines Teilprozesses der Art (m,n) in der Periode t ;
- $D_{m,n,t}(KA_{1,t}, \dots, KA_{M,t}, c_{1,t}, \dots, c_{M,t}, X_{1,1,t}, \dots, X_{M,N,t})$: Durchlaufzeit eines Teilprozesses (m,n) in der Produktiveinheit m in Periode t ;
- $MK(m, t)$: Menge der Potenzialfaktoren, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt (und nicht auf dem Weg über untergeordnete Produktiveinheiten) zugeordnet werden;
- $M(m, t)$: Menge der Produktiveinheiten, die der Produktiveinheit m in der Periode t direkt untergeordnet werden;
- $uq_{\min,m,t}$: Mindestnutzen aus der Strukturqualität der Produktiveinheit m in der Periode t ;
- $uq_{m,t}$: Gesamtnutzen der Strukturqualität der Produktiveinheit m in Periode t ;
- $ue_{m,k}$: existenzabhängiger Nutzenkoeffizient ($ue_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität des Einsatzes der Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m beigemessen wird;
- $ua_{m,k}$: anzahlabhängiger Nutzenkoeffizient ($ua_{m,k} \geq 0$), welcher der Qualität einer Einheit der Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m beigemessen wird;
- $y_{m,k,t}$: Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn eine (keine) Einheit der Potenzialfaktorart k in der Periode t direkt einer Produktiveinheit m zugeordnet wird;
- $KA_{m,t}$: zur Verfügung zu stellende (verfügbare, quantitative) Kapazität eines Bedienungsschalters der Produktiveinheit m in der Periode t ;
- $A_{m,k,t,t'}$: quantitative Kapazität einer Einheit der Potenzialfaktorart k , die in der Periode t , bei Anschaffung der Einheit zu Beginn der Periode t' und Veräußerung am Ende von t'' in der Produktiveinheit m eingesetzt wird;
- $ka_{\min,m,t}$: aus der strategischen Planung vorgegebene Mindestkapazität eines Bedienungsschalters der Produktiveinheit m in der Periode t .

Als Spezifizierung der Qualitätsbedingungen aus dem allgemeinen Modell lassen sich damit für den Haupttyp 3 die Bedingungen (F-5) bis (F-7) aufstellen. Die Bedingungen (F-5) und (F-6) beschreiben die Anforderungen an die Durchlaufzeit durch eine Produktiveinheit auf der höchsten Aggregationsebene. Da in den Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene nur jeweils ein Bedienungsschalter mit einem Prozess für einen Dienstleistungsabnehmer

betrachtet ist, sollte in (F-7) die Strukturqualität auf der Ebene der Bedienungsschalter bestimmt werden. Sofern ein Dienstleistungsabnehmer jedoch auch andere Bedienungsschalter in seine Bewertung einbeziehen kann, muss (F-7) für die Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene berücksichtigt werden. Gegebenenfalls sind die Bedingungen (F-5) bis (F-7) unter Berücksichtigung von Kundeneinblicknahmemöglichkeiten in bestimmte Produktiveinheiten m und Prozessarten n einzuschränken.

$$(F-5) \quad D_{m,n,t} \leq d_{\max,m,n,t} \quad \text{für } t = 1, \dots, T;$$

$$(F-6) \quad D_{m,n,t} = D_{m,n,t}(KA_{1,t}, \dots, KA_{M,t}, c_{1,t}, \dots, c_{M,t}, X_{1,1,t}, \dots, X_{M,N,t}) \quad \text{für } t = 1, \dots, T;$$

$$(F-7) \quad uq_{m,t} \geq uq_{\min,m,t} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T; \text{ wobei:}$$

$$uq_{m,t} = \sum_{m \in M(m,t)} uq_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} ue_{m,k} \cdot y_{m,k,t} \\ + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} ua_{m,k} \cdot z_{m,k,t',t''} \\ \text{mit: } y_{m,k,t} \leq \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} z_{m,k,t',t''}.$$

Auch bei der Formulierung der weiteren Anwendungsbedingungen für die terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktion kann auf die Ungleichungen bzw. Beziehungen des Grundmodells 2 zurückgegriffen werden. Dies gilt insbesondere für die Vorschriften zur Aggregation von Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten zu übergeordneten Produktiveinheiten. Diese Aggregation ist lediglich dahingehend einzuschränken, dass für Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene mit mehreren Bedienungsschaltern keine Kapazitäten ausgewiesen werden.

$$(F-8) \quad \text{Bei horizontaler Aggregation: für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T:$$

$$KA_{m,t} = \sum_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} A_{m,k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''},$$

$$\text{bei vertikaler Aggregation: für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T:$$

$$KA_{m,t} = \min \left\{ \min_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t}; \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \leq t; t'' \leq T+1}} A_{m,k,t',t''} \right\},$$

wobei die Größen $z_{m,k,0,t'}$ die zu Beginn des Planungszeitraums bereits vorhandenen Bestände an Potenzialfaktoren der Art k in der Produktiveinheit m kennzeichnen. Strategische Vorgaben für die Kapazitäten einzelner Bedienungsschalter lassen sich demgemäß durch

$$(F-9) \quad KA_{m,t} \geq ka_{\min,m,t}$$

$$m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Bedienungsschalter}\}; t = 1, \dots, T,$$

erfassen. Auf zusätzliche Bedingungen zur Kennzeichnung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Potenzialfaktorarten nach (D-8) wird auch hier verzichtet. Bei der Konkretisierung des Grundmodells 3 ist es jedoch i.d.R. notwendig, entsprechende Bedingungen den Anwendungsanforderungen hinzuzufügen.

Gegenüber den zwei vorangehenden Grundmodellen ist es für die terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktion des Haupttyps 3 erforderlich, Kapazitätsbeschränkungen zu definieren, die auf längere Sicht eine Überlastung der einzelnen Produktiveinheiten verhindern. Zu diesem Zweck müssen zunächst die Durchführungszeiten der Teilprozesse in Abhängigkeit von der jeweils zur Verfügung stehenden Kapazität und den jeweiligen Prozesskoeffizienten erklärt werden. Hierfür und für die folgenden Prozessmengenrelationen gilt die Notation:

- $\bar{M}_{m,n,t}$: Bedienungsrate in einem Bedienungsschalter der Produktiveinheit m in Bezug auf die Teilprozessart (m,n) in der Periode t ;
- $S_{m,n,t}$: Durchführungszeit pro Teilprozess (Kehrwert der Bedienungsrate);
- $BP_{m,n}$: Prozesskoeffizient der Teilprozessart (m,n) ;
- $R_{n,t}$: Menge der Dienstleistungen der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$), die während der Periode t entsprechend dem Produktions- und Absatzprogramm durchgeführt werden sollen;
- $\gamma_{m,n}$: Prozentualer Anteil der Prozesse der Art n an der gesamten Auftragsmenge $R_{n,t}$, deren erster Teilprozess in der Produktiveinheit m durchgeführt wird;
- $p_{m,m'}$: Wahrscheinlichkeit, dass für eine Dienstleistung der Art n nach Abschluss des Teilprozesses der Art (m,n) in der Produktiveinheit m ein Teilprozess (m',n) in der Produktiveinheit m' durchgeführt wird.

Die Bedienungsrate eines Bedienungsschalters lässt sich durch den Ausdruck²

² Prinzipiell müsste der Quotient aus der Kapazität und dem Prozesskoeffizienten noch durch die Periodenlänge geteilt werden. Da diese jedoch auf die Länge einer Zeiteinheit normiert ist, wird dieser Zusatz in der Warteschlangentheorie gewöhnlich unterdrückt. Dies gilt analog für die Produkte aus den Produktionsmengen der Teilprozesse und Durchführungszeiten in (F-12).

$$(F-10) \quad \overline{M}_{m,n,t} = \frac{KA_{m,t}}{BP_{m,n}}$$

beschreiben. Sie gibt die maximale Zahl an Teilprozessen an, die bei vollständigem Einsatz der Kapazität der Produktiveinheit bzw. eines ihrer Bedienungskanäle in einer Periode t durchführbar sind. Als ihr Kehrwert ergibt sich die Durchführungszeit:

$$(F-11) \quad S_{m,n,t} = \frac{1}{\overline{M}_{m,n,t}} = \frac{BP_{m,n}}{KA_{m,t}}$$

In diesen Beziehungen zeigt sich das numerische Problem, das aus den Bedingungen (F-5), (F-6) und (F-8) resultiert: In die Berechnung der Durchlaufzeiten nach (F-6) gehen sowohl über die Durchführungszeiten als auch über die Kapazitätssituation die Kapazitätswerte $KA_{m,t}$ ein. Letztere sind im Grundmodell 3 aggregierte Größen aus den Entscheidungsvariablen $z_{m,k,t,t'}$ und den stochastischen Kapazitäten der Potenzialfaktoren $A_{m,k,t,t'}$ nach den Bedingungen (F-8). Selbst eine Bestimmung von Erwartungswert und Standardabweichung der Bedienungsrate bzw. der Durchführungszeit in Abhängigkeit von diesen Größen erweist sich als komplexes Unterfangen. Bei der Formulierung eines Ersatzmodells muss dieser Komplexität daher besondere Aufmerksamkeit beigemessen werden.

Als Kapazitätsbeschränkungen sind ferner die Bedingungen (F-12) zu berücksichtigen. Ihnen ist zu entnehmen, dass der dimensionslose Wert der Summe aller Durchführungszeiten für alle in einer Produktiveinheit durchgeführten Teilprozessarten (m,n) nicht größer – unter warteschlangentheoretischen Aspekten sogar kleiner – als die Anzahl der Bedienungsschalter ist. Demnach ist zu fordern:³

$$(F-12) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} X_{m,n,t} \cdot S_{m,n,t} \leq (<) c_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Zur Kapazitätsdimensionierung sind im Grundmodell 3 Entscheidungen über die Anzahl der Potenzialfaktoren $z_{m,k,t,t'}$ sowie über die Zahl der Bedienungsschalter $c_{m,t}$ zu treffen. In (F-12) wirken diese Variablen über die Durchführungszeit $S_{m,n,t}$ bzw. über (F-9) auf die Zulässigkeit einer Kapazitätsausstattung ein.

³ Auch hier müssten die Summanden der linken Ungleichungsseite noch durch die Periodenlänge geteilt werden, worauf wiederum aufgrund der Normierung der Periodenlänge allgemein verzichtet wird.

Letztlich sind in allen Perioden t die Mengenbeziehungen zwischen den einzelnen Teilprozessen zu berücksichtigen. Die Produktionsmenge $X_{m,n,t}$ eines Teilprozesses (m,n) der Dienstleistungsart n in der Produktiveinheit m setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Als erste Komponente sind die Zuflüsse $X_{m',n,t} \cdot p_{m',m,t}$ an Teilprozessen der Art (m',n) aus anderen Produktiveinheiten m' summarisch zu erfassen. Eine zweite Komponente bildet die Zahl $R_{n,t} \cdot \gamma_{m,n}$ der direkt in der Produktiveinheit m beginnenden Dienstleistungen der Art n . Die Bedingungen (F-13) zeigen die Summierungen dieser Komponenten:

$$(F-13) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} X_{m,n,t} \cdot S_{m,n,t} \leq (<) c_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\};$
 $n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$

Diese Beziehungen stellen zum einen den mengenmäßigen Zusammenhang zwischen den einzelnen Teilprozessen der Dienstleistungen in einem Netz von Produktiveinheiten her. Zum anderen beschreiben sie die vollständige Erfüllung der Nachfragen $R_{n,t}$, die aus der taktischen *Produktionsprogrammplanung* hervorgehen. Die Bedingungen (F-13) ersetzen somit die Relationen (D-10) und (D-13) des allgemeinen Modells. Als Entscheidungsvariablen treten die Größen $z_{m,k,t,t'}$ sowie die Zahl der Bedienungsschalter $c_{m,t}$ auf.

3. Ersatzmodell zum Grundmodell 3

a) Vorüberlegungen zur Modellentwicklung

Das oben dargestellte Grundmodell 3 bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion mit hoher Wiederholungsrate der Aufträge lässt einen Komplexitätszuwachs gegenüber den vorangehenden Grundmodellen erkennen. Bei der Entwicklung eines Ersatzmodells wird deshalb auf ein relativ einfach zu handhabendes Erwartungswertmodell zurückgegriffen.

Grundsätzlich bieten sich zur Berücksichtigung der Nebenbedingungen (F-6) zwei unterschiedliche Methoden an. Die erste Methode besteht darin, für eine bestimmte Ausstattung an Potenzialfaktoren durch Simulation der Dienstleistungsproduktion Erwartungswerte der Durchlaufzeiten zu bestimmen. Diese Methode bietet den Vorteil einer beliebig zu detaillierenden Abbildung der operativen Planung und der Produktionsdurchführung. Nachteilig ist, dass die Bestimmung einer hinreichenden Länge des Simulationszeitraums und eine Bestimmung der Anlaufphase nicht ohne weiteres möglich ist. Ferner bestehen weder analytisch noch numerisch auswertbare Ausdrücke zur Bestimmung der Durchlaufzeiten. Bei einer größeren Zahl beeinflussbarer Variablen bzw. Si-

mulationsparameter ist schließlich damit zu rechnen, dass eine erhebliche Anzahl an Simulationsläufen durchgeführt werden muss, um zu signifikanten Aussagen zu gelangen.

Als zweite Methode zur Berücksichtigung der Nebenbedingungen (F-6) bietet sich das Instrumentarium der Warteschlangentheorie an. Sie bietet den Vorteil, analytisch nachvollziehbare, jedoch nur in einfachen Fällen mit Mitteln der Differenzialrechnung direkt auswertbare Erwartungswerte und Standardabweichungen der Kenngrößen des Produktionssystems zu liefern. Diese Erwartungswerte bezeichnen den Zustand des Produktionssystems bei einer hinreichend großen Zahl an Wiederholungen des Produktionsprogramms. Nachteilig ist bei warteschlangentheoretischen Betrachtungen, dass sich z.B. veränderliche Produktionsprogramme im Zeitablauf nicht verfolgen und sich auch langfristige Auswirkungen dieser Veränderlichkeit auf die Kenngrößen des Produktionssystems nur unter Schwierigkeiten abbilden lassen. Ferner sind die Auswertungen im Wesentlichen auf die Ermittlung der erwarteten Durchlaufzeiten und mittleren Bestände beschränkt. Gegenüber Simulationen besitzen warteschlangensbasierte Planungsmodelle jedoch den Vorteil, in annehmbarer Zeit eine grobe Abbildung des Produktionssystems bereitzustellen.⁴ Aus diesem Grund wird dieser Methodik nachfolgend der Vorzug gegeben. Für verfeinerte taktische Kapazitätsplanungsprobleme, bei denen insbesondere die Verbindung zur Prozessplanung hergestellt werden soll, empfiehlt sich eine anschließende Simulation des Produktionssystems.

Im Grundmodell 3 wird davon ausgegangen, dass zur Lagerung aller externen Träger und Produktionszwischenergebnisse, die mit den jeweils aktuellen Dienstleistungsaufträgen verbunden ist, ein gemeinsamer Lager- bzw. Warte- raum zur Verfügung steht. Dieser Lagerraum soll für alle Belastungssituationen des Produktionssystems ausreichend dimensioniert sein. Ferner ist es erforderlich, ein Mehrprodukt-Dienstleistungssystem mit mehreren Produktiv- einheiten abzubilden. Um diesen Anforderungen an die Abbildung eines Dienstleistungssystems zu entsprechen, wird ein offenes Warteschlangennetz- werk benötigt.⁵

Die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 sind durch schwankende Inanspruchnahmen der Produktiveinheiten gekennzeichnet, die zum einen durch wechselnde Kundenanforderungen bzw. -mitwirkungen sowie zum anderen durch schwankende Durchführungszeiten menschlicher Potenzialfaktoren bestimmt sind. Da diese Besonderheit für zahlreiche Dienstleistungsbereiche des Haupttyps 3 als wesentliches Merkmal angesehen wird, muss der Sto-

⁴ Vgl. *Buzacott/Yao* (1986), S. 902.

⁵ Zu grundlegenden Ausführungen über Warteschlangennetzwerke vgl. *Lemoine* (1977), S. 466 ff.; *Labetoulle/Pujolle* (1980), S. 374 ff. sowie *Kobayashi* (1974), S. 317 ff. und *Whitt* (1984), S. 1912 ff.

chastik der eingeführten Prozesskoeffizienten $BP_{m,n}$ Rechnung getragen werden. Die Prozesskoeffizienten werden daher nicht nur durch ihre Erwartungswerte gekennzeichnet, da auf diese Weise die Streuung ihrer Realisationen nicht adäquat berücksichtigt wird. Die Prozesskoeffizienten werden vielmehr zusätzlich durch ihre Standardabweichung oder durch eine entsprechende Größe, wie den jeweiligen Variationskoeffizienten, beschrieben. Damit empfiehlt es sich, bei der Formulierung des nachfolgenden Ersatzmodells die Modellierung durch exponentialverteilte Durchführungszeiten zu vermeiden, da diese nur durch den entsprechenden Erwartungswert parametrisiert sind und zugleich eine den praktischen Gegebenheiten nicht entsprechende Dichtefunktion aufweisen. Entsprechende $M/M/1$ -Warteschlangensysteme⁶ auf Basis exponentialverteilter Durchführungszeiten werden deshalb nachfolgend nur so weit wie nötig betrachtet. Generell stehen nur zwei Möglichkeiten zur Verfügung, Standardabweichungen der Durchführungszeiten ausreichend präzise zu erfassen. Zum einen können für diese Größen angepasste Phasen- oder Erlang-Verteilungen herangezogen werden,⁷ zum anderen besteht die Möglichkeit, die Durchführungszeiten ohne Angabe ihrer Verteilung durch ihre Erwartungswerte und Standardabweichungen zu kennzeichnen.⁸ Dem konstruktiven Element einer Bestimmung realitätsgetreuer Parametereinstellungen⁹ durch Verwendung von Phasen-Verteilungen steht der Nachteil der Verteilungstypgebundenheit gegenüber. Nachfolgend wird deshalb die Modellierung mit Hilfe allgemeinverteilter Durchführungszeiten¹⁰ bevorzugt, wie sie $GI/G/c$ -Warteschlangensystemen¹¹ mit c Bedienungsschaltern zugrunde liegen.

Grundlegend für die Abbildung einer Dienstleistungsproduktion mit Hilfe von $GI/G/c$ -Warteschlangensystemen ist es, für die Durchführungszeit in einer Produktiveinheit bzw. in einem ihrer Bedienungsschalter sowohl den Erwartungswert als auch den (quadrierten) Variationskoeffizienten angeben zu können. Zur Berechnung des letzteren Wertes wird die Standardabweichung der Durchführungszeit herangezogen. Grundsätzlich sind die Durchführungszeiten der Teilprozesse in den Produktiveinheiten durch die Gleichungen (F-11) bestimmt. Unter Vernachlässigung der Indizierung zeigen sie die stochastische Durchführungszeit S als Quotienten aus dem Prozesskoeffizienten BP und der Kapazität des Bedienungsschalters KA . Die Kapazität KA ist durch die Bedingungen über die Aggregation von Produktiveinheiten gegebenenfalls als sto-

⁶ Vgl. u.a. *Gross/Harris* (1974), S. 38 ff.

⁷ Vgl. *Altiok* (1997), S. 40 ff.

⁸ Vgl. *Shanthikumar/Buzacott* (1980), S. 762 ff.

⁹ Vgl. *Altiok* (1997), S. 47 ff. sowie *Neuts* (1981), S. 48 ff.

¹⁰ D.h. Durchführungszeiten, die ohne Angabe einer Verteilung durch 1. und 2. Moment beschrieben werden.

¹¹ Vgl. *Wolff* (1989), S. 493 ff. sowie *Tijms* (1986), S. 260 ff.

chastische Funktion in Abhängigkeit von einer Auswahl an Entscheidungsvariablen bestimmt, welche die jeweilige Zahl eingesetzter Potenzialfaktoren kennzeichnen. In vereinfachter Darstellung seien diese Variablen durch z_1 bis z_k bezeichnet und mit Kapazitäten A_1 bis A_k verbunden. Entsprechende Variablen in Kleinbuchstaben bezeichnen vergleichbare deterministische Größen. Anhand einer Fallunterscheidung lassen sich damit die Probleme bei der Berechnung der Standardabweichung der Durchführungszeit erläutern:

Fall 1: Die Kapazität der betrachteten Produktiveinheit ist deterministisch; die Kapazität der Produktiveinheit ergibt sich aus den Kapazitäten horizontal aggregierter Potenzialfaktoren.

Dann lässt sich die Kapazität der Produktiveinheit durch $ka = a_1 z_1 + \dots + a_k z_k$ beschreiben. Als Erwartungswert und Standardabweichung der Durchführungszeit ergeben sich:

$$E(S) = \frac{E(BP)}{a_1 z_1 + \dots + a_k z_k} \quad \text{und} \quad \sigma(S) = \frac{\sigma(BP)}{a_1 z_1 + \dots + a_k z_k}$$

Sowohl der Erwartungswert als auch die Standardabweichung stellen sich in diesem Ausdruck zwar als nichtlinear erklärte Größen dar, eine Auswertung spezieller Verteilungsfunktionen ist jedoch nicht notwendig.

Fall 2: Die Kapazität der betrachteten Produktiveinheit ist deterministisch; die Kapazität der Produktiveinheit ergibt sich aus den Kapazitäten vertikal aggregierter Potenzialfaktoren.

In diesem Fall kann die Kapazität der Produktiveinheit durch $ka = \min \{a_1 z_1; \dots; a_k z_k\}$ beschrieben werden. Für den Erwartungswert und die Standardabweichung ergibt sich dann:

$$E(S) = \frac{E(BP)}{\min\{a_1 z_1; \dots; a_k z_k\}} \quad \text{und} \quad \sigma(S) = \frac{\sigma(BP)}{\min\{a_1 z_1; \dots; a_k z_k\}}$$

Auch in diesem Fall liegen nichtlineare Beziehungen vor, jedoch kann auch hier auf ein einfaches Instrumentarium zur Modellierung zurückgegriffen werden, indem die deterministische Kapazität ka über Bedingungen der Form: $ka \leq a_k z_k$ für $k = 1, \dots, k'$, nach oben beschränkt wird.

Fall 3: Die Kapazität der betrachteten Produktiveinheit ist stochastisch; die Kapazität der Produktiveinheit ergibt sich aus den stochastischen Kapazitäten horizontal aggregierter Potenzialfaktoren.

Besitzen Potenzialfaktoren eine stochastische Kapazität und damit auch die aus ihnen aggregierte Produktiveinheit, führt dies zu Schwierigkeiten bei der Berechnung der Standardabweichung der Durchführungszeit. Zwar kann der Erwartungswert der Durchführungszeit bei stochastischer Unabhängigkeit der Prozesskoeffizienten und der Kapazitäten direkt berechnet werden durch:

$$E(S) = \frac{E(BP)}{E(A_1) \cdot z_1 + \dots + E(A_k) \cdot z_k},$$

eine Standardabweichung lässt sich jedoch nicht direkt angeben und kann nur durch Auswertung einer mit den Entscheidungsvariablen parametrisierten Dichtefunktion ermittelt werden. Eine entsprechende Berechnung dürfte zu einer Erhöhung der Komplexität führen, die eine Lösung des Problems nur für sehr kleine Anwendungsfälle zulässt.

Fall 4: Die Kapazität der betrachteten Produktiveinheit ist stochastisch; die Kapazität der Produktiveinheit ergibt sich aus den stochastischen Kapazitäten vertikal aggregierter Potenzialfaktoren.

In diesem Fall treten die gleichen Probleme wie in Fall 3 auf. Sie werden dadurch verschärft, dass für die Bestimmung des Erwartungswertes der kleinsten Kapazität i.d.R. eine Approximation ins Auge gefasst werden muss. Als Approximation des Erwartungswertes der kleinsten Kapazität kann wiederum die kleinste erwartete Kapazität der eingesetzten Potenzialfaktoren verwendet werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass eine differenzierte Analyse von Produktionssystemen unter Berücksichtigung der Standardabweichungen der Durchführungszeiten bei deterministischen bzw. als deterministisch behandelten Kapazitäten durchführbar ist. Bei stochastischen Kapazitäten bietet es sich lediglich an, auf eine Berücksichtigung der Standardabweichung der Durchführungszeit zu verzichten und die Analyse ausschließlich über Erwartungswerte zu bestreiten. Dies führt zur Abbildung der Produktiveinheiten durch M/M -Systeme. Aus naheliegenden Gründen wird dieser Weg insbesondere bei der Abbildung von Fertigungssystemen¹² gewählt. Da jedoch bei Dienstleistungsproduktionen die Streuungen der Prozesskoeffizienten eine herausragende Bedeutung besitzen und diese bei ausschließlicher Berücksichtigung von Erwartungswerten nur unzureichend berücksichtigt werden, soll bei den nachfolgenden Modellierungen an $GI/G/c$ -Systemen festgehalten werden. Wenn in diesen Systemen der quadrierte Variationskoeffizient der Durchführungszeit willkürlich auf den Wert 1 festgesetzt wird, lässt sich auch der vereinfachte Fall eines M/c -Systems in die Modellierung integrieren. Als Alternative zur Berücksichtigung stochastischer Kapazitäten in Warteschlangensystemen bleibt nur die Simulation des Produktionssystems. Um jedoch für stochastische Größen zu signifikanten Ergebnissen zu gelangen, ist bei einer Simulation ein erheblicher Rechenaufwand absehbar.

¹² Vgl. *Dallery/Frein* (1988), S. 209 ff.; *Zhuang/Hindi* (1990), S. 367 ff. sowie *Yao/Buzacott* (1986), S. 410 ff.

Unter Anwendungsaspekten bedeuten die oben formulierten Zwischenergebnisse eine deutliche Einschränkung für den Einsatz des Grundmodells 3 und seiner Ersatzmodelle. Wie weitreichend diese Einschränkung tatsächlich ist, kann nur im konkreten Anwendungsfall beurteilt werden. Ein Einsatz des Modells erscheint jedoch bei deterministischen Kapazitäten möglich. Bei stochastischen Kapazitäten besteht noch die Möglichkeit einer approximativen Rechnung, indem die Standardabweichungen der Prozesskoeffizienten und Kapazitäten (und demzufolge auch der Durchführungszeiten) vernachlässigt werden. Für eine Anwendung bleibt dann der oben skizzierte Weg über die Abbildung durch M/M -Systeme bestehen. Bei dieser Art der Abbildung muss sichergestellt sein, dass für die betrachteten Produktiveinheiten die Übereinstimmung von Standardabweichung und Erwartungswert der Durchführungszeit realitätsnah ist. Aus Sicht der Anwendung kann das Grundmodell 3 dann eingesetzt werden, wenn es gelingt, durch die Ausschöpfung des Flexibilitätspotenzials der eingesetzten Potenzialfaktoren eine näherungsweise Deterministik der Kapazität herzustellen. Z.B. lassen sich in der operativen Planung durch flexible Einsatzzeiten schwankende Krankenstände ausgleichen. Gerade personalintensive Dienstleistungen zeichnen sich i.d.R. durch diese Flexibilität aus, so dass die angesprochene Einschränkung der Modellanwendung nur von geringer Tragweite ist.

b) Abbildung einer isolierten Produktiveinheit mittels GI/G/c-System

Zur Beeinflussung der Zahl der Aufträge, die innerhalb eines Zeitraums in einer Produktiveinheit bearbeitet werden können, bestehen zwei Möglichkeiten. Soweit die Produktiveinheit über mehrere Bedienungsschalter verfügt, kann zum einen deren Zahl variiert werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die (übereinstimmenden) Kapazitäten der Bedienungsschalter zu variieren. Um dabei die Gleichartigkeit der Bedienungsschalter zu erhalten, muss diese Variation der Kapazitäten an allen Schaltern einer Produktiveinheit gleich erfolgen.

Zur Beschreibung einer entsprechenden Produktiveinheit dient ein $GI/G/c$ -Warteschlangensystem, in dem die Zahl der Bedienungsschalter c oder deren Durchführungszeiten über die Kapazitäten variiert werden können. Ein $GI/G/c$ -System ist durch einen Ankunftsstrom an Aufträgen (hier: Teilprozesse) und deren Bearbeitung gekennzeichnet. Dabei werden die Teilprozesse in Bezug auf ihre Kapazitätsinanspruchnahme als homogen angesehen. Zur Berücksichtigung von Teilprozessen unterschiedlicher Dienstleistungsarten muss gegebenenfalls eine Aggregation durchgeführt werden. Die Zeit zwischen den Ankünften zweier unmittelbar nacheinander eintreffenden Teilprozesse (Zwischenankunftszeit) ist verteilungsunabhängig durch ihren Erwartungswert und ihren quadrierten Variationskoeffizienten bestimmt. Sowohl untereinander als

auch von den Durchführungszeiten müssen die Zwischenankunftszeiten stochastisch unabhängig sein.¹³ Alle eintreffenden Teilprozesse werden bis zum Durchführungsbeginn in einer für alle Bedienungsschalter gemeinsamen Warteschlange bzw. in einem Lagerraum verwaltet. Wird in einem Bedienungsschalter ein Teilprozess beendet, kann ein weiterer Teilprozess aus der Warteschlange abgerufen und begonnen werden. Das Unter- oder Abbrechen eines Teilprozesses ist nicht zulässig. Die Zeitdauer der Durchführung eines einzigen Teilprozesses in einer Produktiveinheit bzw. in einem ihrer Bedienungsschalter bildet die Durchführungszeit. Auch diese ist verteilungsunabhängig durch ihren Erwartungswert und ihre Standardabweichung gekennzeichnet. Als Kenngröße der Produktiveinheit interessiert nach den Bedingungen (F-5) und (F-6) des dargestellten Grundmodells 3 die Durchlaufzeit eines Teilprozesses und für das zu formulierende Erwartungswertmodell deren Erwartungswert.

Die Bestimmung von Kenngrößen, wie die des Erwartungswerts der Durchlaufzeit oder des Bestands an Aufträgen in der Produktiveinheit, gestaltet sich in $GI/G/c$ -Systemen, selbst bei einer einzigen Prozessart, kompliziert.¹⁴ Eine Auswertung der Lindley'schen Integralgleichungen¹⁵ ist für die meisten Anwendungen ausgeschlossen. Stattdessen existieren Approximationen, die insbesondere für kleine Variationskoeffizienten zu akzeptablen Näherungslösungen der erwarteten Durchlaufzeiten führen. Grundgedanke einiger dieser Approximationen ist es, von $M/M/1$ - und $M/M/c$ -Systemen auszugehen, für die sich entsprechende Kenngrößen berechnen lassen, und aus dem Verhältnis der Wartezeiten dieser Systeme Korrekturfaktoren zu berechnen. Von einem derartigen Korrekturfaktor wird angenommen, dass er systemunabhängig die Abweichung der Wartezeit in der Warteschlange von Systemen mit mehreren Bedienungsschaltern und von Systemen mit einem einzigen Bedienungsschalter mit vergleichbarer Bedienungsrate darstellt. Bezeichnet W die Wartezeit in der Warteschlange, S die Durchführungszeit und T die Durchlaufzeit durch die betrachtete Produktiveinheit, dann lautet die Approximation für die entsprechenden Erwartungswerte:¹⁶

$$(F-14) \quad E(D)_{GI/G/c} \approx \frac{E(W)_{M/M/c}}{E(W)_{M/M/1}} E(W)_{GI/G/1} + E(S),$$

¹³ Vgl. *Stoyan* (1977), S. 71.

¹⁴ Vgl. *Tijms* (1986), S. 266 ff.; *Neumann* (1977), S. 423 für $G/G/1$ -Systeme sowie *Stoyan* (1977), S. 98 ff. für die verwandten $GI/GI/c$ -Systeme.

¹⁵ Vgl. *Lindley* (1952), S. 278 ff.

¹⁶ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 80.

wobei die jeweilige Indizierung die Art des Warteschlangensystems kennzeichnet. Zur Berechnung der einzelnen Komponenten dieses Ausdrucks sei die folgende Notation eingeführt:

- X : Menge der Teilprozesse, die während der betrachteten Periode zu bearbeiten sind („Ankunftsrate“);
- CA^2 : quadriert Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit der Teilprozesse;
- CS^2 : quadriert Variationskoeffizient der Durchführungszeit der Teilprozesse;
- $P(0)$: Wahrscheinlichkeit, dass sich zu einem bestimmten Zeitpunkt kein Teilprozess im Produktionssystem befindet.

Die Bestimmungsgleichung der Wartezeit eines $M/M/1$ -Systems mit exponentialverteilten Zwischenankunfts- und Durchführungszeiten sowie einem einzigen Bedienungsschalter, dessen Durchführungszeit den c -ten Teil derjenigen Zeit beträgt, welche ein Bedienungsschalter in einem System mit c Schaltern besitzt, lautet:

$$(F-15) \quad E(W)_{M/M/1} = \frac{1}{c/E(S) - E(X)} - E(S).$$

Ferner ergibt sich für die Wartezeit eines Teilprozesses in einem $M/M/c$ -System:¹⁷

$$(F-16) \quad E(W)_{M/M/c} = \left(\frac{E(X)^c \cdot E(S)^{c+1}}{(c-1)! (c - E(X) \cdot E(S))^2} \right) \cdot P(0) \quad \text{sowie}$$

$$(F-17) \quad P(0) = 1 / \left(1 + \sum_{k=1}^{c-1} \frac{(E(X) \cdot E(S))^k}{k!} + \frac{(E(X) \cdot E(S))^c}{(c-1)! (c - E(X) \cdot E(S))} \right).$$

Bereits zur Berechnung der Wartezeit in einem $GI/G/1$ -System muss auf eine Approximation zurückgegriffen werden. In der Literatur findet sich hierfür eine Vielzahl von Vorschlägen.¹⁸ An dieser Stelle wird eine Approximation gewählt, die für quadrierte Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeit $CA^2 \leq 2$ eine gute Annäherung an exakte Kenngrößen Erlang-verteilter Warteschlangensysteme verspricht. Bei dieser Approximation ist der später benötigte quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenabgangszeit CD^2 linear von CA^2

¹⁷ Vgl. Neumann/Morlock (1993), S. 681 sowie Ferschl (1964), S. 98 f.

¹⁸ Vgl. Shanthikumar/Buzacott (1980), S. 762 ff. sowie für eine beschränkte Aufnahme ins System Stadje (1993), S. 600 ff.

abhängig, was zur Auswertung von Warteschlangennetzwerken von großer Bedeutung ist.¹⁹

$$(F-18) \quad E(W)_{GI/GI} \approx \left(\frac{\rho^2(1+CS^2)}{1+\rho^2CS^2} \right) \left(\frac{CA^2 + \rho^2CS^2}{2 \cdot E(X) \cdot (1-\rho)} \right), \quad \text{wobei}$$

$$(F-19) \quad \rho = E(X) \cdot E(S) / c$$

den Auslastungsgrad der gesamten Produktiveinheit mit c Bedienungsschaltern beschreibt.

Eine Voraussetzung für die Anwendung der Gleichungen (F-18) und (F-19) besteht darin, dass alle in der Warteschlange auf Durchführung wartenden Teilprozesse der gleichen Warteschlangendisziplin unterliegen. Diese Voraussetzung wird jedoch nur von einem Teil der Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 erfüllt. In einigen Fällen wird bei der Auswahl des Teilprozesses, der als nächster durchzuführen ist, nach Klassen unterschieden. In Dienstleistungsproduktionen spielen entsprechende Klassenbildungen eine nicht unerhebliche Rolle. Beispielsweise müssen in klinischen Bereichen Notfallpatienten gegenüber Patienten ohne akuten Befund vorgezogen werden. Ferner werden in Reisebüros oder Bankfilialen mit Publikumsverkehr i.d.R. die Mitarbeiter angehalten, erst die an den Schaltern wartenden Kunden abzufertigen, bevor sie Tätigkeiten ohne Kundenmitwirkung erledigen. Für die Abfertigung von Teilprozessen niedriger Klassen können aus dieser Form der Prioritätenbildung erheblich längere Durchlaufzeiten resultieren als ohne diese Klassenbildung. Zur Approximation der erwarteten Durchlaufzeit von Teilprozessen einer bestimmten Klasse kann bei Bedarf auf Gleichung (F-14) aufgebaut werden.²⁰

Zusammenfassend kann die Durchlaufzeit eines Teilprozesses in einem GI/G/c-Warteschlangensystem vollständig charakterisiert werden durch die Angabe der erwarteten Zahl durchzuführender Teilprozesse $E(X)$, durch den zugehörigen quadrierten Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeit CA^2 , durch die erwartete Durchführungszeit $E(S)$ und deren quadrierten Variationskoeffizienten CS^2 sowie durch die Anzahl der verfügbaren Bedienungsschalter c .

¹⁹ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 74 und 75 f. sowie *Bondi/Whitt* (1986), S. 221 ff.

²⁰ Für eine detaillierte Darstellung vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 84 und 88.

c) *Abbildung eines Produktionssystems mittels offener Warteschlangennetzwerke auf Basis von GI/G/c-Systemen*

Zur Beschreibung des unter Punkt (a) geforderten offenen Warteschlangennetzwerks werden die Warteschlangensysteme der einzelnen Produktiveinheiten miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung erfolgt auf der Basis der Nebenbedingungen (F-13), welche die mengenmäßigen Relationen zwischen durchzuführenden Teilprozessen wiedergeben. Im Gegensatz zu zerlegbaren Jackson-Netzwerken,²¹ in denen die Produktiveinheiten ausschließlich durch *M/M/c*-Warteschlangensysteme abgebildet werden, müssen bei den meisten Dienstleistungen die ab- und zugehenden Ströme an Teilprozessen in den einzelnen Produktiveinheiten aufeinander abgestimmt werden. Im hier behandelten Fall allgemeinverteilter Auftragsmengen und Durchführungszeiten bilden nämlich die aus einer Produktiveinheit abgehenden Teilprozesse keinen Poissonstrom. Der Literatur lassen sich mehrere Ansätze zur Lösung dieser Probleme entnehmen. Einen Überblick über den Aufbau dieser auf dem Prinzip der Dekomposition beruhenden Verfahren liefern *Suri, Sanders und Kamath*.²² Im Folgenden wird eine spezielle Variante dieser Dekomposition nach *Buzacott und Shanthikumar* aufgegriffen.²³

Kern des Verfahrens ist eine Aggregation der mit \hat{n} Dienstleistungsarten verbundenen Teilprozesse, die sich jeweils in die Warteschlange vor einer Produktiveinheit m einreihen können. Zu seiner Darstellung lässt sich auf die eingeführte Notation zurückgreifen. Gegenüber dem Grundmodell 3 werden anstelle der Zufallsvariablen deren Erwartungswerte benötigt. Da das Verfahren für alle Perioden des Planungszeitraums in gleicher Weise angewendet wird und keine Verknüpfungen von Variablen mehrerer Perioden vorliegen, lassen sich Zeitindizes vermeiden. Im Erwartungswertmodell müssen sie den betreffenden Variablen jedoch hinzugefügt werden. Zusätzlich zur eingeführten Notation sind für aggregierte Teilprozesse neue Größen zu definieren. Erst diese Größen erlauben die Berechnung der Kenngrößen nach (F-14) bis (F-19) für eine (aggregierte) Teilprozessart in isolierten Produktiveinheiten eines Warteschlangennetzwerkes:

$E(X_m)$: erwartete Zahl aggregierter Teilprozesse, die während der betrachteten Periode in der Produktiveinheit $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$ durchzuführen sind (Ankunftsrate);

²¹ Vgl. *Jackson* (1957), S. 518 ff.

²² Vgl. *Suri/Sander/Kamath* (1993), S. 236 ff.; ferner *Bitran/Tirupati* (1988), S. 76 ff.; *Buzacott/Shanthikumar* (1985), S. 872 ff. sowie *Kuehn* (1979), S. 114 ff.

²³ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 330 ff.

- CA_m^2 : quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit des aggregierten Teilprozesses in der Produktiveinheit m ;
- $E(R_n)$: erwartete Zahl der eingehenden Dienstleistungsaufträge der Art n ($n = 1, \dots, \hat{n}$);
- CAR_n^2 : quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit von Dienstleistungsaufträgen der Art n ;
- $E(S_m)$: erwartete Durchführungszeit eines aggregierten Teilprozesses, der während der betrachteten Periode in der Produktiveinheit $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene oder ein Bedienungsschalter}\}$ durchzuführen ist;
- CS_m^2 : quadrierter Variationskoeffizient der Durchführungszeit aggregierter Teilprozesse in der Produktiveinheit m ;
- $CS_{m,n}^2$: quadrierter Variationskoeffizient der Durchführungszeit von Teilprozessen (m,n) in der Produktiveinheit m ;
- CD_m^2 : quadrierter Variationskoeffizient der Zwischenabgangszeit aggregierter Teilprozesse in der Produktiveinheit m ;
- ρ_m : Auslastungsgrad der Produktiveinheit m ;
- $p_{m,m'}$: Wahrscheinlichkeit für den direkten Übergang eines aggregierten Teilprozesses von der Produktiveinheit m in die Produktiveinheit m' .

In einem ersten Schritt zur Kennzeichnung aggregierter Ankunftsdaten sind deren Summen zu berechnen:

$$(F-20) \quad E(X_m) = \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(X_{m,n}).$$

Für diese Berechnungen ist es erforderlich, die Nebenbedingungen (F-13) anhand der Erwartungswerte der dort aufgeführten Zufallsvariablen (unter Vernachlässigung des Periodenindex) auszuwerten. Hierzu muss für alle Dienstleistungsarten n jeweils ein lineares Gleichungssystem gelöst werden:

$$(F-21) \quad E(X_{m,n}) = \sum_{m'=1}^M E(X_{m',n}) \cdot p_{m',m,n} + E(R_n) \cdot \gamma_{m,n}$$

für $m, m' \in \{1, \dots, M \mid m, m' \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}; n = 1, \dots, \hat{n}$.

Mit Hilfe der Ankunftsdaten der aggregierten bzw. der nicht aggregierten Teilprozesse lassen sich aggregierte Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m'}$ ableiten, welche die möglichen Abfolgen der Produktiveinheiten entsprechend

dem Arbeitsplan eines aggregierten Teilprozesses beschreiben. Diese aggregierten Übergangswahrscheinlichkeiten ergeben sich aus:²⁴

$$(F-22) \quad P_{m,m'} = \frac{1}{E(X_m)} \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(X_{m,n}) \cdot P_{m,m',n}$$

für $m, m' \in \{1, \dots, M \mid m \text{ bzw. } m' \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}; n = 1, \dots, \hat{n}$.

Neben diesen Gleichungen, denen die Zahl der aggregierten *Teilprozesse* in den einzelnen Produktiveinheiten sowie ihre Weiterleitung zu entnehmen ist, werden auch Gleichungen benötigt, welche die Durchführungszeiten der aggregierten Teilprozesse erklären. Dies geschieht anhand der Erwartungswerte und der quadrierten *Variationskoeffizienten*, die sich jeweils auf einen Bedienungsschalter der zuständigen Produktiveinheit m beziehen:²⁵

$$(F-23) \quad E(S_m) = \frac{1}{E(X_m)} \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(X_{m,n}) \cdot E(S_{m,n})$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}; n = 1, \dots, \hat{n}$;

$$(F-24) \quad CS_m^2 = \left[\frac{1}{E(X_m) \cdot E(S_m)^2} \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(X_{m,n}) \cdot E(S_{m,n})^2 \cdot (1 + CS_{m,n}^2) \right] - 1$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}; n = 1, \dots, \hat{n}$.

Ein besonderes Problem der Beschreibung einer Produktion mittels *GI/G/c*-Warteschlangennetzwerken (gegenüber *Jackson*-Netzwerken) liegt darin, den Abgang der in einer Produktiveinheit durchgeführten Teilprozesse und ihren Zugang zeitlich zu erfassen. Da das hier dargestellte Warteschlangennetzwerk eine Produktion mit vollständiger Durchführung aller anstehenden Teilprozesse beschreibt, bildet die Zugangsrate der aggregierten Teilprozesse zugleich die Abgangsrate. Der quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenabgangszeit ist jedoch nicht direkt aus der entsprechenden Größe der Zugangsrate bzw. aus deren Kehrwert, der Zwischenankunftszeit, ableitbar. Auf die Streuung der Zwischenabgangszeit wirkt zum einen die Streuung der Zwischenankunftszeit und zum anderen die Streuung der Durchführungszeit. Wie angedeutet muss daher für *GI/G/c*-Systeme auf eine Approximation der Größen CD_m^2 zurückgegriffen werden. Die gewählte Approximation basiert auf der an-

²⁴ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 344.

²⁵ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 344.

genäherten Wartezeit nach (F-18) und lautet unter Verwendung des für die jeweilige Produktiveinheit spezifischen Auslastungsgrades:²⁶

$$(F-25) \quad CD_m^2 = (1 - \rho_m^2) \cdot \left[\frac{CA_m^2 + \rho_m^2 \cdot CS_m^2}{1 + \rho_m^2 \cdot CS_m^2} \right] + \rho_m^2 \cdot CS_m^2$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $n = 1, \dots, \hat{n}$.

In die Berechnung der CD_m^2 gehen u.a. Werte für die quadrierten Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeiten CA_m^2 ein. Die Bestimmungsgleichungen für CA_m^2 von *Buzacott* und *Shanthikumar*²⁷ müssen hier auf den Fall mehrerer Teilprozessarten erweitert werden und lauten dann:

$$(F-26) \quad CA_m^2 = \frac{1}{E(X_m)} \sum_{m'=1}^M E(X_{m'}) p_{m',m} \cdot (p_{m',m} \cdot CD_{m'}^2 + 1 - p_{m',m})$$

$$+ \frac{1}{E(X_m)} \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(R_n) \cdot \gamma_{m,n} \cdot (\gamma_{m,n} \cdot CAR_n^2 + 1 - \gamma_{m,n})$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $n = 1, \dots, \hat{n}$.

Die quadrierten Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeit in einer Produktiveinheit werden im Wesentlichen durch zwei Komponenten beeinflusst, die in den Gleichungen (F-26) jeweils einer Summe entsprechen. Zum einen wird die Streuung bzw. der quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit der betrachteten Produktiveinheit durch die Streuungen der Zwischenabgangszeiten aller Produktiveinheiten bestimmt, die vorangehende Teilprozesse durchführen. Zum anderen wirken auf die Streuungen der Zwischenankunftszeiten der betrachteten Produktiveinheit auch die Streuungen der von außen in das Produktionssystem eingehenden Dienstleistungsaufträge ein, deren erster Teilprozess in der betreffenden Produktiveinheit auszuführen ist. In den Gleichungen (F-26) sind die Größen CA_m^2 linear von den Größen $CD_{m'}^2$ abhängig. Aufgrund der gewählten Approximation hängen umgekehrt die CD_m^2 in den Gleichungen (F-25) linear von CA_m^2 ab. Auf diese Weise ergibt sich aus den beiden Gleichungsgruppen ein lineares Gleichungssystem, das verhältnismäßig einfach zu lösen ist.

²⁶ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 74 f. Zu weiteren Betrachtungen über die Aggregation von Zugangsströmen vgl. *Albin* (1982), S. 126 ff. sowie *Bertsimas/Mourtzinou* (1997), S. 471 ff.

²⁷ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 332.

Die berechneten Größen können schließlich verwendet werden, um in Analogie zur Bestimmungsgleichung der erwarteten Durchlaufzeit in einem einfachen $GI/G/c$ -System (F-14) auch für ein Warteschlangennetzwerk die erwarteten Durchlaufzeiten in einzelnen Produktiveinheiten zu ermitteln. Hierzu sind für eine Produktiveinheit m jeweils die entsprechend modifizierten Werte in die Gleichung (F-27) einzusetzen, die sich von (F-14) nur durch eine dienstleistungsspezifische Durchführungszeit des jeweiligen Teilprozesses unterscheidet, sonst aber dem gleichen Berechnungsmuster, wie in (F-14) bis (F-19) angegeben, folgt. Die Durchlaufzeit eines Teilprozesses (m,n) lautet bei Ergänzung um systemspezifische Indizes m :

$$(F-27) \quad E(D_{m,n})_{GI/G/c} \approx \frac{E(W_m)_{M/M/c}}{E(W_m)_{M/M/1}} E(W_m)_{GI/G/1} + E(S_{m,n}).$$

d) Formulierung eines Ersatzmodells

Aufbauend auf der Abbildung der Dienstleistungsproduktion mit Hilfe eines offenen Warteschlangensystems lässt sich ein Erwartungswertmodell als Ersatz für das stochastische Grundmodell 3 in (F-1) bis (F-13) formulieren. Im Erwartungswertmodell sind Durchlaufzeitstreuungen von Teilprozessen kein Gegenstand der Modellierung. Durch die Verwendung von $GI/G/c$ -Modellen gelingt es jedoch, die Streuungen der Zwischenankunftszeiten und Durchführungszeiten der Teilprozesse mit in die Berechnung erwarteter Durchlaufzeiten einfließen zulassen. Eine darüber hinausgehende Berechnung der Standardabweichungen von Durchlaufzeiten, wie sie als Grundlage eines Chance-Constrained-Modells notwendig wäre, ist zwar prinzipiell durch Näherungsrechnungen²⁸ möglich, ihre Durchführung ist jedoch mit einem erheblichen Rechenaufwand verbunden.

Aus dem Grundmodell 3 sind zunächst die Zielfunktion und ihre Komponenten in ein Erwartungswertmodell zu übertragen. Unter Anwendung der für das Grundmodell 3 eingeführten Notation gilt dann:

$$(F-28) \quad \max E(END_T),$$

wobei der erwartete Endwert am Ende des Planungszeitraums aus den Gleichungen

$$(F-29) \quad E(END_t) = E(END_{t-1}) \cdot (1 + i) + E(EZD_t) + ezp_t \quad \text{für } t = 0, \dots, T,$$

²⁸ Vgl. als Ansatzmöglichkeit *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 61 sowie S. 338 ff.

mit $E(END_{\cdot t}) := 0$ zu bestimmen ist. Die erwarteten Einzahlungsüberschüsse der Teilprozesse werden bestimmt nach:

$$(F-30) \quad E(EZD_t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{\hat{n}} ed_{m,n,t} \cdot E(X_{m,n,t}) \quad \text{für } t = 1, \dots, T.$$

Die nicht stochastisch formulierten Bedingungen zur Berechnung der Einzahlungsüberschüsse aus der Bereitstellung von Potenzialfaktoren ezp_t können direkt in Gestalt von (F-4) übernommen werden. Modifiziert werden hingegen die Bedingungen (F-5) und (F-6), die zur Abbildung der Prozessqualität dienen. Die Forderung nach Einhaltung von Mindestprozessqualitäten entspricht der Forderung nach Berücksichtigung von Höchstwerten für die erwarteten Durchlaufzeiten. Diese Forderung wird im Erwartungsmodell für Produktiveinheiten m auf der höchsten Aggregationsebene durch die Bedingungen (F-31) abgebildet:

$$(F-31) \quad E(D_{m,n,t}) \leq d_{\max,m,n,t} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

An die Stelle der Bedingungen (F-6) treten periodenweise Auswertungen der Gleichungssysteme, die zur Berechnung der erwarteten Durchlaufzeiten nach (F-27) notwendig sind. Zu diesem Zweck müssen alle Koeffizienten und Variablen, die in die Bestimmung von (F-27) eingehen, an die dynamische Problembetrachtung mit Hilfe zusätzlicher Zeitindizes angepasst werden. Als Resultat liegen erwartete Durchlaufzeiten für Produktiveinheiten m auf der höchsten Aggregationsebene vor:

$$(F-32) \quad E(D_{m,n,t}) = E(D_{m,n,t})_{GIV/GC} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Anders als die Bedingungen zur Prozessqualität werden die Bedingungen zur Beschreibung der Strukturqualität (F-7) deterministisch formuliert. Sie lassen sich direkt in das Erwartungswertmodell übernehmen.

Die Aggregation von Produktiveinheiten kann nach den vorangehenden Ausführungen²⁹ nicht in ihrer vollen Komplexität erfasst werden. Aus numerischen Gründen wird deshalb auf eine Berücksichtigung von Standardabweichungen der zur Verfügung zu stellende (verfügbaren) Kapazitäten verzichtet. Damit gehen die Bedingungen (F-8), sofern die betrachteten Kapazitäten durch Zufallsvariablen beschrieben sind, in einfache Berechnungen entsprechender Erwartungswerte über. Im Fall deterministischer Kapazitäten treten an die Stelle dieser Erwartungswerte deterministische Größen:

$$(F-33) \quad \text{Bei horizontaler Aggregation: für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T:$$

²⁹ Vgl. S. 194 ff.

$$E(KA_{m,t}) = \sum_{m \in M(m,t)} E(KA_{m,t}) + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t'}^{T+1} E(A_{m,k,t',t''}) \cdot z_{m,k,t',t''}$$

bei vertikaler Aggregation: für $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$:

$$E(KA_{m,t}) = \min \left\{ \min_{m \in M(m,t)} E(KA_{m,t}); \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t', t'', t' \leq t'' \leq T+1}} E(A_{m,k,t',t''}) \right\}$$

Mit Hilfe dieser Erwartungswerte (bzw. deterministischer Kapazitäten) lassen sich die geforderten Bedingungen zur Einhaltung von Mindestkapazitäten auf der Ebene der Bedienungsschalter modellieren. Die Nebenbedingungen (F-9) gehen dann in folgende Formulierung über:

(F-34)
$$E(KA_{m,t}) \geq ka_{\min,m,t}$$

$$m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Bedienungsschalter}\}; t = 1, \dots, T$$

Unter der genannten Einschränkung lassen sich auch Erwartungswerte und Standardabweichungen der Durchführungszeiten der Bedienungsschalter approximieren. Der Erwartungswert der Kapazität $E(KA_{m,t})$ wird dabei als deterministischer Divisor der Zufallsvariablen $BP_{m,n}$ behandelt. Anstatt der stochastischen Formulierungen gelten damit die Größen in (F-35):

(F-35)
$$E(S_{m,n,t}) = \frac{E(BP_{m,n})}{E(KA_{m,t})}$$

und

$$\sigma(S_{m,n,t}) = \frac{\sigma(BP_{m,n})}{E(KA_{m,t})}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $n = 1, \dots, \hat{n}$; $t = 1, \dots, T$.

Die Kapazitätsbeschränkungen nach (F-12) finden im dargestellten Ersatzmodell ebenfalls in Form von Bedingungen über Erwartungswerte ihren Niederschlag. Im Gegensatz zu den Formulierungen im Grundmodell 3 gewährleisten sie als echte Ungleichungen, dass sich das modellierte Warteschlangennetzwerk langfristig im Gleichgewichtszustand befindet.

(F-36)
$$\sum_{n=1}^{\hat{n}} E(X_{m,n,t}) \cdot E(S_{m,n,t}) < c_{m,t} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T$$

Ersatzformulierungen für die verbleibenden Bedingungen (F-13) des Grundmodells 3 brauchten an dieser Stelle nicht nochmals aufgeführt zu werden. Sie entsprechen den Bedingungen (F-21), die um Periodenindizes zu ergänzen sind und bereits zur Berechnung erwarteter Durchlaufzeiten

berücksichtigt wurden. Zur Vervollständigung und wegen ihrer Bedeutung für die Netzwerkabbildung seien sie dennoch angegeben:

$$(F-37) \quad E(X_{m,n,t}) = \sum_{m'=1}^M E(X_{m',n,t}) \cdot p_{m',m,n} + E(R_{n,t}) \cdot \gamma_{m,n}$$

für $m, m' \in \{1, \dots, M \mid m, m' \text{ ist Element der höchsten Aggregations-ebene}\}$; $n = 1, \dots, \hat{n}$; $t = 1, \dots, T$.

4. Variationen des Ersatzmodells

a) Variationen der Nachfragestruktur

(1) Eingeschränkte Nachfrageerfüllung

Ein Teil der terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktionen zeichnet sich durch eine eingeschränkte Nachfrageerfüllung bzw. Auftragsannahme aus. In diesem Fall gelingt es nicht, die in einem bestimmten Zeitraum auftretende Nachfrage nach Dienstleistungen vollständig als Aufträge anzunehmen und ihre Durchführung sofort oder im Einverständnis mit den Abnehmern zu einem späteren Zeitpunkt zu veranlassen. Die nicht angenommenen Aufträge werden abgewiesen und gehen dem Dienstleistungsproduzenten verloren. Damit muss die Anwendungsbedingung AFI.6 neu gefasst werden:

AFI.6 (neu): Aus der taktischen Produktionsprogrammplanung liegen nach Zeiträumen differenzierte Nachfragemengen vor, die nicht in vollem Umfang gedeckt werden können. Die Nachfragemengen beziehen sich auf die gleichen Perioden, für die auch die Einzahlungsüberschüsse erfasst werden. Nachfragemengen stellen stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, für die Erwartungswerte und quadrierte Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeiten bekannt sind.

Beispiele für diese Dienstleistungsproduktion finden sich u.a. in Krankenhäusern. Dort dürfen, sofern kein Notfall vorliegt, Patienten an umliegende Krankenhäuser überwiesen werden, wenn vor Ort die Möglichkeiten einer geeigneten Unterbringung und Versorgung in Intensiv- oder Brandverletzungsbetten ausgeschöpft sind. Ein weiteres Beispiel bilden Restaurants, die Gäste nur bis zu einer Höchstgrenze aufnehmen können und die damit rechnen müssen, dass abgewiesene Gäste nicht bereit sind, auf ein Platzangebot zu warten. Allgemein sind diese Produktionen dadurch gekennzeichnet, dass nur eine beschränkte Kapazität zur Aufnahme externer Faktoren zur Verfügung steht. Externe Faktoren werden dabei entweder direkt bei Auftragsannahme in das Produktionssystem eingeschleust (z.B. in ein Restaurant oder in das Kundenbetreuungssystem einer Direktbank) oder in einen dazugehörigen begrenz-

ten Warteraum (z.B. die Lounge eines Restaurants oder die Warteschleife eines Telefonsystems) überführt. I.d.R. werden diese Produktionen unter direkter Mitwirkung des Dienstleistungsabnehmers vollzogen, der sich und weitere externe Faktoren unmittelbar zu Beginn der Produktion in diese einbringt.

Zur Modellierung der Problemstellung mit eingeschränkter Nachfragerfüllung kann das offene Warteschlangennetzwerk zum Grundmodell 3 nicht oder nur als Approximation herangezogen werden, weil in diesem Netzwerk alle eingehenden Dienstleistungsaufträge bzw. die mit ihnen verbundenen externen Faktoren in einen unbeschränkten Warteraum überführt werden. Die Auswirkungen hoher Ankunftsdaten zu Spitzenzeiten zeigen sich dort in langen Durchlaufzeiten, jedoch nicht in abgewiesener Nachfrage nach Dienstleistungen. Statt durch ein offenes Warteschlangennetzwerk lässt sich das Planungsproblem mit eingeschränkter Nachfragerfüllung mittels eines semi-offenen Warteschlangennetzwerks beschreiben. Einfache Produktionssysteme, die durch eine eingeschränkte Nachfragerfüllung gekennzeichnet sind und sich nur aus einer einzigen Produktiveinheit zusammensetzen, werden im Zusammenhang mit Besetztsystemen diskutiert.³⁰ Im vorliegenden Fall eines durch mehrstufige Prozesse verbundenen Netzwerks von Produktiveinheiten besteht diese Möglichkeit nicht. Die stattdessen benötigten semi-offenen Warteschlangennetzwerke lassen sich formal auf geschlossene Netze zurückführen, sodass sich die nachfolgenden Ausführungen zunächst auf Letztere konzentrieren.

In einem geschlossenen Warteschlangennetzwerk kursiert zu jedem Zeitpunkt eine feste Zahl an Prozessen bzw. erteilten Dienstleistungsaufträgen. Der hier behandelte Fall einer variablen, aber nach oben beschränkten Prozesszahl wird dadurch erfasst, dass in ein geschlossenes Warteschlangennetzwerk eine fiktive Produktiveinheit mit dem Index 0 integriert wird. In diese gehen bei Unterbeschäftigung alle Prozesse ein, welche die Differenz zwischen den aktuell stattfindenden oder wartenden Prozessen und der Prozesshöchstzahl ausmachen. Ein Erreichen der höchstens in das Produktionssystem aufnehmbaren Prozesse zeigt sich darin, dass diese fiktive Produktiveinheit unbesetzt ist. Dagegen befinden sich alle Prozesse in der fiktiven Produktiveinheit, wenn das eigentliche Produktionssystem unbeschäftigt ist.

Das Grundmodell 3 muss zur Abbildung einer Produktion mit eingeschränkter Nachfragerfüllung nur geringfügig modifiziert werden. Es genügt, die anfallenden Änderungen direkt an dem zu formulierenden Ersatzmodell vorzunehmen. Die Zielfunktion und die Berechnung ihrer Komponenten nach (F-28) bis (F-30) bleiben erhalten. Eine Änderung betrifft die Bedingungen, die eine Mindestqualität der Prozesse gewährleisten. Da nur ein Teil aller nachgefragten Dienstleistungen realisiert wird, ist es nicht zweckmäßig, die

³⁰ Vgl. *Neumann* (1977), S. 399 ff.

Prozessqualität wie unter (F-31) nur mittels der Durchlaufzeit zu messen. Durch Reduktion des Anteils anzunehmender Aufträge kann nämlich eine Reduktion der Durchlaufzeit erzielt werden, die mit einer geringeren Leistungsbereitschaft verbunden ist. Letztere stellt jedoch bei dem hier beschriebenen Produktionstyp ein Merkmal der Prozessqualität dar. Demzufolge sollte der erwartete Anteil der angenommenen Dienstleistungsaufträge durch die Einhaltung eines Mindestanteils der Nachfrage abgesichert werden. Gleichzeitig empfiehlt es sich, die Einhaltung maximal zulässiger Durchlaufzeiten beizubehalten. Zur Berechnung des erwarteten Anteils angenommener Dienstleistungsaufträge an der gesamten Nachfrage wird ergänzend die folgende Notation verwendet:

$E(TH_{n,t})$: erwartete Produktionsmenge der Dienstleistungs- bzw. Prozessart n , die während der betrachteten Periode t durchzuführen ist;

$E(TH_t)$: erwartete Produktionsmenge aggregierter Prozesse, die während der betrachteten Periode t durchzuführen ist;

$v_{m,n,t} = \frac{E(X_{m,n,t})}{E(TH_t)}$: relative Häufigkeit der Durchführung der Teilprozesse (m,n) , bezogen auf die gesamte erwartete Produktionsmenge aggregierter Prozesse einer Periode $E(TH_t)$,³¹

$v_{m,t}$: relative Häufigkeit der Durchführung eines aggregierten Prozesses in der Produktiveinheit m in Periode t ;

$v_{0,n,t}$: relative Häufigkeit der Prozessart n bezogen auf die Gesamtproduktionsmenge der Periode t . Sie ist gleichbedeutend mit der Häufigkeit, mit der die Prozessart n an derjenigen Prozessmenge vertreten ist, die in der fiktiven Produktiveinheit ansteht. Es gilt:

$$\sum_{n=1}^{\hat{n}} v_{0,n,t} = 1;^{32}$$

$\hat{\beta}_{n,t}$: Anspruchsniveau in Form des Anteils angenommener Dienstleistungsaufträge bzw. Prozesse der Art n an der entsprechenden gesamten Nachfrage;

ξ_m : Menge der in Produktiveinheit m anstehenden (wartenden oder sich dort in Arbeit befindenden) aggregierten Prozesse;

ξ : Höchstzahl der Prozesse, die sich im gesamten Produktionssystem befinden können;

³¹ Vgl. Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 398.

³² Vgl. Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 385.

$h_m(\xi_m)$: Hilfsfunktion zur Beschreibung der Anzahl an Bedienungsschaltern, die in Produktiveinheit m durch Prozesse belegt sind;

$E(\bar{M}_{m,n,t})$: erwartete Bedienungsrate der Teilprozesse (m,n) in einem Bedienungsschalter der Produktiveinheit m in der Periode t ;

$E(\bar{M}_{m,t}(\xi_m))$: zustandsabhängige erwartete Bedienungsrate an aggregierten Teilprozessen in der Produktiveinheit m während der Periode t .

Aufbauend auf dieser Notation kann (F-31) um Bedingungen ergänzt werden, die für alle Prozessarten n und alle Perioden t die Einhaltung einer Mindestleistungsbereitschaft $\hat{\beta}_{n,t}$ gewährleisten:

$$(F-38) \quad E(TH_{n,t})/E(R_{n,t}) \geq \hat{\beta}_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Vollkommen neu gestaltet sich gegenüber dem Erwartungswertmodell mit vollständiger Nachfrageerfüllung die Berechnung der erwarteten Durchlaufzeiten aggregierter (Teil-)Prozesse $E(D_{m,t})$. Sie wird im Anschluss an die Modellformulierung präzisiert. Die Berechnung der entsprechenden Erwartungswerte wird deshalb vorläufig durch die Bedingungen (F-39) beschrieben:

$$(F-39) \quad E(D_{m,t}) = E(D_{m,t})_{G,c,\xi} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T.$$

Aus dem Ersatzmodell mit vollständiger Nachfrageerfüllung können die Nebenbedingungen (F-33) zur Aggregation von Produktiveinheiten, die Bedingungen (F-34) zur Einhaltung strategisch vorgegebener Mindestkapazitäten sowie die Bedingungen (F-35) zur Berechnung der erwarteten Durchführungszeiten und der korrespondierenden Standardabweichungen übernommen werden. Die Bedingungen (F-36), die das Erreichen eines langfristigen Gleichgewichts des Produktionssystems sicherstellen, entfallen im Modell mit eingeschränkter Nachfrageerfüllung. Durch eine beschränkte, zulässige Zahl an Prozessen im Produktionssystem wird hier gewährleistet, dass im Zeitablauf nicht mehr Aufträge in das System eingehen als in Form von Prozessen durchgeführt werden können.

Eine weitere Modifikation des Modells betrifft die durch das Netzwerk gesteuerten Prozessströme. Im Gegensatz zur vollständigen Nachfrageerfüllung steht hier die insgesamt durchzuführende Zahl aggregierter Prozesse nicht fest. An die Stelle der erwarteten Durchführungsmengen der Teilprozesse $E(X_{m,n,t})$ treten deshalb die Häufigkeiten der Durchführung der Teilprozesse $v_{m,n,t}$.

³³ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 368 und 385.

$$(F-40) \quad v_{m,n,t} = \sum_{m'=1}^M v_{m',n,t} \cdot p_{m',m,n} + v_{0,n,t} \cdot \gamma_{m,n}$$

für $m, m' \in \{1, \dots, M \mid m, m' \text{ ist Element der höchsten Aggregations-ebene}\}$; $n = 1, \dots, \hat{n}$; $t = 1, \dots, T$.

In den Gleichungen (F-40) können die Anteile $\gamma_{m,n}$ der Prozessarten n an den gesamten Auftragszahlen auch als Anteile $p_{0,m,n}$ interpretiert werden. Letztere beschreiben denjenigen Anteil an Prozessen der Art n , der bei Prozessbeginn von der fiktiven Produktiveinheit 0 in die Produktiveinheit m eingeschleust wird. Für die fiktive Produktiveinheit, mit deren Hilfe Situationen der Unterbeschäftigung abgebildet werden, gelten spezielle Gleichungen in Bezug auf die jeweilige Häufigkeit $v_{0,n,t}$. Nach der Durchführung eines Prozesses der Art n wird dieser über die fiktive Produktiveinheit 0 aus dem eigentlichen Produktionssystem entnommen. Die Häufigkeit $v_{0,n,t}$ derjenigen Prozesse n , die in der fiktiven Produktiveinheit erfasst sind, entspricht gerade der Summe der Häufigkeiten aller beendeten Prozesse. Somit gelten für die Größen $v_{0,n,t}$ die Gleichungen:

$$(F-41) \quad v_{0,n,t} = \sum_{m'=1}^M v_{m',n,t} \cdot p_{m',0,n}$$

für $m' \in \{1, \dots, M \mid m' \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$; $n = 1, \dots, \hat{n}$; $t = 1, \dots, T$.

Hierin werden jeweils die Häufigkeiten der Teilprozesse (m,n) mit der Wahrscheinlichkeit der Beendigung eines Prozesses n in der Produktiveinheit m multipliziert und die resultierenden Produkte über alle Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene summiert.

Die Werte $v_{0,n,t}$ sind ferner für die Berechnung der erwarteten Produktionsmenge der Prozessart n von Bedeutung. Diese Menge ergibt sich durch Disaggregation der erwarteten Produktionsmenge des aggregierten Prozesses $E(\text{TH}_i)$ in der Periode t . Die entsprechenden Vorschriften zur Disaggregation lauten:³⁴

$$(F-42) \quad E(\text{TH}_{n,t}) = v_{0,n,t} \cdot E(\text{TH}_i) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

Für die Bestimmung erwarteter Durchlaufzeiten und weiterer Kenngrößen geschlossener Warteschlangennetze existiert eine Vielzahl von Ansätzen. Häufig dienen diese Netzwerke zur Abbildung flexibler Fertigungssysteme. Oft wird dabei vereinfachend unterstellt, dass sich die Durchführungszeiten der einzelnen Teilprozesse hinreichend genau durch Exponentialverteilungen ab-

³⁴ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 398.

bilden lassen. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass Variationskoeffizienten mit dem Wert 1 vorausgesetzt werden, die Standardabweichungen der Durchführungszeiten also nicht unabhängig vom jeweiligen Erwartungswert variiert werden können. Bereits im Zusammenhang mit der Modellierung einer Dienstleistungsproduktion bei vollständiger Nachfrageerfüllung wird deutlich, dass die freie Variierbarkeit der Standardabweichung für Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 von großer Bedeutung ist. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Rahmen exponentialverteilter Durchführungszeiten zu verlassen und beliebige stetige Verteilungen der Durchführungszeiten zuzulassen. Unter dieser Bedingung werden nachfolgend die Möglichkeiten zur Berechnung wichtiger Kenngrößen geschlossener bzw. semi-offener Warteschlangennetzwerke dargestellt. Dabei wird auf eine Periodenindizierung aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Zur Durchführung der Berechnungen in einem Ersatzmodell sind dagegen die betroffenen Ausdrücke mit einem entsprechenden Zeitindex zu versehen und für jede Periode einzeln auszuwerten.

Geschlossene Warteschlangennetzwerke, in denen die Produktiveinheiten jeweils aus einem Bedienungsschalter bestehen, lassen sich u.a. in zwei Varianten formalisieren.³⁵ Diese sind Netzwerke, in denen die Bedienungsschalter exponentialverteilte Durchführungszeiten haben,³⁶ und Netzwerke mit allgemein verteilten Durchführungszeiten.³⁷ Beide Ansätze finden insbesondere bei der Planung flexibler Fertigungssysteme Anwendung. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass jederzeit eine konstante Zahl an Werkstückträgern im System kursiert. Besteht ein geschlossenes Warteschlangennetzwerk aus Produktiveinheiten mit jeweils einem Bedienungsschalter, lassen sich einfache Methoden zur Bestimmung von Durchlaufzeiten und weiteren Kenngrößen anwenden. Eine Methodengruppe wird unter der Bezeichnung „Mean-Value-Analysis“³⁸ zusammengefasst. Sie führt jeweils für eine Produktiveinheit m iterativ zu einer Durchlaufzeit, die über eine fortlaufend bis zur Höchstgrenze ξ erhöhte Menge an Prozessen ξ' in m bestimmt wird und vom Gesamtbestand wartender oder sich in Arbeit befindender (anstehender) Prozesse $N_m(\xi')$ abhängt:

$$(F-43) \quad E(D_m(\xi')_{M(n)}) = E(S_m) \cdot (E(N_m(\xi' - 1)) + 1).$$

³⁵ Als weitere Möglichkeiten lassen sich Erlang- und Phasenverteilte Netzwerke anführen.

³⁶ Vgl. Reiser (1979), S. 1201 ff.

³⁷ Vgl. Marchal (1985), S. 143 ff.

³⁸ Vgl. Reiser (1979), S. 1201 ff.; Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 374 sowie Reiser (1981), S. 8 ff.

Systeme bei allgemein verteilten Durchführungszeiten, deren Erwartungswerte und Standardabweichungen bekannt sind, werden auf dieser Grundlage approximiert. Ein entsprechendes Verfahren wird als „Extended-Mean-Value-Analysis“ bezeichnet.³⁹ In Anlehnung an einfache $M/G/1$ -Systeme wird bei dieser Approximation davon ausgegangen, dass ein eintreffender Auftrag (Prozess) zum Zeitpunkt seiner Ankunft auf einen anderen, gerade in Bearbeitung befindlichen Prozess trifft, der im Mittel noch eine Restdurchführungszeit $E(S_m^2)/(2 \cdot E(S_m))$ vor sich hat. Darauf aufbauend wird die Durchlaufzeit in der Produktiveinheit m mittels (F-44) approximiert:

$$(F-44) \quad E(D_m(\xi'')_{G/1}) = E(S_m) \cdot (E(N_m(\xi'-1)) - v_m \cdot E(TH(\xi'-1)) \cdot E(S_m) + 1) \\ + v_m \cdot E(TH(\xi'-1)) \cdot E(S_m^2) / 2 .$$

Die Differenz $E(D_m(\xi'')_{G/1}) - E(D_m(\xi')_{M/1})$ kann auch zur Approximation der Durchlaufzeit von Produktiveinheiten mit mehreren Bedienungsschaltern herangezogen werden. Sie lautet:

$$(F-45) \quad E(D_m(\xi'')_{G/1}) - E(D_m(\xi')_{M/1}) = 1/2 \cdot v_m \cdot E(TH(\xi'-1)) \cdot E(S_m^2) \cdot (CS_m^2 - 1) .$$

Bei einer entsprechenden Produktiveinheit mit c_m Bedienungsschaltern wird für einen vergleichbaren Prozess die c_m -fache Durchführungszeit im Vergleich zur Produktiveinheit mit einem Bedienungsschalter unterstellt. Dem stehen c_m Möglichkeiten für die Aufnahme in einen Bedienungsschalter gegenüber. Wird die in (F-45) ermittelte Differenz auch für eine Produktiveinheit m mit c_m Bedienungsschaltern übernommen, stellt der folgende Wert für die erwartete Durchlaufzeit $E(D_m(\xi'')_{G/c_m})$ eine Approximation dar. Er lautet:⁴⁰

$$(F-46) \quad E(D_m(\xi'')_{G/c_m}) \\ = E(D_m(\xi')_{M/c_m}) + 1/2 \cdot v_m \cdot E(TH(\xi'-1)) \cdot E(S_m^2) \cdot (CS_m^2 - 1) .$$

Die erwartete Durchlaufzeit $E(D_m(\xi')_{M/c_m})$ in einer Produktiveinheit mit c_m Bedienungsschaltern und exponentialverteilten Durchführungszeiten lässt sich durch eine „Marginal-Distribution-Analysis“⁴¹ berechnen. Dazu werden Bedienungsdaten für aggregierte (Teil-)Prozesse $E(\bar{M}_m(\xi_m))$ benötigt. Diese ergeben sich aus der Aggregation teilprozessbezogener, zustandsabhängiger Be-

³⁹ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 379 f.; ferner *Marie* (1979), S. 531 ff. sowie *Shanthikumar/Gocmen* (1983), S. 676 ff.

⁴⁰ Zu einer weiteren Approximation vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 377 ff. sowie *Marchal* (1985), S. 147 f.

⁴¹ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 373 f.

dienungsraten $E(\bar{M}_{m,n}(\xi_m))$. Letztere beschreiben die Menge der Teilprozesse, die durch die Produktiveinheit während einer Periode durchgeführt werden können, wenn ausschließlich ξ_m Teilprozesse der Prozessart n zur Durchführung anstehen. Für die Darstellung wird eine Hilfsfunktion $h_m(\xi_m) := \min \{\xi_m, c_m\}$ benötigt, welche die Anzahl der beschäftigten Schalter einer Produktiveinheit mit c_m Bedienungsschaltern beschreibt. Ist $E(\bar{M}_{m,n})$ die erwartete Bedienungsrate eines dieser Bedienungsschalter der Produktiveinheit m und liegen ausschließlich Teilprozesse der Prozessart n vor, dann lautet die zustandsabhängige Bedienungsrate einer Produktiveinheit der höchsten Aggregationsebene für diese Prozessart:⁴²

$$(F-47) \quad E(\bar{M}_{m,n}(\xi_m)) = E(\bar{M}_{m,n}) \cdot h_m(\xi_m).$$

Sowohl diese erwarteten Bedienungsrate als auch die Häufigkeiten der Teilprozesse und die quadrierten Variationskoeffizienten der Durchführungszeiten müssen zur weiteren Berechnung aggregiert werden. Die Häufigkeiten der Teilprozesse in einer Produktiveinheit m der höchsten Aggregationsebene werden durch

$$(F-48) \quad v_m = \sum_{n=1}^{\hat{n}} v_{m,n}$$

zur Häufigkeit der Durchführung eines aggregierten Prozesses zusammengefasst. Der Kehrwert der Bedienungsrate $E(\bar{M}(\xi_m))$ für aggregierte Prozesse ergibt sich in Anlehnung an (F-47) aus:⁴³

$$(F-49) \quad 1/E(\bar{M}_m(\xi_m)) = \frac{1}{v_m} \cdot \sum_{n=1}^{\hat{n}} v_{m,n} / (E(\bar{M}_{m,n}) \cdot h_m(\xi_m));$$

ferner berechnet sich der aggregierte quadrierte Variationskoeffizient CS_m^2 der Durchführungszeit in der Produktiveinheit m nach:

$$(F-50) \quad CS_m^2 = \left[\frac{E(\bar{M}_m(\xi_m))}{v_m} \cdot \sum_{n=1}^{\hat{n}} v_{m,n} / (E(\bar{M}_{m,n}) \cdot h_m(\xi_m))^2 \cdot (1 + CS_{m,n}^2) \right] - 1.$$

Diese aggregierten Größen werden mit Hilfe der Marginal-Distribution-Analyse verarbeitet. Kern des Verfahrens ist es, die Grenzverteilungen für die Wahrscheinlichkeiten des Prozessbestands in den Produktiveinheiten isoliert

⁴² Vgl. *Chao/Miyazawa/Pinedo* (1999), S. 38 f.

⁴³ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 344.

zu bestimmen. Es unterscheidet sich hierin von Verfahren, mit denen die m -dimensionale Verteilungsfunktion aller Prozessbestände bestimmt wird. Für die Wahrscheinlichkeiten der Grenzverteilungen gilt die folgende Notation:

$P_m\{(\xi_m, \xi')\}$: Wahrscheinlichkeit für einen Bestand von ξ_m Prozessen vor und in der Produktiveinheit m , falls sich im gesamten Produktionssystem stets ξ' Prozesse befinden.

Bei Anwendung der Marginal-Distribution-Analysis werden iterativ über den gesamten Bestand an Prozessen ξ' Durchlaufzeiten und weitere Kenngrößen ermittelt. Das Verfahren bricht ab, sobald die Kenngrößen für ξ Prozesse im gesamten Produktionssystem erreicht sind. In Verbindung mit der Approximation der jeweiligen Durchlaufzeit nach (F-46) werden für die Prozessbestände $\xi' = 1, \dots, \xi$ in den Produktiveinheiten m auf höchster Aggregationsebene die folgenden Gleichungen ausgewertet:⁴⁴

$$(F-51) \quad E(D_m(\xi')_{M/c_m}) = \sum_{\xi_m=0}^{\xi'-1} \frac{\xi_m + 1}{E(\bar{M}_m(\xi_m + 1))} \cdot P_m\{(\xi_m, \xi' - 1)\} ;$$

$$(F-52) \quad E(TH(\xi')) = \xi' / \sum_{m=1}^M v_m \cdot E(D_m(\xi')_{G/c_m}) ;$$

$$(F-53) \quad P_m\{(\xi_m, \xi')\} = v_m \cdot E(TH(\xi')) \cdot P_m\{(\xi_m - 1, \xi' - 1)\} / E(\bar{M}_m(\xi_m)) ;$$

$$(F-54) \quad P_m\{(0, \xi')\} = 1 - \sum_{\xi_m=1}^{\xi'} P_m\{(\xi_m, \xi')\} .$$

Die Gleichungen zur Bestimmung der Kenngrößen in einem geschlossenen Warteschlangennetzwerk lassen sich nach einer Modifikation auch für das hier benötigte semi-offene Warteschlangennetzwerk verwenden.⁴⁵ Hierzu wird eine fiktive Produktiveinheit $m = 0$ mit einem einzigen Bedienungsschalter eingefügt.⁴⁶ Alle in dieser fiktiven Produktiveinheit erfassten Prozesse reduzieren die Zahl der im eigentlichen (realen) Produktionssystem wartenden oder sich in Durchführung befindenden Prozesse. Die Durchführungszeit eines aggregierten Prozesses in der fiktiven Produktiveinheit wird dabei der Zwischenankunftszeit aggregierter Prozesse gleichgesetzt, die in das eigentliche Produktionssystem aufgenommen werden sollen. Umgekehrt bildet die Bedie-

⁴⁴ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar* (1993), S. 373 f.

⁴⁵ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar/Yao* (1994), S. 9.

⁴⁶ Alternativ zum Konzept von *Buzacott/Shanthikumar/Yao* (1994), S. 9, ist auch die Konstruktion einer fiktiven Produktiveinheit mit mehreren Bedienungsschaltern denkbar, die eine parallele „Durchführung“ aller Prozesse bei einer entsprechend vervielfachten Durchführungszeit erlauben.

nungsrate der fiktiven Produktiveinheit die Zugangsrate für das eigentliche Produktionssystem. Ein Zufluss an Prozessen in das eigentliche Produktionssystem ($m = 1, \dots, M$) erfolgt ausschließlich über die fiktive Produktiveinheit $m = 0$. Dieser Zufluss entspricht gerade den Nachfragen R_n , die an das Dienstleistungsunternehmen gerichtet werden. Aus der Summe der erwarteten Nachfragen ergibt sich die zustandsabhängige Bedienungsrate für aggregierte Prozesse in der fiktiven Produktiveinheit:⁴⁷

$$(F-55) \quad E(\bar{M}_0(\xi_0)) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{\hat{n}} E(R_n) & \text{für } 1 \leq \xi_0 \leq \xi \\ 0 & \text{für } \xi_0 = 0 \end{cases}.$$

Der zu den entsprechenden Ankünften gehörende quadrierte Variationskoeffizient der fiktiven Durchführungszeit CS_0^2 leitet sich aus den Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeiten der Nachfragen CAR_n^2 durch Gewichtung mit der Häufigkeit der Prozesse ab:

$$(F-56) \quad CS_0^2 = \sum_{n=1}^{\hat{n}} v_{0,n} \cdot CAR_n^2.$$

Zur Erweiterung der Berechnungen auf die fiktive Produktiveinheit sind die Gleichungen (F-51) bis (F-54) zu ergänzen bzw. zu modifizieren. Für die Berechnung der Durchlaufzeiten wird bei allgemein verteilten Durchführungszeiten wiederum auf (F-46) zurückgegriffen und $c_0 = 1$ gesetzt:

$$(F-57) \quad E(D_0(\xi')_{M \cap}) = \sum_{\xi_0=0}^{\xi'-1} \frac{\xi_0 + 1}{E(\bar{M}_0(\xi_0 + 1))} \cdot P_0\{(\xi_0, \xi' - 1)\} ;$$

$$(F-58) \quad E(TH(\xi')) = \xi' / \sum_{m=0}^M v_m \cdot E(D_m(\xi')_{G/c_m}) ;$$

$$(F-59) \quad P_0\{(\xi_0, \xi')\} = E(TH(\xi')) \cdot P_0\{(\xi_0 - 1, \xi' - 1)\} / E(\bar{M}_0(\xi_0)) ;$$

$$(F-60) \quad P_0\{0, \xi'\} = 1 - \sum_{\xi_0=1}^{\xi'} P_0\{(\xi_0, \xi')\} .$$

Bei $\xi' = \xi$ sind diesem Gleichungssystem für jeweils eine Periode t die erwarteten Durchlaufzeiten $E(D_m(\xi')_{G/c_m})$ zu entnehmen und für $E(D_m)_{G,c,\xi}$ in (F-39) des Erwartungswertmodells zur Kapazitätsplanung einzusetzen. Ferner lässt sich für jede Periode t die erwartete Menge aggregierter Prozesse $E(TH)$

⁴⁷ Vgl. *Buzacott/Shanthikumar/Yao* (1994), S. 9.

als $E(TH(\xi))$ bestimmen. Hieraus werden die in den Restriktionen (F-38) des Erwartungswertmodells benötigten Erwartungswerte der Prozessmengen $E(TH_{n,t})$ ermittelt. Diese Größen lassen sich durch Disaggregation aus den erwarteten aggregierten Prozessmengen $E(TH_t)$ nach den Gleichungen (F-42) über $E(TH_{n,t}) = v_{0,n,t} \cdot E(TH_t)$ ableiten.

(2) Schwankungen der Nachfrage

Ein Teil der Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 ist ähnlich wie diejenigen der Haupttypen 1 und 2 durch starke Schwankungen der Dienstleistungsnachfrage gekennzeichnet. Dieses Phänomen tritt insbesondere dann auf, wenn die jeweilige Produktion unter Mitwirkung des Dienstleistungsabnehmers erfolgt und der Produktionsbeginn durch dessen Eintreffen bestimmt wird. In der Regel werden z.B. Reisebüros in der Mittagszeit und gegen Abend von Privatkunden häufiger besucht als am frühen Morgen. Hierbei spielt eine Rolle, dass diese Kunden einen Besuch des Reisebüros mit den eigenen Arbeitszeiten abstimmen. I.d.R. gehen Aufträge von Geschäftskunden vorwiegend am Vormittag und am frühen Nachmittag ein. Auch die Call-Center von Direktbanken und von Verkaufsbüros zeigen spezifische Nachfrageschwankungen, die sich im Tages- und Wochenverlauf ergeben.

Das warteschlangentheoretische Instrumentarium, das für das Grundmodell 3 bzw. sein Ersatzmodell bereitsteht, ist zunächst nur unvollkommen auf die Abbildung schwankender Nachfragen eingerichtet. Mit Hilfe dieses Instrumentariums lassen sich lediglich Schwankungen der Nachfrage innerhalb einzelner Perioden erfassen. Hierzu dienen die entsprechenden Streuungen der Zwischenankunftszeit in Form der quadrierten Variationskoeffizienten. Unabhängig davon, ob Nachfrageschwankungen saisonbedingt oder durch andere Einflussgrößen verursacht sind, entstehen Probleme, wenn in zwei Perioden (bzw. Teilperioden) die Nachfrage durch unterschiedliche Zugangsraten in das System abgebildet wird. Erstens werden in den bisher dargestellten Warteschlangensystemen stets nur Gleichgewichtszustände analysiert, die sich bei genügender Periodenlänge im Mittel einstellen. Für Probleme mit kurzen Beobachtungszeiträumen bzw. einer feinen Periodeneinteilung des Planungszeitraums bildet das warteschlangentheoretische Instrumentarium nur eine Approximation, deren Präzision im Einzelfall weiter zu untersuchen ist. Zweitens sehen die angeführten Instrumente der Warteschlangentheorie keine Möglichkeit vor, das Verhalten eines Produktionssystems in einem engen Zeitintervall um den Zeitpunkt einer strukturellen Veränderung (z.B. der Nachfrage) zu beschreiben. Hierdurch werden wichtige Informationen darüber nicht ausgewertet, inwieweit eine Warteschlange von Dienstleistungsprozessen, die sich in einer ersten Periode aufgebaut hat, zu Beginn der zweiten Periode abgebaut wird, wenn von diesem Zeitpunkt an eine geänderte Zugangsrate an Prozessen

gilt. Dieses zweite Problem ist prinzipiell für komplexere Warteschlangensysteme nicht lösbar. Jedoch sind die erwarteten Nachfragen der einzelnen Perioden so modifizierbar, dass der Abbau von Warteschlangen in den Zeitpunkten des Übergangs von einer Periode zur anderen verbessert abgebildet werden kann.

Als Möglichkeit zur Berechnung modifizierter Nachfragen $\bar{R}_{n,t}$ schlägt Sze⁴⁸ vor, von einer zeitkontinuierlichen Nachfragefunktion $R_n(ct)$ (mit $ct \in \mathbb{R}$) auszugehen. Für ein einfaches Wartesystem mit allgemein verteilten Durchführungszeiten und mehreren Bedienungsschaltern lautet der Erwartungswert der modifizierten Nachfrage nach einer einzigen Dienstleistungsart n in der Periode t :

$$(F-61) \quad E(\bar{R}_{n,t}) = \frac{1}{E(S_{n,t})} \int_0^{\infty} E(R_n(t-s)) \cdot e^{-(s/E(S_{n,t}))} ds.$$

Grundgedanke dieser Approximation ist es, von einer exponentialverteilten Durchführungszeit auszugehen und die erwartete Nachfrage während der Zeit vor dem Zeitpunkt t der gesamten (gleichindizierten) Periode t zugrunde zu legen. Für eine mehrstufige Produktion mit einer Prozessfolge ohne Mehrfachankünfte von Teilprozessen kann diese Approximation erweitert werden. Hierzu wird im Fall einer vollständigen Nachfrageerfüllung auf die Struktur des Gleichungssystems (F-13) zurückgegriffen. Die Anzahl der Wiederholungen $v_{m,n,t}$ von Teilprozessen (m, n) in einer Periode t kann demnach durch

$$(F-62) \quad v_{m,n,t} = X_{m,n,t} / R_{n,t} = \left(\sum_{m'=1}^M X_{m',n,t} \cdot P_{m,m',n} \right) / R_{n,t} + \gamma_{m,n}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$
 $n = 1, \dots, \hat{n} ; t = 1, \dots, T,$

ermittelt werden. Anstatt der Durchführungszeit eines einzigen Prozesses in einer isolierten Produktiveinheit nach (F-61) ist dann die höchste Summe aller Durchführungszeiten eines Dienstleistungsprozesses relevant. Deren Erwartungswert wird durch

$$E(VS_{\max,t}) := \max \left\{ \sum_{m=1}^M v_{m,n,t} \cdot E(S_{n,t}) \right\}$$

beschrieben und führt zur Approximation:

⁴⁸ Vgl. Sze (1984), S. 236.

$$(F-63) \quad E(\bar{R}_{n,t}) = \frac{1}{E(VS_{\max,t})} \int_0^{\infty} E(R_n(t-s)) \cdot e^{-(s/E(VS_{\max,t}))} ds .$$

Die modifizierten Nachfragen $\bar{R}_{n,t}$ bieten gegenüber dem Grundmodell 3 die Möglichkeit einer verbesserten Nachfrageberücksichtigung, die zu einer präziseren Planung der Kapazitäten führt. Einer praktischen Verwendung dieser Größen in einem der dargestellten Erwartungswertmodelle zur taktischen Kapazitätsplanung steht jedoch die Ermittlung kontinuierlicher Nachfragefunktionen entgegen. Unter praktischen Gesichtspunkten lässt sich diese ausschließlich durch eine diskrete Nachfragefunktion approximieren. Damit stellt sich die Frage, inwiefern eine direkte, diskrete Formulierung der modifizierten Nachfrage einer Integration nach (F-61) oder (F-63) vorzuziehen ist. Ferner müssen zur Erfassung sehr kurzfristiger Nachfrageschwankungen die kontinuierlichen Nachfragefunktionen ebenfalls sehr detailliert sowie die modifizierten diskreten Nachfragen auf einem feinen Periodenzeitraster formuliert werden. Dies bedeutet, dass das Kapazitätsplanungsmodell ebenfalls auf einem sehr feinen Zeitraster aufbauen muss, wodurch wiederum seine Lösbarkeit beeinträchtigt wird. Schließlich ist es erforderlich, neben den Erwartungswerten der Nachfragen auch die Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeiten zu modifizieren, was zu weiteren erheblichen Berechnungsschwierigkeiten führt.

b) Variationen der Produktionsstruktur

(1) Flexibilisierung des Kapazitätseinsatzes

Für terminlich fein strukturierte Dienstleistungsproduktionen mit hoher Wiederholungsrate stellt die Kompensationsfähigkeit eine wichtige Form der Flexibilität von Kapazitäten dar. Sie wird in den vorangehenden Abschnitten im Zusammenhang mit der Abbildung schwankender Nachfragen als zeitliche Kompensationsfähigkeit erläutert. Für viele Dienstleistungsproduktionen stellt sich zusätzlich die Frage, inwieweit eine Investition in Produktiveinheiten nicht zur Kompensation schwankender Nachfragen, sondern zur qualitativ verbesserten Durchführung bestimmter Teilprozessarten vorgenommen werden soll. Ebenso ist zu entscheiden, ob statt der Investition in spezialisierte Potenzialfaktoren eine Investition in allgemein verwendbare bzw. ausgebildete Potenzialfaktoren erfolgen soll, um eine Kompensationsfähigkeit hinsichtlich der Verwendbarkeit der Potenzialfaktoren aufzubauen. In einem Reisebüro kann es z.B. zweckmäßig sein, die Ermittlung internationaler Zugverbindungen von einer speziell ausgebildeten Fachkraft durchführen zu lassen und den Verkauf von Pauschalreisen allgemein ausgebildeten Kundenbetreuern zu übertragen. Die Fachkraft ist dann i.d.R. in der Lage, ihre spezielle Tätigkeit in

einer kürzeren Zeit zu vollziehen und Reklamationen zu vermeiden. Dem steht gegenüber, dass ein Kunde, der eine komplette Reise inklusive Bahnverbindungen buchen möchte, in mehr Produktiveinheiten bedient werden muss als bei Betreuung durch einen allgemein ausgebildeten Kundenbetreuer.

Im Erwartungswertmodell mit uneingeschränkter Nachfragerfüllung kann eine Kompensationsfähigkeit hinsichtlich der Verwendbarkeit von Potenzialfaktoren durch unterschiedliche Produktiveinheiten abgebildet werden. Hierzu seien zwei unterschiedliche Zusammensetzungen entsprechender Produktiveinheiten betrachtet. In der ersten Zusammensetzung wird davon ausgegangen, dass zwei Produktiveinheiten $m = 1, 2$ existieren, die jeweils über eine zu planende Anzahl gleicher Bedienungsschalter c_m verfügen. Die Produktiveinheit 2 sei auf Teilprozesse spezialisiert, die in der Produktiveinheit 1 nicht wahrgenommen werden können, jedoch zur Durchführung einiger Dienstleistungs- bzw. Prozessarten n notwendig sind. Für diese Prozesse sind Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m,n}$ zu berücksichtigen, welche die Überleitung der betroffenen Prozesse in die spezialisierte Produktiveinheit 2 kennzeichnen. Für den Fall, dass alle Prozesse der Art n zunächst in Produktiveinheit 2 durchgeführt und anschließend ausschließlich diese Prozesse zurück in Produktiveinheit 1 zur weiteren Durchführung gelangen, lauten die Wahrscheinlichkeiten: $p_{1,2,n} = p_{2,1,n} = 1$. Gleichzeitig gelten in den Bedienungsschaltern der Produktiveinheiten unterschiedliche Durchführungszeiten $S_{m,n}$. In der zweiten Zusammensetzung werden alle Dienstleistungsprozesse von allen Schaltern einer einzigen Produktiveinheit bewältigt. Hier ist lediglich über die Anzahl der Bedienungsschalter c einer gemeinsamen Produktiveinheit zu entscheiden. Eine Spezifikation der Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m,n}$ zwischen den oben betrachteten Produktiveinheiten entfällt. Für die Durchführungszeiten sind fallabhängig Prognosen zu treffen. I.d.R. kann davon ausgegangen werden, dass bei spezialisierter Prozessdurchführung in der ersten Zusammensetzung die Summe der erwarteten Durchführungszeiten sowie deren Standardabweichung kleiner ist als die entsprechenden Größen bei integrierter Prozessdurchführung in der zweiten Zusammensetzung.

Der hier exemplarisch dargestellte Teil eines Produktionssystems für Dienstleistungen muss im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem betrachtet werden. Hierzu sind gegebenenfalls die Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m,n}$ anzupassen. Sofern zusätzliche Prozessflüsse zu anderen Produktiveinheiten relevant sind, muss damit gerechnet werden, dass Entscheidungen über die Zusammensetzung der beiden Produktiveinheiten Einfluss auf die Durchlaufzeiten anderer Produktiveinheiten ausüben. Schließlich verdeutlichen diese Überlegungen, dass eine Entscheidung über die Zusammensetzung einer Produktiveinheit auch deren Prozessqualität in Gestalt der Durchlaufzeiten beeinflusst. Damit erhalten Problemstellungen der taktischen Prozessplanung für die taktische Kapazitätsplanung zusätzliches Gewicht.

(2) Zeitliche Parallelisierung der Kapazitätsinanspruchnahme

Bei Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 ist vielfach zu beobachten, dass unter Mitwirkung externer Faktoren Zwischenprodukte gewonnen werden. Diese gehen als Eingangsfaktoren in anschließend durchzuführende Teilprozesse (Nebenprozesse) ein, die zur Prozessdurchführung am externen Faktor (Hauptprozess) zeitlich parallel verlaufen. Entsprechende Nebenprozesse fallen z.B. in der Diagnostik eines Krankenhauses an, wenn während einer Operation (Hauptprozess) eine Gewebeprobe des Patienten pathologisch untersucht werden muss (Nebenprozess). Auch in Call-Centern werden Anrufer vielfach in der Leitung gehalten, wenn der Kundenbetreuer eine Rückfrage wegen eines technischen Problems hat. In Reisebüros lassen sich Buchungs- und Informationsprozesse oder in Verwaltungsbereichen die Komponenten einer Auftrags erfassung⁴⁹ ebenfalls parallel durchführen.

Die Abbildung paralleler Nebenprozesse ist warteschlangentheoretisch unproblematisch, falls diese mit dem jeweiligen Hauptprozess in ein und demselben Bedienungsschalter einer Produktiveinheit vollzogen werden. In diesem Fall orientiert sich die Durchführungszeit aller Teilprozesse, die für den Haupt- und die Nebenprozesse in diesem Bedienungsschalter anfallen, an dem Maximum der jeweiligen Durchführungszeiten. Für dieses Maximum sind dann ein Erwartungswert und ein Variationskoeffizient zu schätzen.

Problematischer ist die Abbildung eines Hauptprozesses mit Nebenprozessen, die in verschiedenen Produktiveinheiten vollzogen werden. Lässt sich auch für unterschiedliche Auslastungssituationen davon ausgehen, dass einer der Nebenprozesse oder der Hauptprozess selbst in der Regel eine wesentlich höhere Durchlaufzeit besitzt als alle anderen zeitlich parallelen Haupt- bzw. Nebenprozesse, kann seine Durchführungszeit für die anderen (Teil-)Prozesse übernommen werden, sofern in den betreffenden Produktiveinheiten keine weiteren Prozesse durchzuführen sind. Diese Möglichkeit liefert jedoch nur eine approximative Modellierung, da die Auslastungssituation durch die Kapazitätsentscheidung beeinflusst wird und prinzipiell nicht als bekannt vorausgesetzt werden kann. Angemessen ist diese Modellierung dann, wenn die mit Hilfsprozessen betrauten Produktiveinheiten ausschließlich für Teilprozesse zuständig sind, die aus der Produktiveinheit stammen, in welcher der Hauptprozess durchgeführt wird. Ferner ist zu fordern, dass keine Produktiveinheit, die auf das Ende eines anderen Haupt- oder Nebenprozesses wartet, mit der Durchführung anderer Prozesse beginnt. Die Approximation kann auch dann akzeptiert werden, wenn die ausgelösten Nebenprozesse in den betroffenen Produktiveinheiten höchste Priorität besitzen. In letzterem Fall empfiehlt es sich, die Restdauer eines sich eventuell in Durchführung befindenden

⁴⁹ Vgl. Scheer (1997b), S. 23.

Prozesses in der erwarteten Restdurchführungsdauer $E(S_m^2)/(2 \cdot E(S_m))$ eines aggregierten Prozesses der Produktiveinheit m zu berücksichtigen.

Trifft keine der beschriebenen Situationen auf die Durchführung eines Hauptprozesses mit seinen Nebenprozessen zu, ist für die Modellierung eine komplexere Vorgehensweise zu wählen. Dazu werden alle mit Nebenprozessen betrauten Produktiveinheiten vorläufig als isolierte, nicht ins Netz eingebundene $M/G/c$ -Wartesysteme⁵⁰ aufgefasst. Eine Modellierung mit Hilfe von $GI/G/c$ -Systemen ist in diesem Fall nicht möglich, weil keine Aussagen über die Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeit möglich sind, ohne die entsprechenden Koeffizienten der Zwischenabgangszeiten anderer Produktiveinheiten auszuwerten. Die erwarteten Produktionsmengen $E(X_{m,n})$ liegen jedoch nach Auflösung der Gleichungssysteme (F-21) vor und können als Grundlage für ein $M/G/c$ -Wartesystem herangezogen werden. Die erwartete Durchlaufzeit durch dieses $M/G/c$ -Wartesystem gilt dann jeweils auch für einen der untersuchten Nebenprozesse, die regulär durch Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m,n}$ ausgelöst werden. Reihen sich die Nebenprozesse zeitgleich mit dem Hauptprozess in die jeweilige Warteschlange ein, kann als modifizierte Durchlaufzeit des Hauptprozesses das Maximum aus seiner ursprünglichen Durchlaufzeit und der Durchlaufzeit seiner Nebenprozesse gewählt werden.

(3) Berücksichtigung von Übergangszeiten

Übergangszeiten stellen Zeiten für Vorgänge dar, die zwischen zwei aufeinander folgenden Teilprozessen eines Hauptprozesses dazu dienen, räumliche Distanzen zwischen Produktiveinheiten zu überwinden oder Zwischenergebnisse der Produktion, die in einer Warteschlange für eine weitere Prozessdurchführung zurückgehalten werden, an den Ort der weiteren Durchführung zu bringen. Diese Übergangszeiten treten z.B. in Kliniken auf, wenn Patienten zwischen zwei Behandlungs- oder Untersuchungsschritten zurück auf ihre Station gebracht werden. Auch bei verwaltenden Tätigkeiten treten Übergangszeiten auf, wenn Akten zwischen zwei Bearbeitungsgängen in eine Registratur oder ein Archiv eingestellt werden.

Treten bei der Weiterleitung von Zwischenergebnissen beschäftigungsunabhängige Übergangszeiten auf, kann eine Übergangszeit zur Summe aus Warte- und Durchführungszeit des jeweils ersten Teilprozesses addiert werden. Das Ergebnis ist die Durchlaufzeit eines Teilprozesses, der den Übergangsprozess umfasst. Im Erwartungswertmodell zum Grundmodell 3 gilt dies

⁵⁰ Vgl. Tijms (1986), S. 341 ff.

entsprechend für erwartete Übergangszeiten. Voraussetzung hierfür ist, dass die Zwischenergebnisse unmittelbar in das Übergangssystem (z.B. in ein Transportsystem) gelangen und hier keine knappen Kapazitäten (Engpässe) vorliegen. Dieser Fall ergibt sich beispielsweise beim Aktransport, i.d.R. jedoch nicht bei innerklinischen Patiententransporten.

Sobald Übergangszeiten auftreten, deren Dauer von der Auslastungssituation des Übergangssystems abhängt, verbietet sich ein einfaches Verrechnen von Zuschlägen auf die Durchlaufzeiten. Stattdessen muss das Warteschlangennetzwerk um Einrichtungen $m\ddot{u}$ ergänzt werden, in denen Übergangsprozesse stattfinden. Erfolgt der Übergang aus einer Produktiveinheit m mit einer für die Teilprozesse jeweils eindeutig bestimmten Übergangseinrichtung $m\ddot{u}$, werden anstelle der Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m;n}$ die Faktoren $p\ddot{u}_{m,m;n}$ und $p\ddot{u}_{m\ddot{u},m;n}$ verwendet. Dabei geben die Faktoren $p\ddot{u}_{m,m;n}$ den Anteil derjenigen Teilprozesse (m,n) wieder, deren Ergebnis von Produktiveinheit m mit dem Ziel m' in den Übergangsprozess weitergegeben wird. Die Faktoren $p\ddot{u}_{m,m;n}$ entsprechen den ursprünglichen Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m;n}$. Objekte des Übergangsprozesses können Ergebnisse aus Teilprozessen unterschiedlicher Art sein. Dementsprechend müssen für die Faktoren $p\ddot{u}_{m\ddot{u},m;n}$, die den Wechsel aus dem Übergangsprozess in die Produktiveinheit m' betreffen, neue Werte ermittelt werden. Sie entsprechen dem Anteil der Teilprozesse (m,n) an allen Teilprozessen, die das Übergangssystem in Richtung der Produktiveinheit m' verlassen. Zur Abbildung der Übergangsprozesse in einem Übergangssystem kann eine beschränkte Zahl an Bedienungskanälen (z.B. Transportmöglichkeiten) modelliert werden. Die Inanspruchnahmedauer des Übergangssystems bestimmt sich aus der Durchführungsdauer in einem der Bedienungskanäle. Diese Durchführungsdauer wird wie bei herkömmlichen Produktiveinheiten nach Teilprozessarten (m,n) differenziert. Im Ergebnis gelingt es auf diese Weise, ein Übergangssystem mit Hilfe der gleichen Strukturen zu beschreiben wie eine Produktiveinheit. Ebenso lassen sich den Durchführungen im Übergangssystem und den eventuell anfallenden Investitionen Einzahlungsüberschüsse wie herkömmlichen Produktiveinheiten zuordnen.

(4) Auftreten von Lerneffekten

Ein Teil der terminlich fein strukturierten Dienstleistungsproduktionen ist durch einen hohen Einsatz menschlicher Potenzialfaktoren gekennzeichnet. Für diese Dienstleistungsproduktionen treten bei hoher Prozesswiederholung (z.B. bei der Verpflegung von Krankenhauspatienten) in verschiedenem Umfang Lerneffekte auf. Aus Komplexitätsgründen können Lerneffekte für die Produktionen des Haupttyps 3 jedoch nur sehr begrenzt modelliert werden. Bereits bei kleineren Warteschlangenmodellen erscheint eine genaue Analyse von Lerneffekten bestimmter Prozesse aussichtslos, weil sie eine Loslösung

von langfristigen Gleichgewichtszuständen voraussetzt. Lediglich eine Modellierung von Lerneffekten, die sich auf kumulierte Prozessmengen vergangener Perioden beziehen, kommt an dieser Stelle in Betracht. Diese Modellierung kann in Anlehnung an die zu (E-60) führenden Lerneffekte bei homogenem Lernen vorgenommen werden. Problematisch an der Berücksichtigung entsprechender Lerneffekte ist jedoch, dass bei der Bestimmung erwarteter Durchführungszeiten eine Abhängigkeit dieser Größen von den Produktionsmengen aller vorangehenden Perioden geschaffen wird. Eine zeitlich isolierte Bestimmung der Kenngrößen eines Warteschlangennetzwerkes für einzelne Perioden ist in diesem Fall ausgeschlossen. Sie ist vielmehr bereits auf der Ebene der Kenngrößenbestimmung durch eine mehrperiodige simultane Auswertungsrechnung zu ersetzen, die Zweifel an der Lösbarkeit des Problems aufkommen lässt.

5. Anwendungsbeispiel zum Grundmodell 3

Einige Dienstleistungsproduktionen, die zum Haupttyp 3 gehören, zeichnen sich durch einen engen Kundenkontakt und eine intensive Mitwirkung des Dienstleistungsabnehmers an der Produktion aus. Stellvertretend für Produktionen dieses Haupttyps behandelt das folgende Anwendungsbeispiel den Frontoffice-Bereich eines Reisebüros inklusive der Backoffice-Abteilung „EDV-Service“. Das betrachtete Reisebüro bietet neben Pauschalreisen aller Art auch die Vermittlung von Bahnreisen sowie von Flügen an. Hierzu verfügt es über entsprechende Lizenzen der Deutschen Bahn AG sowie der IATA. Es gehört daher in die Kategorie der Voll- bzw. Fachreisebüros.⁵¹ Die Vergabe der angeführten Lizenzen macht es erforderlich, ein bestimmtes Qualifizierungsniveau derjenigen Mitarbeiter zu garantieren, die mit der Vermittlung von Bahn- und Luftreisen betraut sind. Aufgabe aller Mitarbeiter im Frontoffice ist es, die Reisewünsche der Kunden zu erfassen und ein kundenindividuelles Angebot zu erstellen. Im Tourismusbereich sowie für Geschäftsreisen ist es i.d.R. erforderlich, zusätzlich das Zielgebiet darzustellen und auf örtliche Besonderheiten hinzuweisen. Letztlich ist es Aufgabe der Mitarbeiter, das Vermittlungsgeschäft mit dem Reiseveranstalter und bei Bedarf mit der Reiseversicherung durchzuführen. Neben dem Frontoffice besteht ein Bereich im Backoffice, in dem ausschließlich Vermittlungsdienste für Firmen stattfinden. Dieser Bereich ist in sich abgeschlossen und wird hier nicht weiter betrachtet.

Der modellierte Bereich umfasst $M = 4$ Produktiveinheiten (Abteilungen): Die Bahnabteilung ($m = 1$), die Flugabteilung ($m = 2$), die Touristikabteilung ($m = 3$) sowie die EDV-Abteilung ($m = 4$). Ferner verfügt das Unternehmen

⁵¹ Vgl. *Mundt* (1998), S. 322 f.

im Regionalbereich über mehrere Filialen. Diese besitzen individuelle Kundenzugangsströme. Da die Mitarbeiter innerhalb der Produktiveinheiten den einzelnen Filialen flexibel zugewiesen werden können, lassen sich die Produktiveinheiten ohne Realitätsverlust als homogen betrachten und daher unabhängig voneinander untersuchen. Eine Aggregation der Potenzialfaktoren „Mitarbeiter“ und „Arbeitsplatzausstattung“ innerhalb einer Produktiveinheit gestaltet sich im vorliegenden Fall einfach. Alle Mitarbeiter verfügen nämlich jeweils über genau eine Arbeitsplatzausstattung und bilden zusammen mit dieser einen Bedienungsschalter. Zu diesen Ausstattungen gehören aufgabenspezifisch unterschiedliche Komponenten, die nicht kapazitätsbeschränkend wirken. Als Beispiele derartiger Ausstattungen lassen sich Software-Lizenzen (IATA, Amadeus), EDV-Ausstattung, Hotelführer und Arbeitshilfsmittel anführen. Für die Bedienungsschalter liegen ferner stochastische Durchführungszeiten vor. Die Aufgabe der taktischen Kapazitätsplanung besteht dann darin, für jede der vier Produktiveinheiten die optimale Anzahl der Bedienungsschalter $c_{m,i}$ zu ermitteln. Die Frage nach der Zuordnung bestimmter Mitarbeiter zu diesen Bedienungsschaltern wird als nachgeordnetes Problem der Personaleinsatzplanung ausgeklammert.

In den betrachteten Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene (Abteilungen) werden $\hat{n} = 4$ Dienstleistungs- bzw. Prozessarten erbracht: Bahnreisen ($n = 1$), Flugreisen ($n = 2$), Pauschalreisen ($n = 3$) und Städtetouren ($n = 4$). Das Reisebüro ist bestrebt, die gesamte Nachfrage nach Reise-Dienstleistungen vollständig zu erfüllen und keinen potenziellen Kunden abzuweisen. Aus diesem Grund muss die Produktion des Reisebüros mit einem offenen Warteschlangennetzwerk abgebildet werden. Grundsätzlich treten aber in der Realität ungeduldige Kunden auf, die eine Warteschlange verlassen, wenn ihnen die absehbare Wartezeit zu lange erscheint oder sich nach ihrem Empfinden bereits zu viele Kunden im Wartebereich befinden. Diesem Phänomen wirkt das Unternehmen dadurch entgegen, dass es plant, möglichst niedrige Durchlaufzeiten zu realisieren. Mit dieser Strategie gelingt es, die Zahl der ungeduldigen Kunden auf einem vernachlässigbaren Niveau zu halten. Über die Nachfragen nach Dienstleistungen liegen außerdem Prognosen für den Planungszeitraum von $T = 3$ Perioden vor. Diese Nachfragen führen nach Umrechnung zu Erwartungswerten $1/E(R_{n,i}) = E(AR_{n,i})$ und Variationskoeffizienten $CAR_{n,i}$ der Zwischenankunftszeiten, die Tabelle 4 zu entnehmen sind.

Aufgrund der kundenindividuellen Dienstleistungsproduktion im Reisebüro gibt es für keinen Prozess einen festen Prozessplan (Arbeitsplan). Es ist jedoch bekannt, dass Prozesse für nachgefragte Bahnreisen in der Regel in der Bahnabteilung, für Flugreisen in der Flugabteilung sowie für Pauschalreisen und Städtetouren in der Touristikabteilung beginnen. Mit unterschiedlichen

Tabelle 4

Parameter der Zwischenankunftszeiten

$t \setminus n$	1		2		3		4	
	$E(AR_{1,t})$	$CAR_{1,t}$	$E(AR_{2,t})$	$CAR_{2,t}$	$E(AR_{3,t})$	$CAR_{3,t}$	$E(AR_{4,t})$	$CAR_{4,t}$
1	123,11	1,2	94,29	1,1	58,81	0,9	157,35	1,2
2	136,79	1,2	104,76	1,1	65,35	0,9	174,83	1,2
3	111,92	1,2	85,71	1,1	53,47	0,9	143,05	1,2

Häufigkeiten treten bei allen Prozessen EDV-Teilprozesse auf, die zu kürzeren Unterbrechungen der Dienstleistungsprozesse führen. Bei Pauschalreisen und Städtetouren ist es ferner regelmäßig notwendig, einen Zubringerdienst für den Beginn und für den Abschluss der Reise zu organisieren. Demzufolge treten bei der Bearbeitung dieser Prozesse häufig Teilprozesse auf, die in den Produktiveinheiten Bahn- und Flugabteilung zu erledigen sind. Auch in Verbindung mit Flugreisen sind in einigen Fällen Bahnreisen als Zubringerdienste zu planen. Durchführungszeiten für auftretende Rückfragen und Beschwerden werden den einzelnen Durchführungszeiten prozentual zugeschlagen, eine erneute Einreihung der hiervon betroffenen Kunden in die Warteschlangen erfolgt daher im Modell nicht.⁵² Die detaillierten Übergänge der Prozesse werden durch die in den Tabellen 5a) bis d) dargestellten Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m;n}$ beschrieben, die periodenunabhängig für den gesamten Planungszeitraum gelten. Diese Tabellen enthalten ferner die erwarteten Durchführungszeiten $E(S_{m,n})$ sowie die dazugehörigen Variationskoeffizienten $C_{S_{m,n}}$ des jeweiligen Bedienungsschalters der jeweils betrachteten Prozessart.

Um im Reisebüro eine hohe Kundenfreundlichkeit zu erreichen, werden für die erwarteten Durchlaufzeiten der Teilprozesse (m,n) niedrige Höchstgrenzen angesetzt. Diese sind periodenunabhängig vorgegeben und der Tabelle 6 zu entnehmen.

An die Stelle einer detaillierten Abbildung der Zu- und Abgänge in jeweils einem Bedienungsschalter tritt nach den eingangs gemachten Angaben über feste Zuordnungen von Mitarbeitern zu Bedienungsschaltern eine vereinfachte Rechnung, die sich auf Bestandsgrößen bezieht. Sie erfasst jeweils nur die Anzahl der in den einzelnen Perioden zur Verfügung stehenden Bedienungsschalter. Ein Anfangsbestand $c_{anf,m}$ an Bedienungsschaltern vor Beginn des Pla-

⁵² Anderenfalls müssten einzelne Koeffizienten $p_{m,m,n}$ positive Werte annehmen.

Tabelle 5

Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{m,m;n}$ der Prozesse

$p_{m,m;1}$ für $m \setminus m'$	1	4
1	0	0,05
4	1	0
$E(S_{m,1})$	8	5
$C'S_{m,1}$	0,8	1

a) Bahnreisen

$p_{m,m;2}$ für $m \setminus m'$	1	2	4
1	0	0,05	0
2	0,2	0	0,05
4	0	1	0
$E(S_{m,2})$	6	10	5
$C'S_{m,2}$	0,8	0,6	1

b) Flugreisen

$p_{m,m;3}$ für $m \setminus m'$	1	2	3	4
1	0	0	0,6	0,05
2	0	0	0,6	0,05
3	0,2	0,2	0	0,05
4	0,1	0,1	0,8	0
$E(S_{m,3})$	6	8	20	5
$C'S_{m,3}$	0,8	0,6	0,9	1

c) Pauschalreisen

$p_{m,m;4}$ für $m \setminus m'$	1	2	3	4
1	0	0	0,6	0,05
2	0	0	0,6	0,05
3	0,3	0,4	0	0,05
4	0,1	0,1	0,8	0
$E(S_{m,4})$	12	10	30	5
$C'S_{m,4}$	0,8	0,6	0,9	1

d) Städtetouren

nungszeitraums im Zeitpunkt 0 sowie ein strategisch vorgegebener Mindestbestand $c_{\min,m}$ am Ende des Planungszeitraums im Zeitpunkt 3 liegen den Werten in Tabelle 7 zugrunde. Zusätzlich enthält die Tabelle Angaben über die Einzahlungsüberschüsse $epb_{m,t}$, die mit der Bereithaltung eines Bedienungsschalters in der Abteilung m in der Periode $t+1$ verbunden sind und zu deren Beginn im Zeitpunkt t anfallen. Einzahlungsüberschüsse, welche für die neue Einrichtung eines Bedienungsschalters zusätzlich anfallen, werden durch ep_m^+ ,

Tabelle 6

Höchstgrenzen der erwarteten Durchlaufzeiten $d_{max,m,n}$

$d_{max,m,n}$ $m \setminus n$	1	2	3	4
1	14	—	12	15
2	—	15	13	15
3	—	—	40	50
4	10	10	10	10

Einzahlungsüberschüsse aus der Auflösung und der eventuellen Veräußerung durch ep_m^- erfasst.

Tabelle 7

Einzahlungsüberschüsse und Anzahl der Bedienungsschalter

$m \setminus t$	$epb_{m,t}$			ep_m^+	ep_m^-	$c_{auf,m}$	$C_{min,m}$
	0	1	2				
1	-95	-97	-99	-27	2	3	4
2	-98	-100	-102	-27	2	3	4
3	-82	-93	-85	-13	1	8	7
4	-106	-109	-111	-40	3	2	1

Der Kalkulationszinssatz beträgt 10%. Die Strukturqualität wird nicht abgebildet. Stattdessen liegt der Schwerpunkt der Modellierung auf der Prozessqualität, die sich in der Einhaltung geringer Durchlaufzeiten niederschlägt. Für das Reisebüro wird analog zu (F-28) die Maximierung des Endwertes am Ende der Periode 3 verfolgt:

$$(F-64) \quad \max E(END_3).$$

Da sich bei einer gegebenen Nachfrage, die vollständig erfüllt wird, die Einzahlungsüberschüsse aus Dienstleistungen nicht beeinflussen lassen, kön-

nen sie bei der Berechnung des Endwertes vernachlässigt werden. Damit beruht die Berechnung der erwarteten Endwerte ausschließlich auf Einzahlungsüberschüssen der Bereitstellung von Bedienungsschaltern:

$$(F-65) \quad E(END_t) = E(END_{t-1}) \cdot (1 + i) + ezp_t \quad \text{für } t = 0, \dots, 3,$$

wobei $E(END_{-1}) = 0$ ist und gilt:

$$(F-66) \quad ezp_t = \sum_{m=1}^M epb_{m,t} \cdot c_{m,t} + ep_m^+ \cdot c_{m,t}^+ + ep_m^- \cdot c_{m,t}^- \quad \text{für } t = 0, \dots, 3.$$

Hierin beschreibt $c_{m,t}^+$ die Anzahl der Bedienungsschalter, die zu Beginn der Periode $t+1$ zusätzlich eingerichtet werden, sowie $c_{m,t}^-$ die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt aufzulösenden Bedienungsschalter. Die Einzahlungsüberschüsse $epb_{m,3}$ erhalten den Wert 0 zugewiesen, da Zahlungen im Zeitpunkt 3 für die Bereitstellung von Potenzialfaktoren (während der Periode 4) nicht relevant sind und aufgebaute Bestände an Bedienungsschaltern durch eine Neuplanung zu Beginn dieser Periode variiert werden können.

Zur Erfüllung einer Mindestprozessqualität sind nach (F-31) die Ungleichungen (F-67) zu erfüllen. Auf eine Periodendifferenzierung der Obergrenzen für die erwarteten Durchlaufzeiten in der Periode t wird bei der Modellierung des Reisebüros verzichtet:

$$(F-67) \quad E(D_{m,n,t}) \leq d_{\max,m,n} \quad \text{für } m = 1, \dots, 4; n = 1, \dots, 4; t = 1, \dots, 3.$$

Die benötigten Prognosen über die jeweils erwarteten Durchlaufzeiten liefert ein offenes Warteschlangensystem. Nach (F-32) sind hierzu für alle drei Perioden die Gleichungssysteme (F-68) auszuwerten, die auf (F-27) zurückgreifen:

$$(F-68) \quad E(D_{m,n,t}) = E(D_{m,n,t})_{GI/GI \in c_{m,t-1}} \quad \text{für } m = 1, \dots, 4; n = 1, \dots, 4; t = 1, \dots, 3.$$

In diese Auswertungen sind gleichzeitig die Bedingungen (F-36) und (F-37) zu integrieren. (F-36) sorgt dafür, dass sich die Produktion des Reisebüros langfristig im Gleichgewichtszustand befindet.

Eine wesentliche Modifikation des Modells besteht in der vereinfachten Bestandsrechnung auf Basis ganzer Bedienungsschalter. Weil für das modellierte Reisebüro die Aggregation der Potenzialfaktoren unmittelbar zu Bedienungsschaltern führt, kann auf eine Berechnung von Bedienungsraten bzw. Durchführungszeiten nach (F-35) verzichtet werden. Stattdessen liegen der Planung direkt erhobene Erwartungswerte und Variationskoeffizienten für die Durch-

führungszeiten der einzelnen Teilprozesse zugrunde. An die Stelle der strategisch vorgegebenen Mindestkapazitäten werden für das Ende des Planungszeitraums Mindestanzahlen $c_{\min,m}$ der Bedienungsschalter gesetzt. Die Gleichungen zur Berechnung der Bedienungsschalterzahl lauten:

$$(F-69) \quad c_{m,t} = c_{m,t-1} + c_{m,t}^+ - c_{m,t}^- \quad \text{für } m = 1, \dots, 4; t = 0, \dots, 3.$$

Als Anfangsbestände liegen $c_{m,-1} = c_{\text{anf},m}$ vor. Ferner sind zur Einhaltung der Mindestanzahlen an Bedienungsschaltern die Ungleichungen

$$(F-70) \quad c_{m,3} \geq c_{\min,m} \quad \text{für } m = 1, \dots, 4.$$

einzuhalten. Die jeweiligen Anzahlen an Bedienungsschaltern fungieren als Entscheidungsvariablen. Da sich aggregierte Bedienungsschalter nur diskret variieren lassen, ist für die Variablen $c_{m,t}$, $c_{m,t}^+$ sowie $c_{m,t}^-$ Ganzzahligkeit zu fordern. In einer anschließenden Personaleinsatzplanung kann auch der Möglichkeit Rechnung getragen werden, Teilzeitkräfte einzusetzen. Dieses Problem wird bei der Modellierung aus Komplexitätsgründen ausgeklammert.

Eine Lösung des dargestellten taktischen Kapazitätsplanungsproblems lässt sich auf unterschiedlichen Wegen erzielen. Der hier gewählte Weg beruht auf der Anwendung eines Standard-Solvers, der bei den einzelnen Zwischenberechnungen auf eine selbst erstellte Programmbibliothek zur Berechnung der Kenngrößen von Warteschlangennetzwerken zugreift. Die Anwendung eines Solvers zur gemischten nichtlinearen-ganzzahligen Optimierung erreicht für den vorgestellten Anwendungsfall zwar eine lokal optimale Lösung, der Zeitaufwand für ihre Ermittlung ist jedoch sehr hoch. Eine stetige Lösung des Problems lässt sich hingegen in akzeptabler Zeit erzielen. Sie bildet im vorliegenden Fall eine gute Ausgangsbasis für eine enumerative Nachoptimierung, welche das mit Hilfe der gemischt ganzzahligen Optimierung gefundene Extremum bestätigt. Diese Vorgehensweise wird hier nahe gelegt durch einen engen Zulässigkeitsbereich einerseits und durch eine Zielfunktion andererseits, die bei Variation der Bedienungsschalterzahlen sehr starke Schwankungen der Zielgröße zeigt. Aus diesem Grund bietet es sich an, durch eine beschränkte Enumeration des Zulässigkeitsbereichs eine Näherungslösung anzustreben. Dazu wird – ausgehend von einer Anfangskonstellation an Bedienungsschaltern – zunächst eine zulässige Anfangslösung gesucht und dabei nach der geringsten Verschlechterung des Zielfunktionswertes vorgegangen. Für diese Lösung wird dann versucht, über den steilsten Anstieg der Zielfunktion eine verbesserte Lösung zu finden. Dieses enumerative Suchverfahren kann jedoch nicht ohne weiteres auf andere Problemstellungen übertragen werden. Insbesondere bei Zulässigkeitsbereichen, die durch eine größere Zahl an ganzzahligen Lösungen gekennzeichnet sind, ist mit einem erheblichen Lösungsaufwand zu rechnen.

Die Lösung des taktischen Kapazitätsplanungsproblems ist in der nachfolgenden Tabelle 8 wiedergegeben. Als Zielfunktionswert wird ein Endwert von $-5.626,89$ Geldeinheiten (GE) ermittelt. Die lokal optimalen Werte der Entscheidungsvariablen kennzeichnen die Lösungsstruktur in Tabelle 8. Dort wird zunächst deutlich, dass unmittelbar zu Beginn des Planungszeitraums ein zusätzlicher Bahnvermittlungsschalter ($m = 1$) erforderlich ist. Dieser bleibt auch während der zweiten Periode erhalten, obwohl mit nachlassender Nachfrage gerechnet wird. Auch ein zusätzlicher Flugvermittlungsschalter ($m = 2$) ist zu Beginn des Planungszeitraums einzurichten, zu Beginn der zweiten Periode in $t = 1$ abzubauen und erneut zu Beginn der dritten Periode in $t = 2$ aufzubauen. In der Touristik-Abteilung ($m = 3$) sind zu Beginn der ersten Periode zwei Bedienungsschalter zu schließen. Erst im Hinblick auf die ansteigende Nachfrage zu Beginn der dritten Periode muss im Zeitpunkt $t = 2$ ein Bedienungsschalter wieder eröffnet werden. Für die EDV-Abteilung ($m = 4$) sollten laufend zwei Bedienungsschalter zur Verfügung stehen. Erst für das Ende des Planungszeitraums ist der optimalen Lösung zu entnehmen, dass die Zahl der Bedienungsschalter auf einen reduziert werden sollte. Eine frühere Reduktion dieser Zahl auf einen Schalter führte z.B. in der dritten Periode für alle Teilprozesse zu einem Anstieg der erwarteten Durchlaufzeit von $5,24$ Zeiteinheiten (ZE) auf $37,22$ ZE. Ähnlich sprunghaft ansteigende erwartete Durchlaufzeiten zeigen sich bei einer vorverlegten Reduktion in der ersten und zweiten Periode. Sofern nicht für die Zukunft nach dem Ende des Planungszeitraums ein signifikanter Bedarfsrückgang für EDV-Leistungen absehbar ist, sollte die Reduktion auf einen strategisch vorgegebenen Mitarbeiter überdacht werden. Sie führt lediglich zu einer Erhöhung des Endwertes auf $-5.629,89$ GE, kann jedoch bei Neuaufwurf der Planung zu Beginn der vierten Periode eine höhere Zahlung für eine Neueinrichtung vermeiden.

Tabelle 8

Lösungsstruktur des Anwendungsbeispiels

$c_{m,t}$				
$m \setminus t$	0	1	2	3
1	4	4	4	4
2	4	3	4	4
3	6	6	7	7
4	2	2	2	1
$c_{m,t}^+$				
$m \setminus t$	0	1	2	3
1	1			
2	1		1	
3			1	
4				
$c_{m,t}^-$				
$m \setminus t$	0	1	2	3
1				
2		1		
3	2			
4				1

6. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung

Die im Haupttyp 3 zusammengefassten Dienstleistungsproduktionen zeichnen sich zum einen durch eine hohe Wiederholungsrate der Prozessarten aus. Zum anderen unterliegen sie auf operativer Ebene einer detaillierten Termin-disposition, die durch eine Detailplanung oder die Vorgabe von Ablaufregeln vollzogen wird. Häufig ist zu beobachten, dass diese Dienstleistungen bzw. Prozesse zahlreiche Teilprozesse umfassen, die in Anwesenheit oder unter Mitwirkung der Dienstleistungsabnehmer durchgeführt werden. Deren individuelle Mitwirkung sowie deren Anforderungen an das Prozessergebnis führen zur Individualisierung der Dienstleistungen. Für den Dienstleistungsproduzenten

ten ergeben sich hieraus Unsicherheiten in Bezug auf die Kapazitätsinanspruchnahmen oder die konkrete Reihenfolge der Teilprozesse, die jeweils zur Erbringung einer Dienstleistung zu vollziehen sind.

Das Grundmodell 3 zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten ist wiederum zahlungsbasiert. Auch im vorliegenden Fall können deshalb vergleichbare Schwierigkeiten bei der Formulierung von Partialproblemen wie bei den Haupttypen 1 und 2 auftreten. Augenfällig ist dies im Personalwesen des hier modellierten Reisebüros. Auch dort ist mit zusätzlichem Kapazitätsbedarf zu rechnen, wenn es zu Personalaufstockungen in den Frontoffice-Bereichen und in der EDV kommt. Dieser zusätzliche Kapazitätsbedarf ist zwar beim betrachteten Unternehmen gering, für größere Dienstleistungsunternehmen, z.B. Direkt-Banken, dürfen diese Abhängigkeiten bei umfangreichen Personaleinstellungen nicht unbeachtet bleiben und führen gegebenenfalls zum Ansatz von Opportunitätskosten.

Auch in Grundmodell 3 ist die taktische Kapazitätsplanung durch eine Vorgabe von Mindestkapazitäten an die strategische Produktionsplanung angebinden. Das Anwendungsbeispiel verdeutlicht, dass dabei Rückkopplungen von der taktischen auf die strategische Planungsebene zweckmäßig sind. Auf der taktischen Ebene übernimmt die Kapazitätsplanung ein prognostiziertes Absatzprogramm als „Nachfrage“ aus der vorläufigen taktischen Programmplanung. In der taktischen Kapazitätsplanung kann diese Nachfrage auf unterschiedliche Weise berücksichtigt werden. Das Ersatzmodell zum Grundmodell 3 bildet eine vollständige Befriedigung der Nachfrage nach Dienstleistungen mit Hilfe eines offenen Warteschlangennetzwerkes ab. Zur Abbildung einer eingeschränkten Nachfrageerfüllung ist hingegen ein semi-offenes Warteschlangennetzwerk zu verwenden, das eine andere Beschreibung erfordert.

Das Grundmodell 3 verdeutlicht unmittelbar den Einfluss von Entscheidungen über die zur Verfügung zu stellenden Kapazitäten auf die Länge der zu erwartenden Durchlaufzeiten. Da deren Länge ein wesentliches Merkmal der Prozessqualität darstellt, kommt darin eine vergleichsweise intensive Wechselbeziehung zwischen der Kapazitätsplanung und der Prozessplanung auf der taktischen Planungsebene zum Ausdruck. Wie auch bei den anderen Haupttypen ist der Ausgangspunkt der taktischen Kapazitätsplanung eine gegebene Menge an Prozessplänen, die Ergebnis der taktischen Prozessplanung sind. Zur Abstimmung der Prozess- und Kapazitätsplanung lassen sich die hier entwickelten Ersatzmodelle ebenfalls einsetzen, da sie die Konsequenzen von Prozessentscheidungen auf die Kapazitätsbedarfe sowie die Strukturen optimaler Kapazitätsausstattungen aufzeigen. Deutlich ist diese Wechselbeziehung zwischen der Prozessplanung und der Kapazitätsplanung am Planungsproblem des flexiblen Kapazitätseinsatzes zu erkennen, das nur durch eine simultane Analyse beider Problemfelder gelöst werden kann.

Erhebliche Schwierigkeiten eröffnet die Komplexität des Erwartungswertmodells zum Haupttyp 3. Das Anwendungsbeispiel zur taktischen Kapazitätsplanung in einem Reisebüro zeigt zwar, dass sich diese Probleme grundsätzlich lösen lassen, jedoch verursacht bereits die Lösung für den eingeschränkten Bereich von vier Produktiveinheiten (Abteilungen) bei herkömmlichen Solver-Programmen auch dann numerisch erhebliche Probleme, wenn die Auswertung der Kenngrößen eines Warteschlangennetzwerks mit Hilfe eines selbst entwickelten Spezialprogramms geschieht. Alternativen bieten hier nur heuristische Lösungsverfahren, die auf die spezielle Struktur des Planungsproblems zugeschnitten sind. Die Modellkomplexität lässt sich auch bei der Aggregation von Potenzialfaktoren zu Produktiveinheiten ausmachen. Dort wird bereits bei der Modellbildung ersichtlich, dass die Bestimmung von Erwartungswerten und Standardabweichungen für die Durchführungszeiten in den Bedienungsschaltern hoch aggregierter Produktiveinheiten nur näherungsweise erfolgen kann. Unter praktischen Gesichtspunkten wird dieses Problem jedoch bei den Produktionen des Haupttyps 3 dadurch entschärft, dass die Produktionen unter Mitwirkung des Dienstleistungsabnehmers häufig in nur schwach aggregierten Produktiveinheiten durchgeführt werden. Es ist ferner darauf hinzuweisen, dass die Berechnung der erwarteten Durchlaufzeiten für das *GI/G/c*-Netzwerk nur approximativ möglich ist. Dem Gedanken einer Näherungslösung des Problems wird also schon in einem frühen Lösungsstadium bei der Durchlaufzeitprognose gefolgt. In der Regel lassen sich diese Approximationen als hinreichend gut bestätigen.

Unter Komplexitätsgesichtspunkten erscheint es vertretbar, für das Grundmodell 3 lediglich Erwartungswertmodelle als Ersatzmodelle zu formulieren. Die Formulierung eines Ersatzmodells, das z.B. die Standardabweichung der Durchlaufzeiten einbezieht, dürfte bereits an der Schwierigkeit scheitern, geeignete Approximationen für diese Werte zu berechnen. Insbesondere Chance-Constrained-Modelle entziehen sich deshalb hier einer Verwendung. Ähnlich sind Modellvarianten zu beurteilen, die auf einer Verfeinerung des Periodenzeitrasters oder auf fiktiven Produktiveinheiten beruhen. Für reale Problemstellungen werden dabei schnell Variablenzahlen erreicht, die eine Suche nach heuristischen Lösungen notwendig machen. Schwankende Nachfragen, zeitlich parallele Kapazitätsanspruhen sowie Übergangszeiten können damit nur bei kleineren und einfachen Problemen berücksichtigt werden.

Trotz der aufgezeigten Grenzen erscheint eine überzogene Skepsis in Bezug auf die Verwendbarkeit der formulierten Modelle unter praktischen Gesichtspunkten nicht angebracht, da in vielen Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 nur eine geringe Produktionstiefe auftritt. Für diese Prozessausprägungen des Haupttyps 3 lassen sich differenzierte Approximationen der operativen Planungsebene ohne größere Schwierigkeiten modellieren und damit Probleme der taktischen Kapazitätsplanung lösen.

II. Kapazitätsplanung bei terminlich fein strukturierter Dienstleistungsproduktion mit niedriger Wiederholungsrate der Prozesse (Haupttyp 4)

1. Darstellung des Planungsproblems und Konkretisierung der Anwendungsbedingungen

Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 (Projektdienstleistungen) sind durch geringe Wiederholungsraten der Prozesse oder im Extremfall durch eine vollständige abnehmerspezifische Gestaltung gekennzeichnet. In allen Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 sind zwar die Prozessinhalte weitgehend bekannt, das Problem der taktischen und operativen Prozessplanung besteht jedoch darin, die einzelnen Teilprozesse zu konkretisieren und zu verknüpfen. Für die taktische Kapazitätsplanung kann deshalb nicht von Routineprozessen ausgegangen werden. Eine gewisse Routine stellt sich lediglich in Bezug auf die Ausübung grundlegender Arbeitstechniken (z.B. bei Buchprüfungen durch Wirtschaftsprüfer oder Versuchsüberwachungen durch Research-Assistenten) ein. In Bezug auf die taktische Prozessplanung ist zu beachten, dass als Ergebnis wenige Prozessarten auftreten. Deren Teilprozesse nehmen die Kapazitäten jeweils über einen längeren Zeitraum in Anspruch. Die einzelnen Teilprozesse, die für eine Dienstleistung durchgeführt werden müssen, sind in vielen Fällen durch komplexe, prozessbedingte Reihenfolgebeziehungen⁵³ verbunden.

Bei den Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 treten auf der taktischen Planungsebene Unsicherheiten bzw. Risiken in vielfältiger Form auf. Da Prozessinhalte teilweise erst in langwieriger Zusammenarbeit mit den Abnehmern der Dienstleistungen erarbeitet und vereinbart werden, können die Prozessinhalte der einzelnen Dienstleistungs- und damit der zugehörigen Prozessarten erst nach Abschluss konkreter Verträge auf der Grundlage umfangreicher Pflichtenhefte als hinreichend sicher angesehen werden. Da entsprechende Aufträge auf der taktischen Planungsebene nur für einen begrenzten Zeitraum bekannt sind, muss über den verbleibenden Zeitraum mit Risiken in Bezug auf die Kapazitätsinanspruchnahmen gerechnet werden. Zahlreiche Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 sind durch eine besonders enge Zusammenarbeit mit den Dienstleistungsabnehmern charakterisiert. Dies führt zu einer intensiven Integration externer Faktoren, die in der Gestalt von Bearbeitungsgegenständen, Informationen (z.B. Zwischenbilanzen oder Daten über zu überwachende Medikamente) oder menschlichen Potenzialfaktoren an der Produktion mitwirken. Sowohl die Qualität materieller externer Faktoren als auch diejenige der Mitwirkungsleistung menschlicher externer Faktoren (z.B.

⁵³ Vgl. für Wirtschaftsprüfungsgesellschaften *Salewski/Drexler* (1993), S. 1361.

die Gesundheit medizinischer Testpatienten) lassen sich über den Planungszeitraum der taktischen Planung nur grob prognostizieren. Entsprechende Unsicherheiten bzw. Risiken sind daher für den Haupttyp 4 von besonderer Bedeutung und führen i.d.R. zu unsicheren bzw. stochastischen Prozesskoeffizienten. Gleichzeitig ist die Durchführung der Dienstleistungen häufig sehr personalintensiv. Neben stochastischen Prozesskoeffizienten muss daher auch mit stochastischen Kapazitäten gerechnet werden. Letztlich bestehen auch in Bezug auf die Nachfrage nach den Dienstleistungen dieses Haupttyps erhebliche Unsicherheiten bzw. Risiken. Da sich diese Risiken auf vergleichsweise wenige Aufträge beziehen, die im Planungszeitraum angenommen und durchgeführt werden können, muss bei hohen Kapazitätsinanspruchnahmen durch jeweils einen Dienstleistungsprozess mit einer größeren Diskontinuität des Kapazitätsbedarfs gerechnet werden.⁵⁴ In vielen Fällen empfiehlt es sich daher, Prognosen über Auftragsengänge nicht auf Dienstleistungsarten zu beziehen, sondern auf Teilprozessarten, weil letztere eine größere Wiederholungsrate haben.

Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 unterscheiden sich in ihrer operativen Planung, in einzelnen Abhängigkeiten zwischen den Teilprozessen und in der Ausgestaltung von Produktiveinheiten teilweise erheblich. Unternehmensindividuelle Regelungen der Zusammenstellung von Projektteams oder die Möglichkeiten, geeignetes Fachpersonal zu gewinnen, lassen eine verallgemeinernde Abbildung der Produktion von Projektdienstleistungen nicht zu. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb auf spezielle Dienstleistungsproduktionen, wie sie im Clinical-Research-Bereich oder in Unternehmensberatungsgesellschaften anzutreffen sind. Andere Produktionsstrukturen müssen durch Modifikation des hier entwickelten Modells beschrieben werden.

Unabhängig von unternehmensindividuellen Produktionsplanungsproblemen bietet es sich für den Haupttyp 4 an, die taktische Kapazitätsplanung zeitlich zu differenzieren. Für einen ersten, kurzfristigen Teilplanungszeitraum wird von nahezu sicheren Planungsdaten ausgegangen. Dementsprechend lässt sich für diesen Planungszeitraum ein deterministisches, kurzfristiges Planungsteilmodell formulieren, welches die Reihenfolgebeziehungen zwischen den Teilprozessen explizit berücksichtigt. Für den anschließenden (Rest-) Planungszeitraum werden die beschriebenen Risiken in einem langfristigen Planungsteilmodell erfasst. Die Produktion in diesem Planungszeitraum wird deshalb stochastisch modelliert. Hierzu ist es erforderlich, die Anwendungsbedingung A.1 des allgemeinen Modells für das Grundmodell 4 zu modifizieren.

⁵⁴ Vgl. zu industriellen Dienstleistungen im Anlagenbau *Höffken/Schweitzer* (1991), S. 9 f.

Der erste Teilplanungszeitraum ist die erste Periode des gesamten Planungszeitraums. Sie wird weiter in Teilperioden unterteilt, um eine zweckmäßige Einplanung der Teilprozesse unter Berücksichtigung der Reihenfolgebeziehungen zu erlauben:

AFII.1: Der gesamte Planungszeitraum ist festgelegt und in eine endliche Zahl gleich langer Perioden eingeteilt. Die erste Periode wird zusätzlich in eine endliche Zahl gleich langer Teilperioden unterteilt.

Aufgrund des unterschiedlichen Differenzierungsgrades des Planungszeitraums muss ferner die Anwendungsbedingung A.2 zu AFII.2 modifiziert werden. Sie beschreibt die zeitliche Zuordnung von Einzahlungsüberschüssen auf die Perioden und Teilperioden des Planungszeitraums. Die Anwendungsbedingung A.3, aus der die Kenntnis über alle Möglichkeiten zur Anlage oder Aufnahme finanzieller Mittel hervorgeht, gilt auch für Haupttyp 4.

AFII.2: Monetäre Bewertungen werden durch Einzahlungsüberschüsse erfasst, die sich aus der Differenz der relevanten Einzahlungen abzüglich der entsprechend zurechenbaren Auszahlungen bestimmen. Die Einzahlungsüberschüsse der ersten Periode liegen differenziert nach Teilperioden, diejenigen des Restplanungszeitraums differenziert nach Perioden vor.

Eine Sonderstellung nimmt bei der Beschreibung der Produktionen des Haupttyps 4 die Aggregation der Potenzialfaktoren und der untergeordneten Produktiveinheiten zu übergeordneten Produktiveinheiten ein. Die Aggregation wird auch hier formal nach den Prinzipien horizontaler und vertikaler Aggregation vollzogen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Bildung von Projektgruppen. Wichtige Komponenten dieser Projektgruppen sind menschliche Potenzialfaktoren, die zur Aufgabenerfüllung relativ wenige sachliche Potenzialfaktoren benötigen. Letztere sind i.d.R. den einzelnen Mitarbeitern oder den Projektgruppen eindeutig zugeordnet. Ferner kann beobachtet werden, dass es sich meist um Einrichtungen (z.B. EDV-Anlagen, Fahrzeuge oder Analyseinstrumente) handelt, die vernachlässigbaren Kapazitätsschwankungen unterliegen. Um dennoch auch spezielle Unternehmensbereiche mit komplexeren Aggregationen der Produktiveinheiten zu erfassen, wird die Anwendungsbedingung AEI.4 der Haupttypen 1 und 2 übernommen:

AFII.4: Es treten Potenzialfaktoren mit deterministischem oder stochastischem Leistungsvermögen auf. Potenzialfaktoren mit stochastischem Leistungsvermögen besitzen eine normalverteilte Kapazität mit bekanntem Erwartungswert und bekannter Varianz. Die Kapazität der Potenzialfaktoren ist während der ersten Periode deterministisch. Potenzialfaktoren und Produktiveinheiten können zu übergeordneten Produktiveinheiten aggregiert werden. Dabei sind alle Produktiveinheiten jeweils höchstens Bestandteil einer einzigen

übergeordneten Produktiveinheit. Auf der untersten Ebene befinden sich ausschließlich Potenzialfaktoren. Potenzialfaktoren derselben Art können auf mehreren Aggregationsebenen in Produktiveinheiten eingehen. Sofern gleichartige Potenzialfaktoren in unterschiedliche Produktiveinheiten eingehen, wird für ihre Kapazitäten in den betreffenden Produktiveinheiten stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt. Alle Kapazitätsangaben beziehen sich auf Perioden, auf die auch die potenzialfaktorbezogenen Einzahlungsüberschüsse zugerechnet werden. Entscheidungen über den Auf- und Abbau von Kapazitäten werden jeweils zu Beginn einer Periode getroffen.

Auch für die Produktionen des Haupttyps 4 muss eine Anbindung der taktischen Kapazitätsplanung an die strategische Produktionsplanung gewährleistet sein. Die Anbindung kann wie für die vorangehenden Haupttypen durch Berücksichtigung von Mindestkapazitäten erfasst werden, sodass auch hier die Anwendungsbedingung AEI.5 zu erfüllen ist. Gerade bei der Bildung von Projektgruppen ist es in vielen Fällen erforderlich, die Zahl der Gruppenmitglieder zu beschränken. Aus diesem Grund ist die Anwendungsbedingung AEI.5 um den folgenden Zusatz zu ergänzen:

AFII.5: Die Kapazität der Potenzialfaktoren, speziell die der Mitarbeiter, die in einer Produktiveinheit eingesetzt werden, ist beschränkt.

Geringe Modifikationen sind auch für die Anwendungsbedingungen A.6 bis A.8 erforderlich, die sich an die Anwendungsbedingungen AEI.6 bis AEI.8 anlehnen:

AFII.6: Die Produktionsvorgaben der Produktionsprogrammplanung – in Kurzform als „Nachfrage“ bezeichnet – beziehen sich auf die gleichen Perioden bzw. Teilperioden, auf die sich auch die Einzahlungsüberschüsse beziehen. Für die Teilperioden der ersten Periode liegen deterministische Nachfragen in Form erteilter Aufträge vor. Die Struktur des Produktions- und Absatzprogramms steht für die taktische Kapazitätsplanung fest. Alle Nachfragemengen des Restplanungszeitraums stellen stochastisch unabhängige Zufallsvariablen dar, für deren stetige Verteilungsfunktionen erste und zweite Momente bekannt sind.

AFII.7: Den Prozessplänen, die sich auf die Dienstleistungsaufträge der ersten Periode beziehen, lassen sich für alle Teilprozesse und Potenzialfaktoren deterministische Prozesskoeffizienten entnehmen. Prozesse, die der Durchführung von Dienstleistungen im Restplanungszeitraum dienen, haben stochastische Prozesskoeffizienten. Letztere sind mit bekanntem Erwartungswert und bekannter Standardabweichung normalverteilt sowie voneinander und von den Produktionsmengen der Dienstleistungen stochastisch unabhängig. Alle Teil-

prozesse eines Prozesses werden jeweils in ein und derselben Produktiveinheit (Projektgruppe) durchgeführt, wobei für die kurzfristige Planung Mindest- und Höchstabstände zwischen den jeweiligen Endterminen der Teilprozesse vorliegen können.

Der letzte Teil der Anwendungsbedingung AFII.7 stellt sicher, dass nicht mehrere Projektgruppen, die hier allgemein als Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene angesehen werden, mit der Durchführung desselben Prozesses betraut sind. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn zwischen den Mitgliedern einer Projektgruppe und den Dienstleistungsabnehmern besondere Vertrauensverhältnisse aufgebaut werden oder mit längeren Einarbeitungszeiten bzw. Schulungen der Mitarbeiter zu rechnen ist. Teilweise sind ferner bei Dienstleistungsproduktionen in Projektform Mindest- und Höchstabstände zwischen den Teilprozessen eines Prozesses einzuhalten. Höchstabstände treten z.B. auf, wenn bei einem Clinical-Research-Projekt die Genehmigung für einen Test durch die Ethik-Kommission und das Gesundheitsamt nur für einen bestimmten Zeitraum gegeben wird. Die auf die Antragstellung folgende medizinische Testphase muss dann in einem durch eine Höchstgrenze bestimmten Zeitraum durchgeführt werden.

AFII.8: Für den Planungszeitraum der ersten Periode sind Reihenfolgebeziehungen zwischen den Teilprozessen der Prozesse bekannt. Jeder Prozess wird durch einen einzigen Teilprozess abgeschlossen. Ein Teilprozess belegt jeweils alle Potenzialfaktoren einer Produktiveinheit der höchsten Aggregationsebene. In allen Teilperioden kann jeweils nur ein Teilprozess in einer Produktiveinheit durchgeführt werden. Für den Restplanungszeitraum liegen nur mengenmäßige Abhängigkeiten zwischen den Teilprozessen vor, die zur Durchführung der Dienstleistungen vorgesehen sind. Die Lagerhaltung von Trägern, die der Speicherung von Produktionszwischenergebnissen dient, führt zu keinen nennenswerten Lagerinanspruchnahmen.

Anwendungsbedingung AFII.8 beschreibt zum einen allgemein die Prozessstrukturen sowie die Kapazitätsinanspruchnahmen, zum anderen die gegebenenfalls anfallenden Lager(-teil-)prozesse. Bei der Abbildung der Prozessstruktur wird für die Teilprozesse von einem allgemeinen Netzwerk ausgegangen. Die Reihenfolgebeziehungen in diesem Netzwerk lassen sich durch Listen beschreiben, welche die jeweiligen unmittelbaren Vorgänger eines Teilprozesses enthalten. Zur Abbildung der Kapazitätsbelastung der Produktiveinheiten wird eine Dienstleistungsproduktion beschrieben, in der zu jedem Zeitpunkt in einer Produktiveinheit höchstens ein Teilprozess durchgeführt wird. Damit beschreibt AFII.8 eine zu taktischen Planungszwecken vergrößerte Durchführung der Teilprozesse. Auf der operativen Ebene ist es dagegen in Beratungsgesellschaften oder im Clinical-Research-Bereich durchaus üblich, Teilprozesse in ein und derselben Projektgruppe bzw. Produktiveinheit zeitlich überlap-

pend durchzuführen. Die vergrößerte Abbildung der Produktion ist dennoch zur Reduktion der Problemkomplexität zweckmäßig.

Bei den Produktionen des Haupttyps 4 werden zahlreiche Informationen zwischengespeichert. Deren Lagerung führt zwar zur Inanspruchnahme von Speicherkapazitäten oder Registraturen, der Umfang dieser Inanspruchnahme ist jedoch selten von Entscheidungsrelevanz. In allen anderen Fällen, in denen z.B. Prototypen erstellt und gelagert werden müssen, ist die hier getroffene Anwendungsbedingung AFII.8 entsprechend zu modifizieren.

Die Planung des Kapazitätsbedarfs für die erste Periode erfolgt im Vergleich zur Planung für den restlichen Planungszeitraum erheblich detaillierter. Dennoch handelt es sich bei der kurzfristigen Kapazitätsplanung der ersten Periode um keine operative Planung. Vielmehr ist sie der taktischen Planungsebene zuzuordnen, da durch sie zu Beginn der ersten Periode, ebenso wie zu Beginn bzw. am Ende aller Folgeperioden, Entscheidungen über den Auf- und Abbau von Kapazitäten unterstützt werden. Dementsprechend bleibt auch die Anwendungsbedingung A.9 des allgemeinen Modells erhalten, die eine Rückkopplung der operativen auf die taktische Planung ausschließt. Im Hinblick auf die allgemeine Anwendungsbedingung A.10 werden Lerneffekte erneut ausgeschlossen:

AFII.10: Es treten keine Lerneffekte auf.

Als Zielsetzung wird auch für das Grundmodell 4 eine Maximierung des Endwertes aller relevanten Einzahlungsüberschüsse gewählt. Neben dem monetären Nutzen spielen bei den Produktionen des Haupttyps 4 auch qualitative Nutzengrößen eine Rolle. Eine besondere Form qualitativen Nutzens ergibt sich aus der Art der eingesetzten Potenzialfaktoren. Z.B. wünschen die Abnehmer von Clinical-Research-Leistungen häufig bestimmte Ausbildungsstandards der Projektgruppen, die zur Testplanung und -überwachung eingesetzt werden. Die für den Haupttyp 1 formulierte Zielsetzung wird daher übernommen:

AFII.11: Ziel ist es, den Endwert einer Reihe von Einzahlungsüberschüssen zu maximieren, die sich aus der Investition in ein Potenzialfaktorprogramm ergeben. Der angenommene Kundennutzen aus der Strukturqualität der Dienstleistungsproduktion muss in allen Produktiveinheiten, die der Nutzenbewertung durch den Dienstleistungsabnehmer unterliegen, einen Mindestnutzen erreichen.

Bei der Bestimmung des angenommenen Kundennutzens kann in der Regel die Ausbildungsqualität der jeweiligen Projektgruppe bewertet werden. Eine detaillierte Nutzenbewertung der Strukturqualität einzelner Mitarbeiter oder sachlicher Potenzialfaktoren erübrigt sich dann. In Anlehnung an AEI.12 kann damit die Anwendungsbedingung A.12 folgendermaßen ergänzt werden:

AFII.12: Der Nutzen der Strukturqualität geplanter Potenzialfaktoren wird jeweils für die auf höchstem Aggregationsniveau gebildeten Produktiveinheiten anhand einer additiven Nutzenfunktion bestimmt. Die Zusammensetzung einer Produktiveinheit kennzeichnet ihren Nutzen eindeutig.

2. Formulierung des Grundmodells 4

a) Kurzfristiges Planungsteilmodell 4.1

Das Grundmodell 4 besteht aus einem kurzfristigen Planungsteilmodell 4.1 und einem langfristigen Planungsteilmodell 4.2. Grundlage der Formulierung des taktischen, kurzfristigen Planungsteilmodells 4.1 ist eine Menge erteilter Dienstleistungsaufträge, die jeweils genau einem Prozess entsprechen. Diese Prozesse sind jeweils bis zu einem bestimmten Termin abzuschließen. Aus der Rückwärts- und der Vorwärtsrechnung eines Netzplanes ergeben sich für alle Teilprozesse früheste und späteste Endtermine. Innerhalb der durch diese Termine bestimmten Zeitintervalle müssen alle Teilprozesse eingeplant werden, wobei die Restriktionen der zur Verfügung zu stellenden (verfügbaren) Kapazitäten zu berücksichtigen sind. Mit der Durchführung der Teilprozesse sind im Zeitablauf unterschiedliche Einzahlungsüberschüsse verbunden. In der Regel fallen diese als Einzahlungen nach Abschluss eines Prozesses mit Beendigung des letzten Teilprozesses an. Aus laufenden Auszahlungen oder gegebenenfalls aus Einzahlungen für erreichte Teilfortschritte der Projekte können auch Einzahlungsüberschüsse am Ende einzelner Teilprozesse anfallen. Zusätzlich sind Einzahlungsüberschüsse aus der Bereitstellung der Potenzialfaktoren zu berücksichtigen.

Um die Zahl unterschiedlicher Symbole niedrig zu halten, werden die erteilten Dienstleistungsaufträge bzw. Prozesse sowie ihre Teilprozesse ähnlich beschrieben wie in den Grundmodellen 1 und 2. Die Menge aller Teilprozesse o , die zu erteilten Dienstleistungsaufträgen gehören, entspricht $\{1, \dots, O\}$. Die Indizes derjenigen Teilprozesse, die zum Abschluss eines Prozesses führen, stimmen mit den Indizes der Prozesse überein. Letzteren ist die Indexmenge $\{1, \dots, \hat{o}\}$ zugewiesen. Alle ihnen mittelbar oder unmittelbar vorangehenden Teilprozesse sind durch die Indexmenge $\{\hat{o}+1, \dots, O\}$ charakterisiert. Die erste Periode des Planungszeitraums $t = 1$ wird in die gleich langen Teilperioden $\tau = 1, \dots, \nu$ unterteilt. Dabei fallen der Beginn der ersten Teilperiode und der Beginn der ersten Periode im Zeitpunkt 0 zusammen. Zur weiteren Beschreibung des kurzfristigen Planungsteilmodells gilt die folgende Notation, die sich an die bisherigen Notationen anlehnt:

- $ed'_{o,\tau}$: Einzahlungsüberschuss pro in Teilperiode τ geleisteter Mengeneinheit der Dienstleistungs- bzw. Teilprozessart o ($o = 1, \dots, O$), der bei Durchführung am Ende der Teilperiode τ anfällt, sofern er in dieser Teilperiode beendet wird;
- i' : teilperiodenbezogener Kalkulationszinssatz;
- $w_{m,o,\tau}$: Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn Teilprozess o am Ende der Teilperiode τ in der Produktiveinheit m ($m = 1, \dots, M$) beendet (nicht beendet) wird;
- $\bar{w}_{m,o,\tau}$: Indikatorvariable, die den Wert 1 (0) annimmt, wenn Teilprozess o in der Teilperiode τ (nicht) die Produktiveinheit m belegt;
- $\Delta_{\min,o,o'}$: zeitlicher Mindestabstand zwischen den Endterminen der Teilprozesse o und o' ;
- $\Delta_{\max,o,o'}$: zeitlicher Höchstabstand zwischen den Endterminen der Teilprozesse o und o' ;
- $ka_{\max,m,t}$: Höchstgrenze für die in der Produktiveinheit m in Periode t einplanbare Kapazität;
- $s_{m,o}(KA_{m,1})$: Durchführungszeit des Teilprozesses o in der Produktiveinheit m bei einer Kapazität dieser Produktiveinheit von $KA_{m,1}$ in der ersten Periode;
- $ep_{k,t,t'}$: Einzahlungsüberschuss pro Einheit des Potenzialfaktors der Art k ($k = 1, \dots, K$) am Ende der Periode t , der zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert wird;
- $z_{m,k,t,t'}$: Anzahl der Einheiten von Potenzialfaktorart k in der Produktiveinheit m , $m = 1, \dots, M$, die zu Beginn der Periode t' angeschafft und am Ende der Periode t'' veräußert werden;
- END_i : Endwert der Investition in das geplante Programm an Potenzialfaktoren, bezogen auf das Ende der Periode t ;
- $V(o)$: Menge aller mittelbaren und unmittelbaren Vorgänger des Teilprozesses o ;
- $D(o)$: Menge der unmittelbaren Vorgänger des Teilprozesses o ;
- $M(o)$: Menge der Produktiveinheiten auf höchster Aggregationsebene, in denen Teilprozess o durchgeführt werden kann;
- $\tau(o)$: frühester Endtermin des Teilprozesses o ;
- $\tau_s(o)$: spätester Endtermin des Teilprozesses o .

Das Entscheidungsziel im kurzfristigen Planungsmodell 4.1 ist durch den Endwert der relevanten Einzahlungsüberschüsse am Ende der ersten Peri-

ode gekennzeichnet, der keiner eigenständigen Maximierungsvorschrift unterliegt. Dieser ist gleichzeitig eine Eingangsvariable des langfristigen Planungsteilmodells 4.2. Er setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, die aus den Einzahlungsüberschüssen der Produktionsdurchführung und der Bereitstellung von Potenzialfaktoren herrühren:

$$(F-71) \quad \begin{aligned} \text{end}_1 = & \sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O \sum_{\tau=\tau_f(o)}^{\tau_s(o)} ed'_{o,\tau} \cdot w_{m,o,\tau} \cdot (1+i)^{t-\tau} \\ & + \sum_{t=0}^1 (1+i)^{1-t} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{t'=0}^{t+1} \sum_{t''=t}^{T+1} ep_{k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''} \end{aligned}$$

Im ersten Summanden der Gleichung (F-71) sind alle Einzahlungsüberschüsse erfasst, die durch die Teilprozesse o ($o = 1, \dots, O$) verursacht werden. Die Ausführung dieser Teilprozesse ist auf Zeitintervalle eingeschränkt, die zwischen $\tau_f(o)$ und $\tau_s(o)$ liegen. Beide Endtermine sind jeweils Ergebnis einer Netzwerkplanung⁵⁵ des gesamten Prozesses, zu dem der Teilprozess o gehört. Bei dieser Netzwerkplanung müssen aufgrund der unterschiedlichen Kapazitätsdimensionierungen der Produktiveinheiten auch die jeweiligen Durchführungszeiten berücksichtigt werden. Zur Berechnung der frühesten Endtermine sind die Durchführungszeiten bei höchster Ausstattung mit Potenzialfaktoren und zur Berechnung der spätesten Endtermine die strategisch vorgegebenen Mindestausstattungen zu berücksichtigen. Neben den durchführungsbedingten Einzahlungsüberschüssen werden im zweiten Summanden der Gleichung (F-71) Einzahlungsüberschüsse aus der Bereitstellung von Potenzialfaktoren abgebildet. Dieser Summand ist mit denjenigen aus den Gleichungen (E-4) verwandt, bezieht jedoch nur den Anfangsbestand $z_{m,k,0,t'}$ an Potenzialfaktoren und die zu Beginn der ersten Periode bereitgestellten Potenzialfaktoren in die Rechnung ein.

Im kurzfristigen Planungsteilmodell 4.1 ist dafür zu sorgen, dass alle erteilten Dienstleistungsaufträge bzw. die entsprechenden Prozesse ohne Unterbrechung durchgeführt werden. Für alle jeweils letzten Teilprozesse wird deshalb verlangt, dass sie innerhalb des für sie vorgesehenen zeitlichen Rahmens zu beenden sind:

$$(F-72) \quad \sum_{m \in M(o)} \sum_{\tau=\tau_f(o)}^{\tau_s(o)} w_{m,o,\tau} = 1 \quad \text{für } o = 1, \dots, \hat{o}.$$

Ferner ist sicherzustellen, dass nach Anwendungsbedingung AFII.7 alle Teilprozesse eines Prozesses durch ein und dieselbe Produktiveinheit der

⁵⁵ Vgl. Domschke/Drexel (1995), S. 94 ff. sowie Neumann/Morlock (1993), S. 226 ff.

höchsten Aggregationsebene durchgeführt werden. Für die jeweils letzten Teilprozesse sowie deren Vorgänger ist deshalb die Bedingung zu erfüllen:

$$(F-73) \quad \sum_{\tau=\tau_f(o')} \tau_{m,o',\tau} = \sum_{\tau=\tau_f(o)} \tau_{m,o,\tau} \quad \text{für } o' = 1, \dots, \hat{o}; o \in \mathcal{V}(o'); m \in \mathcal{M}(o').$$

Nach Anwendungsbedingung AFII.7 sind bei Dienstleistungsproduktionen in Projektform Mindest- und Höchstabstände zwischen den Teilprozessen einzuhalten. Die hierzu notwendigen Bedingungen lauten:

$$(F-74) \quad \sum_{\tau=\tau_f(o')} (\tau - \Delta_{\min,o,o'}) \cdot w_{m,o',\tau} \geq \sum_{\tau=\tau_f(o)} \tau \cdot w_{m,o,\tau}$$

für $o' = 1, \dots, O; o \in \mathcal{V}(o'); m \in \mathcal{M}(o')$;

$$(F-75) \quad \sum_{\tau=\tau_f(o')} (\tau - \Delta_{\max,o,o'}) \cdot w_{m,o',\tau} \leq \sum_{\tau=\tau_f(o)} \tau \cdot w_{m,o,\tau}$$

für $o' = 1, \dots, O; o \in \mathcal{V}(o'); m \in \mathcal{M}(o')$.

Ferner ist dafür Sorge zu tragen, dass eine Produktiveinheit, in der ein Teilprozess durchgeführt wird, gleichzeitig durch keinen anderen Teilprozess belegt wird. Zu diesem Zweck sind zum einen während der Durchführungszeit die entsprechenden Indikatorvariablen festzulegen:

$$(F-76) \quad \bar{w}_{m,o,\tau'} = w_{m,o,\tau} \quad \text{für } o = 1, \dots, O; m \in \mathcal{M}(o); \tau' = \tau - s_{m,o}(KA_{m,1}), \dots, \tau.$$

Zum anderen müssen über Indikatorvariablen auch für alle Produktiveinheiten der höchsten Aggregationsebene jeweilige Belegungen durch höchstens einen Teilprozess sichergestellt werden:

$$(F-77) \quad \sum_{\sigma=1}^O \bar{w}_{m,o,\tau} \leq 1 \quad \text{für } m \in \mathcal{M}(o); \tau = 1, \dots, \nu.$$

Im kurzfristigen Planungsteilmodell 4.1 sind keine Komponenten zur Berechnung der Kapazität aggregierter Produktiveinheiten enthalten. Diese und die Bedingungen zur Gewährleistung minimaler Strukturqualitäten werden auch für die erste Periode im langfristigen Planungsteilmodell 4.2 erfasst. Als Entscheidungsvariablen treten die Indikatorvariablen $w_{m,o,\tau}$ und $\bar{w}_{m,o,\tau} \in \{0, 1\}$ sowie die Zahl der Potenzialfaktoren $z_{m,k,t,t'} \in \mathbb{N}^0$ bzw. \mathbb{R}^+ auf. Letztere beeinflussen über die Kapazitäten auch die Durchführungszeiten $s_{m,o}(KA_{m,1}) \in \mathbb{N}$.

b) Langfristiges Planungsteilmodell 4.2

Im taktischen, langfristigen Planungsteilmodell 4.2 liegen für den restlichen Planungszeitraum der Perioden 2 bis T entweder keine oder nur wenige konkrete Dienstleistungsaufträge vor. Daher sind dem Dienstleistungsproduzenten keine oder nur wenige Termine bekannt, zu welchen Dienstleistungsaufträge bzw. die dazugehörenden Prozesse abgeschlossen sein müssen. Für die Perioden 2 bis T kann deshalb keine Terminierung differenziert abgebildeter Prozesse und Teilprozesse erfolgen. Entsprechend lassen sich auch keine Reihenfolgebeziehungen zwischen den einzelnen Teilprozessen berücksichtigen. In die langfristige Planung gehen deshalb lediglich mengenmäßige Beziehungen zwischen Prozessen und Teilprozessen ein. Diese mengenmäßigen Beziehungen werden verwendet, um aus der prognostizierten Nachfrage nach kompletten Dienstleistungsprozessen die Menge untergeordneter Teilprozesse zu berechnen. Anstelle dieser indirekten Prognose ist auch eine direkte Prognose von Teilprozessmengen möglich. Sofern die Ergebnisse der direkten Prognosen der Teilprozessmengen Zufallsgrößen mit zugehörigen Verteilungen sind, treten i.d.R. stochastische Abhängigkeiten auf, welche durch die Prozessmengenrelationen der Teilprozesse bedingt sind.

Die anschließenden Betrachtungen beruhen auf den Ergebnissen indirekter Prognosen. Findet dagegen eine direkte Prognose der Prozessmengen auf der Ebene der Teilprozesse statt, vereinfacht sich das Problem, da keine Prozessmengenrelationen in das Modell aufgenommen werden müssen. Die indirekte Prognose führt in modifizierter Form zu einer Problemstellung, die bereits aus dem Grundmodell 2 bekannt ist. Aus diesem Grund wird hier auf die Wiederholung der verwendeten Notation verzichtet und stattdessen auf das Grundmodell 2⁵⁶ verwiesen.

An die Stelle der differenzierten Prozessabbildungen durch die Indikatorvariablen $w_{m,o,t}$ treten im langfristigen Planungsteilmodell die Planproduktionsmengen der Dienstleistungen bzw. Teilprozesse $X_{n,t}$. Letztere stellen bei vollständiger Nachfrageerfüllung „reine“ Zufallsvariablen⁵⁷ dar, falls für die Perioden 2 bis T keine konkreten Dienstleistungsaufträge vorliegen. Die Teilplanungszeiträume unterscheiden sich dann durch sichere (in Periode 1) und stochastische Produktions- und Nachfragemengen (in Periode 2 bis T). Diese scharfe zeitliche Abgrenzung ist jedoch in der Realität i.d.R. nicht anzutreffen. Vielmehr sollte die Länge der Perioden so gewählt werden, dass in Periode 1 ausschließlich deterministische Prozessmengen (erteilte Dienstleistungsaufträge) vorliegen. Daneben ist dann für die Perioden 2 bis T mit einem deutlich

⁵⁶ Vgl. S. 111 ff. und S. 160.

⁵⁷ Hierunter ist eine Zufallsvariable zu verstehen, die nicht aus der Addition einer Zufallsvariablen mit einem deterministischen Wert gewonnen wird.

geringeren Anteil sicherer Dienstleistungsaufträge zu rechnen, die durch Prognosen stochastischer Prozessmengen ergänzt werden.

Für das Grundmodell 4 bzw. das Planungsteilmodell 4.2 wird als Zielvorstellung die Maximierung des Endwertes aller relevanten Zahlungsüberschüsse am Ende des Planungszeitraums angestrebt. In seine Berechnung ist der Endwert der Einzahlungsüberschüsse aus dem kurzfristigen Planungsteilmodell 4.1 am Ende der ersten Periode END_1 mit einzubeziehen:

$$(F-78) \quad \max END_T ;$$

$$(F-79) \quad END_t = END_{t-1} \cdot (1 + i) + EZD_t + ezp_t \quad \text{für } t = 2, \dots, T;$$

$$(F-80) \quad EZD_t = \sum_{n=1}^N ed_{n,t} \cdot X_{n,t} \quad \text{für } t = 2, \dots, T;$$

$$(F-81) \quad ezp_t = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{t'=0}^{t-1} \sum_{t''=t}^{T+1} ep_{k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''} \quad \text{für } t = 2, \dots, T.$$

Die Relationen zur Beschreibung der Strukturqualitäten und zur Berechnung der Kapazitäten aggregierter Produktiveinheiten lassen sich ebenfalls übernehmen. Sie bilden gleichzeitig den Rahmen zur Einbindung des kurzfristigen in das langfristige Planungsteilmodell.

$$(F-82) \quad uq_{m,t} \geq uq_{\min_{m,t}} \quad \text{für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T; \quad \text{wobei:}$$

$$uq_{m,t} = \sum_{m' \in M(m,t)} uq_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} ue_{m,k} \cdot y_{m,k,t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} ua_{m,k} \cdot z_{m,k,t',t''}$$

$$\text{mit: } y_{m,k,t} \leq \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} z_{m,k,t',t''} ;$$

$$(F-83) \quad \text{bei horizontaler Aggregation: für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T:$$

$$KA_{m,t} = \sum_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t} + \sum_{k \in MK(m,t)} \sum_{t'=0}^t \sum_{t''=t}^{T+1} A_{m,k,t',t''} \cdot z_{m,k,t',t''} ,$$

$$\text{bei vertikaler Aggregation: für } m = 1, \dots, M; t = 1, \dots, T:$$

$$KA_{m,t} = \min \left\{ \min_{m' \in M(m,t)} KA_{m',t} ; \min_{\substack{k \in MK(m,t); \\ t' \leq t, t'' \leq T+1}} A_{m,k,t',t''} \right\} ;$$

$$(F-84) \quad KA_{m,t} \geq ka_{\min,m,t},$$

$$KA_{m,t} \leq ka_{\max,m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$.

Eine Präzisierung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Potenzialfaktorarten nach (D-8) bietet sich erst für den konkreten Anwendungsfall an. Auf die nähere Kennzeichnung entsprechender Relationen sei deshalb auch hier verzichtet.

Der Unterschied zwischen dem kurz- und dem langfristigen Planungsteilmodell spiegelt sich insbesondere in der Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen wider. Im kurzfristigen Planungsteilmodell wird durch die Bedingungen (F-77) sichergestellt, dass sich in allen Produktiveinheiten auf höchster Aggregationsebene jeweils höchstens ein Teilprozess in Durchführung befindet. Eine Variation der Potenzialfaktoren schlägt sich im kurzfristigen Planungsteilmodell über geänderte Kapazitäten in den geänderten Durchführungszeiten $s_{m,o}(KA_{m,1})$ der Teilprozesse nieder. Im langfristigen Planungsteilmodell werden entsprechende Variationen direkt anhand der in den Produktiveinheiten zur Verfügung stehenden Kapazitäten erfasst. Die Kapazitätsbeschränkungen der Produktion, die Prozessmengenrelationen sowie die vollständige Erfüllung der Nachfrage beschreiben die Relationen (F-85) bis (F-87):

$$(F-85) \quad \sum_{n=1}^N BP_{m,n,t} \cdot X_{n,t} \leq KA_{m,t}$$

für $m \in \{1, \dots, M \mid m \text{ ist Element der höchsten Aggregationsebene}\}$;
 $t = 1, \dots, T$;

$$(F-86) \quad \sum_{n=1}^{\hat{n}} b_{n,n,t} \cdot X_{n,t} = X_{n,t} \quad \text{für } n = \hat{n} + 1, \dots, N; t = 1, \dots, T;$$

$$(F-87) \quad X_{n,t} = R_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 1, \dots, T.$$

Als Entscheidungsvariablen treten im Grundmodell 4 wiederum die Größen $z_{m,k,t,t'}$ auf, die insbesondere auf die Zufallsvariablen $KA_{m,t}$ und END_t einwirken. Ferner sind die Wertebereiche $u_{qm,t} \in \mathbb{R}$ und $y_{m,k,t} \in \{0, 1\}$ zu beachten. Je nach Variabilität der entsprechenden Potenzialfaktorart gelten für die Variablen $z_{m,k,t,t'}$ die Wertebereiche \mathbb{N}^0 bzw. \mathbb{R}^+ .

3. Integration der Planungsteilmodelle 4.1 und 4.2 in einem Ersatzmodell

Aufgrund seines deterministischen Charakters besteht für das taktische, kurzfristige Planungsteilmodell 4.1 keine Notwendigkeit zur Formulierung eines Ersatzmodells. Für das langfristige Planungsteilmodell 4.2 kann auf die Ersatzmodelle des Haupttyps 2 zurückgegriffen werden, die nur geringfügig anzupassen sind. Hierbei ist in erster Linie zu klären, wie die deterministischen Dienstleistungsaufträge zu behandeln sind, die bereits zu Beginn des Planungszeitraums für das langfristige Planungsteilmodell vorliegen. Zu diesem Zweck werden die Nachfragen nach Dienstleistungen $R_{n,t}$ jeweils als Summe der als stochastisch angenommenen Nachfrage $\tilde{R}_{n,t}$ und der vorliegenden (sicheren) Dienstleistungsaufträge $\tilde{r}_{n,t}$ erklärt.

Zur Formulierung eines Erwartungswertmodells werden die Bedingungen (E-11) bis (E-18) herangezogen, die für stochastische Prozesskoeffizienten um (E-81) zu modifizieren sind. Neben der Ausklammerung einiger Bedingungen für die erste Periode entsprechend (F-78) bis (F-87) müssen die Erwartungswerte $E(R_{n,t})$ durch die Summen $\tilde{r}_{n,t} + E(\tilde{R}_{n,t})$ ersetzt werden. Diese Ersetzung betrifft auch die erwarteten Produktionsmengen $E(X_{n,t})$, die gegen entsprechend differenzierte Summen der Produktionsmengen $\tilde{x}_{n,t} + E(\tilde{X}_{n,t})$ ausgetauscht werden.

Bei der Formulierung eines einstufigen Chance-Constrained-Modells ist zu beachten, dass in (E-26) die Stochastik ausschließlich von $\tilde{R}_{n,t}$ ausgeht und die Planproduktionsmengen $x_{n,t}$ nach (F-88) zu bestimmen sind:

$$(F-88) \quad P\{x_{n,t} - \tilde{r}_{n,t} \geq \tilde{R}_{n,t}\} \geq \beta_{n,t} \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n} \leq N; t = 2, \dots, T.$$

Aus dem gleichen Grund ist bei einer mehrstufigen Formulierung die Standardabweichung der Nachfrage $\tilde{R}_{n,t}$ ausschlaggebend für die Standardabweichung der Produktionsmengen:

$$(F-89) \quad \sigma(X_{n,t}) = \sigma(\tilde{R}_{n,t}) \quad \text{für } n = 1, \dots, \hat{n}; t = 1, \dots, T.$$

4. Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung

Wesentliche Merkmale der im Haupttyp 4 zusammengefassten Projektdienstleistungen sind die geringe Wiederholungsrate der Prozesse sowie die detaillierte terminliche Abstimmung der Teilprozesse innerhalb relativ enger Entscheidungsspielräume auf der operativen Planungsebene. Auch diese Dienstleistungsproduktionen zeichnen sich durch Risiken in Bezug auf die Prozesskoeffizienten, die zur Verfügung stehenden Kapazitäten und die Nachfrage nach Dienstleistungen aus.

Beim Grundmodell 4 handelt es sich wie bei den anderen Grundmodellen um einen zahlungsbasierten Ansatz, der gegebenenfalls in eine erweiterte Investitions- und Finanzplanung integriert werden kann. Eine erweiterte Modellierung alternativer Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten wirft jedoch in Anbetracht der Komplexität des Problems schwierige Lösungsfragen auf.

Das Grundmodell 4 deckt wie die Grundmodelle 1 und 2 hauptsächlich den Bereich der taktischen Kapazitätsplanung ab. Wie die Letzteren lässt sich das langfristige Planungsteilmodell 4.2 um Komponenten der Produktionsprogrammplanung anreichern. Auch für das kurzfristige Planungsteilmodell 4.1 besteht diese Möglichkeit, wobei jedoch die Modellstruktur erheblich zu modifizieren ist. Eine Anbindung an die taktische Prozessplanung erfolgt im Grundmodell 4 in besonderer Weise. Für den Planungszeitraum des kurzfristigen Planungsteilmodells 4.1 wird die genaue Kenntnis der Teilprozesse, deren Dauer sowie deren Reihenfolgebeziehungen unterstellt. Das langfristige Planungsteilmodell 4.2 basiert hingegen nur auf der Kenntnis von Prozessmengenrelationen. Informationen über Reihenfolgebeziehungen der Teilprozesse werden hier vernachlässigt. Beide Teilmodelle sind deshalb geeignet, alle möglichen Objektflüsse abzubilden.

In Bezug auf die eingesetzten Potenzialfaktoren lassen sich die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 als personalintensiv kennzeichnen. Hiermit sind in vielen Fällen Produktiveinheiten verbunden, die sich durch wenige Aggregationsschritte aus den Potenzialfaktoren bilden lassen. Das Grundmodell 4 bezieht sich daher auf einfache Abhängigkeiten zwischen den jeweiligen Potenzialfaktoren.

Bei den Variationen des Grundmodells 4 kann für das langfristige Planungsteilmodell 4.2 wiederum auf die Grundmodelle 1 und 2 verwiesen werden. Für das kurzfristige Planungsteilmodell 4.1 spielen hingegen die meisten dieser Variationen nur eine untergeordnete Rolle. Saisonale Schwankungen der Nachfrage beziehen sich beispielsweise bei Projektdienstleistern auf längere Zeitintervalle und beeinflussen die (feste) Auftragslage in der kurzfristigen Teilplanung nicht. In gleicher Weise kann davon ausgegangen werden, dass Lerneffekte kurzfristig nicht zu bedeutenden Anpassungen der Prozesskoeffizienten bzw. der Durchführungszeiten führen. Für das langfristige Modell 4.2 sind sie gegebenenfalls zu berücksichtigen, wobei mit entsprechenden Schwierigkeiten bei der Erzielung einer Modelllösung zu rechnen ist.

Die Bestimmung einer Lösung des Ersatzmodells zum Grundmodell 4 erfordert eine genauere Analyse. Wird zunächst das langfristige Planungsteilmodell 4.2 betrachtet, lassen sich die Überlegungen zur Lösbarkeit des Grundmodells 2 heranziehen. Dort zeigt sich, dass die stetige Variante eines Ersatzmodells in relativ kurzer Zeit lösbar ist, während eine ganzzahlige Variante mit erheblichem Rechenaufwand verbunden ist. Dieses Zwischenergebnis

wird durch die jeweilige Variablenzahl stark beeinflusst und dementsprechend relativiert. Dennoch muss festgehalten werden, dass die Bestimmung einer ganzzahligen Lösung des langfristigen Planungsteilmodells bei einer realitätsnahen Problemgröße auf Schwierigkeiten stößt. Bei der Lösung eines Ersatzmodells für Grundmodell 4 tritt zusätzlicher Rechenaufwand auf, um die Lösung des kurzfristigen Planungsteilmodells 4.1 mit derjenigen des langfristigen Planungsteilmodells 4.2 zu koordinieren. Eine simultane Lösung beider Probleme ist relativ schwierig.

Unter Gesichtspunkten der Lösbarkeit empfiehlt es sich, auch das kurzfristige Planungsteilmodell 4.1 genauer zu analysieren. Wird das kurzfristige Planungsteilproblem dahingehend vereinfacht, dass von einem gegebenen Bestand an Potenzialfaktoren auszugehen ist, so reduziert sich das kurzfristige Problem auf die Terminierung der vorhandenen Teilprozesse im Intervall zwischen dem frühesten und dem spätesten Endtermin. Dabei gilt als Zielsetzung die Maximierung des Endwertes, der über die Einzahlungsüberschüsse der Teilprozesse zu berechnen ist. Ähnliche Probleme werden in der Fachliteratur seit geraumer Zeit diskutiert und lassen sich prinzipiell lösen,⁵⁸ wobei wiederum ein nicht zu vernachlässigender Rechenaufwand auftreten kann. Eine Erweiterung der Problemstellung um Kapazitätsbeschränkungen verändert die Problemstruktur nachhaltig. Da eine parallele Belegung von Produktiveinheiten mit mehreren Prozessen innerhalb einer Teilperiode möglich ist, lassen diese Probleme⁵⁹ nur eine gewisse Verwandtschaft zum kurzfristigen Planungsteilmodell 4.1 erkennen. Für gegebene Kapazitäten besitzen von *Drexl* entwickelte Modelle mit den entsprechenden Algorithmen⁶⁰ ähnliche Strukturen wie das kurzfristige Planungsteilmodell. Diese Modelle beziehen sich jedoch ausschließlich auf Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, bei denen es zusätzlich eine Rolle spielt, für jeden Prüfungsauftrag eine geeignete Prüfergruppe zusammenzustellen. Trotz der taktischen Fragestellung wird dabei jedoch ein gegebener Bestand an Personal unterstellt.⁶¹ Zur heuristischen Lösung dieses und entsprechender Probleme existieren leistungsfähige randomisierte Prioritätsregelverfahren.⁶² Es bietet sich deshalb auch für das entwickelte kurz-

⁵⁸ Vgl. *Elmaghraby/Herroelen* (1990), S. 36 ff. sowie *Herroelen/Gallens* (1993), S. 274 ff.

⁵⁹ Vgl. *Icmeli/Erengüç* (1996), S. 1397 ff., *Kolisch* (1997), S. 1066 ff. sowie *Vanhoucke/Demeulemeester/Herroelen* (2001), S. 1115 ff. Einen umfassenden Überblick liefern *Kolisch/Padman* (1997), S. 10 und 12 ff. Zu einem Scheduling-Problem bei beschränkter Anlagenverfügbarkeit vgl. *Schmidt* (2000), S. 2 ff.

⁶⁰ Vgl. *Drexl* (1990), S. 97 ff. und 123 ff.

⁶¹ Vgl. *Salewski/Nissen* (1995), S. 1111.

⁶² Vgl. *Salewski/Schirmer/Drexl* (1995), S. 219 ff., *Salewski/Böttcher/Drexl* (1996), S. 34 ff. sowie *Salewski/Bartsch/Pesch* (1996), S. 334 ff.

fristige Planungsteilmodell 4.1 an, ein Verfahren in Anlehnung an diese Prioritätsregelverfahren zu entwickeln.

Zur Lösung eines Ersatzmodells für das Grundmodell 4 kann z.B. der nachfolgend skizzierte Weg eingeschlagen werden, der auf einer einfachen Version eines oben angeführten randomisierten Verfahrens⁶³ basiert. Formal wird das Gesamtplanungsproblem in zwei Teilprobleme aufgeteilt. Dem ersten Teilproblem liegt der Planungszeitraum der ersten Periode zugrunde. Ausgehend von einem Anfangsbestand an Potenzialfaktoren, die vor Beginn des Planungszeitraums bereits bereitgestellt wurden, ist es u.a. erforderlich, zu Beginn der ersten Periode Entscheidungen über die Bereitstellung zusätzlicher Potenzialfaktoren und den Abbau von Potenzialfaktoren aus dem Anfangsbestand zu treffen. Für den resultierenden Potenzialfaktorbestand kann dann eine Terminierung der deterministischen Prozesse vorgenommen werden. Als zweites Teilproblem ist ein Ersatzmodell zu lösen, das als Planungszeitraum die Perioden 2 bis T und sonst die gleiche Struktur besitzt wie ein entsprechendes Ersatzmodell zum Grundmodell 2. Ausgangspunkt dieses zweiten Teilproblems sind analog die Anfangsbestände an Potenzialfaktoren vor Beginn der zweiten Periode. Diese ergeben sich aus dem Anfangsbestand vor Beginn der ersten Periode und dem zu Beginn der ersten Periode im ersten Teilproblem bestimmten Auf- oder Abbau der Potenzialfaktoren. Über den Anfangsbestand zu Beginn der zweiten Periode sind die beiden Teilprobleme miteinander verknüpft. Während die Lösung des ersten Teilproblems eine Entscheidung über die Höhe des Anfangsbestands vor Beginn der zweiten Periode herbeiführt, wird mit dem zweiten Teilproblem eine Entscheidung über den Abbau oder die Aufstockung dieses Bestands getroffen. Eine simultane Lösung des Gesamtproblems wird bei einfacher, sukzessiver Lösung der beiden Teilprobleme im Allgemeinen nicht erreicht. Aus diesem Grund müssen die Lösungen beider Teilprobleme aufeinander abgestimmt werden. Hierzu bietet sich eine Vorgehensweise an, bei der beide Teilprobleme, beginnend mit dem ersten, abwechselnd zu lösen sind.

Bei der Lösung des ersten Teilproblems werden Entscheidungen über Potenzialfaktoren, Zuordnungen der Teilprozesse auf Produktiveinheiten und Endtermine der Teilprozesse mit dem Ziel der Endwertmaximierung am Ende der ersten Periode getroffen. Zur erstmaligen Lösung des Teilproblems wird unterstellt, dass am Ende der ersten Periode nur Potenzialfaktoren veräußert werden, die obligatorisch aus dem Potenzialfaktorbestand auszumustern sind. Abgesehen von dieser Ausnahme bilden damit die Potenzialfaktoren, die während der ersten Periode zur Verfügung stehen, den Anfangsbestand vor Beginn der zweiten Periode. Dieser geht in das zweite Teilproblem als Anfangsbestand ein. Zur Lösung des zweiten Teilproblems ist mit diesem Anfangsbe-

⁶³ Vgl. *Salewski/Schirmer/Drexel* (1995), S. 219 ff.

stand ein Ersatzmodell zu lösen. Als dessen Ergebnis liegen gegebenenfalls Anschaffungen oder Veräußerungen von Potenzialfaktoren auch zu Beginn der zweiten Periode vor. Sie führen zu Änderungen des Potenzialfaktorbestands für die zweite Periode gegenüber dem Anfangsbestand vor Beginn dieser Periode. Der geänderte Bestand wird zur Überprüfung der Lösung des ersten Teilproblems herangezogen. Zu diesem Zweck ist die Planung für die erste Periode (erstes Teilproblem) unter der zusätzlichen Nebenbedingung vorzunehmen, dass genau dieser geänderte Bestand für die zweite Periode als Endbestand am Ende der ersten Periode vorzuhalten ist. Dies führt gegebenenfalls zu modifizierten Anschaffungen und Veräußerungen von Potenzialfaktoren zu Beginn der ersten Periode. Der damit beschriebene Bestand, der während der ersten Periode zur Verfügung steht, ist wiederum Ausgangspunkt für die Lösung des zweiten Teilproblems. Letzteres wird gelöst, wobei Entscheidungen über den Auf- oder Abbau von Potenzialfaktoren am Ende der ersten Periode als Ergebnis des vorangehenden ersten Teilproblems verworfen und durch die entsprechende Teillösung des zweiten Teilproblems ersetzt werden. Auf diese Weise lassen sich Potenzialfaktorbestände, die zum Beginn der zweiten Periode zur Verfügung stehen, erneut modifizieren.

Das skizzierte Koordinationsverfahren lässt sich abbrechen, wenn entweder in zwei direkt aufeinander folgenden Iterationen keine Änderung des Anfangsbestands vor Beginn der zweiten Periode durch die Lösung des jeweils zweiten Teilproblems erlangt wird oder eine bestimmte Zahl an Iterationen bei der Berechnung beider Teilprobleme überschritten wird.

Während das zweite Teilproblem durch die Anwendung von Standardsoftware auf ein Ersatzmodell zum Grundmodell 2 zurückführbar und damit lösbar ist, kann das erste Teilproblem durch ein randomisiertes Verfahren näherungsweise gelöst werden. Hierzu sind wiederum abwechselnd zwei Schritte zu vollziehen. In Schritt 1 werden bei einer gegebenen Ausstattung der Produktiveinheiten mit Potenzialfaktoren die Dienstleistungsaufträge bzw. die mit ihnen verbundenen Prozesse und Teilprozesse terminlich eingeplant. Dabei sind Reihenfolgebeziehungen und verfügbare Kapazitäten zu beachten. Ein erzeugter Belegungsplan ist nur dann zulässig, wenn es gelingt, alle Prozesse vor dem spätesten Endtermin abzuschließen. Schritt 2 umfasst eine Modifikation des Potenzialfaktorbestands. Für die erste Durchführung des Schrittes 1 muss dieser Bestand willkürlich festgelegt werden. Hierzu bietet es sich an, z.B. auf den Potenzialfaktorbestand vor Beginn des Planungszeitraums zurückzugreifen.

Schritt 1 zerfällt in zwei Phasen.⁶⁴ In Phase 1 wird jedem Prozess eine Produktiveinheit zugewiesen, in der er durchzuführen ist. Den Anwendungsbe-

⁶⁴ In Anlehnung an das Verfahren von *Salewski/Schirmer/Drexel* (1995), S. 219 ff.

dingungen entsprechend sind alle Teilprozesse jeweils eines Prozesses in der gleichen Produktiveinheit – gegebenenfalls mit zwischen ihnen liegenden Unterbrechungen – zu vollziehen. Merkmal des randomisierten Verfahrens ist eine stochastische Prioritätsregel, nach der den Prozessen jeweils eine Produktiveinheit mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators zugewiesen wird. Die Auswahl einer Produktiveinheit für einen Prozess erfolgt zufällig, wobei die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl einer bestimmten Produktiveinheit von der Priorität der Zuordnung abhängt. Im ersten Teilmodell empfiehlt sich eine Orientierung der Priorität an den Einzahlungsüberschüssen $ed'_{o,\tau}$ derjenigen Teilprozesse, die zu dem jeweiligen Prozess gehören. Eine Verzinsung dieser Einzahlungsüberschüsse ist nicht möglich, weil bei dieser Berechnung keine Durchführungs- und Zahlungstermine absehbar sind. Die Summe der Einzahlungsüberschüsse aller Teilprozesse o eines Prozesses o' , die in der Produktiveinheit m bei einer Kapazitätsausstattung $KA_{m,1}$ durchgeführt werden, lautet:

$$(F-90) \quad ed_{o'}(KA_{m,1}) := \sum_{o \in M(o')}^{\tau_{f(o)+s_{m,o}(KA_{m,1})}} \sum_{\tau=\tau_{f(o)}} ed'_{o,\tau} \quad \text{für } o' = 1, \dots, \hat{o}.$$

Ferner bezeichnet $ed_{\min,o'}$ das Minimum dieser Einzahlungsüberschusssummen über alle Produktiveinheiten $M(o')$, die für die Durchführung infrage kommen. Die Differenz zwischen der jeweiligen Summe und diesem Minimum kennzeichnet die Vorteilhaftigkeit der Zuordnung:

$$(F-91) \quad p_{o',m} := ed_{o'}(KA_{m,1}) - ed_{\min,o'} \quad \text{für } o' = 1, \dots, \hat{o}.$$

Um auch für die schlechteste Zuordnung des betrachteten Prozesses auf eine Produktiveinheit eine positive Zuordnungswahrscheinlichkeit zu erhalten, werden die Größen $p_{o',m}$ um einen Verfahrensparameter ε erhöht:

$$(F-92) \quad p'_{o',m} := p_{o',m} + \varepsilon \quad \text{für } o' = 1, \dots, \hat{o}.$$

Mit Hilfe dieser Größen wird die Zuordnungswahrscheinlichkeit $p''_{o',m}$ berechnet:

$$(F-93) \quad p''_{o',m} := p'_{o',m} / \sum_{m \in M(o')} p'_{o',m} \quad \text{für } o' = 1, \dots, \hat{o}.$$

Die Verwendung von Zuordnungswahrscheinlichkeiten bewirkt im Gegensatz zu deterministischen Prioritätsregeln, dass eine erneute Zuweisung der Prozesse bei gleicher Datenkonstellation zu veränderten Zuordnungen der Prozesse auf Produktiveinheiten führen kann. Diese Eigenschaft des randomisierten Verfahrens lässt sich nutzen, um eine Menge unterschiedlicher Zuordnungen von Produktiveinheiten zu Prozessen zu erzeugen und darauf die Berechnungen der Phase 2 aufzubauen.

In Phase 2 werden alle Teilprozesse, beginnend zum Zeitpunkt 0, auf die für sie vorgesehenen Produktiveinheiten eingeplant. Dabei sind die Reihenfolgebeziehungen zwischen Teilprozessen jeweils eines Prozesses einzuhalten. Die Einplanung erfolgt chronologisch und beginnt mit denjenigen Teilprozessen, die keine Vorgänger besitzen. Zu jedem Beginn einer Teilperiode wird die Menge der Teilprozesse bestimmt, die noch nicht eingeplant und deren Vorgänger vollständig abgeschlossen sind. In diesen Zeitpunkten ist eine Produktiveinheit auszuwählen, für die eine Einplanung vorgenommen werden soll. Diese Auswahl kann zufällig oder nach einem zu spezifizierenden Kriterium erfolgen. Existieren mehrere Teilprozesse, die in der betrachteten Produktiveinheit zu dem aktuellen Zeitpunkt begonnen werden können, muss eine Auswahl getroffen werden. Auch hier kann eine randomisierte Auswahl vorgenommen werden, bei der die Auswahlwahrscheinlichkeit positiv durch die Höhe des jeweiligen Einzahlungsüberschusses und negativ durch die zeitliche Distanz zum spätesten Durchführungsende des Teilprozesses beeinflusst wird. Wiederum lassen sich mit Hilfe einer randomisierten Einplanung in Phase 2 jeweils mehrere Belegungspläne für eine Zuordnung von Prozessen auf Produktiveinheiten erzeugen. Nach Abschluss der Phasen 1 und 2 bietet es sich an, die Prozesszuordnung auf Produktiveinheiten mit demjenigen Belegungsplan festzulegen, der den höchsten Endwert aller relevanten Einzahlungsüberschüsse aus der Prozessdurchführung am Ende der Periode 1 aufweist.

In Schritt 2 sind – ausgehend von einem bestimmten Bestand an Potenzialfaktoren in den Produktiveinheiten – Kapazitäten auf- oder abzubauen. Bei wenigen, kleineren Produktiveinheiten kann eine begrenzte Enumeration zum Einsatz kommen. Gegebenenfalls kann in Schritt 1 auch ein modifiziertes Subgradientenverfahren⁶⁵ eingesetzt werden, wie es sich z.B. in der Pufferallokation⁶⁶ bewährt hat.

Aufgrund der Erfahrungen mit den Ersatzmodellen zum Grundmodell 2 sowie mit den randomisierten Prioritätsregelverfahren kann angenommen werden, dass sich die heuristische Lösung eines Ersatzmodells zum Grundmodell 4 rechnerisch erzielen lässt. Es kommt hinzu, dass in vielen Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 nur enge Entscheidungsspielräume bei der Bereitstellung von Potenzialfaktoren bestehen, weil qualifiziertes Fachpersonal (z.B. IT-Spezialisten für Beratungsgesellschaften oder Mikrobiologen für Biotechnologie-Projekte) nur in geringer Zahl vorhanden ist.⁶⁷ Weiterhin treten Fälle auf, in denen sich Produktiveinheiten bzw. Projektgruppen nur in engen Grenzen vergrößern bzw. verkleinern lassen, ohne ihre Funktionsfähigkeit zu verlieren.

⁶⁵ Vgl. *Neumann/Morlock* (1993), S. 526 in Verbindung mit S. 567 f.

⁶⁶ Vgl. *Helber* (2000), S. 224 f.

⁶⁷ Vgl. *ZEW* (2001), S. 37.

G. Zusammenfassung

Das weite Gebiet der Dienstleistungsproduktion zählt in der Betriebswirtschaftslehre zu den eher schwach erforschten Problemfeldern. Dies gilt in besonderer Weise für Einzelfragen der zugehörigen Kapazitätsplanung. Sowohl international als auch national werden in der Fachliteratur nur vereinzelt taktische Planungsansätze vorgestellt, die diesen Problembereich modellieren und einer Lösung zuführen. Das Gleiche gilt für die Analyse der strategischen, taktischen und operativen Zusammenhänge dieses Problembereichs. Zweck dieser Schrift ist es, dazu beizutragen, diese Lücke zu schließen. Dazu werden verschiedene Modelle zur taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten entwickelt, die neben dem planungshierarchischen auch den horizontalen Zusammenhang zur taktischen Prozess- und Programmplanung berücksichtigen.

Bei der sprachlichen Erschließung des gewählten Themas ergeben sich bereits erste begrifflich-deskriptive Probleme, die im Fehlen eines zweckmäßigen Begriffsapparates begründet sind. Nach einer Begriffsexplikation wird deshalb zunächst ein zweckmäßiger, prozessbezogener Typusbegriff der Dienstleistung festgelegt. Dieser kennzeichnet Dienstleistungen als Prozesse, die unter Mitwirkung externer Faktoren zu Leistungsbündeln mit hohen Anteilen immaterieller Güter führen.

Aus der Integration bzw. Mitwirkung externer Faktoren ergeben sich für Dienstleistungsproduktionen verschiedene Konsequenzen:

- Kunden- bzw. abnehmergerechte Gestaltung der von Kunden und Dienstleistungsabnehmern beobachtbaren Potenzialfaktoren;
- Auswahl und Verhaltensbeeinflussung von Mitarbeitern für eine kundenorientierte Prozessdurchführung;
- kundenorientierte Gestaltung der Dienstleistungsarten;
- verstärkte Unsicherheiten in Bezug auf die Prozessdurchführung.

Da diese Problemfelder deutliche Wechselbezüge aufweisen, ist es u.a. erforderlich, die rein absatzorientierte Gestaltung von Dienstleistungsarten um Betrachtungen zu ergänzen, in denen der Frage nach den zur Produktion notwendigen Potenzialfaktoren nachgegangen wird. In der Realität ist ferner zu beobachten, dass Dienstleistungsproduktionen in einer großen Erscheinungsvielfalt auftreten. Dies gibt Anlass, eine zweckmäßige Typologie für Dienstleistungsproduktionen zu entwickeln, an der sich die Modelle der taktischen

Planung von Dienstleistungskapazitäten orientieren. Diese Typologie umfasst vier Haupttypen und mehrere Untertypen von Dienstleistungsproduktionen.

Ein Abschnitt ist der Kennzeichnung des gegenwärtigen Entwicklungsstands der taktischen Planung von Dienstleistungskapazitäten gewidmet. Den Ausgangspunkt zur Beurteilung der bereits entwickelten Planungsmodelle und entscheidungsunterstützenden Instrumente bildet ein abstraktes, allgemeines Modell, das anhand von Anforderungen an ein umfassendes Planungssystem für dieses Problemfeld formuliert wird. Mit Hilfe dieses allgemeinen Modells werden Investitionsplanungsmodelle, Data-Envelopment-Analysen und Ansätze auf Basis von Warteschlangensystemen auf ihre Brauchbarkeit zur Lösung der angesprochenen Kapazitätsproblematik beurteilt. Die Bewertung der drei genannten Modell-Ansätze führt zum Ergebnis, dass bislang kein umfassender Ansatz existiert, der eine typengerechte taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten erlaubt. Diese Modelllücke gibt Anlass, neue taktische Modelle (stochastische Grundmodelle, Ersatzmodelle und deren Modifikationen) zur Planung von Dienstleistungskapazitäten zu entwickeln, die sich an den vier Haupttypen der vorgeschlagenen Dienstleistungstypologie orientieren. Diese Grundmodelle werden für anwendungsbezogene Untertypen fallweise spezifiziert und konkretisiert.

Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 1 zeichnen sich durch eine terminlich grobe Strukturierung und deterministische Prozesskoeffizienten aus. Dies ist durch gleichförmige Prozesse bedingt, die einer deutlichen Routine unterliegen. Ferner sind die Zeiten, zu denen die Prozesse durchgeführt werden, nachhaltig von den Dienstleistungsproduzenten bestimmt. Risiken betreffen bei diesen Produktionen in erster Linie die Nachfrage nach Dienstleistungen sowie die quantitative Kapazität der bereitgestellten Potenzialfaktoren. Im Grundmodell 1, das dem Haupttyp 1 zugeordnet ist, werden diese Risiken durch stochastische Bedingungen berücksichtigt. Dabei basiert das Modell zunächst auf einer vollständigen Nachfrageerfüllung. Ergänzend werden Ersatzmodelle formuliert, die eine Verfolgung einwertiger Zielsetzungen zulassen. Dabei zeigt sich, dass Erwartungswertmodelle verhältnismäßig einfach strukturiert sind und sich entsprechend lösen lassen. Die Verwendung von Chance-Constrained-Modellen führt hingegen zu Problemen bei der Berechnung von Standardabweichungen der Kapazitäten höher aggregierter Produktiveinheiten. Ferner werden das Grundmodell 1 sowie seine Ersatzmodelle anwendungsbezogen modifiziert u.a. in Bezug auf eine unvollständige Nachfrageerfüllung, auf saisonale Nachfrageschwankungen, auf Lerneffekte, auf Flexibilität der Potenzialfaktoren sowie auf Lagerungsfähigkeit von Produktionsfaktoren. Die zum Haupttyp 1 entwickelten Modelle zur Kapazitätsplanung für Dienstleistungen und ihre Modifikationen lassen sich ohne Schwierigkeiten in ein umfassendes Planungsgesamtsystem der Dienstleistungsproduktion integrieren. Eine Analyse der Modellmodifikationen zeigt ihre flexiblen An-

wendungsmöglichkeiten, stellt aber auch ihre Grenzen heraus. So lassen sich Lerneffekte, die bei der Dienstleistungsproduktion auftreten, unter dem Aspekt der Lösbarkeit der Modelle nur approximativ abbilden. Bei einer Verwendung von Chance-Constrained-Modellen tritt zudem trotz dieser Approximationen ein erheblicher Komplexitätszuwachs auf. Auch eine verfeinerte Periodendifferenzierung zur Abbildung innerperiodischer saisonaler Nachfrageschwankungen erhöht die Komplexität der Modelle in einer Weise, die schnell an die Grenzen der Anwendbarkeit führt.

Die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 2 sind mit denjenigen des Haupttyps 1 verwandt, sie unterscheiden sich jedoch von ihnen wesentlich durch die Stochastik der erfassten Prozesskoeffizienten. Zwar weisen auch hier die Prozesse hohe Wiederholungsraten auf, wegen der intensiveren Mitwirkung externer Faktoren mit wechselnden Qualitäten lassen diese Prozesse jedoch eine Standardisierung nur in geringem Umfang zu. Für die Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 2 wird ein Grundmodell 2 zur Kapazitätsplanung entwickelt. Dieses ähnelt aufgrund seiner Anwendungsbedingungen dem Grundmodell 1. Entsprechend ergeben sich aus der Analyse der Modelle zum Haupttyp 2 ähnliche Ergebnisse wie beim Grundmodell 1 und seinen Ersatzmodellen. Lediglich bei einstufigen Chance-Constrained-Modellen führt die Berücksichtigung stochastischer Prozesskoeffizienten zu einer erhöhten Komplexität, da einzelne Nebenbedingungen zusätzlich nichtlinear sind. Ein praktischer Anwendungsfall zu Grundmodell 2, der vorgestellt wird, belegt jedoch, dass taktische Kapazitätsplanungsmodelle dieses Typs von begrenzter Größe auch bei diskret zu variierenden Potenzialfaktoren lösbar sind.

Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 3 unterscheiden sich von den beiden vorangehenden Produktionstypen in erster Linie durch ihre feinere terminliche Strukturierung. Diese wird vor allem durch zeitliche Abhängigkeiten der Produktion von der Mitwirkung der Dienstleistungsabnehmer verursacht. Dabei sind die Produktionszeiten wesentlich von den Dienstleistungsabnehmern bestimmt. Für die taktische Kapazitätsplanung wird daher das Produktionssystem detaillierter abgebildet als bei den Haupttypen 1 und 2. Ausgangspunkt der verfeinerten Abbildung ist das Grundmodell 3, in welchem stochastische Durchlaufzeiten in Abhängigkeit von der jeweiligen Nachfrage und von den zur Verfügung stehenden Kapazitäten erklärt werden. Die Bedingungen für stochastische Durchlaufzeiten werden in Erwartungswertmodellen konkretisiert. Hierzu werden offene Warteschlangennetzwerke bei vollständiger Nachfrageerfüllung sowie semi-offene Warteschlangennetzwerke bei begrenzter Nachfrageerfüllung verwendet. Diese Warteschlangennetzwerke werden auf der Basis von $/G/c$ -Warteschlangensystemen erklärt, um die Stochastik der Durchführungszeiten mit ihren ersten und zweiten Momenten zu erfassen. Zur Anwendung der Warteschlangennetzwerke wird auf ein speziell entwickeltes Prognoseprogramm zurückgegriffen. Die vergleichsweise detail-

lierte Modellierung der Produktion führt bei den Kapazitätsplanungsmodellen des Haupttyps 3 zu einigen Lösungsproblemen. Ein praktischer Anwendungsfall lässt jedoch erkennen, dass taktische Kapazitätsplanungsprobleme für diese Dienstleistungsproduktionen begrenzt lösbar sind. Dagegen sind die Anwendungsmöglichkeiten der vorgestellten Modellmodifikationen zur Analyse stark schwankender Nachfragen, zum flexiblen Kapazitätseinsatz, zur zeitlichen Parallelisierung der Kapazitätsinanspruchnahme und zur Berücksichtigung auslastungsabhängiger Übergangszeiten eher begrenzt. Sofern jedoch die entwickelten Modelle für separierte Produktionsteilbereiche als Partialmodelle verwendet werden, bieten sie die Möglichkeit zu einer detaillierten taktischen Kapazitätsplanung.

Zum Haupttyp 4 werden Dienstleistungsproduktionen zusammengefasst, die Projektcharakter besitzen. Diese Dienstleistungsproduktionen weisen im Gegensatz zum Haupttyp 3 niedrige Wiederholungsraten auf, sodass die betrachteten Prozesse mit geringer Routine bei der Durchführung verknüpft sind. Zwischen den einzelnen Teilprozessen müssen vielmehr komplexe, prozessbedingte Reihenfolgebeziehungen beachtet werden. Dabei besitzen die Teilprozesse im Vergleich zur Länge einer Planungsperiode verhältnismäßig lange Durchführungszeiten. Ferner ist zu beobachten, dass bei den Dienstleistungsproduktionen des Haupttyps 4 mit zunehmender Länge der Planungsperiode die relevanten Informationen unsicherer werden. So ist i.d.R. festzustellen, dass für einen (kurzen) ersten Teil des Planungszeitraums verhältnismäßig sichere Daten über verfügbare Kapazitäten, Prozesskoeffizienten und auftretende Nachfragen zur Verfügung stehen. Für die weiter in der Zukunft liegenden Teile des Planungszeitraums nimmt diese Sicherheit ab. Auf Basis dieser Informationslage wird für die Kapazitätsplanung des Haupttyps 4 ein stochastisches Grundmodell 4 entwickelt, das aus zwei Planungsteilmodellen besteht. Das erste Planungsteilmodell 4.1 bildet für die erste Teilperiode des Planungszeitraums die Kapazitätsplanung eines Projektdienstleistungsunternehmens unter Beachtung der Teilprozessfolgen deterministisch ab. Für die folgenden Teilperioden wird in Unkenntnis deterministischer Teilprozessfolgen und unter der Annahme stochastischer Prozessmengenrelationen ein zweites Planungsteilmodell 4.2 formuliert, das in Teilen dem Grundmodell 2 entspricht. Bei der abschließenden Formulierung eines gesamten Ersatzmodells genügt es, nur dieses Teilmodell 4.2 zu modifizieren. Um eine Lösung des gesamten Ersatzmodells zur Kapazitätsplanung zum Grundmodell 4 zu berechnen, ist es erforderlich, beide deterministischen (Ersatz-)Teilmodelle zielbezogen zu koordinieren, was sich jedoch als schwierig erweist. Deshalb wird zur Bestimmung einer näherungsweise optimalen Lösung eine heuristische Prozedur vorgeschlagen.

Die in dieser Schrift vorgestellten vier Haupttypen der Dienstleistungsproduktion stecken einen Rahmen ab, in den sich eine Vielzahl verschiedener

Dienstleistungsproduktionen mit ihren Kapazitätsplanungsproblemen einordnen lässt. Soweit bei praktischen Anwendungen zusätzlich technische oder organisatorische Strukturen abgebildet werden sollen, lassen sich diese neu entwickelten Kapazitätsplanungsmodelle flexibel anpassen. Dabei muss die für eine taktische Planung notwendige Vergrößerung der Abbildung angemessen getroffen werden. Unter diesem Aspekt können die hier vorgestellten Modelle auch als Basis für weitere Untersuchungen dienen. Ein weites Feld eröffnet sich auch im Bereich der Entwicklung geeigneter Lösungsverfahren. Dieser Fragenkomplex, der in der vorliegenden Schrift nur am Rande behandelt wird, gewinnt in Anbetracht der Komplexität der entwickelten Ersatzmodelle an Bedeutung. Grundsätzlich zeigen die erarbeiteten Ergebnisse, dass mit Standard-Lösungsverfahren bereits heute durchaus gute (lokal optimale) Lösungen für die entwickelten Kapazitätsplanungsmodelle bestimmbar sind. Damit demonstrieren die gewonnenen Ergebnisse zur taktischen Kapazitätsplanung, dass auch detailliertere Planungsprobleme des Dienstleistungsbereichs modellgestützt gelöst werden können.

Anhang

Im Zusammenhang mit der horizontalen Aggregation von Produktiveinheiten ist die Approximation des Erwartungswertes und der Standardabweichung des Minimums einer normalverteilten Zufallsvariablen und einer deterministischen Größe sowie zweier Zufallsvariablen von Bedeutung. Ähnliche Approximationen sind in der PERT-Netzplantechnik bei der Berechnung entsprechender Maxima zweier Wege gebräuchlich. Eine Annahme ist dabei, dass die Maxima bzw. Minima zweier normalverteilter Zufallsvariablen wiederum einer Normalverteilung hinreichend genau genügen.¹

Für den Fall, dass nur X_1 eine normalverteilte Zufallsvariable mit Erwartungswert $E(X_1)$, Verteilungsfunktion F_1 und Dichte f_1 darstellt, während $X_2 = x_2$ deterministisch gegeben ist, gelten für

$$X_{\min} := \min \{X_1, x_2\}$$

die Verteilungsfunktion F_{\min} und die Dichtefunktion f_{\min} :

$$F_{\min}(k) = \begin{cases} F_1(k) & \text{für } k < x_2 \\ 1 & \text{für } k \geq x_2 \end{cases}$$

sowie

$$f_{\min}(k) = \begin{cases} f_1(k) & \text{für } k < x_2 \\ 1 - F_1(x_2) & \text{für } k = x_2 \\ 0 & \text{für } k > x_2 \end{cases}$$

Für den Erwartungswert von X_{\min} gilt:

$$E(X_{\min}) = \int_{-\infty}^{x_2} k dF_1(k) + \int_{x_2}^{\infty} x_2 dF_1(k).$$

¹ Vgl. *Küpper/Lüder/Streitferdt* (1975), S. 169 f.

Die Abschätzung des ersten Summanden: $\int_{-\infty}^{x_2} k dF_1(k) < \int_{-\infty}^{x_2} x_2 dF_1(k)$ führt zur Relation $E(X_{\min}) < x_2$, während die Abschätzung des zweiten Summanden: $\int_{x_2}^{\infty} x_2 dF_1(k) < \int_{x_2}^{\infty} k dF_1(k)$ die Relation $E(X_{\min}) < E(X_1)$ ergibt.

Die analoge Umsetzung der PERT-Approximation vom Maximum- auf das Minimumproblem bedeutet für zwei Zufallsvariablen X_1 und X_2 in Bezug auf den Erwartungswert ihres Minimums $E(X_{\min})$, dass $E(X_{\min})$ durch das Minimum der Erwartungswerte, $\min \{E(X_1), X_2\}$, zu ersetzen ist. Die Umsetzung dieser Regel basiert auf der Überlegung, dass $E(X_{\min}) = E(X_1) + E(X_2) - E(X_{\max})$ gilt. Im Fall nur einer Zufallsvariablen X_1 ist $E(X_{\min})$ durch $\min \{E(X_1), x_2\}$ zu ersetzen. Die Qualität dieser Approximation lässt sich durch die Umformulierung des Erwartungswertes $E(X_{\min})$ erkennen,² in der $\Phi(\cdot)$ bzw. $\phi(\cdot)$ die Verteilungs- bzw. die Dichtefunktion der Standardnormalverteilung beschreiben und σ_1 die Standardabweichung von X_1 darstellt:

$$E(X_{\min}) = E(X_1) \cdot \left(1 - \Phi\left(\frac{E(X_1) - x_2}{\sigma_1}\right) \right) + x_2 \cdot \left(1 - \Phi\left(\frac{x_2 - E(X_1)}{\sigma_1}\right) \right) - \sigma_1 \cdot \phi\left(\frac{E(X_1) - x_2}{\sigma_1}\right).$$

Es ist zu erkennen, dass die Approximation umso besser ist, je weiter $E(X_1)$ und x_2 voneinander abweichen und je kleiner die Standardabweichung σ_1 ist. Da der dritte Term dieser Gleichung stets positiv ist, werden die oben vorgenommenen Abschätzungen bestätigt. Letztlich muss festgestellt werden, dass die exakte Bestimmung von $E(X_{\min})$ die Behandlung nichtlinearer Beziehungen notwendig macht.

Die Umsetzung der im Rahmen einer PERT-Approximation erzielten Ergebnisse für ein Minimumproblem zweier Zufallsvariablen X_1 und X_2 basiert auf der Grundgleichung:

$$X_{\min} := \min \{X_1, X_2\} = X_1 + X_2 - \max \{X_1, X_2\}.$$

Der exakte Wert für den Erwartungswert von X_{\min} kann direkt angegeben werden. Für zwei stochastisch unabhängige Zufallsvariablen X_1, X_2 lautet er:³

² Vgl. Clark (1961), S. 146 sowie Suri/Sanders/Klamath (1993), S. 230.

³ Vgl. Clark (1961), S. 146.

$$E(X_{\min}) = E(X_1) \cdot \left(1 - \Phi \left(\frac{E(X_1) - E(X_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right) \right) + E(X_2) \cdot \left(1 - \Phi \left(\frac{E(X_2) - E(X_1)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right) \right) - \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \cdot \varphi \left(\frac{E(X_1) - E(X_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \right).$$

In diesem Ausdruck hängt $E(X_{\min})$ nichtlinear von $E(X_1)$ und $E(X_2)$ ab. Die Verwendung eines exakten Wertes von $E(X_{\min})$ in Optimierungsproblemen führt also zu Schwierigkeiten bei der Problemlösung. Als PERT-Approximation des Erwartungswertes $E(X_{\max}) := E(\max \{X_1, X_2\})$ wird $\max \{E(X_1), E(X_2)\}$ verwendet. Diese Größe führt regelmäßig zu einer Unterschätzung des ursprünglichen Wertes von $E(X_{\max})$.⁴ Dementsprechend bietet es sich an, im behandelten Problem $E(X_{\min})$ durch $\min \{E(X_1), E(X_2)\}$ zu approximieren. Auch hier ist zu erkennen, dass die Approximation umso besser ist, je mehr sich $E(X_1)$ und $E(X_2)$ voneinander unterscheiden und je kleiner $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ ist. Ferner wird deutlich, dass mit einer Überschätzung des Minimums durch die Approximation zu rechnen ist.

Ein weiteres Element der PERT-Approximation ist die näherungsweise Bestimmung der Standardabweichung des Maximums zweier Zufallsvariablen. Als Standardabweichung des Maximums wird die Standardabweichung derjenigen Zufallsvariable herangezogen, die den größeren Erwartungswert besitzt.⁵ Analog wird die Standardabweichung von X_{\min} durch $\sigma_{\min} = \sigma_i$, mit $i = \arg \min \{E(X_i) \mid i = 1, 2\}$ bestimmt.

Neben der Bestimmung des Erwartungswertes und der Standardabweichung für das Minimum zweier Zufallsvariablen ist auch die Berechnung der entsprechenden Verteilungsparameter des Produkts zweier stochastisch unabhängiger Zufallsvariablen X_1 und X_2 von Bedeutung. Für den Erwartungswert gilt aufgrund der stochastischen Unabhängigkeit:

$$E(X_1 \cdot X_2) = E(X_1) \cdot E(X_2).$$

Die Standardabweichung $\sigma(X_1 \cdot X_2)$ ergibt sich aus:

⁴ Vgl. Küpper/Lüder/Streitferdt (1975), S. 169.

⁵ Vgl. Küpper/Lüder/Streitferdt (1975), S. 169.

$$\begin{aligned}
\sigma^2(X_1 \cdot X_2) &= E\left((X_1 \cdot X_2 - E(X_1) \cdot E(X_2))^2\right) = E(X_1^2 \cdot X_2^2) - E(X_1 \cdot X_2)^2 \\
&= E(X_1^2) \cdot E(X_2^2) - E(X_1)^2 \cdot E(X_2)^2 \\
&= (E(X_1)^2 + \sigma^2(X_1)) \cdot (E(X_2)^2 + \sigma^2(X_2)) - E(X_1)^2 \cdot E(X_2)^2 \\
&= \sigma^2(X_1) \cdot \sigma^2(X_2) + \sigma^2(X_1) \cdot E(X_2)^2 + \sigma^2(X_2) \cdot E(X_1)^2
\end{aligned}$$

Eine Approximation von $\sigma(X_1 \cdot X_2)$ durch $\sigma(X_1) \cdot \sigma(X_2)$ ist u.a. nur für kleine Erwartungswerte $E(X_1)$ und $E(X_2)$ tragbar und führt zu einer Unterschätzung der Standardabweichung.

Literaturverzeichnis

- Adam, D.* (1996): *Planung und Entscheidung*, 4. Aufl., Wiesbaden 1996.
- (1998): *Produktionsmanagement*, 9. Aufl., Wiesbaden 1998.
- Akşin, O.Z. / Harker, P.T.* (1999): To Sell or Not to Sell, in: *Journal of Service Research*, 2 (1999), S. 19 – 33.
- (2001): Modeling a Phone Center: Analysis of a Multichannel, Multiresource Processor Shared Loss System, in: *Management Science*, 47 (2001), S. 324 – 336.
- Albach, H.* (1962): *Investition und Liquidität*, Wiesbaden 1962.
- (1989a): *Dienstleistungen in der modernen Industriegesellschaft*, München 1989.
 - (1989b): Dienstleistungsunternehmen in Deutschland, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 59 (1989), S. 397 – 420.
- Albin, S.L.* (1982): On Poisson Approximations for Superposition Arrival Processes in Queues, in: *Management Science*, 28 (1982), S. 126 – 137.
- Albrecht, P.* (1987): Die Versicherungsproduktion – eine Kuppelproduktion bei Risiko, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 57 (1987), S. 316 – 328.
- Altenburger, O.A.* (1980): *Ansätze zu einer Produktions- und Kostentheorie der Dienstleistungen*, Berlin 1980.
- Altioik, T.* (1997): *Performance Analysis of Manufacturing Systems*, New York 1997.
- Bailey, N.T.J.* (1954): Queueing for Medical Care, in: *Journal of the Royal Statistical Society*, 3 (1954), S. 137 – 145.
- Bamberg, G. / Coenenberg, A.G.* (2000): *Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre*, 10. Aufl., München 2000.
- Banker, R.D. / Conrad, R.F. / Strauss, R.P.* (1986): A Comparative Application of Data Envelopment Analysis and Translog Methods: An Illustrative Study of Hospital Production, in: *Management Science*, 32 (1986), S. 30 – 44.
- Bauer, H.* (1991): *Wahrscheinlichkeitstheorie*, 4. Aufl., Berlin, New York 1991.
- Baur, W.* (1979): Lerngesetz der industriellen Produktion, in: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Stuttgart 1979, Sp. 1115 – 1125.
- Bea, F. X. / Haas, J.* (2001): *Strategisches Management*, 3. Aufl., Stuttgart 2001.

- Bechthold, S.E. / Showalter, M.J.* (1987): A Methodology for Labor Scheduling in a Service Operating System, in: *Decision Sciences*, 18 (1987), S. 89 – 107.
- Bell, D.* (1973): *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*, New York 1973.
- Benkenstein, M.* (1993): Dienstleistungsqualität – Ansätze zur Messung und Implikationen für die Steuerung, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 63 (1993), S. 1095 – 1116.
- Benkenstein, M. / Güthoff, J.* (1996): Typologisierung von Dienstleistungen, in *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 66 (1996), S. 1493 – 1510.
- Berekoven, L.* (1974): *Der Dienstleistungsbetrieb*, Wiesbaden 1974.
- Bertsimas, D. / Mourtzinou, G.* (1997): Multiclass Queueing Systems in Heavy Traffic: An Asymptotic Approach Based on Distributional and Conservation Laws, in: *Operations Research*, 45 (1997), S. 470 – 487.
- Bessent, A. / Bessent, W. / Kennington, J. / Reagan, B.* (1982): An Application of Mathematical Programming to Assess Productivity in the Houston Independent School District, in: *Management Science*, 28 (1982), S. 1355 – 1367.
- Betge, P.* (1996): Kapazität und Beschäftigung, in: Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 852 – 861.
- Bitran, G.R. / Tirupati, D.* (1988): Multiproduct Queueing Networks with Deterministic Routing: Decomposition Approach and the Notion of Interference, in: *Management Science*, 34 (1988), S. 75 – 100.
- (1989): Tradeoff Curves, Targeting and Balancing in Manufacturing Queueing Networks, in: *Operations Research*, 37 (1989), S. 547 – 564.
- Bitz, M.* (1976): Äquivalente Zielkonzepte für Modelle zur simultanen Investitions- und Finanzplanung, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 28 (1976), S. 485 – 501.
- Blumentrath, U.* (1969): *Investitions- und Finanzplanung mit dem Ziel der Endwertmaximierung*, Wiesbaden 1969.
- Bondi, A.B. / Whitt, W.* (1986): The Influence of Service-Time Variability in a Closed Network of Queues, in: *Performance Evaluation*, 6 (1986), S. 219 – 234.
- Bowen, D. E. / Jones, G.R.* (1986): Transaction Cost Analysis of Service Organization-Customer Exchange, in: *Academy of Management Review*, 11 (1986), S. 428 – 441.
- Bowen, J. / Bowers, M.R.* (1985): A Marketing Contingency Approach to Service Organizational Structure, in: Venkatesan, M. / Schmalensee, D. M., Marshall, C. (Hrsg.): *Creativity in Services Marketing*, Chicago 1985, S. 78 – 84.

- Brettel, M.* (1999): Krankenhauslogistik, in: *Weber, J. / Baumgarten, H.* (Hrsg.): *Handbuch Logistik*, Stuttgart 1999, S. 764 – 774.
- Breyer, F.* (1986): Krankenhaus-Kostenstudien, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 56 (1986), S. 260 – 286.
- Bühler, W. / Dick, R.* (1972): Das Verteilungsproblem und verwandte Fragestellungen, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 42 (1972), S. 677 – 692.
- (1973): Stochastische lineare Optimierung – Chance-Constrained-Modell und Kompensationsmodell, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 43 (1973), S. 101 – 120.
- Bühler, W. / Gehring, H. / Glaser, H.* (1979): *Kurzfristige Finanzplanung unter Sicherheit, Risiko und Ungewissheit*, Wiesbaden 1979.
- Buttler, G. / Stegner, E.* (1990): Industrielle Dienstleistungen in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 42 (1990), S. 931 – 946.
- Buzacott, J.A. / Shanthikumar, J.G.* (1985): On Approximate Queueing Models of Dynamic Job Shops, in: *Management Science*, 31 (1985), S. 870 – 887.
- (1993): *Stochastic Models of Manufacturing Systems*, Englewood Cliffs 1993.
- Buzacott, J.A. / Shanthikumar, J.G. / Yao, D.D.* (1994): Jackson Network Models of Manufacturing Systems, in: *Yao, D.D.* (Hrsg.): *Stochastic Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, New York u.a. 1994, S. 1 – 45.
- Buzacott, J.A. / Yao, D.D.* (1986): Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models, in: *Management Science*, 32 (1986), S. 890 – 905.
- Carnap, R. / Stegmüller, W.* (1959): *Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit*, Wien 1959.
- Chao, X. / Miyazawa, M. / Pinedo, M.* (1999): *Queueing Networks*, Chichester u.a. 1999.
- Charnes, A. / Cooper, W.W.* (1960): Chance-Constrained Programming, in: *Management Science*, 6 (1960), S. 73 – 79.
- (1963): Deterministic Equivalents for Optimizing and Satisficing under Chance Constraints, in: *Operations Research*, 11 (1963), S. 18 – 39.
- Charnes, A. / Cooper, W.W. / Miller, H.M.* (1959): Application of Linear Programming to Financial Budgeting and the Costing of Funds, in: *The Journal of Business*, 32 (1959), S. 20 – 46.
- Charnes, A. / Cooper, W.W. / Rhodes, L.* (1978): Measuring the Efficiency of Decision Making Units, in: *European Journal of Operational Research*, o. Jg. (1978), S. 429 – 444.

- Chase, R.B.* (1978): Where does the Customer Fit in a Service Operation?, in: *Harvard Business Review*, 56 (1978), S. 137 – 142.
- Chase, R.B. / Aquilano, N.J. / Jacobs, F.R.* (1998): *Production and Operations Management*, 8. Aufl., Boston u.a. 1998.
- Chase, R.B. / Garvin, D.A.* (1989): The Service Factory, in: *Harvard Business Review*, 67 (1989), S. 61 – 69.
- Chase, R.B. / Tansik, D.A.* (1983): The Customer Contact Model for Organization Design, in: *Management Science*, 29 (1983), S. 1037 – 1050.
- Chew, W.B.* (1988): Produktivität – was ist das eigentlich?, in: *Harvard Manager*, 10 (1988), S. 111 – 118.
- Chmielewicz, K.* (1972): *Integrierte Finanz- und Erfolgsplanung*, Stuttgart 1972.
- (1979): *Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft*, 2. Aufl., Stuttgart 1979.
- Clark, C.E.* (1961): The Greatest of a Finite Set of Random Variables, in: *Operations Research*, 9 (1961), S. 145 – 162.
- Cook, D.P. / Goh, C.-H. / Chung, C.H.* (1999): Service Typologies: A State of the Art Survey, in: *Production and Operations Management*, 8 (1999), S. 318 – 338.
- Cordes, W.* (1981): Die Führung des Krankenhauses – eine unternehmerische Aufgabe im sozialen Bereich, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 33 (1981), S. 1066 – 1078.
- Corsten, H.* (1984): Zum Problem der Mehrstufigkeit in der Dienstleistungsproduktion, in: *GfK (Hrsg.): Jahrbuch der Absatz- und Verbrauchswirtschaft*, 30 (1984), S. 253 – 272.
- (1985): *Die Produktion von Dienstleistungen*, Berlin 1985.
- (1986): Zur Diskussion der Dienstleistungsbesonderheiten, in: *GfK (Hrsg.): Jahrbuch der Absatz- und Verbrauchswirtschaft*, 32 (1986), S. 16 – 41.
- (1992): Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen, in: *Corsten, H. u.a. (Hrsg.). Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung*, Stuttgart 1992, S. 229 – 254.
- (1996): Dienstleistungsproduktion, in: *Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 339 – 352.
- (2000): *Produktionswirtschaft*, 9. Aufl., München, Wien 2000.
- (2001): *Dienstleistungsmanagement*, 4. Aufl., München, Wien 2001.

- Corsten, H. / Stuhlmann, S.* (1997): Das GAP-Modell als Orientierungsrahmen für ein Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen, in: Corsten, H. / Stuhlmann, S. (Hrsg.): Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen, Wiesbaden 1997, S. 3 – 54.
- Dallery, Y. / Frein, Y.* (1988): An Efficient Method to Determine the Optimal Configuration of a Flexible Manufacturing System, in: Annals of Operations Research, 15 (1988), S. 207 – 225.
- Darby, M.R. / Karni, E.* (1973): Free Competition and the Optimal Amount of Fraud, in: The Journal of Law and Economics, 1973, S. 67 – 88.
- Dellmann, K.* (1971): Die Bestimmung optimaler Bedienungssysteme bei Mehrstellenarbeit, Köln u.a. 1971.
- Deutsch, H. / Mabert, V.A.* (1980): Queueing Theory and Teller Staffing; A Successful Application, in: Interfaces, 10 (1980), S. 63 – 67.
- Dilworth, J.B.* (1983): Production and Operations Management, 2. Aufl., New York, Toronto 1983.
- Dinkelbach, W.* (1975): Programmierung, stochastische, in: Grochla, E. / Wittmann, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Band II, 4. Aufl., Stuttgart 1975, Sp. 3239 – 3250.
- (1982): Entscheidungsmodelle, Berlin, New York 1982.
- Dinkelbach, W. / Kleine, A.* (1996): Elemente einer betriebswirtschaftlichen Entscheidungslehre, Berlin 1996.
- Dinkelbach, W. / Rosenberg, O.* (2002): Erfolgs- und umweltorientierte Produktionstheorie, 4. Aufl., Berlin u.a. 2002.
- Domschke, W. / Drexl, A.* (1995): Einführung in Operations Research, 3. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1995.
- Donabedian, A.* (1980): Explorations in Quality Assessment and Monitoring, Bd. 1: The Definition of Quality and Approaches to Its Assessment, Ann Arbor 1980.
- Drexl, A.* (1990): Planung des Ablaufs von Unternehmensprüfungen, Stuttgart 1990.
- Dyckhoff, H.* (2000): Grundzüge der Produktionswirtschaft, Einführung in die Theorie betrieblicher Wertschöpfung, 3. Aufl., Berlin u.a. 2000.
- Ebbinghaus, H.-D. / Flum, J. / Thomas, W.* (1978): Einführung in die mathematische Logik, Darmstadt 1978.
- Eichhorn, P.* (1979): Verwaltung, Produktion in der, in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 2146 – 2155.

- Eiff, W. v.* (2000): Führen durch Vergleichen, in: v. Eiff, W. (Hrsg.): Krankenhausbetriebsvergleich, Neuwied, Kriftel 2000, S. 23 – 68.
- Elmaghraby, S.E. / Herroelen, W.* (1990): The Scheduling of Activities to Maximize the Net Present Value of Projects, in: *European Journal of Operational Research*, o. Jg. (1990), S. 35 – 49.
- Endler, J. / Peters, Ch.* (1998): Flughäfen und Luftverkehr – Eine Branche im Umbruch, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 50 (1998), S. 1048 – 1067.
- Engelhardt, W.H. / Freiling, J.* (1995): Die integrative Gestaltung von Leistungspotentialen, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 47 (1995), S. 899 – 918.
- Engelhardt, W.H. / Kleinaltenkamp, M. / Reckenfelderbäumer, M.* (1993): Leistungsbündel als Absatzobjekte, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 45 (1993), S. 395 – 426.
- Ermoliev, Y. / Wets, R.J.-B.* (1988): Stochastic Programming, an Introduction, in: Ermoliev, Y. / Wets, R.J.-B. (Hrsg.): *Numerical Techniques for Stochastic Optimization*, Berlin, Heidelberg, New York 1988, S. 1 – 32.
- Ernenputsch, M.A.* (1986): Theoretische und empirische Untersuchungen zum Beschaffungsprozeß von konsumtiven Dienstleistungen, Bochum 1986.
- Fandel, G. / Hegemann, H.* (1986): Kapazitätssteuerung im Krankenhaus, Ein Ansatz zur Verbesserung der Kapazitätsauslastung in der klinischen Diagnostik, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 56 (1986), S. 1129 – 1147.
- Farny, D.* (1979): Versicherungsbetriebe(n), Produktion, in: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Stuttgart 1979, Sp. 2138 – 2145.
- (1992): „Kapazität“ von Versicherungsunternehmen, in: Corsten, H. u.a. (Hrsg.): *Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung*, Stuttgart 1992, S. 255 – 271.
- Fassnacht, M.* (1998): Preisdifferenzierungsintensität bei Dienstleistern, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 68 (1998), S. 719 – 743.
- Fassott, G.* (1995): Dienstleistungspolitik industrieller Unternehmen, Wiesbaden 1995.
- Ferrara, W.L. / Hayya, J.C. / Nachman, D.A.* (1972): Normalcy of Profit in the Jaedicke-Robichek Model, in: *The Accounting Review*, 47 (1972), S. 299 – 307.
- Ferschl, F.* (1964): Zufallsabhängige Wirtschaftsprozesse, Wien, Würzburg 1964.
- Fitzsimmons, J.A. / Sullivan, R.S.* (1982): *Service Operations Management*, New York u.a. 1982.

- Fleck, H.* (1977): Analyse der Ablauforganisation in einem medizinischen Untersuchungszentrum mit Hilfe der Netzwerktechnik, in: *Methods of Information in Medicine*, 16 (1977), S. 81 – 88.
- Foote, B.L.* (1976): A Queuing Case Study of Drive-In Banking, in: *Interfaces*, 6 (1976), S. 31 – 37.
- Förderreuther, R.* (1977): Beschäftigungspolitik im Bankbetrieb, Berlin 1977.
- Friedl, B.* (1997): Kapazitätsplanung und -steuerung als Bezugsobjekt des Kostenmanagement in Dienstleistungsunternehmen, in: *Corsten, H. / Stuhlmann, S. (Hrsg.): Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen*, Wiesbaden 1997, S. 111 – 135.
- Gäpfgen, G.* (1974): *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung*, 3. Aufl., Tübingen 1974.
- Garvin, D.A.* (1988): *Managing Quality*, New York 1988.
- Gerhardt, J.* (1987): *Dienstleistungsproduktion*, Bergisch Gladbach, Köln 1987.
- Giokas, D.* (1991): Bank Branch Operating Efficiency: A Comparative Application of DEA and the Loglinear Model, in: *OMEGA*, 19 (1991), S. 549 – 557.
- Glaser, H.* (1992): Prozesskostenrechnung – Darstellung und Kritik, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 44 (1992), S. 275 – 288.
- Glaser, H. / Geiger, W. / Rohde, V.* (1992): *Produktionsplanung und -steuerung*, 2. Aufl., Wiesbaden 1992.
- Goodwin, C.* (1985): Using Consumer's Roles to Classify Services, in: *Venkatesan, M. / Schmalensee, D. M. / Marshall, C. (Hrsg.): Creativity in Services Marketing*, Chicago 1985, S. 159 – 163.
- Grönroos, Ch.* (1982): *Strategic Management and Marketing in the Service Sector*, Research Report Nr. 8 der Swedish School of Economics and Business Administration, o.O. 1982.
- Gross, D.G. / Harris, C.M.* (1974): *Fundamentals of Queuing Theory*, New York u.a. 1974.
- Günther, H.-O.* (1989): *Produktionsplanung bei flexibler Personalkapazität*, Stuttgart 1989.
- Gutenberg, E.* (1983): *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band I: Die Produktion*, 24. Aufl., Berlin 1983.
- Güthoff, J.* (1995): *Qualität komplexer Dienstleistungen*, Wiesbaden 1995.
- Häfner, H.* (1992): *Ein Warteschlangenansatz zur integrierten Produktionsplanung*, Heidelberg 1992.

- Hahn, D.* (1996): Strategische Produktionsplanung, in: Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1521 – 1534.
- Hahn, D. / Lassmann, G.* (1999): Produktionswirtschaft – Controlling industrieller Produktion, Band 1 & Band 2, 3. Aufl., Heidelberg 1999.
- Haksever, C. / Render, B. / Russell, R.S. / Murdick, R.G.* (2000): Service Management and Operations, 2. Aufl., Upper Saddle River 2000.
- Haller, S.* (1993): Methoden zur Beurteilung von Dienstleistungsqualität, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 45 (1993), S. 19 – 40.
- Hansmann, K.-W.* (1997): Industrielles Management, 5. Aufl., München, Wien 1997.
- Hax, H.* (1964): Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe linearer Programmierung, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 16 (1964), S. 430 – 446.
- (1970): Investitionsentscheidungen bei unsicheren Erwartungen, in: Hax, H. (Hrsg.): Entscheidungen bei unsicheren Erwartungen, Beiträge zur Theorie der Unternehmung, Opladen 1970, S. 129 – 140.
- Hegemann, H.* (1986): Kapazitäts- und Prozeßplanung in der klinischen Diagnostik, Berlin u.a. 1986.
- Helber, S.* (2000): Kapitalwertorientierte Pufferallokation in stochastischen Fließproduktionssystemen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 52 (2000), S. 211 – 233.
- Helmig, B. / Tschelin, D.K.* (1998): Krankenhausmanagement in der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Forschung im internationalen Vergleich, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 68 (1998), S. 83 – 109.
- Herroelen, W. / Gallens, E.* (1993): Computational Experience with an Optimal Procedure for the Scheduling of Activities to Maximize the Net Present Value of Projects, in: European Journal of Operational Research, o. Jg. (1993), S. 274 – 277.
- Hilke, W.* (1989): Grundprobleme und Entwicklungstendenzen des Dienstleistungs-Marketing, in: Hilke, W. (Hrsg.): SzU, Band 35, Dienstleistungs-Marketing, Wiesbaden 1989, S. 5 – 44.
- Hinterhuber, H.* (1996): Unternehmensführung, I. Strategisches Denken, 6. Aufl., Berlin, New York 1996.
- Höffken, E. / Schweitzer, Marcell* (1991), (Hrsg.): Beiträge zur Betriebswirtschaft des Anlagenbaus, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 28, Düsseldorf 1991.
- Hoitsch, H.-J.* (1993): Produktionswirtschaft, 2. Aufl., München 1993.

- Homburg, Ch. / Garbe, B.* (1999): Industrielle Dienstleistungen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 69 (1999), S. 847 – 864.
- Homburg, Ch. / Kebbel, Ph.* (2001): Komplexität als Determinante der Qualitätswahrnehmung von Dienstleistungen in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 53 (2001), S. 478 – 499.
- Imeli, O. / Erengüç, S.S.* (1996): A Branch and Bound Procedure for the Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows, in: Management Science 42 (1996), S. 1395 – 1408.
- IDW* (2001): Deutschland in Zahlen, Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.), Köln 2001.
- Inderfurth, K.* (1982): Starre und flexible Investitionsplanung, Wiesbaden 1982.
- Jackson, J.R.* (1957): Networks of Waiting Lines, in: Operations Research, 5 (1957), S. 518 – 521.
- Jacob, H.* (1962): Investitionsplanung auf der Grundlage linearer Optimierung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 32 (1962), S. 651 – 655.
- (1964): Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 34 (1964), S. 487 – 507 sowie 551 – 594.
- (1967): Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 37 (1967), S. 153 – 187.
- Jaedicke, R.K. / Robicheck, A.A.* (1964): Cost-Volume-Profit Analysis under Conditions of Uncertainty, in: The Accounting Review, 39 (1964), S. 917 – 926.
- Kakarott, A.* (1991): Strategische Preis- und Kapazitätsplanung für neue Produkte, Münster 1991.
- Kall, P. / Rusczyński, A. / Frauendorfer, K.* (1988): Approximations in Stochastic Programming, in: Ermoliev, Y. / Wets, R.J.-B. (Hrsg.): Numerical Techniques for Stochastic Optimization, Berlin, Heidelberg, New York 1988, S. 33 – 64.
- Kall, P. / Wallace, S.W.* (1994): Stochastic Programming, Chichester u.a. 1994.
- Kaplan, E.H.* (1988): A Public Housing Queue with Reneging and Task-Specific Servers, in: Decision Science, 19 (1988), S. 383 – 391.
- Kern, W.* (1962): Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung. Köln, Opladen 1962.
- (1993): Kapazität, in: Chmielewicz, K. / Schweitzer, Marcell (Hrsg.): Handwörterbuch des Rechnungswesens, 3. Aufl., Stuttgart 1993, Sp. 1055 – 1063.
- Kilger, W.* (1986): Industriebetriebslehre, Band 1, Wiesbaden 1986.

- Kleinaltenkamp, M. / Marra, A.* (1997): Kapazitätsplanung bei Integration externer Faktoren, in: Corsten, H. / Stuhlmann, S. (Hrsg.): Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen, Wiesbaden 1997, S. 54 – 80.
- Kleine, A.* (2001): Data-Envelopment-Analysis aus entscheidungstheoretischer Sicht, in: OR Spektrum, 23 (2001), S. 223 – 242.
- Klinge, R.C.* (1997): Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen, Wiesbaden 1997.
- Kloock, J.* (1981): Mehrperiodige Investitionsrechnungen auf der Basis kalkulatorischer und handelsrechtlicher Erfolgrechnungen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 33 (1981), S. 873 – 890.
- Kloock, J./ Sabel, H.* (1993): Economies und Savings als grundlegende Konzepte der Erfahrung – Was bringt mehr?, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 63 (1993), S. 209 – 233.
- Kloock, J. / Sabel, H. / Schuhmann, W.* (1987): Die Erfahrungskurve in der Unternehmenspolitik, in: Ergänzungsheft 2 der Zeitschrift für Betriebswirtschaft, (57) 1987, S. 3 – 51.
- Kobayashi, H.* (1974): Application of the Diffusion Approximation to Queueing Networks, I: Equilibrium Queue Distributions, in: Journal of the Association for Computing Machinery, 21 (1974), S. 316 – 328.
- Kolisch, R.* (1997): Investitionsplanung in Netzwerken, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 67 (1997), S. 1057 – 1072.
- Kolisch, R. / Padman, R.* (1997): An Integrated Survey of Project Scheduling, Arbeitsbericht des Instituts für Betriebswirtschaftslehre, Christian-Albrechts-Universität Kiel 1997.
- König, W. / Setzer, R.* (1990): Strukturmodell zur Kapazitätsbedarfsermittlung für zentrale Rechnerleistung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 60 (1990), S. 923 – 939.
- Kosiol, E.* (1968): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968.
- Kroeber-Riel, W.* (1969): Wissenschaftstheoretische Sprachkritik in der Betriebswirtschaftslehre, Berlin 1969.
- Kruschwitz, L.* (1977): Zur heuristischen Planung des Investitionsprogramms, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 47 (1977), S. 209 – 224.
- Kuehn, P.J.* (1979): Approximate Analysis of General Queueing Decomposition, in: IEEE Transactions on Communications, 27 (1979), S. 113 – 126.
- Küpper, H.-U.* (1980): Interdependenzen zwischen Produktionstheorie und der Organisation des Produktionsprozesses, Berlin 1980.

- Küpper, H.-U. / Helber, S.* (1995): *Ablauforganisation in Produktion und Logistik*, 2. Aufl., Stuttgart 1995.
- Küpper, W. / Lüder, K. / Streitferdt, L.* (1975): *Netzplantechnik*, Würzburg, Wien 1975.
- Labetoulle, J. / Pujolle, G.* (1980): Isolation Method in a Network of Queues, in: *IEEE Transactions on Software Engineering*, 6 (1980), S. 373 – 381.
- Larsson, R. / Bowen, D.E.* (1989): Organization and Customer: Managing Demand and Coordination of Services, in: *Academy of Management Review*, 14 (1989), S. 213 – 233.
- Layer, M.* (1979): Kapazität: Begriff, Arten und Messung, in: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Stuttgart 1979, Sp. 871 – 882.
- Lehmann, H.* (1976): Typologie und Morphologie in der Betriebswirtschaftslehre, in: Grochla, E. / Wittmann, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre*, Band III, 4. Aufl., Stuttgart 1976, Sp. 3941 – 3952.
- Lemoine, A.J.* (1977): Networks of Queues – a Survey of Equilibrium Analysis, in: *Management Science*, 24 (1977), S. 464 – 481.
- Lewin, A.Y. / Morey, R.C. / Cook, T.J.* (1982): Evaluating the Administrative Efficiency of Courts, in: *OMEGA*, 10 (1982), S. 401 – 411.
- Lindley, D.V.* (1952): The Theory of Queues with a Single Server, in: *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 48 (1952), S. 277 – 289.
- Lippert, S.* (1976): Accounting for Prior Practice in Skill Acquisition Studies, in: *International Journal of Production Research*, 14 (1976), S. 285 – 293.
- Lovelock, C.H.* (1992): Strategies for Managing Capacity-Constrained Services, in: Lovelock, C.H. (Hrsg.): *Managing Services: Marketing, Operations and Human Resources*, 2. Aufl., Upper Saddle River 1992, S. 154 – 168.
- (1993): Dienstleister können Effizienz und Kundenzufriedenheit verbinden, in: *Harvard Business Manager*, 15 (1993), S. 68 – 75.
- (2001): *Services Marketing*, 4. Aufl., Upper Saddle River 2001.
- Lovelock, C.H. / Young, R.F.* (1979): Look to Customers to Increase Productivity, in: *Harvard Business Review*, 57 (1979), S. 168 – 178.
- Lücke, W.* (1955): Investitionsrechnungen auf der Grundlage von Ausgaben oder Kosten?, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, NF, 7 (1955), S. 310 – 324.
- Maleri, R.* (1997): *Grundlagen der Dienstleistungsproduktion*, 4. Aufl., Berlin u.a. 1997.

- (1998): Grundlagen der Dienstleistungsproduktion, in: Brun, M. / Meffert, H. (Hrsg.): Handbuch Dienstleistungsmanagement, Wiesbaden 1998, S. 117 – 139.
- Männel, W.* (1989): Anlagenplanung, in: Szyperski, N. / Winand, U. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart 1989, Sp. 41 – 51.
- Marchal, W.G.* (1985): Numerical Performance of Approximate Queuing Formulae with Application to Flexible Manufacturing Systems, in: Annals of Operations Research, 3 (1985), S. 141 – 152.
- Marie, R.A.* (1979): An Approximate Analytical Method for General Queueing Networks, in IEEE Transactions on Software Engineering, 5 (1979), S. 530 – 538.
- McLaughlin, C.P. / Coffey, S.* (1990): Measuring Productivity in Services, in: International Journal of Service Industry Management, 1 (1990), S. 46 – 64.
- Meffert, H.* (1984): Thesen zu den Problembereichen des Dienstleistungsmarketing, in: Meffert, H. / Wagner, H. (Hrsg.): Dienstleistungsmarketing, Arbeitspapier Nr. 19, Wissenschaftliche Gesellschaft für Marketing und Unternehmensführung, Münster 1984, S. 3 – 9.
- Meyer, Ant.* (1983): Dienstleistungsmarketing, Augsburg 1983.
- (1984): Marketing für Dienstleistungsanbieter, in: Hermanns, A. / Meyer, A. (Hrsg.): Zukunftsorientiertes Marketing für Theorie und Praxis, Berlin 1984, S. 197 – 213.
- (1987): Die Automatisierung und Veredelung von Dienstleistungen – Auswege aus der dienstleistungsinhärenten Produktivitätsschwäche, in: GfK (Hrsg.): Jahrbuch der Absatz- und Verbrauchsforschung, 33 (1987), S. 25 – 46.
- Meyer, Ant. / Mattmüller, R.* (1987): Qualität von Dienstleistungen, in: Marketing ZFP, 9 (1987), S. 187 – 195.
- Meyer, Arn.* (1968): Bedeutung und Besonderheiten der Dienstleistungsbetriebe, in: Industrielle Organisation, 37 (1968), S. 116 – 122.
- (1969): Die Besonderheiten der Dienstleistungsbetriebe, in: Industrielle Organisation, 38 (1969), S. 463 – 466.
- (1976): Die Arbeitsplanung im Dienstleistungsbetrieb – wichtige Rationalisierungsreserve!, in: Management-Zeitschrift io, 45 (1976), S. 75 – 78.
- Meyer, M. / Wohlmannstetter, V.* (1985): Effizienzmessung in Krankenhäusern, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 55 (1985), S. 262 – 280.
- Meyer, P.W.* (1973): Die machbare Wirtschaft, Grundlagen des Marketing, Essen 1973.
- Mochty, L.* (1996): Lernen in der industriellen Produktion, in: Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl, Stuttgart 1996, Sp. 1074 – 1085.

- Morris, B. / Johnston, R.* (1987): Dealing with Inherent Variability: The Difference Between Manufacturing and Service?, in: *International Journal of Operations and Production Management*, 7 (1987), S. 13 – 22.
- Morris, B.* (1988): Balancing Customer Demand, Resource Productivity and Professional Judgement in the Design of Customer Treatment Operations, in: *Johnston, R.* (Hrsg.): *The Management of Service Operations*, Berlin u.a. 1988, S. 299 – 307.
- Müller-Merbach, H.* (1992): Die heimliche Dominanz des Investitions- und Kapazitätsmanagements in Verkehrsbetrieben, in: *Corsten, H. u.a.* (Hrsg.). *Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung*, Stuttgart 1992, S. 273 – 294.
- Mundt, J.* (1998): *Einführung in den Tourismus*, München, Wien 1998.
- Neumann, K.* (1977): *Operations Research Verfahren*, Band II, München, Wien 1977.
- Neumann, K. / Morlock, M.* (1993): *Operations Research*, München, Wien 1993.
- Neuts, M.F.* (1981): *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models*, Baltimore 1981.
- Nicklisch, H.* (1932): *Die Betriebswirtschaft*, 7. Aufl., Stuttgart 1932.
- Nie, W. / Kellog, D.L.* (1999): How Professors of Operations Management View Service Operations, in: *Production and Operations Management*, 8 (1999), S. 339 – 355.
- Oettle, K.* (1970): Die Dienstbereitschaft in einzelwirtschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Sicht, in: *Linhardt, H. / Penzkofer, P. / Scherpf, P.* (Hrsg.): *Dienstleistungen in Theorie und Praxis*, Stuttgart 1970, S. 16 – 36.
- Oral, M. / Yolalan, R.* (1990): An Empirical Study on Measuring Operating Efficiency and Profitability of Bank Branches, in: *European Journal of Operational Research*, o. Jg. (1990), S. 282 – 294.
- Pampel, J.R.* (1996): Ressourcenorientierung für das Kostenmanagement, in: *krp-Kostenrechnungspraxis*, 40 (1996), S. 321 – 330.
- Pföhl, H.-C.* (1993): Planung, in: *Chmielewicz, K. / Schweitzer, Marcell* (Hrsg.): *Handwörterbuch des Rechnungswesens*, 3. Aufl., Stuttgart 1993, Sp. 1567 – 1583.
- Popper, K.R.* (1958): *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde*, Bd. 2: *Falsche Prophezeiten*, Bern 1958.
- (1995): *Lesebuch: Ausgewählte Texte zu Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie*, Tübingen 1995.
- Potts, G.W.* (1988): Raising Productivity in Customer Services, in: *Long Range Planning*, 21 (1988), S. 15 – 22.
- Preinreich, G.A.D.* (1937): Valuation and Amortisation, in: *The Accounting Review*, 12 (1937), S. 209 – 224.

- Reichwald, R.* (1984): Produktivitätsbeziehungen in der Unternehmensverwaltung – Grundüberlegungen zur Modellierung und Gestaltung der Büroarbeit unter dem Einfluss neuer Informationstechnologien, in: Pack, L. / Börner, D. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Entscheidungen bei Stagnation, Wiesbaden 1984, S. 197 – 213.
- Reichwald, R. / Möslin, K.* (1995): Wertschöpfung und Produktivität von Dienstleistungen? – Innovationsstrategien für die Standortsicherung, in: Dienstleistung der Zukunft, Ergebnisse der Tagung des BMBF, Wiesbaden 1995, S. 324 – 376.
- Reiser, M.* (1979): A Queueing Network Analysis of Computer Communication Networks with Window Flow Control, in: IEEE Transactions, 27 (1979), S. 1199 – 1209.
- (1981): Mean-Value Analysis and Convolution Method for Queue-Dependent Servers in Closed Queueing Networks, in: Performance Evaluation, 1 (1981), S. 7 – 18.
- Revesz, G. / Shea, F.J. / Ziskin, M.C.* (1972): Patient Flow and Utilization of Resources in a Diagnostic Radiology Department, in: Diagnostic Radiology, o. Jg. (1972), S. 21 – 26.
- Riebel, P.* (1963): Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963.
- Riess, M.* (1996): Effizienzkonzepte und nutzentheoretische Ansätze zur Lösung stochastischer Entscheidungsmodelle, Heidelberg 1996.
- Ritter, A.* (1988): Optimierung der Personalkapazität bei zyklischer Nachfrage, Berlin 1988.
- Rosenberg, O.* (1975): Investitionsplanung im Rahmen einer simultanen Gesamtplanung, Köln u.a. 1975.
- Rust, R.T. / Metters, R.* (1996): Mathematical Models of Service, in: European Journal of Operational Research, o. Jg. (1996), S. 427 – 439.
- Salewski, F. / Bartsch, T. / Pesch, E.* (1996): Auftragsterminierung für die taktisch-operative Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 66 (1996), S. 327 – 351.
- Salewski, F. / Böttcher, L. / Drexl, A.* (1996): Prüffeldorientierte Zuordnung von Prüfern für die operative Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, in: OR Spektrum 18 (1996), S. 29 – 41.
- Salewski, F. / Drexl, A.* (1993): Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 63 (1993), S. 1357 – 1376.
- Salewski, F. / Nissen, R.* (1995): Revidierende hierarchische Einsatzplanung von Wirtschaftsprüfern, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 65 (1995), S. 1109 – 1033.

- Salewski, F. / Schirmer, A. / Drexel, A.* (1995): Auftragsorientierte Bildung von Prüfer-teams für die taktische Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 47 (1995), S. 211 – 236.
- Scheer, A.-W.* (1997a): Industrialisierung von Dienstleistungen, Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik an der Universität des Saarlandes, Heft 122, 1997.
- (1997b): *Wirtschaftsinformatik*, 7. Aufl., Berlin u.a. 1997.
- Scheer, A.-W. / Bold, M.* (1997): Rechnungswesen in Dienstleistungsbetrieben, in: Küpper, H.-U. / Troßmann, E. (Hrsg.): *Das Rechnungswesen im Spannungsfeld zwischen strategischem und operativem Management*, Berlin 1997, S. 547 – 564.
- Schefczyk, M.* (1996): Data Envelopment Analysis, in: *Die Betriebswirtschaft*, 56 (1996), S. 167 – 183.
- Schefczyk, M. / Gerpott, T.J.* (1994): Operativer und finanzieller Erfolg von Luftverkehrsunternehmen, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 64 (1994), S. 933 – 957.
- Scheuch, F.* (1982): *Dienstleistungsmarketing*, München 1982.
- Schlüchtermann, J. / Sibbel, R.* (1999): Produktionsplanung und -steuerung (PPS) für Dienstleistungsunternehmen, in: Corsten, H. / Schneider, H. (Hrsg.): *Wettbewerbsfaktor Dienstleistung*, München 1999, S. 59 – 77.
- Schmenner, R.W.* (1986): How Can Service Business Survive and Prosper?, in: *Sloan Management Review*, o. Jg. (1986), S. 21 – 32.
- Schmidt, G.* (1997): *Prozeßmanagement*, Berlin, Heidelberg 1997.
- (2000): Scheduling with Limited Machine Availability, in: *European Journal of Operational Research*, o. Jg. (2000), S. 1 – 15.
- Schmidt, I.* (1993): Moderne Bürokommunikation, in: *Bank Magazin*, 9 (1993), S. 48 – 51.
- Schmidt, R.* (1968): *Kapazitätsplanung in stochastischen Produktionssystemen*, Meisenheim a. G. 1968.
- Schneeweiß, Ch.* (1993): Kostenbegriffe aus entscheidungstheoretischer Sicht, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 45 (1993), S. 1025 – 1039.
- (1999): *Hierarchies in Distributed Decision Making*, Berlin, Heidelberg, New York 1999.
- (2000): *Zur Erweiterung der Produktionstheorie auf die Dienstleistungsproduktion*, unveröffentlichtes Arbeitspapier, Universität Mannheim 2000.
- Schweim, J.* (1969): *Integrierte Unternehmungsplanung*, Bielefeld 1969.

- Schweitzer, Marcell* (2001): Planung und Steuerung, in: *Bea, F.X. / Dichtl, E. / Schweitzer, Marcell* (Hrsg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Bd. 2: Führung*, 8. Aufl., Stuttgart 2001, S. 16 – 126.
- Seelbach, H.* (1967): *Planungsmodelle in der Investitionsrechnung*, Würzburg, Wien 1967.
- Serfling, K. / Jeiter, V.* (1995): Gemeinkostencontrolling in Dienstleistungsbetrieben auf Basis der Prozesskostenrechnung, in: *krp-Kostenrechnungspraxis*, 39 (1995), S. 321 – 329.
- Shanthikumar, J.G. / Buzacott, J.A.* (1980): On the Approximations to the Single Server Queue, in: *International Journal of Production Research*, 18 (1980), S. 761 – 773.
- Shanthikumar, J.G. / Gocmen, M.* (1983): Heuristic Analysis of Closed Queueing Networks, in: *International Journal of Production Research*, 21 (1983), S. 675 – 690.
- Shanthikumar, J.G. / Yao, D.D.* (1987): Optimal Server Allocation in a System of Multi-Server Stations, in: *Management Science*, 33 (1987), S. 1173 – 1180.
- Shemwell, D.J. Jr. / Cronin, J.J. Jr.* (1994): Service Marketing Strategies for Coping with Demand/ Supply Imbalances, in: *Journal of Service Marketing*, 8 (1994), S. 14 – 24.
- Sherwood, M.K.* (1994): Difficulties in the Measurement of Service Outputs, in: *Monthly Labor Review*, o. Jg. (1994), S. 11 – 19.
- Showalter, M.J. / White, J.D.* (1991): An Integrated Model for Demand-Output Management in Service Organisations: Implications for Future Research, in: *International Journal of Operations and Production Management*, 11 (1991), S. 51 – 67.
- Skiera, B. / Spann, M.* (1998): Gewinnmaximale zeitliche Preisdifferenzierung für Dienstleistungen, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 68 (1998), S. 703 – 717.
- Stadje, W.* (1993): A Direct Approach to the GI/G/1 Queueing System with Finite Capacity, in: *Operations Research*, 41 (1993), S. 600 – 607.
- Stauss, B.* (1987): Qualitätsstandards als Steuerungsgrößen für öffentliche Unternehmen, in: *Die Betriebswirtschaft*, 47 (1987), S. 594 – 606.
- (2001): Dienstleistungsqualität, in: *Diller, H.* (Hrsg.): *Vahlens Großes Marketinglexikon*, 2. Aufl., München 2001, S. 298 – 299.
- Stauss, B. / Weinlich, B.* (1996): Die sequentielle Ereignismethode – ein Instrument der prozeßorientierten Messung von Dienstleistungsqualität, in: *der markt*, 35 (1996), S. 49 – 58.
- Stegmüller, W.* (1965): *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie*, 3. Aufl., Stuttgart 1965.

- Steven, M.* (1996): Kapazitätsgestaltung und -optimierung, in: Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl, Stuttgart 1996, Sp. 874 – 483.
- (1998): Produktionstheorie, Wiesbaden 1998.
- Stidham, S. Jr.* (1992): Pricing and Capacity Decisions for a Service Facility: Stability and Multiple Local Optima, in: *Management Science*, 38 (1992), S. 1121 – 1139.
- Stoyan, D.* (1977): Qualitative Eigenschaften und Abschätzungen stochastischer Modelle, München, Wien 1977.
- Suri, R. / Sanders, J.L. / Kamath, M.* (1993): Performance Evaluation of Production Networks, in: Graves, S.C. / Rinnooy Kan, A.H.G. / Zipkin, P.H. (Hrsg.): Logistics of Production and Inventory, Amsterdam 1993, S. 199 – 286.
- Swoboda, P.* (1965): Die simultane Planung von Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen und von Produktionsprogrammen, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 35 (1965), S. 148 – 163.
- Sze, D.Y.* (1984): A Queueing Model for Telephone Operator Staffing, in: *Operations Research*, 32 (1984), S. 229 – 249.
- Tansik, D.A.* (1990): Balance in Service Systems Design, in: *Journal of Business Research*, 20 (1990), S. 55 – 61.
- Taylor, I.D.S. / Templeton, J.G.S.* (1980): Waiting Time in a Multi-Server Cutoff-Priority Queue and its Application to an Urban Ambulance Service, in: *Operations Research*, 28 (1980), S. 1168 – 1188.
- Tempelmeier, H. / Kuhn, H.* (1993): Flexible Fertigungssysteme, Berlin, Heidelberg 1993.
- Tietz, B.* (1960): Bildung und Verwendung von Typen in der Betriebswirtschaftslehre, Köln, Opladen 1960.
- Tijms, H.C.* (1986): Stochastic Modelling and Analysis: A Computational Approach, Chichester u.a. 1986.
- Ulrich, P. / Hill, W.* (1979): Wissenschaftstheoretische Aspekte ausgewählter betriebswirtschaftlicher Konzeptionen, in: Raffée, H. / Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München 1979, S. 161 – 190.
- Vanhoucke, M. / Demeulemeester, E. / Herroelen, W.* (2001): On Maximizing the Net Present Value of a Project Under Renewable Resource Constraints, in: *Management Science*, 47 (2001), S. 1113 – 1121.
- Vikas, K.* (1988): Controlling im Dienstleistungsbereich mit Grenzplankostenrechnung, Wiesbaden 1988.

- Vinod, B. / Solberg, J.J.* (1985): The Optimal Design of Flexible Manufacturing Systems, in: *International Journal of Production Research*, 23 (1985), S. 1141 – 1151.
- Wagner, A.* (2000): Dienstleistungsland Deutschland? Quantitative und qualitative Aspekte der Entwicklung, in: *Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Leipzig/ KPMG Deutsche Treuhandgesellschaft/ PwC Deutsche Revision* (Hrsg.): *Rechnungslegungskonzeptionen im Widerstreit*, Leipzig 2000.
- Weinberg, P.* (1974): Axiomatisierung in der Betriebswirtschaftslehre, in: *Grochla, E. / Wittmann, W.* (Hrsg.): *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*, Band I, 4. Aufl., Stuttgart 1974, Sp. 363 – 370.
- Werkmeister, C.* (2000): Periodenbezogene Produktionsprogrammplanung bei betrieblichem Lernen, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 70 (2000), S. 163 – 186.
- Whitt, W.* (1984): Open and Closed Models for Networks of Queues, in: *AT&T Bell Laboratories Technical Journal*, 63 (1984), S. 1911 – 1979.
- Wildemann, H.* (1987): Strategische Investitionsplanung bei diskontinuierlichen Entwicklungen in der Fertigungstechnik, in: *Dichtl, E. / Gerke, W. / Kieser, A.* (Hrsg.): *Innovation und Wettbewerbsfähigkeit*, Wiesbaden 1987, S. 449 – 474.
- (1996): Fertigungssegmentierung, in: *Kern, W. / Schröder, H.-H. / Weber, J.* (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 474 – 489.
- Wolff, R.W.* (1989): *Stochastic Modeling and the Theory of Queues*, Englewood Cliffs 1989.
- Worthington, D.J.* (1987): Queueing Models for Hospital Waiting Lists, in: *Journal of the Operational Research Society*, 38 (1987), S. 413 – 422.
- Wright, T.P.* (1936): Factors Affecting the Cost of Airplanes, in: *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3 (1936), S. 122 – 129.
- Yao, D.D. / Buzacott J.A.* (1986): The Exponentialization Approach to Flexible Manufacturing System Models with General Processing Times, in: *European Journal of Operational Research*, o. Jg. (1986), S. 410 – 416.
- Yao, D.D. / Shanthikumar, J.G.* (1986): Some Resource Allocation Problems in Multi-Cell Systems, in: *Stecke, K.E. / Suri, R.* (Hrsg.): *Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications*, Amsterdam 1986, S. 245 – 255.
- Zäpfel, G.* (1979): Programmplanung, mittelfristige, in: *Kern, W.* (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Stuttgart 1979, Sp. 1700 – 1713.
- (2000a): *Strategisches Produktions-Management*, 2. Aufl., München 2000.
- (2000b): *Taktisches Produktions-Management*, 2. Aufl., München 2000.

- Zeithaml, V.A. / Parasuraman, A. / Berry, L.L. (1990): Delivering Quality Service: Balancing Customer Perceptions and Expectations, New York 1990.*
- Zentes, J. / Swoboda, B. (2000): Auswirkungen des Electronic Commerce auf den Handel, in: Die Betriebswirtschaft, 60 (2000), S. 687 – 706.*
- ZEW (2001): IKT-Fachkräftemangel und Qualifikationsbedarf, Endbericht, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (Hrsg.), Mannheim 2001.*
- Zhuang, L. / Hindi, K.S. (1990): Mean Value Analysis for Multiclass Closed Queueing Network Models of Flexible Manufacturing Systems with Limited Buffers, in: European Journal of Operational Research, o. Jg. (1990), S. 366 – 379.*
- Zietsch, D. / Graf v. d. Schulenburg, J.-M. (1993): Controlling im Versicherungsunternehmen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 45 (1993), S. 873 – 889.*

Stichwortverzeichnis

- Abfertigungsregeln** 179
- Aggregation**
- horizontale 29, 115 ff., 161, 205 f., 246
 - vertikale 29, 115 ff., 161, 205 f., 246
- Aggregationsebene** 106 f.
- Ambulanzen** 102
- Ankunftsrate** 200 f.
- Anpassflexibilität** 32
- Anspruchsniveau** 125
- Approximation, Qualität der** 122 f.
- Arbeitsplan** 29, 202
- Backoffice-Abteilung** 224
- Banken** 25, 27
- Bedeutungsanalyse** 43
- Bedienungsrate** 189
- Bedienungsschalter** 179
- Begriffe**
- klassifikatorische 44
 - typologische 44
- Begriffsexplikation** 43
- Kriterien der 44
- Belegungsplan** 254
- Bestandsflexibilität** 31
- Bundespost** 25
- Call-Center** 103, 217
- Chance-Constrained-Modell**
- einstufiges 125 ff., 162 f., 248
 - mehrstufiges 132 ff., 163 f.
- Clinical-Research-Unternehmen** 24, 236 ff.
- Data-Envelopment-Analysis** 100 f.
- Deutsche Bahn AG** 23, 25
- Diagnostik, präoperative** 53
- Diagnostikbereich** 102, 178
- Dienstleistung, Typusbegriff der** 61 f., 142
- Dienstleistungen**
- Abgrenzung der 55
 - kundengruppenspezifische 88
 - Nachfrage nach 23
 - Qualitätsbeurteilung der 49 f.
 - Standardisierung der 80
 - terminlich fein strukturierte 79, 177 ff., 235 ff.
 - terminlich grob strukturierte 79, 105 ff., 157 ff.
 - Überblick über 46
 - verbundene (verkettete) 53
- Dienstleistungsbegriff** 43 ff.
- ergebnisorientierter 60 f.
 - potenzialorientierter 58 f.
 - prozessorientierter 59 f.
- Dienstleistungskapazität**
- Flexibilisierung der 53 f.
 - Messung der 54
 - taktische Planung der 25 f.
- Dienstleistungsproduktion** 23 ff., 47
- Haupttypen der 84 f.
 - personalintensive 141
 - Risiken der 99
 - Simulation der 191 f.
- Dienstleistungsproduktionen, Typologie der** 26
- Dienstleistungsprozesse** 56 ff.
- Dienstleistungsqualität** 52, 91, 94
- Dienstleistungstypologie**
- absatzorientierte nach Bowen und Jones 66 ff.

- absatzorientierte nach Lovelock 65 f.
- absatzorientierte nach Meyer 68 f.
- Aufbau der 83
- produktions- und absatzorientierte nach Berekoven 69 ff.
- produktions- und absatzorientierte nach Chase 72 ff.
- produktions- und absatzorientierte nach Corsten 74 ff.
- produktions- und absatzorientierte nach Schmenner 73 f.
- Dienstleistungstypologien 65 ff.
 - Beurteilung der 77 ff.
- Dienstleistungsunternehmen 23
- Durchführungszeit 189 f.
- Durchlaufterminierung, operative 42
- Durchlaufzeiten 42, 178, 186 ff.

- E-Commerce** 24
- Einfachheit 26
- Endkombination 49
- Entwicklungsflexibilität 31
- Ergebnisqualität 50, 94
- Erlang-Verteilung 193 f., 198
- Ersatzmodelle
 - deterministische 27
 - Variationen der 135 ff., 164 ff., 207 ff.
- Erwartungswerte, Approximation der 128, 195
- Erwartungswertmodell 120 ff.
- Ethik-Kommission 239

- Faktor, externer** 47 ff., 52
- Faktoren, Qualität externer** 48 ff.
- Feinterminierung 42
- Finanzrelationen 92 f., 112 f.
- Flexibilität 31, 149 f.
- Fluggesellschaften 25
- Fraktillmodellgleichungen 131
- Frontoffice-Bereich 224

- Gap-Modell** 51

- Gesamtplanungssystem** 87
- Geschäftsfelder** 33
- Gesundheitsbereich** 24
- Goal-Programming** 149
- Grenzwertsatz, zentraler** 123, 133, 164
- Grundmodell 1** 110 ff.
 - Ersatzmodelle zum 120 ff.
- Grundmodell 2** 160 ff.
 - Ersatzmodelle zum 162 ff.
- Grundmodell 3** 184 ff.
 - Ersatzmodell zum 191 ff.
- Grundmodell 4** 241 ff.
 - Ersatzmodell zum 248 ff.
- Gütesiegel** 52

- Hauptprozess** 37 f., 41, 221 ff.
- Hilfsprozess** 37 f., 41, 143 f.
- Hochschulsystem** 25

- Informationsstrategie** 34, 36
- Inhouse-Consulting** 48
- Input-Output-Systeme** 47
- Integration externer Faktoren** 47 ff., 52 f., 55, 79
- Investitionsprogramm, Endwert des** 112

- Kapazität**
 - Begriff der 28
 - flexible 140 f.
 - qualitative 28, 30, 41
 - quantitative 28, 30, 41, 115 ff.
 - unflexible 142
 - verfügbare 95 f.
- Kapazitätsabgleich** 37
 - operativer 76
- Kapazitätsanpassungen** 31
- Kapazitätsdimensionierung** 190
- Kapazitätsinnovationsstrategie** 35
- Kapazitätskonzentrationsstrategie** 35
- Kapazitätsplanung** 24, 33
 - taktische 39, 86 ff.
- Kapazitätsstrategie** 34 f.

- Kfz-Schadenregulierung 157 f.,
165 ff.
- Klassenbegriff 44 f.
- Kompensationsfähigkeit 31, 219
- Krankenhäuser 105 f., 108 f.
- Kundenkontakt 74, 77
- Kundenwünsche 31
- Lagerbestand** 96
- Lagerkapazität 96, 107 f.
- Lagerung
- innerperiodische 151 ff.
 - periodenübergreifende 151 ff.
- Lagerungsfähigkeit 75 f., 82 f.,
151 ff., 179
- Layoutplanung 37, 42
- Leistungsbündel 26, 47, 50, 54 f.,
142
- Leistungszeitintervalle 80
- Lerneffekte 88, 91, 108, 144 ff., 223 f.
- Lernen
- heterogenes 144 ff.
 - homogenes 144 ff.
- Lieferzeitflexibilität 32
- Logistikzentren 105, 108 f., 135, 151
- Lösbarkeit 26
- Lösungsverfahren 26
- heuristische 234
- Luftverkehrsunternehmen 24
- Marginal-Distribution-Analysis**
213 ff.
- Mean-Value-Analysis 212 f.
- Mehrzielsystem 92
- Mindestkapazität 106 f., 116 f.
- Mindestlieferbereitschaft 53
- Modell
- allgemeines 27, 86 ff.
 - typenspezifisches 92
- Modelldefizit 26
- Nachfrage**
- saisonale 137 ff.
 - unsichere 52
- Nachfragefunktion**
- zeitdiskrete 219
 - zeitkontinuierliche 218 f.
- Nachfrageprognose** 97
- Nachfrageschwankungen**
- innerperiodische 138 ff.
 - periodische 138 f.
- Nachfragespitzen** 137
- Nebenbedingungen, nichtlineare** 134
- Nebenprozess** 221 f.
- Nominaldefinition** 26, 43 ff.
- Normstrategien** 77
- Nutzen**
- Maximierung des -s 91 f.
 - monetärer 92 f.
 - qualitativer 92 f.
- Opportunitätskosten** 154, 233
- Optimierung, gemischt nichtlineare–
ganzahlige** 230
- PERT-Netzpläne** 126, 155, 260 ff.
- Pflegeleistung, postoperative** 53
- Pflichtenheft** 235
- Phasen-Verteilung** 193
- Planung**
- Neuaufwurf der taktischen 91,
183, 231
 - operative 38 f., 182
 - simultane 41
 - strategische 33 ff., 90, 123, 154,
233, 238
 - sukzessive 41
 - taktische 36 ff.
- Planungen, Wechselbeziehungen zwi-
schen taktischen** 40 ff.
- Planungsansätze,**
warteschlangenbasierte 102 ff.
- Planungstechniken, sukzessive** 38
- Planungsteilmodell**
- kurzfristiges 236, 241 ff.
 - langfristiges 236, 245 ff.

- Poissonstrom 200
 Potenzialfaktoren 28 ff.
 Prioritätsregeln 182 f.
 Produktelimination 36
 Produktinnovation 36
 Produktion
 – mehrperiodige 86 f., 114
 – mehrstufige 186
 – Organisationstyp der 37
 Produktions- und Investitionsplanung, simultane 98, 104
 Produktions- und Nachfragestrukturen 87 ff.
 Produktionsplanung 33, 86
 – operative 38 f., 91
 – strategische 33 ff.
 – taktische 38
 Produktionsprogramm 35
 Produktionsprogrammplanung, operative 42
 Produktionssegmente 33
 Produktionstiefenstrategie 34
 Produktiveinheit 28
 Produktstrategie 34
 Produktvariation 36
 Projektdienstleistung 235 ff.
 Prozess 29
 Prozesse, Wiederholungsrate der 81, 84, 177 ff., 235 ff.
 Prozesskoeffizienten 56, 82, 105 f., 142
 – risikobehaftete 88, 157 ff., 177 ff.
 – Streuung der 195
 Prozess-Kostenrechnung 156
 Prozessmengenrelationen 118, 124, 133 f., 153, 189, 245, 247
 Prozesspläne
 – divergierende 52, 88
 – konvergierende 52, 88
 Prozessplanung, taktische 37, 88, 90
 Prozessqualität 50, 94, 183 f.
 Qualitätsnormen 52
 Qualitätsrelationen 93 ff.
 Qualitätssicherung 51
 Qualitätsstandards 51
 Qualitätswesen 26, 88
 Qualitätszielsetzungen 148 f.
 Realdefinition 26, 43 ff.
 Reisebüros 25, 224 ff.
 Relationen 92
 Residualgewinn 154
 Restdurchführungszeit 213
 Restplanungszeitraum 236 f.
 Risikoneutralität 134
 Rückkopplung, informatorische 42, 233 f.
 Sachgutproduktion 23 ff., 55 f.
 – industrielle 23
 Saisonkoeffizienten 137 ff.
 Schichtplanung 42
 Schicht- und Personaleinsatzpläne 30
 Standortstrategie 34, 36
 Stochastik 105 ff.
 Strukturqualität 49 f., 108 ff., 113 f., 183 f.
 Subunternehmer 157
 Suchverfahren, enumerative 230 f.
 Technikkonzept 36
 Technikstrategie 34, 36
 Telekommunikationsunternehmen 24
 Terminusdisposition, Entscheidungsspielräume der 79 f., 174, 177
 Transportkapazität 109
 Typologie 63 ff.
 Typologisierung 26
 Typusbegriff 44 f.
 Typusbildung 78 ff.
 Übergangswahrscheinlichkeiten 181, 201 f., 220
 Übergangszeit 222 f.

- Variabilität 31, 32
- Vektoroptimierungsmodell 148 f.
- Verfahren, randomisierte 250 ff.
- Versicherungen 25, 27
- Verteilungsfunktion, Faltung der 118
- Verwaltung, öffentliche 25
- Vorgaben, strategische 40, 116 f., 168, 180
- Warteraum 181
- Warteschlangendisziplin 199
- Warteschlangennetzwerk, Jackson-200
- Warteschlangennetzwerke
- Dekomposition der 200
 - geschlossene 207 ff.
 - Gleichgewichtszustand der 206, 210
 - offene 27, 192 ff., 200 ff.
- semi-offene 27, 208 ff., 215 ff.
- Warteschlangensysteme 102 ff., 193 f.
- *GI/G/1*- 199
 - *GI/G/c*- 196 ff.
 - *M/M/1*- 197 ff.
 - *M/M/c*- 197 ff.
- Warteschlangentheorie 192, 217
- Yield Management 25
- Zeitaspekt 78
- Zertifizierung 52
- Zielfunktion, vektorielle 92
- Zielgruppe 35
- Zielmarkt 35
- Zielsystem 87
- Zwischenabgangszeit 198, 202 f.
- Zwischenankunftszeit 181, 198 ff.