

Produktionswirtschaftliche Flexibilität in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken

Strategische Konzepte und operative Erfolgspotenziale

von Bodo Möslein-Tröppner



UNIVERSITY OF
BAMBERG
PRESS

 **PRODUKTION
LOGISTIK**

Schriftenreihe

Logistik und Supply Chain Management 1

Schriftenreihe
Logistik und Supply Chain Management

Herausgegeben von

Prof. Dr. Eric Sucky
Björn Asdecker,
Alexander Dobhan,
Sabine Haas,
Jonas Wiese

Band 1



University of Bamberg Press 2010

Produktionswirtschaftliche Flexibilität in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken

Strategische Konzepte und operative Erfolgspotenziale

von Bodo Möslein-Tröppner



University of Bamberg Press 2010

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische
Informationen sind im Internet über <http://dnb.ddb.de/> abrufbar

Diese Arbeit hat der Fakultät Sozial- und Wirtschaftswissenschaften der Otto-Friedrich-Universität als Dissertation vorgelegen.

1. Gutachter: Prof. Dr. Günther Diruf

2. Gutachter: Prof. Dr. Eric Sucky

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Oktober 2009

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über den Hochschulschriften-Server (OPUS; <http://www.opus-bayern.de/uni-bamberg/>) der Universitätsbibliothek Bamberg erreichbar. Kopien und Ausdrücke dürfen nur zum privaten und sonstigen eigenen Gebrauch angefertigt werden.

Herstellung und Druck: docupoint GmbH, Magdeburg

Umschlaggestaltung: Dezernat Kommunikation und Alumni

© University of Bamberg Press Bamberg 2010

<http://www.uni-bamberg.de/ubp/>

ISSN: 2191-2424

ISBN: 978-3-923507-88-7

eISBN: 978-3-923507-89-4

URN: urn:nbn:de:bvb:473-opus-2858

Schriftenreihe

Logistik und Supply Chain Management

Herausgegeben von

Prof. Dr. Eric Sucky
Björn Asdecker,
Alexander Dobhan,
Sabine Haas,
Jonas Wiese

Kontakt: Univ.-Prof. Dr. Eric Sucky, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Lehrstuhl für BWL, insb. Produktion und Logistik, Feldkirchenstr. 21, 96052 Bamberg

Das erfolgreiche Management sowohl unternehmensinterner als auch unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozesse, Wertschöpfungsketten und ganzer Wertschöpfungsnetzwerke basiert im Besonderen auf dem zielgerichteten Einsatz von bestehenden und weiterentwickelten Methoden und Konzepten des Produktions- und Logistikmanagements sowie des Operations Research, dem Einsatz von innovativen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie theoretischen und praktischen Erkenntnissen des Kooperationsmanagements. Die Schriftenreihe dient der Veröffentlichung neuer Forschungsergebnisse auf den Gebieten Logistik und Supply Chain Management. Aufgenommen werden Publikationen, die einen Beitrag zum wissenschaftlichen Fortschritt in Logistik und Supply Chain Management liefern.

Für Carolin

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
Symbolik	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
1. Problemstellung und Untersuchungsziele	1
1.1 Führt eine größere Flexibilität der Supply Chain zu mehr Erfolg?	1
1.2 Eingrenzung des Forschungsgebietes	3
1.3 Untersuchungsziele und Aufbau der Arbeit	5
2. Strategische Konzepte zur Optimierung der Supply-Chain-Strukturen in unterschiedlichen Absatzmärkten	8
2.1 Supply-Chain-Management als umfassendes Steuerungskonzept	8
2.2 Anpassung des Supply-Chain-Typs an unterschiedliche Nachfragecharakteristiken	13
2.3 Kombiniertes Einsatz effizienter und marktreaktiver Supply-Chain-Strategien	19
2.4 Kundenentkopplungspunkt und Postponementstrategien	25
2.5 Strategische Integration marktreaktiver und effizienter Supply-Chain-Strukturen nach Stratton und Warburton	31
2.6 Produktionswirtschaftliche Flexibilität, ein Schlüsselkonzept in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken	35
3. Produktionswirtschaftliche Flexibilität: Stand der Forschung	38
3.1 Flexibilität im unternehmerischen Gesamtzusammenhang	38
3.2 Produktionswirtschaftliche Flexibilität: Basiskonzepte	47
3.3 Konzepte zur Klassifizierung produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsstrukturen	52
3.3.1 Überblick	52
3.3.2 Hierarchische Drei-Ebenen-Struktur von Sethi und Sethi	53
3.3.3 Flexibilitätsdimensionen nach Gerwin	56
3.3.4 Fünf-Stufen-Hierarchie nach Koste und Malhorta	59
3.3.5 Unternehmens- und umweltgetriebene Flexibilitätsdimensionen nach D'Souza und Williams	61

3.4	Schwächen und Begrenzungen bisheriger Flexibilitätstheorien	62
3.4.1	Defizite bei der Strukturierung, Fundierung und Operationalisierung von Wirkungszusammenhängen	62
3.4.2	Begrenzte quantitative Erkenntnisse zu den Erfolgspotenzialen produktionswirtschaftlicher Flexibilität	63
4.	Analyse der Risikosenkungspotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien in Supply Chains für homogene Modesortimente	65
4.1	Mode-Supply-Chains als idealtypische Beispiele für Supply Chains mit hohen Absatzrisiken	65
4.2	Einsatz der Modelltheorie von Diruf für eine vertiefte Analyse des Flexibilitätsnutzens	68
4.3	Beschreibung der Modellstruktur	69
4.3.1	Entscheidungsszenario	69
4.3.2	Modellierung der Nachfragerisiken und des Prognoseverbesserungsprozesses	73
4.3.3	Messung der Risikosenkungspotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien anhand von Gewinn- und Kostenerwartungen	75
4.4	Struktur der Risikosenkungspotenziale bei suboptimalen Priorstrategien	82
4.4.1	Anpassung von Entscheidungsszenario und Problemstellung	82
4.4.2	Auswirkungen der Mengen- und Variantenflexibilität im Grenzfall einer sicheren Posterior-Nachfrageprognose	87
4.4.3	Flexibilitätserfolge bei begrenzten Prognoseverbesserungen	111
4.5	Senkung der Absatzrisikokosten bei optimaler Planung der posterior verfügbaren Zielkapazität	128
4.5.1	Verminderung des maximalen Risikosenkungspotenzials bei optimaler Prior-Disposition	128
4.5.2	Untersuchung der Flexibilitätswirkungen bei sicherer Posterior-Prognose	131
4.5.3	Struktur der Risikokostenersparnisse bei Nachfrageunsicherheit zum Posteriorzeitpunkt	141

5.	Simulationsstudien zu den Erfolgspotenzialen flexibler Produktionsprozesse: Erweiterung der Analyse auf heterogene Modersortimente	147
5.1	Auswirkungen heterogener Artikeldaten auf die Erfolgspotenziale der Variantenflexibilität: offene Fragen	147
5.2	Modellierung und Programmierung eines Simulationstools	149
5.2.1	Grundstruktur	149
5.2.2	Verfahrensvarianten	151
5.3	Heterogene Absatzwerte und Prognosefehler bei gemeinsam produzierten Artikeln	152
5.3.1	Messung der Datenheterogenität und der Heterogenitätswirkungen	152
5.3.2	Modellsortimente mit steigendem Heterogenitätsgrad der Nachfrage- und Prognosewerte	161
5.3.3	Simulationsablauf bei homogenen Preis- und Kostendaten	170
5.3.4	Simulationsergebnisse: Verminderung der Risk-Pooling-Effekte bei steigender Ungleichheit der Prognosefehler	182
5.4	Heterogene Fehlmengen- und Überdeckungskosten der Produktvarianten eines Teilsortiments	196
5.4.1	Entwicklung geeigneter Modellsortimente	196
5.4.2	Simulationsablauf bei heterogenen Kostendaten	203
5.4.3	Simulationsergebnisse: Auswirkungen der Kostenheterogenität	210
6.	Zusammenfassung und Ausblick	226
	Literaturverzeichnis	XIV

Abkürzungsverzeichnis

c. p.	ceteris paribus
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CPFR	Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment
DP	Decoupling Point
EDI	Electronic Data Interchange
F + E	Forschung und Entwicklung
FFS	Flexible Fertigungssysteme
ft	foot
Gl.	Gleichung
GE	Geldeinheit
konst.	konstant
ME	Mengeneinheit
JIT	Just in time
PDA	Personal Digital Assistant
POS	Point of Sale
RFID	Radio Frequency Identification
SCM	Supply Chain Management
VBA	Visual Basic for Applications
VMI	Vendor Managed Inventory

Symbolik

α	Prognoseverbesserungsfaktor
β_i	Verhältnis der spezifischen Über- und Unterdeckungskosten des Artikels i
β_σ	normiertes Konzentrationsmaß für das Ausmaß der Ungleichheit der Einzelwerte σ_{0i}
c	variable Produktionskosten bei Herstellung der Produkte mit der Normalkapazität
c_R	spezifische Reservierungskosten zur Abdeckung des Nichtbeschäftigungsrisikos der Reaktivkapazität
c_u	spezifische Unterdeckungskosten bzw. entgangener Deckungsbeitrag
$c_{\bar{u}}$	spezifische Überdeckungskosten
Δc	Produktionskostenzuschlag bei Herstellung der Produkte mit der Reaktivkapazität (verglichen mit der Normalkapazität)
ΔR	Ausmaß an Mengenflexibilität
ΔR_Σ	Ausmaß an Mengenflexibilität für das gesamte Teilsortiment
ΔR_K	Ausmaß an Mengenflexibilität, das benötigt wird, um einen bestimmten Ausschöpfungsanteil γ_K zu erreichen
G	Gewinn
G_{rf}	risikofreier Gewinn
γ_Δ	relative Mengenflexibilität
γ_K	Ausschöpfungsanteil des Risikosenkungspotenzials
γ_v	Quotient, der das Ausmaß der durch die Variantenflexibilität bewirkten Risk-Pooling-Vorteile zeigt
i	Artikel bzw. Produktvariante
k	Anzahl der Simulationsläufe
K	Kosten
K_{\max}	Risikosenkungspotenzial bzw. maximale Kosten
K_{\min}	Minimale Kosten
λ	Lagrange-Faktor

m	Artikel- bzw. Variantenanzahl eines Teilsortimentes (= Ausmaß an Variantenflexibilität)
ω	artikelspezifisches Kostenverhältnis
p	regulärer Verkaufspreis in der Verkaufssaison
p_s	Preisreduzierungsspanne für Restmengen
$p_{\bar{u}}$	regulärer Verkaufspreis nach der Verkaufssaison
q	Faktor der (fallenden) geometrischen Folge
r	Bedarf bzw. Nachfrage
R_0	Kapazitätsreservierung für Produktionsmengen, die möglicherweise zusätzlich zur Mindestmenge X_0 benötigt werden
R_m	mittlere Gesamt- bzw. Zielkapazität, die zum Posteriorzeitpunkt zur Verfügung steht
R_{Σ}	mittlere Gesamt- bzw. Zielkapazität für das gesamte Teilsortiment
s_m	prozentuales Ausmaß, das angibt, inwieweit die Variantenflexibilität die Mengenflexibilität ersetzt (Substitutionsanteil)
t_0	Priorzeitpunkt
t_1	Posteriorzeitpunkt
v_0	Variationskoeffizient bzw. relativer Prognosefehler
x_0	prior disponierte Minimalmenge je Artikel, die mit der Normalkapazität produziert wird
X_0	prior disponierte minimale Gesamtproduktionsmenge des gesamten Teilsortimentes, die mit der Normalkapazität produziert wird
x_1	Einzelmengen der Artikel bzw. Produktvarianten, die vor der Verkaufssaison zur Verfügung stehen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Prioritäten, Verbesserungspotenziale und Erfolg des Supply-Chain-Managements	1
Abb. 1.2:	Aufbau der Arbeit	5
Abb. 2.1:	Einfache vierstufige Supply Chain-Struktur, die in den simulationsgestützten Untersuchungen von Forrester verwendet wurde	8
Abb. 2.2:	Überblick über unterschiedliche Supply Chain-Ansätze in Anlehnung an Corsten und Gabriel	12
Abb. 2.3:	Unterschiedliche Nachfragecharakteristiken bei funktionalen und innovativen Produkten	14
Abb. 2.4:	Physisch effiziente versus marktreaktive Supply Chains	15
Abb. 2.5:	Übereinstimmung von Produkt und Supply Chain	17
Abb. 2.6:	Zone der strategischen Fitness	17
Abb. 2.7:	Market Winners/Qualifier-Matrix für Agile vs. Lean Supply	18
Abb. 2.8:	Vier Grundtypen des Supply Chain-Designs nach Corsten	19
Abb. 2.9:	Zeit-/Raum-Matrix der Kombinationsstrategien	21
Abb. 2.10:	Traditionelle, lean, agile und lean/agile Supply Chain	24
Abb. 2.11:	Idealtypische Lagen des Kundenentkopplungspunktes	26
Abb. 2.12:	Zusammenhang zwischen Prognose, produzierter Menge, tatsächlicher Nachfrage und Über- bzw. Unterdeckungsmenge, wenn ausschließlich im Niedriglohnland produziert wird	32
Abb. 2.13:	Integrative Supply Chain-Struktur der Griffin Manufacturing Co.	33
Abb. 2.14:	Zusammenhang zwischen Prognose, produzierter Menge, tatsächlicher Nachfrage und Über- bzw. Unterdeckungsmenge bei Kombination von Low-Cost- und Quick Response-Kapazitäten	34
Abb. 3.1:	Bedeutung der strategischen Erfolgsfaktoren im Zeitverlauf	41
Abb. 3.2:	Kostenbestandteile beim Aufbau von Flexibilitätspotentialen für Produktionssysteme	45
Abb. 3.3:	Verknüpfungen zwischen den einzelnen produktionswirtschaftlichen Flexibilitätsarten nach Sethi und Sethi	54
Abb. 3.4:	Konzeptioneller Rahmen des Flexibilitätsansatzes von Gerwin	56
Abb. 3.5:	Arten von Unsicherheit und korrespondierende Flexibilitätsdimension nach Gerwin	57

Abb. 3.6:	Fünf-Stufen-Hierarchie nach Koste und Malhorta	59
Abb. 4.1:	Die Fehlmengenfunktion $\Psi(z)$	89
Abb. 4.2:	Verbesserte Prognosewerte μ_{1i} im Flexibilitätsbereich $\mu_0 \pm \Delta R$	92
Abb. 4.3:	Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$	95
Abb. 4.4:	Grenzersparnisse in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$	96
Abb. 4.5:	Grenzersparnisse in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ für steigende Werte $m = 1, m = 2$ und $m = 4$ der Variantenflexibilität	104
Abb. 4.6:	Die Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ für unterschiedliche Prognoseverbesserungsniveaus α (bei $\omega_0^* = 50\%$)	123
Abb. 4.7:	Die Absatzrisikokosten eines Einzelartikels ($m = 1$) in Abhängigkeit von der Mengenflexibilität ΔR für die Prognoseverbesserungsniveaus $\alpha = 0,0, \alpha = 0,2, \alpha = 0,5$ und $\alpha = 0,8$ (für $\omega_0^* = 70\%$)	126
Abb. 4.8:	Die Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m für die Prognoseverbesserungsniveaus $\alpha = 0,0, \alpha = 0,2, \alpha = 0,5$ und $\alpha = 0,8$ bei einer Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ (für $\omega_0^* = 70\%$)	128
Abb. 5.1:	Die σ_{0i} -Werte der i Artikel eines Teilsortiments in Form einer fallenden geometrischen Folge	162
Abb. 5.2:	Ergebnis der Zufallsziehung: Summe der verbesserten Nachfragewerte $\sum \mu_{1i}$	173

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Erforderliche relative Mengenflexibilität γ_{Δ} in Abhängigkeit vom gewünschten Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials	98
Tab. 4.2	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$	106
Tab. 4.3:	Abhängigkeit des Kostenschumpfungsfaktors $e^{-\frac{z_0^2}{2}}$ vom Verhältnis der Über- und Unterdeckungskosten $\frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}} = \omega_0^*$	122
Tab. 4.4	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials $\Delta K_{\max} = 0,5 K_{\max}$ in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} für den Fall $\omega_0^* = 50\%$ und $\alpha = 0,50$	124
Tab. 4.5:	Das Kostenverhältnis $\frac{K_{\max}^*}{K_{\max}}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis der Über- und Unterdeckungskosten $\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}}$	130
Tab. 4.6	Optimalwerte z_R^* der normierten Zielkapazität in Abhängigkeit von der disponierten normierten Mengenflexibilität z_{Δ} und vom artikelspezifischen Kostenverhältnis ω_0^*	135
Tab. 4.7	Ausschöpfungsanteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max}^* in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^* (für den Fall $\omega_0^* = 80\%$)	137
Tab. 4.8	Ausschöpfungsanteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} bei optimaler und suboptimaler Disposition der Zielkapazität R_m in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m , wenn die Mengenflexibilität $\gamma_{\Delta} = 40\%$ bzw. $\Delta R = 1.600$ beträgt (für $\omega_0^* = 70\%$)	140

Tab. 4.9	Absatzrisikokosten $E(\overline{K_1})$ beider Dispositionsstrategien in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m bei einer Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 40\%$ (für $\omega_0^* = 70\%$)	140
Tab. 4.10	Ausschöpfungsanteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max}^* in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_K bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^* für den Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0,50$	142
Tab. 4.11	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials $\Delta K_{\max} = 0,5 K_{\max}$ in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition ($R_m = \mu_0$) für den Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0,5$	143
Tab. 4.12	Maximale Ersparnispotenziale ΔK_{\max} bei optimaler und suboptimaler Disposition der Zielkapazität R_m im Fall einer sicheren und einer unsicheren Prognose	145
Tab. 4.13	Ausschöpfungsanteile γ_K bei unterschiedlich flexiblen Ausgangsbedingungen	146
Tab. 4.14	Absatzrisikokosten $E(\overline{K_1})$ bei unterschiedlich flexiblen Ausgangsbedingungen	146
Tab. 5.1	Einfaches Beispiel zu den Wirkungen des Varianzadditionsgesetzes bei unterschiedlichem Heterogenitätsgrad der Standardabweichungen der einzelnen Artikel	156
Tab. 5.2	Einfaches Demonstrationsbeispiel zum Konzentrationsmaß β_σ	158
Tab. 5.3	Das Konzentrationsmaß β_σ in Abhängigkeit von der Artikelanzahl m und dem Faktor q der fallenden geometrischen Folge	165
Tab. 5.4	Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte	168
Tab. 5.5	Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte	169
Tab. 5.6	Teilsortiment mit hoher Heterogenität der Nachfragewerte	169
Tab. 5.7	Erwartungswerte μ_{1j} einer Stichprobenziehung j	176
Tab. 5.8	„Aufgeblähte“ Produktionsmengen x_{1j} einer Stichprobenziehung j	177
Tab. 5.9	Erwartungswerte μ_{1j} und dazugehörige optimale Posteriormengen x_{1j}^* einer Stichprobenziehung j	181

Tab. 5.10	„Geschrumpfte“ optimale Produktionsmengen x_{ij} einer Stichprobenziehung j	182
Tab. 5.11	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5, \alpha = 0, \omega_0^* = 60\%$)	185
Tab. 5.12	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m = \mu_0, \alpha = 0, \omega_0^* = 60\%$)	186
Tab. 5.13	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei optimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m^* = \mu_0, \alpha = 0, \omega_0^* = 60\%$)	189
Tab. 5.14	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei optimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5, \alpha = 0, \omega_0^* = 60\%$)	190
Tab. 5.15	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m^* = \mu_0$ ($m = 5, \alpha = 0,5; \omega_0^* = 60\%$)	192
Tab. 5.16	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m = \mu_0, \alpha = 0,5$)	193
Tab. 5.17	Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei optimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5, \alpha = 0,5; \omega_0^* = 60\%$)	194
Tab. 5.18	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei optimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m^* = \mu_0, \alpha = 0,5$)	195

Tab. 5.19	Spezifische Stückdeckungsbeiträge c_{ui} und Überdeckungskosten c_{ai} des Datenszenarios (b), (w), m_2	208
Tab. 5.20	Erwartungswerte μ_{li} einer Stichprobenziehung j	209
Tab. 5.22	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	214
Tab. 5.23	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	215
Tab. 5.24	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	216
Tab. 5.25	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	216
Tab. 5.26	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	217
Tab. 5.27	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)	218
Tab. 5.28	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)	220
Tab. 5.29	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)	220
Tab. 5.30	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)	221

Tab. 5.31	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha = \alpha_i = 0,5$)	221
Tab. 5.32	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)	222
Tab. 5.33	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)	222
Tab. 5.34	Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V für das Szenario (b)/(x) bei unterschiedlicher relativer Mengenflexibilität und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha = 0,5$)	223

1. Problemstellung und Untersuchungsziele

1.1 Führt eine größere Flexibilität der Supply Chain zu mehr Erfolg?

Vielfach wird heutzutage die Forderung an Unternehmen gerichtet, ihre produktiven Prozesse müssten *flexibler* werden, um der zunehmenden *Volatilität der Absatzmärkte* erfolgreich zu begegnen¹. Gleichzeitig wird *Flexibilität* als der Bereich innerhalb des *Supply-Chain-Managements*² wahrgenommen, in dem das größte Verbesserungspotenzial gesehen wird (vgl. Abb. 1.1). Es stellt sich somit die grundsätzliche Frage, ob eine größere Flexibilität im Supply-Chain-Management in jedem Fall mehr Erfolg erzielt.

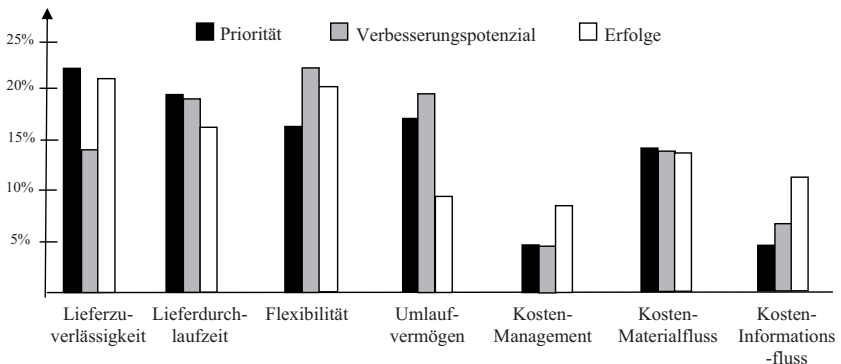


Abb. 1.1: Prioritäten, Verbesserungspotenziale und Erfolge des Supply-Chain-Managements³

Theoretisch wäre die Schaffung von produktiven Systemen mit extrem großer Flexibilität nur dann zweckmäßig, wenn die Bereitstellung von Flexibilität keine Kosten verursachen würde. In der wirtschaftlichen Praxis erscheint dies ausgeschlossen. Eine ökonomische Betrachtung des Sachverhalts führt zu dem Ergebnis, dass Flexibilität solange erweitert

¹ Vgl. hierzu u.a. Heusler, K. (Supply-Chain-Management, 2004), S.49, Ziegenbein, A. (Supply-Chain-Management, 2007), S. 157, Struck, O. (Flexibilität, 2006) S. 103.

² Vgl. Abschn. 2.1 zur Definition des Supply-Chain-Managements.

³ Vgl. Schnetzler et al. (Supply-Chain-Management, S.13). Unter Flexibilität wird hier die Anpassungsfähigkeit an Mengen- und Terminänderungen verstanden.

werden sollte, bis die Kosten der zusätzlichen Flexibilität höher als der erwartete Zusatznutzen sind⁴. Wie kann jedoch *das Maß* an Flexibilität, das den größten Erfolg bringt, operational ermittelt werden?

Die *betriebswirtschaftliche Flexibilitätsforschung* hilft dabei nur in sehr begrenztem Umfang weiter. Obwohl es sich um ein traditionelles Gebiet der Betriebswirtschaftslehre handelt, mangelt es an praktikablen Ansätzen zur Messung der Unternehmensflexibilität und der Flexibilitätswirkungen⁵. Die Bestimmung der bestmöglichen Flexibilität kann sich immer nur auf einen bestimmten, abgegrenzten Sachverhalt beziehen. So könnten beispielsweise der Kauf und die Inbetriebnahme einer hochautomatisierten Maschine *hohe Einsparungspotenziale beim Faktor Arbeit* aufweisen. Eine weitere Folge besteht jedoch in einer *wesentlich geringeren Flexibilität* und einem *hohen Risiko der Unterauslastung*⁶. In jedem Einzelfall bleibt zu überprüfen, ob die Einsparungsmöglichkeiten den Verlust an Flexibilität und das zusätzliche Risiko überkompensieren.

Die fehlenden wissenschaftlichen Ansätze zur Operationalisierung der Unternehmensflexibilität sollten Unternehmen jedoch nicht davon abhalten, die komplexen Wirkungszusammenhänge zu strukturieren und *systematisch* mit Flexibilität umzugehen⁷: Erfolgreiche Unternehmen *planen* systematisch geeignete Flexibilitätspotenziale entlang der Supply Chain, wohingegen weniger erfolgreiche Unternehmen den Planungsunzulänglichkeiten mit Improvisation („chaotischer Flexibilität“) begegnen. *Geplante Flexibilität* basiert auf „definierten Rhythmen, Regeln und Prozessen, die systematisch optimiert werden“⁸. „*Chaotische Flexibilität* zeigt sich dagegen in „Feuerwehraktionen, plötzlichen Änderungen und überhöhten Kosten auf allen Stufen der Lieferkette“⁹.

⁴ Vgl. Billington et al. (Supply-Chain-Management, 2003), S. 34.

⁵ Vgl. Wolf, C. (Flexibilität, 2005), S.1. Eine ausführliche Darstellung zur Flexibilität folgt in Kapitel 3.

⁶ Vgl. Little, A. D. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 48.

⁷ Vgl. Thonemann, U. W. (Supply-Chain-Management, 2003), S. 68.

⁸ Thonemann, U. W. (Supply-Chain-Management, 2003), S. 68.

⁹ Ebd..

1.2 Eingrenzung des Forschungsgebietes

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der *Definition und Bewertung von Flexibilitätsstrategien in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken*.

Folgende Eigenschaften kennzeichnen Supply Chains mit *hohen Absatzrisiken*¹⁰:

- kurze Verkaufszyklen
- hoher Anteil an Impulskäufen
- schwer prognostizierbare Nachfrage
- hohe zeitliche und räumliche Verfügbarkeit der Produkte
- lange Durchlaufzeiten in einer vielstufigen Supply Chain
- hohe Variantenanzahl

Idealtypische Beispiele für Supply Chains mit hohen Absatzrisiken sind insbesondere *Mode-Supply-Chains*. Diese finden sich auch in der *Modelltheorie von Diruf*¹¹ wieder, die den Rahmen für die quantitativen Analysen dieser Arbeit setzt. Als Ausgangspunkt dieser Modelltheorie dient das traditionelle *Newsvendor-Modell*¹², das in der einfachen Form davon ausgeht, dass der zu produzierende Artikel nach Ablauf der Verkaufssaison nur mehr unter Einstandspreis (also mit Verlust) verkauft werden kann.

Die *Risikosituation des Newsvendor-Modells* ist durch folgenden Entscheidungskonflikt gekennzeichnet: Disponiert der Produktionsplaner „aus Vorsicht“ Produktionsmengen, die wesentlich kleiner sind als die Prognosewerte der Absatzmengen, dann ist die *Wahrscheinlichkeit für Fehlmengen* hoch. Allerdings treten auf diese Weise mit *hoher Wahrscheinlichkeit keine Übermengen* auf. Je größer man die Produktionsmengen plant, desto kleiner wird die *Fehlmengenerwartung*, desto höher steigt aber andererseits die *Übermengenerwartung*. Fehl- und Übermengen führen in Form von Über- und Fehlmengenkosten zu *Absatzrisikokosten*. Optimale Dispositionsstrategien haben das Ziel, den Erwartungswert der Absatzrisikokosten zu minimieren.

¹⁰ Vgl. hierzu ausführlich Abschn. 4.1.

¹¹ Vgl. Diruf, G. (Mode-Supply-Chains, 2007) und ergänzend Diruf, G. (Risk-Pooling-Kooperationen, 2007), Diruf, G. (Risk-Pooling-Strategien, 2005), Diruf, G. (Produktionspostponement, 2001).

¹² Vgl. hierzu Silver, E., et al. (Inventory Management, 1998), S. 392ff.

Erweitert wird das traditionelle Newsvendor-Modell in der Modelltheorie von Diruf dadurch, dass die betrachteten Modeprodukte für die „kommende“ Verkaufssaison teilweise oder zur Gänze auf *Normalkapazitäten* oder (alternativ) mit Hilfe von *Reaktivkapazitäten* produziert werden können. Normalkapazitäten (z.B. in Fernost) sind relativ kostengünstig und (in der Theorie) unbegrenzt verfügbar, haben allerdings den Nachteil *langer Planungs-, Vorlauf- und Durchlaufzeiten*. Reaktivkapazitäten (z.B. in Deutschland) können demgegenüber *relativ rasch und flexibel auf veränderte Nachschubmengenplanungen reagieren*, sie stehen kurzfristig aber nur dann zur Verfügung, wenn sich das Modeunternehmen (z.B. *in Form einer mittelfristigen Reservierung*) an den Leerkapazitätsrisiken beteiligt. Darüber hinaus können Reaktivkapazitäten *höhere Fertigungskosten* aufweisen. Der Produktionsplaner hat mit langer Vorlaufzeit den *Mengenflexibilitätsbereich* festzulegen, durch den die Größe der später verfügbaren Reaktivkapazität (die *Kapazitätsoption*) bestimmt wird.

Eine wesentliche *Ausdehnung des Entscheidungsszenarios* erfährt die Modelltheorie dadurch, dass die Betrachtung von einzelnen Artikeln auf die Betrachtung von ganzen *Teilsortimenten produktionstechnisch verwandter Artikel* ausgeweitet wird. Produktionstechnisch verwandt sind Artikel oder Produktvarianten, deren Vorprodukte weitgehend übereinstimmen und mit minimalem Umrüstaufwand auf denselben Kapazitäten gefertigt werden können. Ein *variantenflexibler Produktionsprozess*, der ein Teilsortiment von m Artikeln oder Produktvarianten umfasst, reduziert die Unsicherheit der geplanten Produktionsmengen durch *Risk-Pooling-Effekte*¹³. Die Variantenflexibilität von Produktionsprozessen kann entweder dazu eingesetzt werden, um bei *gegebener Mengenflexibilität* (gegebener Kapazitätsoption) die *Absatzrisikokosten (Über- und Fehlmengenkosten)* zu senken oder um bei gegebenem Niveau der Absatzrisikokosten an der *eingesetzten Mengenflexibilität zu sparen*.

Im Gegensatz zu den umfassenden Optimierungszielen in der Arbeit von Diruf¹⁴ besteht der Fokus der vorliegenden Untersuchung darin, die *Struktur der Nutzenpotenziale* alternativer Flexibilitätsstrategien in vertiefter Form zu untersuchen. Diese Struktur wird

¹³ Vgl. hierzu ausführlich Abschn. 4.4.2 (5). Auf der Nachfrageseite wird (näherungsweise) von stochastisch unabhängigen Prognosefehlern ausgegangen.

¹⁴ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007.

dann besonders deutlich, wenn man zunächst den ungeschmälernten *Bruttonutzen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität* analysiert. Die im Modell von Diruf definierten *gegenläufigen Mehrkosten* einer *Flexibilitätssteigerung* werden folglich in der vorliegenden Analyse partiell außer acht gelassen.

1.3 Untersuchungsziele und Aufbau der Arbeit

Zentrales Ziel dieser Arbeit ist es, den Produktionsplaner in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken bei folgenden Aufgaben zu unterstützen:

- Bewertung alternativer Flexibilitätsstrategien ganzer Teilsortimente
- Unterstützung bei der Entwicklung konkreter Handlungsempfehlungen
- Entwicklung eines praktikablen Simulationsablaufs zur Ermittlung der Risikosenkungspotenziale heterogener Modesortimente

Abb. 1.2 gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit.

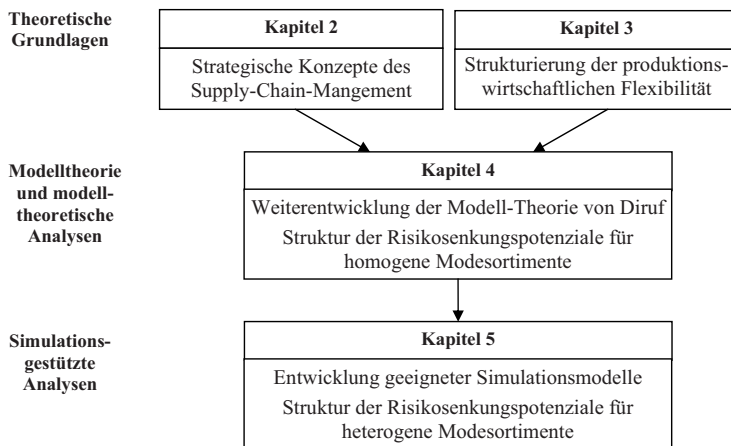


Abb. 1.2: Aufbau der Arbeit

In Kapitel zwei werden vorhandene strategische Konzepte erläutert, mit denen Supply-Chain-Strukturen in unterschiedlichen Absatzmärkten optimiert werden können. Als

Ausgangspunkt dient eine idealtypische Klassifizierung in zwei gegensätzliche Supply Chain-Konzepte, des *physisch effizienten* und des *marktreaktiven Prozesses*. Anschließend werden verschiedene *kombinierte Supply-Chain-Strategien* vorgestellt, die sowohl über eine *hohe Kosteneffizienz* als auch über eine *hohe Marktreaktivität* verfügen (Kombinationsstrategien). Damit zusammenhängend wird die Bedeutung von *Postponementstrategien* hervorgehoben. Beispielhaft wird die Kombinationsstrategie von Stratton und Warburton behandelt¹⁵, deren Grundzüge sich in der Modelltheorie von Diruf wieder finden. Es zeigt sich, dass *flexible Prozesse*, insbesondere Produktionsprozesse, in vielen Gestaltungskonzepten des Supply-Chain-Managements zu den Schlüsselkomponenten gehören.

Kapitel drei befasst sich mit jenen wissenschaftlichen Beiträgen, die der *theoretischen Strukturierung der unternehmerischen Flexibilität, insbesondere der produktionswirtschaftlichen Flexibilität* gewidmet sind. Naturgemäß werden unterschiedlichste Flexibilitätskonzepte nicht nur in der Supply-Chain-Literatur, sondern in allen Managementbereichen und auf allen Unternehmensebenen diskutiert. Es handelt sich um ein *extrem vielschichtiges und komplexes Forschungsgebiet*.

Kapitel vier stellt die Modelltheorie von Diruf vor. Dabei wird eine Modifizierung des Entscheidungsszenarios für eine vertiefte *Analyse der Risikosenkungspotenziale* alternativer Flexibilitätsstrategien vorgenommen. Als operative Flexibilitätsindikatoren des Produktionsprozesses dienen

- die *Gesamtmengeflexibilität* in Form einer Kapazitätsoption,
- die *Reaktionszeiten*, die sich aus der Prognoseverbesserung ergeben, und
- die *Variantenflexibilität*, die sich durch die Anzahl technisch verwandter Produkte bestimmt, die mit demselben System produziert werden können.

Auf der Grundlage homogener Teilsortimente¹⁶ wird analysiert, wie die Absatzrisikokosten durch das Ausmaß an Mengen- und Variantenflexibilität sowie die Reaktionszeiten beeinflusst werden. Hierbei werden *suboptimale* mit *optimalen Flexibilitätsstrategien* verglichen. Die suboptimale (in der Praxis vermutlich häufig angewandte) Strategie besteht

¹⁵ Vgl. Stratton, R., Warburton, R. (Lean and agile supply, 2003).

¹⁶ Homogen bedeutet, ein Teilsortiment mit m Artikeln besteht aus m Durchschnittsartikeln mit jeweils identischen artikelspezifischen Nachfrage- und Kostendaten.

darin, den Summenerwartungswert der Absatzmengen als mittlere Gesamtkapazität (Zielkapazität) zu wählen. Optimal bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Zielkapazität der optimalen Newsvendor-Menge entspricht.

In Kapitel fünf wird die Theorie auf *heterogene Modellsortimente*¹⁷ erweitert. Es werden Simulationsmodelle entwickelt, die den Einsatz von Monte-Carlo-Methoden erfordern. Mit diesen Modellen wird zum einen analysiert, in welchem Ausmaß und in welcher Weise heterogene Nachfragedaten in einem Teilsortiment die Erfolgspotenziale der Variantenflexibilität im Vergleich zur Theorie homogener Teilsortimente beeinflussen. Zum anderen werden die Wirkungen heterogener Fehlmengen- und Überdeckungskosten von Artikeln eines Teilsortiments auf Flexibilitätserfolge und -strategien aufgezeigt.

Das sechste Kapitel fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

¹⁷ Bei heterogenen Teilsortimenten liegt eine i.d.R. starke Streuung der artikelspezifischen Daten vor.

2. Strategische Konzepte zur Optimierung der Supply-Chain-Strukturen in unterschiedlichen Absatzmärkten

2.1 Supply-Chain-Management als umfassendes Steuerungskonzept

Die Idee eines umfassenden Supply-Chain-Managements wurde vor allem in den USA entwickelt. In den frühen 60er Jahren wurden erstmals die Auswirkungen *unternehmensübergreifender Logistikkonzepte* erforscht. Forrester untersuchte bereits damals die Auswirkungen des Bullwhip-Effektes in mehrstufigen logistischen Ketten¹⁸.

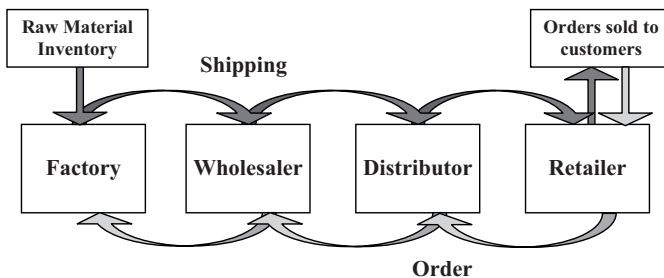


Abb. 2.1: Einfache vierstufige Supply-Chain-Struktur, die in den simulationsgestützten Untersuchungen von Forrester verwendet wurde

Die wachsende unternehmensübergreifende Bedeutung der Logistik verhalf dem Supply-Chain-Management (SCM) in den 90er Jahren zum Durchbruch. In Anknüpfung an die von Porter entwickelte Value Chain¹⁹ wird die Supply Chain auch als Logistik-, Wert- oder Wertschöpfungskette²⁰ bezeichnet. Aufgrund der vielfältigen Verwendung fehlt jedoch eine allgemein gültige Definition des Begriffs in der Literatur²¹. Die Begriffsbestimmung

¹⁸ Vgl. Forrester, J.W. (Bullwhip Effekt, 1961).

¹⁹ Vgl. Porter, M.E. (Wettbewerbsvorteil, 1985).

²⁰ Vgl. Klaus, P. (Supply-Chain-Management, 2004), S. 507ff.

²¹ Vgl. zum Begriff des *Supply-Chain-Managements* u. a. Bowersox, D. et al. (Supply-Chain-Management, 2002), Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 1992), Chopra, S., Meindl, P. (Supply-Chain-Management, 2001), Kotzab, H. (Supply-Chain-Management, 2000).

des Council of Logistics Managements, die auch von Simchi-Levi et al. verwendet wird, lautet folgendermaßen²²:

„Supply-Chain-Management is the process of planning, implementing and controlling the efficient, cost effective flow and storage of raw materials, in-process inventory, finished goods, and related information from point-of-origin to point-of-consumption for the purpose of conforming to customer requirements.”

Aus der Umsetzung des SCM-Konzeptes ergeben sich für Unternehmen vor allem folgende Zielsetzungen²³:

- *Reduzierung von Beständen entlang der gesamten Supply Chain*
Die Optimierung der Bestandshaltung findet nicht mehr nur lokal auf jeder Supply-Chain-Stufe statt. Die unternehmensinternen und -übergreifenden Prozesse werden so gestaltet, dass die Bestände der gesamten Supply Chain minimal werden (= globales Minimum).
- *Verkürzung der Durchlaufzeiten*
Die Supply Chain ist so zu gestalten, dass sowohl *Times to market* als auch die Auftragsdurchlaufzeiten reduziert werden²⁴.
- *Durchgängige Ausrichtung an den Kundenbedürfnissen*
Die gesamten Aktivitäten einer Supply Chain werden nicht mehr von den Produktionskapazitäten einzelner Supply-Chain-Stufen, sondern von den Bedürfnissen der Endkunden bestimmt. Dazu zählt insbesondere die Erhöhung des Kundenservice in Bezug auf die Termin- und Liefertreue²⁵.
- *Aufbau von Netzwerken*
Eine starke, insbesondere informatorische Vernetzung ist nötig, damit die komplexen Austauschbeziehungen bewältigt werden können²⁶.

²² Simchi-Levi, D. et al. (Supply-Chain-Management, 2000), S. 3.

²³ Vgl. hierzu u.a. Corsten, H. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 6ff und Walther., J. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 15.

²⁴ *Time to market* ist der Zeitraum vom Beginn der Entwicklung bis zur Marktreife eines Produktes. Auftragsdurchlaufzeit meint die Zeitspanne vom Eingang des Auftrags bis zur Produktanlieferung beim Kunden.

²⁵ Vgl. hierzu Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 1992), S. 24ff.

²⁶ Vgl. hierzu Chopra, S., Meindl, P. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 303ff.

- *Anpassung des Produktdesigns*

Bereits bei der Produktentwicklung werden simultan das Produktionssystem und die zugehörige Supply Chain mitentwickelt. Wenn möglich, werden die Produkte konstruktiv so gestaltet, dass die Variantenbildung erst auf der letzten Stufe der Supply Chain stattfindet.

Im Rahmen dieser Zielsetzungen müssen insbesondere folgende Problemfelder bewältigt werden:

- Gestaltung von Kooperation und Wettbewerb zwischen den Mitgliedern einer Supply Chain (dezentral gesteuerte vs. vertikal integrierte Supply Chain)²⁷
- Gestaltung der Prozessstrukturen in der Supply Chain
- Einrichtung robuster Strukturen gegen Störungen
- Überwindung von Prozessen, die durch ungleich verteiltes Wissens und verzerrte Informationsausbreitung in der Supply Chain entstehen²⁸
- Ganzheitliches Bestandsmanagement für mehrstufige Lagerhierarchien
- Bewältigung von Komplexität und Variantenvielfalt in der Supply Chain

Um die SCM-Zielsetzungen zu erreichen, entstanden in den vergangenen Jahren zahlreiche SCM-Konzepte. So zielt z.B. das *Just-In-Time-Prinzip* (JIT-Prinzip) auf eine zeitlich enge Kopplung der Produktionsprozesse von Hersteller und Lieferant²⁹. Dies führt zu einem weitgehenden Verzicht auf Lagerbestände als Puffer und zu einer Minimierung der Durchlaufzeiten. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des JIT-Gedankens ist die Anpassung der Produktionsprozesse an eine JIT-Logistik, was im Allgemeinen durch die Absenkung der Umrüstzeiten- und -kosten erreicht wird³⁰. Dieses Konzept wird vor allem in der Automobilindustrie angewendet. Im Handel hingegen wird das Supply-Chain-Management u.a. im Rahmen des *Efficient-Consumer-Response-Konzeptes* (ECR)

²⁷ Vgl. hierzu u. a. Cooper, M. C. et al. (Supply-Chain-Management, 1997), Matthyssens, P., Van den Bulte C. (Supply-Chain-Partnerschaften, 1994), Stölzle, W. (Kooperationen, 1999), Thonemann, U. W. (Supply Chain Management, 2003) S.33ff.

²⁸ Vgl. Cachon, G., Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 2002).

²⁹ Vgl. hierzu Ohno, T. (Toyota Production System, 1988).

³⁰ Vgl. hierzu Majima, I. (JIT, 1995).

umgesetzt³¹. Dabei verlaufen die Datenströme ohne Zeitverzögerung vom Point-of-Sale über das Distributionsnetz hin zum Hersteller³². Ziel ist eine bedarfsorientierte und kontinuierliche Versorgung der Endverbraucher mit Produkten. Voraussetzung dafür sind zum einen Basistechnologien (z.B. Barcodes, RFID oder EDI-Standards)³³. Zum anderen sind spezifische Logistikkonzepte, wie z.B. *Cross-Docking*³⁴ oder *Vendor Managed Inventory*³⁵ nötig, die in einen gemeinsamen übergreifenden Prozess des *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* eingebunden sein können.

Ein weiterer Punkt, der zunehmend an Bedeutung für das Supply-Chain-Management gewinnt, ist die *wachsende Internationalisierung der Wirtschaft*. Globale Prozesse werden immer wichtiger für das Supply-Chain-Management³⁶. Dornier identifiziert vier Kräfte, die diesen Trend vorantreiben³⁷:

- *Globale Marktkräfte*

Dazu zählen einerseits verstärkt ausländische Anbieter, die auf den Inlandsmarkt drängen. Andererseits findet das Nachfragewachstum hauptsächlich auf ausländischen Märkten statt.

- *Technologische Kräfte*

Bestimmte Einzelkomponenten und Technologien sind nur in ausgewählten Regionen vorhanden, und viele Unternehmen benötigen diese Ressourcen schnell und kostengünstig.

- *Kostenzwänge*

Die zum Teil sehr großen Produktionskostenunterschiede führen zur Verlagerung der Produktionskapazitäten von Hoch- in Niedriglohnländer.

³¹ Vgl. hierzu: Baumgarten, H. et al. (Supply-Chain-Management, 2002), S. 98ff.

³² Vgl. Thaler, K. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 176.

³³ Vgl. z.B. zu *EDI*: Henkel, S. (Electronic Data Interchange, 1996).

³⁴ Vgl. zu *Cross-Docking* und *Transshipment*: Gleißner, H. (Logistikkoooperationen, 2000), S. 180.

³⁵ Vgl. zu *Vendor-Managed-Inventroy* und *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment*: Disney, S. M., Towill, D. R. (Supply-Chain-Management, 2003), S. 201f.

³⁶ Vgl. Simchi-Levi, D. et al. (Supply-Chain-Management, 2000), S. 149ff.

³⁷ Vgl. Dornier, P. (Global Operations, 1998).

- *Politisch-ökonomische Kräfte*

Auch tarifäre und nicht-tarifäre Handelsbeschränkungen sowie Wechselkursschwankungen können globale Handels- und Produktionsprozesse wesentlich beeinflussen.

Die Folge sind stark vernetzte globale Beziehungen zwischen Lieferanten, Herstellern und Kunden, die nach einer zunehmenden *globalen Integration der Supply Chain* verlangen³⁸.

Supply Chain-Ansatz			
Allgemein	Beschaffungsorientiert	Produktionsorientiert	Distributionsorientiert
Fleisch und Oesterle (2000): Drei-Ebenen-Modell mit Vernetzung und Abhängigkeiten zwischen Geschäftsstrategie, Geschäftsprozess und Informationssystem	Fine (1998): Zusammenhang zwischen Produkt und Supply Chain-Struktur	Womack et al. (1990): Lean Production Nagel (1991): Agile Supply Chains Womack und Jones (1996): Lean Thinking YUSUF et al. (1999): Agile Manufacturing Christopher et al. (2000, 2002a): Verbindung zwischen Lean und Agile Supply Stratton und Warburton (2003): Integration von Lean und Agile Supply	Fisher (1997): Effiziente versus marktreaktive Supply Chains Chopra (2003): Distribution Network

Abb. 2.2: Überblick über unterschiedliche Supply Chain-Ansätze in Anlehnung an Corsten und Gabriel³⁹

³⁸ Vgl. Schary, P. B., Skjøtt-Larsen, T. (Global Supply Chain, 2002), S. 368ff.

³⁹ Vgl. Corsten, H., Gabriel, C. (Supply-Chain-Management, 2004), S. 231ff; Abb. 2.2 ist durch eigens ausgewählte Aufsätze ergänzt.

2.2 Anpassung des Supply-Chain-Typs an unterschiedliche Nachfragecharakteristiken

Einen anschaulichen Überblick über unterschiedliche *Ansätze zur Gestaltung von Supply Chains* liefern Corsten und Gabriel, wie in Abb. 2.2 auf der vorhergehenden Seite dargestellt. Dabei werden vier alternative Konzepte betrachtet: *allgemeine* sowie beschaffungs-, *produktions-* und *distributionsorientierte* Ansätze⁴⁰. Einen ersten Supply-Chain-Ansatz, der auf einer Untersuchung der Automobilindustrie basiert und das *Lean-Production*-Konzept vorstellt, liefern Womack et al.⁴¹. Fast zeitgleich führen Nagel und Dove den Begriff der *agilen Supply Chain* ein, deren Zielsetzung eine *möglichst hohe Flexibilität* ist⁴². Die beiden Begriffspaare *lean/efficient* und *agile/market-responsive* werden erstmals von Fisher in der Gegenüberstellung verwendet⁴³.

Fisher geht idealtypisch von *zwei Produktklassen mit völlig unterschiedlichen Nachfragecharakteristiken* aus. Der eine Produkttyp wird als *funktional* bezeichnet, der andere als *innovativ* (vgl. Abb. 2.3). Dazu passend wird jeweils ein Supply-Chain-Typ entwickelt.

Funktionale Produkte, die auch als *Standardgüter des täglichen Bedarfs* bezeichnet werden, zeichnen sich durch eine relativ gut vorhersagbare Nachfrage aus. Darüber hinaus beträgt die Lebensdauer mehr als zwei Jahre. Da mit diesen Gütern dauerhafte Grundbedürfnisse abgedeckt werden, können sie selbst am Ende des Produktlebenszykluses noch ohne Preisabschlag verkauft werden. Die Gewinnspanne ist dementsprechend gering. Der Lieferservice in solchen Märkten ist sehr hoch. Als Beispiel für funktionale Güter werden Produkte eines Herstellers von Fertigergerichten angeführt. Die Variantenvielfalt hält sich in Grenzen.

Im Gegensatz dazu ist der Produktlebenszyklus *innovativer Produkte* wesentlich kürzer (drei Monate bis ein Jahr). Zu dieser Produktklasse gehören z.B. Produkte aus innovativen High-Tech-Segmenten wie PDAs oder Modeprodukte der Bekleidungs- und Textilindustrie. Vor Saisonbeginn ist die Nachfrage nach solchen Produkten in der kommenden

⁴⁰ Vgl. Corsten, H., Gabriel, C. (Supply-Chain-Management, 2004), S. 231ff.

⁴¹ Vgl. Womack, J. P. et al. (Lean Production, 1990).

⁴² Vgl. Nagel, R. N., Dove, R. (Agile Supply Chain, 1991).

⁴³ Vgl. Fisher, M. L. (Supply-Chain-Management, 1997).

Verkaufsperiode relativ schlecht prognostizierbar. Die Lieferbereitschaft liegt deshalb nur bei 60 bis 90%, wodurch aufgrund des relativ hohen Stückdeckungsbeitrages hohe Opportunitätskosten wegen mangelnder Produktverfügbarkeit entstehen. Andererseits müssen bei anderen Produktvarianten hohe Preisreduzierungen nach Saisonende für obsoleete Bestände hingenommen werden. Fisher definiert als ideale Supply-Chain-Struktur für funktionale Produkte *physisch effiziente Prozesse*. Für die Herstellung und den Vertrieb innovativer Güter werden dagegen *marktreaktive Prozesse* vorgeschlagen. Abb. 2.3 zeigt die wichtigsten *Strukturkennzeichen* dieser beiden Supply-Chain-Klassen und stellt deren *unterschiedliche Ausprägungen* gegenüber.

	Funktionale Produkte	Innovative Produkte (z.B. Modeprodukte)
Aspekte der Nachfrage	Nachfrage gut prognostizierbar	Nachfrage schlecht prognostizierbar
Produktlebenszyklus	mehr als 2 Jahre	3 Monate - 1 Jahr
Relativer Stückdeckungsbeitrag⁴⁴	5% - 20%	20% - 60%
Variantenvielfalt	Niedrig (10-20 pro Kategorie)	Hoch (> 1 Mio. pro Kategorie)
Mittlerer Prognosefehler zum Zeitpunkt der Produktionsfestlegung	10%	40% - 100%
Mittlere Fehlmengenrate	1% - 2%	10% - 40%
Erzwungene Preisreduzierungen am Saisonende	0%	10% - 25%
Durchschnittliche Lieferzeit nach Kundenauftrag	6 Monate - 1 Jahr	1 Tag - 2 Wochen

Abb. 2.3: Unterschiedliche Nachfragecharakteristiken bei funktionalen und innovativen Produkten⁴⁵

⁴⁴ Relativer Deckungsbeitrag = (Stückpreis - variable Kosten)/Stückpreis.

	Physisch effizienter Prozess für funktionale Produkte	Marktreaktiver Prozess für innovative Produkte
Hauptziel	Bediene eine vorhersagbare Nachfrage zu minimalen Kosten	Reagiere schnell auf die schlecht prognostizierbare Nachfrage, um Fehlmengenergebnisse, erzwungene Preisreduzierungen und obsoleete Bestände zu minimieren
Produktionsfokus	Achte auf dauerhaft hohe Kapazitätsauslastung	Halte Pufferkapazitäten bereit
Bestandsstrategie	Erzeuge einen hohen Lagerumschlag und minimiere Bestände entlang der gesamten Kette	Halte signifikante Pufferbestände an Rohmaterial, Teilen oder Fertigprodukten bereit
Durchlaufzeiten	Verkürze die Durchlaufzeiten, solange die Kosten nicht ansteigen	Investiere intensiv in Maßnahmen zur Verkürzung der Durchlaufzeiten
Lieferantenauswahl	Wähle vorrangig nach Kosten und Qualität aus	Wähle hauptsächlich auf Basis der Geschwindigkeit, Flexibilität und Qualität aus
Produktdesign	Maximiere Leistung und minimiere Kosten der Supply Chain	Nutze modulare Strukturen, um die Variantenerzeugung so weit wie möglich flussabwärts zu schieben

Abb. 2.4: Physisch effiziente versus marktreaktive Supply Chains⁴⁶

Abb. 2.4 stellt die beiden Supply-Chain-Typen anhand ausgewählter Kriterien gegenüber. Ziel eines *physisch effizienten Prozesses für funktionale Produkte* ist es, bei minimalen Beständen einen möglichst hohen Lagerumschlag zu erreichen. Ein möglichst gleichmäßiger Materialfluss über alle Supply-Chain-Stufen soll eine dauerhaft hohe Kapazitätsauslastung mit sich bringen. Das Produktdesign soll so gestaltet werden, dass das Produkt zu minimalen Kosten hergestellt werden kann und die Supply-Chain-Leistung

⁴⁵ in Anlehnung an Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 1997), S. 107.

⁴⁶ in Anlehnung an Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 1997), S. 108.

möglichst hoch ist⁴⁷. Dem physisch effizienten Prozess liegen die klassischen Prinzipien des *Lean-Production-Konzeptes* zugrunde⁴⁸. Jegliche Art von *Verschwendung* innerhalb der Supply Chain ist zu *vermeiden*⁴⁹. Als *Steuerungsphilosophie* im Unternehmen dient das *Ziehprinzip*. Das bedeutet, dass die Produktion erst auf Kundenauftrag in Gang gesetzt wird⁵⁰. Der Fokus eines *marktreaktiven Supply-Chain-Prozesses für innovative Güter* liegt auf einer möglichst reaktionsschnellen Versorgung der Marktnachfrage. Dies wird insbesondere durch geringe Auftragsdurchlaufzeiten erreicht. Für die Produktion bedeutet diese Strategie eine Bereitstellung von Pufferkapazitäten und aus Distributionssicht einen Aufbau von Beständen an Fertigerzeugnissen. Zudem eignet sich das modulare Produktdesign am besten, um eine Variantenerzeugung erst möglichst weit flussabwärts stattfinden zu lassen. Naylor et al. beschreiben die beiden *Paradigmen lean/efficient* und *agile/market-responsive* wie folgt⁵¹:

“*Leanness* means developing a value stream to eliminate all waste, including time, and to enable a level schedule. *Agility* means using market knowledge and a virtual corporation to exploit profitable opportunities in a volatile marketplace.”

Fisher führt aus, dass *gute Ergebnisse* nur dann zu erzielen sind, wenn *funktionale Produkte* in *physisch effizienten Supply Chains* (siehe Feld (3) in Abb. 2.5) und *innovative Produkte* in *marktreaktiven Supply Chains* (siehe Feld (2) in Abb. 2.5) hergestellt und vertrieben werden.

Ein häufig auftretender *strategischer Fehler* besteht darin, dass die Nachfrage innovativer Produkte mit physisch effizienten Supply Chains befriedigt wird (siehe Feld (4) in Abb. 2.5). Dabei kommt es bei einigen Produktvarianten zu Verlusten aufgrund von Preisreduzierungen wegen obsoletter Bestände am Ende des Produktlebenszyklus. Andererseits treten bei anderen Varianten des Sortiments hohe Umsatzverluste wegen

⁴⁷ Die Supply Chain-Leistung richtet sich insbesondere nach der Höhe der *Durchlaufzeit*, des *Lagerumschlags* und des *Prozessbestandes*.

⁴⁸ Vgl. Womack, J. P. et al. (Lean Production, 1990).

⁴⁹ Die sieben Verschwendungsarten des Toyota-Produktionssystems sind Überproduktion, Wartezeit, Transport, ungeeignete Prozesse, Bestände, Bewegung und Fehler. (vgl. Taylor, D. (Lean Approach, 2001), S. 80ff).

⁵⁰ Vgl. Becker, T. (Supply-Chain-Management, 2002), S. 75.

⁵¹ Vgl. Naylor, J.B. et al. (Lean and Agile, 1999), S. 108, Hervorhebung durch Verfasser.

mangelnder Produktverfügbarkeit auf, wenn der Supply-Chain-Ausstoß zu gering bemessen ist. So hat z.B. eine Fehlmengenrate von ca. 25% bei einem Stückdeckungsbeitrag von ca. 40% eine Gewinnminderung von 10% zur Folge.

Produktart Supply Chain	funktional	innovativ
	marktreaktiv	mismatch (1)
effizient	match (3)	mismatch (4)

Abb. 2.5: Übereinstimmung von Produkt und Supply Chain⁵²

Chopra und Meindl lösen die strikte Zweiteilung im Nachfrageverhalten auf und betrachten vier unterschiedliche Nachfragearten. Das Unsicherheitsspektrum reicht von Produkten mit sehr sicherer bis hin zu Produkten mit gänzlich unsicherer Nachfrage⁵³. Dem wird ein ganzes Spektrum unterschiedlicher Supply Chains gegenübergestellt, deren Spannweite einem Bereich von *hoch effizient* bis *hoch marktreaktiv* umfasst.

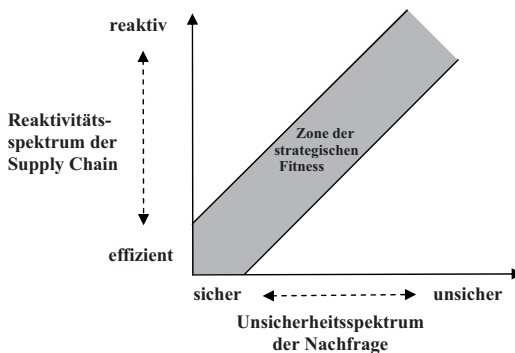


Abb. 2.6: Zone der strategischen Fitness⁵⁴

⁵² In Anlehnung an Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 1997), S. 109.

⁵³ Vgl. Chopra, S., Meindl, P. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 25ff.

⁵⁴ Ebd..

Optimale Supply-Chain-Strukturen befinden sich in einer *Zone der strategischen Fitness* (vgl. Abb. 2.6). Diese zeigt auf, bei welchem Unsicherheitsgrad der Nachfrage welcher Marktreaktivitätsgrad erfolgreich ist.

Um den Unterschied zwischen *lean* und *agile* zu verdeutlichen, eignet sich auch das von Hill entwickelte Konzept der *Market Qualifiers* und *Market Winners*, mit dem der Wettbewerb innerhalb einer Branche transparent dargestellt werden kann (vgl. Abb. 2.7)⁵⁵. Mit *Market Qualifiers* werden Marktleistungsfaktoren bezeichnet, die nötig sind, um überhaupt in einem gewünschten Markt tätig zu sein. Dazu zählt z.B. die EDI-Fähigkeit von 1st Tier-Lieferanten der Automobilindustrie. Um in einem Markt allerdings erfolgreich zu sein, sind auch führende Positionen bei den *Market Winners* erforderlich. Führende Positionen bei den *Market Winners* bewirken die Generierung neuer Aufträge. Als Beispiel kann ein niedriger Preis bei Standardgütern des täglichen Bedarfs herangezogen werden. Mason-Jones et al. übertragen dieses Konzept auf ganze Supply Chains⁵⁶. Dabei wird die These von Christopher aufgegriffen, wonach nicht nur einzelne Unternehmen, sondern ganze Supply Chains im Wettbewerb zueinander stehen⁵⁷. Bei agilen Supply Chains liegt der *Market-Winner-Fokus* auf einer möglichst hohen Lieferbereitschaft, im *Lean-Konzept* bei einer hohen Kosteneffizienz.

	Market Qualifiers	Market Winners
Agile Supply	1. Quality 2. Cost 3. Lead Time	1. Service Level
Lean Supply	1. Quality 2. Lead Time 3. Service Level	1. Cost

Abb. 2.7: Market Winners/Qualifier-Matrix für Agile bzw. Lean Supply⁵⁸

⁵⁵ Vgl. Hill, T. (Manufacturing Strategy, 1993).

⁵⁶ Vgl. Mason-Jones, R. et al. (Supply-Chain-Management, 2000).

⁵⁷ Vgl. Christopher, M. (Marketing Logistics, 1997).

⁵⁸ Vgl. Mason-Jones, R. et al. (Supply-Chain-Management, 2000), S. 56.

2.3 Kombinerter Einsatz effizienter und marktreaktiver Supply-Chain-Strategien

Bis in die 90er Jahre wurden die beiden Supply-Chain-Ansätze *Lean* (schlank, effizient) und *Agile* (marktreaktiv) in der Literatur als *konfliktäre und unvereinbare Strukturen* behandelt. In jüngster Zeit wurden jedoch mehrere strategische Konzepte vorgeschlagen, in denen Bestandteile aus beiden Alternativstrategien enthalten sind (*Kombinationsstrategien*).

Die Entwicklung kombinierter Strategien wurde durch *erweiterte Klassifizierungsansätze* erleichtert. In diesen Erweiterungen wird die optimale Supply-Chain-Struktur nicht nur von den Charakteristiken der Nachfrage bestimmt. Beispiele hierfür bieten die *Vier-Klassen-Typisierung* von Corsten oder die *Drei-Dimensionen-Klassifizierung* von Christopher⁵⁹. Der Klassifizierungsansatz von Corsten basiert insbesondere auf einer Analyse der Herstellungsprozesse verschiedener Industrien⁶⁰. Es wird zwischen mechanischen Montage- und chemisch/biologischen Fertigungsprozessen unterschieden. Zudem wird das Nachfrageverhalten in diesen Branchen anhand der Wartebereitschaft der Kunden bewertet. Daraus entsteht die in Abb. 2.8 dargestellte *Vier-Felder-Matrix*.

		Produktstruktur	
		Physikalisch-Montiert	Chemisch-Biologisch
Nachfrageverhalten	Stabil	<i>Schlanke</i> Supply Chain Automobilindustrie	<i>Verbundene</i> Supply Chain Chemie- und Pharmaindustrie
	Dynamisch	<i>Bewegliche</i> Supply Chain Elektronikindustrie	<i>Schnelle</i> Supply Chain Konsumgüterindustrie

Abb. 2.8: Vier Grundtypen des Supply Chain-Designs nach Corsten⁶¹

⁵⁹ Vgl. Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002b) und Corsten, H. (Supply-Chain-Management, 2004). Ein Überblick über zahlreiche Ansätze findet sich bei Childerhouse, P. (Supply-Chain-Management, 2001).

⁶⁰ Vgl. Corsten, H. (Supply-Chain-Management, 2004), S. 243ff.

⁶¹ Vgl. ebd., S. 56.

Als Optimallösungen werden vier Grundtypen des Supply-Chain-Designs entwickelt, die *schlanke*, die *verbundene*, die *bewegliche* und die *schnelle* Supply Chain, die in der jeweiligen Branche zum Erfolg führen. Die einzelnen Ausprägungen dieser Grundtypen sind den Ansätzen von Fine (1998), Christopher und Towill (2000) sowie Fisher (1997) entnommen⁶². Eine einfache *dreidimensionale Klassifizierung* wird von Christopher und Towill vorgeschlagen, um die geeignete globale Supply-Chain-Struktur zu bestimmen. Dabei werden die drei folgenden Dimensionen mit je zwei Ausprägungen zugelassen⁶³:

- Die *Produktnachfrage* verläuft entweder *gleichmäßig* oder *schwankend*.
- Bei der *Produktart* handelt es sich entweder um ein *Standard-* oder um ein *Spezialprodukt*.
- Die *Durchlaufzeit* ist entweder *kurz* oder *lang*.

Christopher und Towill kommen zu dem Schluss, dass eine reine *Lean-Supply-Chain-Struktur* nur bei einer gleichmäßigen Nachfrage und standardisierten Produkten zum Erfolg führt. Dort, wo der Fokus auf Produktverfügbarkeit liegt, sind agile Supply Chains zu verwenden.

Idealerweise versuchen Unternehmen sowohl die Vorteile des *Lean-* als auch des *Agile-* Ansatzes bei der Gestaltung der Supply Chain umzusetzen. Der Hauptvorteil des *Agile-* Ansatzes ist die höhere Marktreaktivität, die sich in einem höheren Lieferservice, kürzeren Lieferzeiten oder einer höheren Mengenflexibilität niederschlägt. Es leuchtet ein, dass diese Maßnahmen i.d.R. mehr Kosten in der Supply-Chain verursachen als Prozesse, die ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz gestaltet werden. Zwischen den strategischen Zielen *hohe Marktreaktivität* und *hohe Kosteneffizienz* besteht also eine *Trade-Off-Relation*.

⁶² Vgl. hierzu Abb. 2.2.

⁶³ Vgl. Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002b), S. 15.

		Zeitpunkt	
		Gleich	Unterschiedlich
Raum	Unterschiedlich	(1) Getrennte Prozesse	(3) Entkopplungsstrategien, auch Postponementstrategien genannt ⁶⁴
	Gleich	(4) Nicht möglich	(2) Trennung der Basisnachfrage von Nachfragespitzen

Abb. 2.9: Zeit-/Raum-Matrix der Kombinationsstrategien⁶⁵

Wie in Abb. 2.9 dargestellt, stellen Towill und Christopher drei grundsätzliche Möglichkeiten vor, mit denen beide Konzepte verknüpft werden können⁶⁶. Anhand der Dimensionen *Raum* und *Zeit* werden drei Strategien wie folgt konkretisiert:

- Schlanke und agile Prozesse werden für *unterschiedliche Artikel* (d.h. an unterschiedlichen „Orten“) zur *gleichen Zeit* eingesetzt (Feld (1) in Abb. 2.9).

Mit Hilfe einer Pareto-Analyse werden die Artikel zuerst nach absteigendem Artikelabsatz geordnet⁶⁷. Die hochvolumigen Artikel werden mit einer möglichst kurzen Durchlaufzeit angeboten. Für die Langsamläufer wird eine schlanke Supply Chain bereitgestellt. Als Beispiel wird ein Hersteller von Glasfaser-Leitungen genannt, der die Auftragsdurchlaufzeit durch Process-Reengineering-Maßnahmen von vier auf eine Woche senken kann⁶⁸. Diese Steigerung der Marktreaktivität ist aber lediglich für die ca. 10% absatzstärksten Artikel, die in diesem Fall 52% des Absatzes erzielen, wirtschaftlich sinnvoll. Die Supply Chain der übrigen absatzschwächsten 90% Artikel wird möglichst effizient (schlank) gestaltet. Die Kunden nehmen für diese Artikelklasse i.d.R. eine Lieferzeit in Kauf, die deutlich mehr als eine Woche beträgt.

⁶⁴ Vgl. ausführlich zu Postponementstrategien: Abschn. 2.4.

⁶⁵ in Anlehnung an Towill, D., Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 2002b), S. 303.

⁶⁶ Vgl. Towill, D., Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 2002b), S. 302ff und Abb. 2.8.

⁶⁷ Vgl. zur Pareto-Analyse z.B. Gudehus, T. (Logistik, 2000a), S.122ff.

⁶⁸ Vgl. Mason-Jones, R. et al. (Supply-Chain-Management, 2000) basierend auf Johansson, H. J. (Business Process Reengineering, 1993).

- Schlanke und agile Prozesse werden zu *unterschiedlichen Zeiten* angewendet. (Feld (2) in Abb. 2.9)

In Zeiten geringer Nachfrage werden Basismengen, die relativ sicher eintreten, nach dem *Lean*-Prinzip gefertigt. In Zeiten hoher Nachfrage werden zusätzliche Kapazitäten zur Verfügung gestellt, die möglichst marktreaktiv zu gestalten sind, da die Konsumenten in Zeiten großer Nachfrage i.d.R. ungeduldiger sind. Als Beispiele für diese Art der Kombinationsstrategie dienen *National Bicycle*⁶⁹ und *Sports Obermeyer*⁷⁰.

Im *National Bicycle*-Fall werden Standardfahrräder, die für die „Verkaufsregale“ des Handels vorgesehen sind und deren *Market Winner* der Verkaufspreis ist, hauptsächlich im Winter nach dem *Lean*-Prinzip auf Lager gefertigt. Spezialfahrräder, die vorrangig im Sommer nachgefragt werden, werden dagegen nach Kundenauftrag in den Sommermonaten mit einer Auftragsdurchlaufzeit von maximal drei Wochen produziert⁷¹. Die *National Bicycle* - Supply Chain wird in den Wintermonaten möglichst *schlank* und während des Sommers möglichst *agil* gehalten.

Sports Obermeyer stellt modische Wintersportbekleidung her. Ursprünglich fand die Produktion bereits im Oktober (ca. ein Jahr vor Beginn der Verkaufssaison) statt. Erste Informationen, die zu verbesserten Prognosen der Verkaufszahlen führten, trafen frühestens im Februar ein. Die Folge waren hohe entgangene Deckungsbeiträge aufgrund von Fehlmengen oder hohe obsoleete Bestände wegen Überproduktion. Um die Gesamtkosten zu minimieren, wurde der Supply-Chain-Fokus, der bisher ausschließlich den *Lean*-Anforderungen genügte, um eine marktreaktive Ausrichtung erweitert. Dies wurde so umgesetzt, dass weit vor Beginn der Verkaufssaison überwiegend Produkte hergestellt werden, deren Nachfrage relativ gut prognostizierbar ist, und zwar mit einer möglichst schlanken Supply Chain. Kurz vor Beginn der

⁶⁹ Vgl. hierzu: Lowson, B. et al. (Quick Response, 1999) und Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 1997).

⁷⁰ Vgl. hierzu: Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 1994).

⁷¹ Hier wird das Prinzip der *Mass Customization* eingesetzt. Vgl. hierzu: Pine, J. B. (Mass Customization, 1993).

Verkaufssaison werden dann die schlecht prognostizierbaren Produkte mit einer *agilen* Supply Chain produziert und vertrieben.

- Schlanke und agile Prozesse werden jeweils zu *unterschiedlichen Zeiten* an *unterschiedlichen Orten* angewendet (Feld (3) in Abb. 2.9). In der kombinierten *schlank-agilen* Struktur dieser Supply Chain abgebildet. Flussaufwärts vom Kundenentkopplungspunkt wird in der Supply Chain das *Lean*-Prinzip angewendet⁷², flussabwärts wird die Supply Chain möglichst marktreaktiv ausgestaltet.

Die Herstellung und der Vertrieb von PC-Produkten kann hier als Beispiel erwähnt werden⁷³. In einer Supply Chain mit fünf Hauptstufen wird der Kundenentkopplungspunkt auf die letzte Montagestufe gelegt. Flussaufwärts vom Kundenentkopplungspunkt richtet sich die Supply Chain nach den *Lean*-Prinzipien. Endprodukte werden erst auf der letzten Supply Chain-Stufe kundenspezifisch und reaktionsschnell bereitgestellt.

Abb. 2.10 gibt einen Überblick über die Unterschiede zwischen *traditioneller*, *schlanker*, *agiler* und *schlank-agiler* Supply Chain hinsichtlich Bestandsführung und Bereitstellung von Produktionskapazitäten zusammenfassend dargestellt. In *traditionellen* Supply Chains werden hohe Bestände ebenso wie hohe gebundene Produktionskapazitäten genutzt, um Schwankungen im Bedarfsverlauf, die z.B. durch Umrüstvorgänge oder fehlerhaftes Material hervorgerufen werden, abzufangen. Aufgrund relativ geringer Schwankungen im Bedarfsverlauf kann die *schlanke* Supply Chain auf hohe Pufferbestände und hohe Kapazitäten verzichten. Die *agile* Supply Chain ist gekennzeichnet durch hohe interne Schwankungen. Diese werden nicht durch hohe Pufferbestände, sondern durch zusätzlich einsetzbare Pufferkapazitäten abgefangen. Der *schlank-agile* Prozess ist so gestaltet, dass bis zum Kundenentkopplungspunkt die *Lean*-Prinzipien dominieren. Vom Kundenentkopplungspunkt an werden die Schwankungen hauptsächlich mit frei einsetzbaren (*agile*) Pufferkapazitäten abgefangen.

⁷² Vgl. hierzu Abschn. 2.4 *Kundenentkopplungspunkt und Postponementstrategien*. Der Punkt eines Logistikkanales, bis zu dem Kundenaufträge direkte Steuerungswirkungen entfalten, heißt Kundenentkopplungspunkt. Der Kundenentkopplungspunkt wird auch als Decoupling Point, Order-Penetration-Point oder Push-Pull-Boundary bezeichnet. (vgl. Hoekstra, S. et al. (Logistik, 1992), S. 6ff).

⁷³ Vgl. Naylor, J.B. et al. (Lean and Agile, 1999).

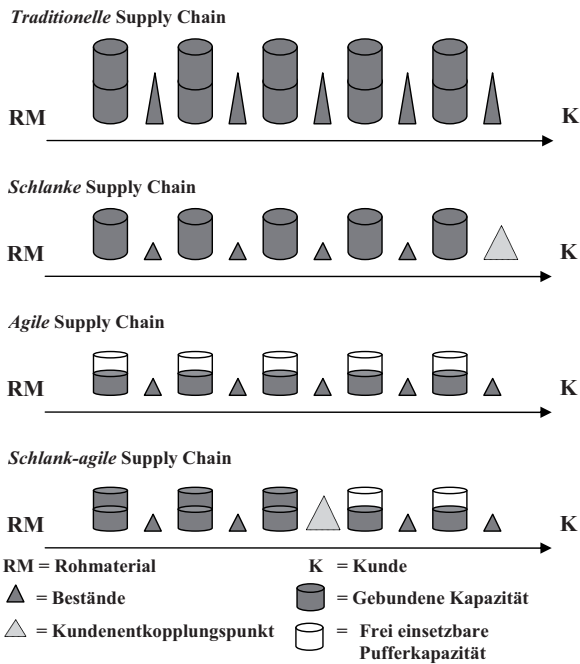


Abb. 2.10: Traditionelle, lean, agile und schlank/agile Supply Chain⁷⁴

Als Vorgehensweise zum *Auffinden der optimalen Supply-Chain-Gestaltung* schlägt Towill folgende Vorgehensweise vor⁷⁵:

- (1) Identifizierung der *Market Winners* und *Qualifiers* für jedes Marktsegment
- (2) Untersuchung der Prozesskette hinsichtlich des Einsatzes von schlanken oder agilen Strukturen
- (3) Auffinden geeigneter Kundenkopplungspunkte in der Supply Chain
- (4) Einführung zweckmäßiger Leistungsmessungen zur optimalen Ausrichtung der Marketing- und Supply-Chain-Strategien

⁷⁴ In Anlehnung an Stratton, R., Warburton, R. (Lean and agile supply, 2003), S. 186.

⁷⁵ Vgl. Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002), S. 308.

Ein zentrales Problem der Supply-Chain-Ausgestaltung liegt im Auffinden optimaler Kundenentkopplungspunkte. Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, welche Strukturen mit dem Konzept des Kundenentkopplungspunktes verbunden sind und wie in diesem Zusammenhang Postponementstrategien sinnvoll eingesetzt werden können.

2.4 Kundenentkopplungspunkt und Postponementstrategien

Der *Kundenentkopplungspunkt* „separates the part of the organization oriented towards customer orders from the part of the organization based on planning“⁷⁶. Anders ausgedrückt: Flussaufwärts vom Kundenentkopplungspunkt sind die Produktions- und Logistikaktivitäten prognosegesteuert. Eine erwartungsbezogene Planung und Steuerung (einer Push-Steuerung) wird angewendet. Dagegen bestimmen flussabwärts vom Kundenentkopplungspunkt feste Kundenaufträge den Logistikkanal. Die Steuerung der Supply Chain erfolgt auftragsbezogen, d.h. nach den Prinzipien einer *Pull-Steuerung*⁷⁷. Grundsätzlich sollte innerhalb einer Supply Chain die *Flussaufwärtsverschiebung des Kundenentkopplungspunktes* angestrebt werden. Dies ist generell entweder durch eine *Verlängerung der Kundenlieferzeit* oder eine *Geschwindigkeitssteigerung im logistischen Kanal* möglich. Wo sich der Kundenentkopplungspunkt einer Unternehmung befindet, hängt von der Branche, der Produktkomplexität, der Konkurrenzsituation und der Marketingpolitik ab.

Wie in Abb. 2.11 dargestellt, beschreibt Hoekstra insgesamt sechs idealtypische Lagen des Kundenentkopplungspunktes. Diese grundsätzlichen Gestaltungsalternativen einer Supply Chain lassen sich wie folgt beschreiben:

- *Make and ship to stock* (DP1): Fertigwarenbestände werden auf Basis von Bedarfsprognosen gefertigt und in die Nähe der Kunden transportiert (z.B. in Außenlager oder in Verkaufsregale). Die Lieferzeit aus Kundensicht ist sehr kurz oder entfällt vollkommen. Ein derart weit flussabwärts liegender Kundenentkopplungspunkt ist insbesondere bei Standardgütern des täglichen Bedarfes gefordert.

⁷⁶ Hoekstra, S. et al. (Logistik, 1992), S. 6.

⁷⁷ Vgl. zu Push- und Pull-Steuerung z.B. Delfmann, W. (Pull- und Push-Prinzip, 2004), S. 425ff.

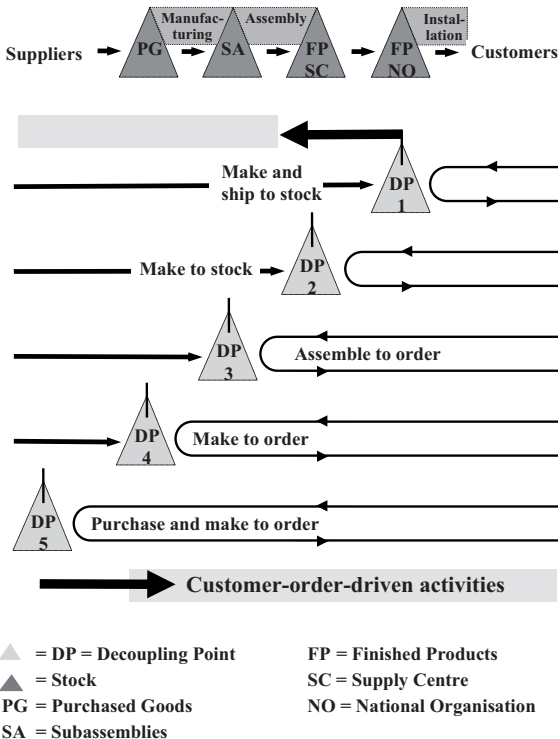


Abb. 2.11: Idealtypische Lagen des Kundenkopplungspunktes⁷⁸

- *Make to stock* (DP2): Die Produktion erfolgt wie bei DP1, es werden jedoch keine Vorratstransporte in Kundennähe durchgeführt. Der Fertigwarenbestand befindet sich somit im Zentrallager. Die auftragsgesteuerten Transporte vom Zentrallager zum Kunden bedingen ebenfalls kurze Durchlaufzeiten (z.B. bei medizinischen Geräten).
- *Assemble to order* (DP3): Einzelne Teile und Module (nicht Fertigprodukte) werden prognosegesteuert produziert und am Kundenentkopplungspunkt eingelagert. Gemäß Kundenauftrag werden diese dann zu kundenindividuellen Produkten montiert. Die

⁷⁸ Vgl. Hoekstra, S. et al. (Logistik, 1992), S. 7.

etwas längeren Lieferzeiten entstehen durch die auftragsgesteuerte Montage (nicht die Teilefertigung) und die Transporte zum Kunden. Als Beispiel kann hier die Herstellung und der Vertrieb von PCs angeführt werden.

- *Make to order* (DP4): Der gesamte Produktionsprozess von der Teilefertigung bis zur Montage und Auslieferung läuft nur auf Basis individueller Kundenaufträge. Nur allgemein verwendbares Rohmaterial wird gemäß Bedarfsprognose auf Vorrat eingekauft. Die Lieferzeiten sind i.d.R. lang. Bei der Herstellung von kundenindividuellen Werkzeugmaschinen ist die Supply Chain derart gestaltet.
- *Purchase and make to order* (DP5): Das Material wird erst eingekauft, wenn entsprechende Kundenaufträge vorliegen. Es wird auch keine Vorratshaltung auf Basis von Bedarfsprognosen betrieben. Die Lieferzeiten sind häufig sehr lang, insbesondere wegen der teilweise zeitraubenden Materialbeschaffung. Eine derartige Supply-Chain-Struktur findet man z.B. im Anlagenbau oder bei innovativen Spezialanfertigungen.

Postponementstrategien sind eng mit dem Konzept des Kundenentkopplungspunktes verbunden. Das Postponement-Prinzip geht auf Alderson zurück. Er schlug bereits 1950 vor, die Vorgänge, die aus Verkaufssicht zu einer Differenzierung des Produkts führen, zu einem möglichst späten Zeitpunkt in der Supply Chain auszuführen⁷⁹. Als richtungweisend kann auf diesem Gebiet die Arbeit von Bucklin bewertet werden⁸⁰. Er bezieht Postponement-Strategien zum einen auf die Produktform und zum anderen auf den Ort der Bestandshaltung. Diesen beiden Anforderungen folgend lässt sich das Postponementprinzip folgendermaßen beschreiben:

- Für die Produktion:
Produkte und Produktionsvorgänge werden in der Supply Chain so strukturiert, dass die *Bestände* (Rohstoffe, Materialien, Teile, Fertigprodukte) so lange wie möglich in einem *flexibel verwendbaren Zustand* bleiben.
- Für die Distribution:
Transporte von Beständen, insbesondere diejenigen, die zu einer *Verästelung des Transportflusses* führen, werden auf *den letztmöglichen Zeitpunkt* verschoben. Oder

⁷⁹ Vgl. Alderson, W. (Postponement, 1950), S. 1f.

⁸⁰ Vgl. Bucklin, L. (Postponement, 1965), S. 26ff.

umgekehrt: Die Bestände werden so lange wie möglich an einem zentralen Lagerstandort.

Zahlreiche in der Literatur erläuterte Beispiele verdeutlichen, wie Postponementstrategien in der Praxis eingesetzt werden⁸¹. hau identifiziert vier Konzepte, mit denen Unternehmen eine *verzögerte Produktdifferenzierung* einführen können: *resequencing*, *commonality*, *modularity* und *standardization*⁸².

(1) *Resequencing*

Die Produktionsreihenfolge wird derart geändert, dass die Produktionsschritte, die zu einer Produktdifferenzierung führen, möglichst weit flussabwärts verlagert werden.

Als Beispiel wird die Firma Benetton angeführt, die Modeprodukte wie z.B. Sweatshirts herstellt. Im *traditionellen* Herstellprozess wird das Material erst gefärbt und dann in Form gebracht. I.d.R. erfolgt die Produktion mehrere Monate vor Beginn der Verkaufssaison mit einer *Lean-Supply-Chain-Struktur*. Die Folge sind hohe obsoleete Bestände und hohe entgangene Abverkäufe aufgrund der hohen Prognoseunsicherheit⁸³. Benetton produziert dagegen im ersten Teil des Herstellprozesses farbneutrale Produkte. Die Einfärbungen finden dann auf Basis besserer Prognosen kurz vor bzw. in der Verkaufssaison statt⁸⁴. Die Einsparungen durch niedrigere obsoleete Bestände und deutlich höhere Verkäufe überwiegen bei weitem die zusätzlichen Kosten durch die Einführung dieses zeitlich *verschobenen* Fertigungsschrittes⁸⁵.

(2) *Commonality*

Je mehr Gemeinsamkeiten (Gleichteile) die gefertigten Bauteile aufweisen, umso weiter kann die Produktdifferenzierung hinausgezögert werden.

Ein Hersteller spezieller Festplattenlaufwerke fertigt für eine große Anzahl von Kunden spezifische Produkte. Aufgrund langer Durchlaufzeiten war das Unter-

⁸¹ Vgl. u.a. Mikkola, J. H. et al. (Postponement, 2004), S.354, Corsten, H. (Supply-Chain-Management, 2004), S. 13f, Chopra, S., Meindl., P. (Supply-Chain-Management, 2001), S. 205ff.

⁸² Vgl. Lee, H. (Supply-Chain-Management, 1993).

⁸³ Vgl. Anhang 2.1 *Idealtypische Prognoseverbesserungskurve für saisonale Modeprodukte der Bekleidungs- und Textilindustrie*.

⁸⁴ Vgl. Simchi-Levi, D. et al. (Supply-Chain-Management, 2000), S. 181f.

⁸⁵ Vgl. Heskett, J. L., Signoerelli, S. (Benetton-Postponement, 1989).

nehmen gezwungen, hohe Prozessbestände zu halten, um eine hohe Lieferbereitschaft zu erreichen. Um schneller auf Kundenaufträge reagieren zu können, wurden die Produkte konstruktiv derart geändert, dass in jedem Produkt die gleiche Leiterplatte installiert ist. Dadurch ist es möglich, die zeitintensiven Fertigungsvorgänge zur Herstellung der Leiterplatte gemeinsam für sämtliche Produkte durchzuführen. Die Variantenerzeugung findet erst statt, wenn bereits bessere Informationen über die tatsächliche Nachfrage vorliegen. Die Folge sind niedrigere Bestände und kürzere Reaktionszeiten.

(3) *Modularity*

Mit Modularisierung ist gemeint, dass komplexe Produkte in einfachere Bestandteile aufgegliedert werden, die dann unabhängig voneinander produziert werden können und schließlich ein Ganzes ergeben (Baukastenprinzip)⁸⁶.

Als Musterbeispiel können hier Personalcomputer (PC) angeführt werden. Jeder PC, unabhängig von der Ausstattungsvariante, besteht aus Modulen, die nach dem Baukastenprinzip montiert werden. Dadurch ist z.B. die Fa. Dell in der Lage, als Distributionskanal ausschließlich das Internet zu nutzen und dem Endkunden sehr kurze Lieferzeiten zu garantieren⁸⁷.

(4) *Standardization*

In bestimmten Fällen ist es möglich, eine Produktfamilie durch ein variationsfähiges Standardprodukt zu ersetzen.

Hewlett-Packard führte beispielsweise für seine LaserJet-Drucker eine erfolgreiche Standardisierungsstrategie durch⁸⁸. So wurde die Spannung eines Druckers, die entweder 110 oder 220 Volt beträgt, ursprünglich während der Produktion festgelegt. Durch Einfügen eines Relais ist es jetzt möglich, die landesspezifische Spannung des Druckers erst bei Auslieferung einzustellen. Dadurch konnten fünf Prozent der jährlichen Distributionskosten eingespart werden.

Bucklin vergleicht darüberhinausgehend die beiden Optionen *Spekulationsstrategie* und *Postponementstrategie*. Eine *spekulative Vorratshaltung* auf Basis von Nachfrage-

⁸⁶ Vgl. Baldwin, C. Y., Clark, K. B. (Modularität, 1997), S. 84f.

⁸⁷ Vgl. Dell, M. (Dell, 1999).

⁸⁸ Vgl. Fetzinger, E., Lee, H. (Postponement, 1997), S. 116ff.

prognosen lässt Kostenvorteile aufgrund von Größendegressionseffekten wegen größerer Produktionslose zu. Zudem erhöht sich die Kundenattraktivität aufgrund kürzerer Lieferzeiten wegen hoher Fertigwarenbestände. Andererseits ergeben sich erhöhte Kosten und Risiken durch die hohe spekulative Bestandshaltung⁸⁹. Umgekehrt führen *Postponementstrategien* dazu, dass sich die Kosten und Risiken spekulativer Bestände reduzieren. Andererseits können aber zusätzliche Opportunitätskosten wegen mangelnder Produktverfügbarkeit aufgrund zu langer Lieferzeiten anfallen. Nach Delfmann lassen sich folgende Einflussfaktoren unterscheiden, die den Einsatz einer der beiden Strategien bedingen⁹⁰:

- Grundsätzliche Risikostruktur der Branche, die durch das Bedarfsverhalten und die Länge des Produktlebenszykluses bestimmt wird
- Produktkomplexität
- Kostenstruktur
- Möglichkeit zur Erzielung von Skaleneffekten
- Variantenvielfalt
- Konkurrenzsituation

Als allgemeine Regel gilt: Postponementstrategien sollen immer dort eingesetzt werden, wo die durch Postponement erzielten Ersparnisse die Kosten der spekulativen Bestandshaltung übersteigen.

In der Literatur gibt es für Postponementprinzipien zahlreiche unterschiedliche Definitionen⁹¹. Eine gängige Einteilung der Postponementarten unterscheidet nach *Logistik-* und *Produktionspostponement*⁹². Der Ansatz zum Produktionspostponement entspricht der oben angegebenen Definition. Logistikpostponement kann mit der Postponementstrategie für die Distribution gleichgesetzt werden⁹³.

⁸⁹ Damit sind insbesondere die Kosten aufgrund obsoleter Bestände gemeint.

⁹⁰ Vgl. Delfmann, W. (Postponement, 2004), S. 412f.

⁹¹ Einen Überblick dazu geben Pfohl, H.-C., Pfohl, P. A. (Postponement, 2000), S. 40ff.

⁹² Vgl. hierzu u.a. Pagh, J. D., Cooper, M.C. (Supply Chain Postponement, 1998), S. 93ff.

⁹³ Vgl. Bowersox, D.J., Closs D.J. (Supply-Chain-Management, 1996), S. 472, Zinn, W., Bowersox, D. J. (Postponement, 1998), S. 119f.

2.5 Strategische Integration marktreaktiver und effizienter Supply-Chain-Strukturen nach Stratton und Warburton

Im fortschreitenden 21. Jahrhundert wird es die Hauptaufgabe globaler Supply-Chain-Strategien sein, die vielfältigen Anforderungen unterschiedlicher Märkte zu erfüllen. Im Speziellen kann dies bedeuten, dass schlanke Strategien angewendet werden, wenn die *Kosten der Market Winner* sind. Zusätzlich zu dieser Strategie muss eine *agile Supply-Chain-Struktur* verfügbar sein, wenn die *Lieferbereitschaft* zum *Market Winner* wird. Darüber hinaus muss die Supply Chain in der Lage sein, die Supply Chain-Struktur zu *wechseln*, wenn die Marktgegebenheiten dies verlangen.

Stratton und Warburton schlagen ein Konzept der *strategischen Integration von marktreaktiver (agiler) und effizienter (schlanker) Supply Chain* vor⁹⁴. Christopher und Towill verwenden hierfür den Begriff der *adaptiven Supply Chain*, wenn diese gleichzeitig hinsichtlich des Preises und der Lieferbereitschaft konkurrieren kann⁹⁵.

Den Ausgangspunkt für die Untersuchungen von Stratton und Warburton bildet der Fall der Griffin Manufacturing Co., eines Unternehmens der Bekleidungsindustrie. Zu Beginn der 90er Jahre steht Griffin unter enormem Kostendruck, der durch die Verlagerung der Produktionskapazitäten von Konkurrenzunternehmen in Niedriglohnländer (hier: Honduras) ausgelöst wird. Für die Firma Griffin, die ausschließlich im Inland (USA) fertigt, ist es unmöglich, auf der bisherigen Kostenbasis zu konkurrieren. So betragen die Herstellkosten für einen Trainingsanzug in Honduras nur 4% von denen in den USA (0,06 zu 1,50 US \$). Selbst unter Einbeziehung der Kosten für Lagerung und Transport bleiben Einsparungen in Höhe von 1 US \$ pro Kleidungsstück⁹⁶. Zur Ermittlung der insgesamt anfallenden Kosten bei ausschließlicher Produktion in Honduras müssen jedoch noch weitere Kostenarten berücksichtigt werden. Diese entstehen bei einer Produktion an geografisch weit entfernten Standorten, wenn teure Luftfrachten nötig werden, weil bestimmte innovative Kleidungsstücke (z.B. Musterkleider) dringend im Verkaufsland gebraucht werden. Zusätzlich zu den erhöhten Transportkosten muss ein gestiegener Koordinationsaufwand berücksichtigt werden. Um die gesamten Kosten der schlanken

⁹⁴ Vgl. Stratton, R., Warburton, R. (Lean and agile supply, 2003), S. 183ff.

⁹⁵ Vgl. Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002b), S. 10.

⁹⁶ Den Berechnungen ist ein 40ft Container zugrunde gelegt, der per Seefracht transportiert wird.

Supply Chain zu ermitteln, müssen zudem die *Absatzrisikokosten* beachtet werden. Diese setzen sich aus *Über- und Unterdeckungskosten* zusammen.

Überdeckungskosten resultieren aus obsoleten Beständen zum Ende der Saison. Diese *Überschussmengen* können in der Verkaufssaison nicht zum regulären Preis verkauft werden und müssen nach Ablauf der Saison, wenn überhaupt möglich, zu einem stark reduzierten Preis angeboten werden. *Unterdeckungskosten* (Fehlengenkosten) treten auf, wenn der Nachfrage kein entsprechendes Angebot gegenübersteht. In diesem Fall reicht also die produzierte Menge nicht aus, um sämtliche Kaufwünsche zu erfüllen. Abb. 2.12 veranschaulicht anhand eines einfachen Beispiels den *Zusammenhang zwischen Prognose, produzierter Menge, tatsächlicher Nachfrage und Über- bzw. Unterdeckungsmenge*, wenn ausschließlich eine schlanke Supply-Chain-Struktur mit Produktion in Honduras zugelassen wird.

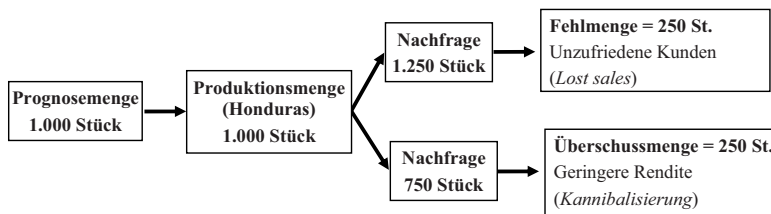


Abb. 2.12: Zusammenhang zwischen Prognose, produzierter Menge, tatsächlicher Nachfrage und Über- bzw. Unterdeckungsmenge, wenn ausschließlich im Niedriglohnland produziert wird⁹⁷

Insgesamt zeichnet sich für Griffin folgendes Gesamtbild ab⁹⁸:

- Für einen beträchtlichen Anteil der Aufträge (z.B. Neuprodukteinführungen, die für eine Messe benötigt werden) ist eine kurze Lieferzeit gefordert.
- Die Vorhersagegenauigkeit bei Herstellung in Honduras ist für einen hohen Prozentsatz der Artikel aufgrund der langen Lieferzeit sehr schlecht.

⁹⁷ In Anlehnung an Warburton, R. (Supply-Chain-Management, 2002), S. 105.

⁹⁸ Vgl. Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002b), S. 17.

- Wegen Kanibalisierungseffekten führen Überschussbestände zum Ende der Verkaufssaison zu hohen Opportunitätskosten in der nächsten Verkaufssaison⁹⁹.

Nachfrage Produktart	Gut prognostizierbar	Schlecht prognostizierbar
Spezial (Innovativ)	Nicht vorhanden	<i>Agile</i> Supply Chain (USA)
Standard	<i>Lean</i> Supply Chain (Honduras)	<i>Lean</i> Supply Chain für Basismengenproduktion (Honduras) <i>Agile</i> Supply Chain für Zusatzmengenproduktion (USA)

Abb. 2.13: Integrative Supply Chain-Struktur der Griffin Manufacturing Co.

Um sämtliche Anforderungen optimal zu erfüllen, entwickelt Griffin eine *Integrationsstrategie*, bei der *Produktionskapazitäten sowohl in Honduras als auch in den USA* vorgehalten werden. Somit ist die Supply Chain in der Lage, sowohl effizient (*lean*) als auch marktreaktiv (*agil*) zu produzieren. Aus Produktart und Nachfrageverhalten resultiert folgende Supply-Chain-Struktur: Für die *speziellen (innovativen) Produkte*, deren Nachfrage bei langen Vorlaufzeiten praktisch nicht prognostizierbar ist und bei denen deshalb kurze Durchlaufzeiten gefordert sind, wird eine marktreaktive (*agile*) Supply Chain mit Auftragsproduktion in den USA genutzt (Quick-Response-Kapazitäten). Hinsichtlich des *Market Winners* „kurze Lieferzeit“ ist Griffin auf diesem Teilmarkt somit in einer führenden Position. Die *Standardprodukte*, deren Nachfrage *gut prognostizierbar* ist und die sich im Laufe eines Jahres sicher verkaufen lassen, werden mit einer möglichst

⁹⁹ Damit ist z.B. gemeint, dass der Kunde in der ablaufenden Verkaufssaison zwei reduzierte Kleidungsstücke anstatt eines kauft und sich damit den Kauf in der Folgesaison spart. (vgl. zu *Kanibalisierungseffekt* Corsten, H. (Betriebswirtschaftliches Lexikon, 2000), S. 424).

effizienten Supply Chain im Niedriglohnland produziert. Auch auf diesem Teilmarkt mit dem Market Winner „niedriger Preis“ bleibt Griffin damit wettbewerbsfähig.

Schwierig ist die Ausgangslage für *Standardprodukte mit geringer Vorhersagegenauigkeit*, deren *Market Winner niedrige Kosten* sind:

- Wird eine marktreaktive Supply Chain mit einem Produktionsstandort in den USA eingesetzt, ist Griffin wegen zu hoher Herstellkosten nicht konkurrenzfähig.
- Erfolgt andererseits die Produktion ausschließlich in Honduras zu möglichst niedrigen Kosten, entstehen hohe Absatzrisikokosten aufgrund der schlechten Prognosegenauigkeit.

Um diese Konfliktsituationen zu bewältigen, schlagen Stratton und Warburton eine Kombinationsstrategie vor¹⁰⁰. Mit der *effizienten Supply Chain* wird eine *Basismenge produziert*. Zudem wird eine *Quick-Response-Kapazität* in den USA vorgehalten. Diese wird dann eingesetzt, wenn die Nachfrage über der produzierten Basismenge liegt. Abb. 2.14 verdeutlicht dieses Konzept anhand eines einfachen Beispiels.

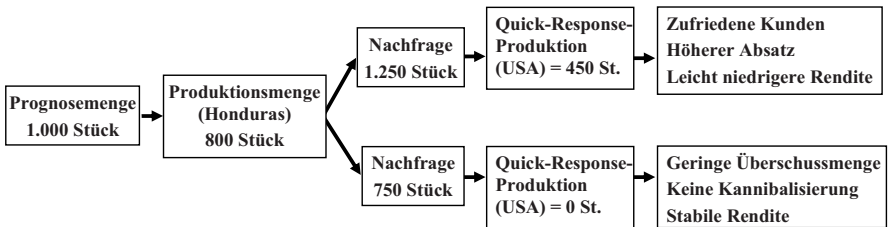


Abb. 2.14: Zusammenhang zwischen Prognose, produzierter Menge, tatsächlicher Nachfrage und Über- bzw. Unterdeckungsmenge bei Kombination von Low-Cost- und Quick Response-Kapazitäten

Die *Vorteile dieser Kombinationsstrategie* liegen auf der Hand. Falls die Nachfrage höher als erwartet ist (Unterdeckung), kann mit Hilfe der Quick-Response-Kapazität schnell reagiert werden. Fehlmengen werden größtenteils vermieden. Dies steigert die Kundenzufriedenheit und führt zu einem höheren Umsatz. Einziger Nachteil ist die etwas

¹⁰⁰ Dabei handelt es sich um eine Postponementstrategie (vgl. Feld (3) in Abb. 2.8).

niedrigere Umsatzrendite im Vergleich zur Herstellung der gesamten Verkaufsmenge mit einer *effizienten* Supply Chain. Wenn die Nachfrage niedriger als die in Honduras produzierte Menge ist (Überdeckung), fallen pro Stück lediglich die Kosten der schlanken Supply Chain an. Die relativ geringe Überschussmenge kann entweder einbehalten oder unter einem anderen Markennamen verkauft werden. Kannibalisierungseffekte werden vermieden, die Umsatzrenditen der laufenden und folgenden Saison bleiben stabil.

2.6 Produktionswirtschaftliche Flexibilität, ein Schlüsselkonzept in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken

Überprüft man zusammenfassend die strategischen Supply-Chain-Strukturen, die in Theorie und Praxis zur Bewältigung der Herausforderungen im globalen Wettbewerb entwickelt wurden, dann erscheinen in zahlreichen Gestaltungskonzepten *flexible Prozesse, insbesondere flexible Produktionsprozesse, als Schlüsselkomponenten*. Dies gilt besonders für Supply Chains, die sich in Märkten mit hohen Absatzrisiken bewähren müssen. Im Rahmen unserer bisherigen Diskussion sind hier folgende Supply-Chain-Konzepte zu nennen:

- marktreaktive Supply Chains¹⁰¹,
- agile Supply Chains¹⁰²,
- agile Produktion¹⁰³,
- Strategien zum kombinierten Einsatz agiler und schlanker Produktionsprozesse¹⁰⁴ und
- agile Variantenerzeugung mit Hilfe von Postponementstrategien¹⁰⁵.

Bei näherer Betrachtung dieser strategischen Konzepte zeigt sich allerdings, dass unter dem Begriff „*Flexibilität*“ oder unter verwandten Begriffen, z.B. „*Agilität*“ oder „*Reaktivität*“, *zahlreiche heterogene Fähigkeiten* subsumiert werden, z.B. schnelle

¹⁰¹ Vgl. Fisher, M. L. (Supply-Chain-Management, 1997), Chopra, S., Meindl, P. (Supply-Chain-Management, 2001), vgl. hierzu Abb. 2.4 und 2.6.

¹⁰² Vgl. Nagel, R. N., Dove, R. (Agile Supply Chain, 1991), vgl. Abb. 2.2.

¹⁰³ Vgl. Yusuf, Y. et al. (Agile manufacturing, 1999), vgl. Abb. 2.2.

¹⁰⁴ Vgl. Abschn. 2.3 und 2.5.

¹⁰⁵ Vgl. Abschn. 2.4.

Reaktionsfähigkeit, kurze Durchlaufzeiten, Fähigkeiten zur Mengenvariation oder Fähigkeiten zur Variantenerzeugung. Offensichtlich gibt es somit *zahlreiche verschiedene Arten der Flexibilität auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen*. Hier stellt sich u.a. die Frage: Wie wirken diese unterschiedlichen Flexibilitätsformen zusammen? Ergänzen oder substituieren sie sich oder sind sie sogar konfliktär zueinander?

Ein noch komplexeres Bild zeigen die *Gestaltungskonzepte zur Erreichung von mehr Flexibilität*. Prinzipiell eingesetzt werden können *technische Mittel*, z.B. Pufferkapazitäten oder sog. flexible Fertigungssysteme (FFS), *organisatorische Mittel*, z.B. flexibles Personal, und schließlich auch *kombinierte Konzepte*, z.B. Postponementstrategien. Welche Gestaltungskomponenten sollen in welcher Wettbewerbssituation verwendet werden, um ein erwünschtes *Flexibilitätsprofil* zu erreichen? In wissenschaftlichen Beiträgen zur strategischen Supply-Chain-Gestaltung findet man zur Lösung dieser Fragen bestenfalls pauschale Vorschläge, die in konkreten Problemsituationen wenig operationale Hilfe bieten.

Schließlich geben strategische Supply-Chain-Konzepte auch zu einem weiteren zentralen Problemkomplex der Flexibilitätsgestaltung keine ausreichenden Antworten: Wie lassen sich in Entscheidungssituationen mit unterschiedlichen Flexibilitätsoptionen *die Mehrkosten und Nutzenpotenziale einer Flexibilitätserhöhung* abschätzen? Welches *Ausmaß an Flexibilität* sollte in einer bestimmten Marktsituation angestrebt werden?

Zusammenfassend kann man festhalten: Die hochaggregierten strategischen Theorieansätze zur optimalen Gestaltung von Supply Chains verwenden zwar ausnahmslos *Flexibilitätskonzepte als zentrale Schlüsselkomponenten*, wichtige Fragen zu den Flexibilitätsbegriffen (Agilität, Reaktivität, etc.), zu den Flexibilitätsarten und -ebenen und zur Flexibilitätsgestaltung und -bewertung bleiben aber offen. Um hier Aufklärung zu erhalten, befasst sich Kapitel 3 mit jenen wissenschaftlichen Beiträgen, die speziell der *theoretischen Strukturierung der unternehmerischen Flexibilität, insbesondere der produktionswirtschaftlichen Flexibilität* gewidmet sind.

Hierbei zeigt sich zunächst, dass Probleme der Flexibilitätsgestaltung und -bewertung universell alle zielgerichteten Systeme und Teilsysteme betreffen. Erwartungsgemäß werden *die unterschiedlichsten Flexibilitätskonzepte* nicht nur in der „Supply-Chain-

Literatur“, sondern in allen Managementbereichen und auf allen Unternehmensebenen diskutiert. Eine besonders umfangreiche Fachliteratur zur Produktionsflexibilität findet man als Begleiterscheinung zur Entwicklung sog. *Flexibler Fertigungssysteme* in den 80er- und 90er-Jahren. In der Betriebswirtschaftslehre gehen die Beiträge zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität („Elastizität“) sogar bis auf Gutenberg zurück. Wenn sich somit das folgende Kapitel mit dem *Stand der Forschung zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität* auseinandersetzt, wird keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Angesichts der unübersehbaren Fülle an Fachliteratur auf diesem Gebiet kann es nur darum gehen, einen Einblick in wichtige Theorieansätze zu gewinnen und derzeitige Defizite der wissenschaftlichen Erkenntnis aufzuzeigen.

3. Produktionswirtschaftliche Flexibilität: Stand der Forschung

3.1 Flexibilität im unternehmerischen Gesamtzusammenhang

(1) Begriff der Flexibilität in der allgemeinen Managementtheorie

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird das Eigenschaftswort *flexibel* synonym zu Begriffen wie *biegsam*, *elastisch*, *beweglich* und *anpassungsfähig* verwendet¹⁰⁶. *Flexibilität* kann somit allgemein als *Beweglichkeit* oder *Anpassungsfähigkeit* beschrieben werden. Hirschmann führt aus, dass Flexibilität eine „schnelle, reibungslose und verlustarme Anpassung“¹⁰⁷ darstellt. Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnet also *Flexibilität* die *Fähigkeit*, sich permanent und unverzüglich den *geänderten Anforderungen* und *Gegebenheiten* einer dynamischen Umwelt *anpassen zu können*¹⁰⁸. Flexibilität orientiert sich nicht am ursprünglichen Zustand, sondern ist als Aktionspotenzial in die Zukunft gerichtet¹⁰⁹.

In der *allgemeinen Systemtheorie* wird mit *Anpassungsfähigkeit* die Eigenschaft von Systemen bezeichnet, sich auf veränderte Gegebenheiten inner- und außerhalb der Systemgrenzen einstellen zu können, um die Wirkung von *Störfaktoren durch steuernde und regelnde Maßnahmen auszugleichen*¹¹⁰. Neben der rein reaktiven, auf Vermeidung von Risiken ausgerichteten Komponente kann der *Begriff der Anpassungsfähigkeit* um eine *aktive Komponente erweitert* werden¹¹¹, die auf die Wahrnehmung zusätzlicher Chancen gerichtet ist. In diesem Sinn interpretieren Kaluza und Blecker den Begriff der Flexibilität für Systeme wie folgt¹¹²:

„Flexibilität ist die Eigenschaft eines Systems, proaktive oder reaktive sowie zielgerichtete Änderungen der Systemkonfiguration zu ermöglichen, um die Anforderungen von sich verändernden Umweltbedingungen zu erfüllen.“

¹⁰⁶ Vgl. Scholze-Stubenrecht, W. et al. (Duden, 2001), S. 317.

¹⁰⁷ Vgl. Hirschmann, R. G. (Flexibilität, 1985), S. 144.

¹⁰⁸ Vgl. Kaluza, B. (Flexibilität, 1993), S. 1173.

¹⁰⁹ Vgl. Will, T. (Flexibilität, 2000), S. 261f.

¹¹⁰ Vgl. Schmitz, M. (Flexibilität, 1994).

¹¹¹ Vgl. Wolf, J. (Flexibilisierung, 1989), S. 10.

¹¹² Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005), S. 9.

In dieser Definition findet sich zum einen die *passive Komponente* eines flexiblen Systems wieder, die sich in der Reaktionsfähigkeit zeigt. Außerdem wird auch ein *aktiver Bestandteil* zur Nutzung von Chancen berücksichtigt.

In vielen betriebswirtschaftlichen Arbeiten finden sich Definitionen des Begriffs *Flexibilität* für den Unternehmenskontext¹¹³. In aller Regel sind diese Definitionen auf den Untersuchungszweck zugeschnitten, so dass sie nur bedingt allgemein gültigen Charakter besitzen. Einige allgemeinere Definitionen sind im Folgenden aufgeführt.

Klimecki und Gmür verstehen unter Flexibilisierung „alle Aktivitäten, die einem Unternehmen dazu verhelfen, unbestimmte Aufgaben in einer Zukunft zu bewältigen, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt selbst noch nicht bestimmbar ist“¹¹⁴. Für Adam setzt sich der Flexibilitätsbegriff für Unternehmen aus insgesamt drei Bedingungen zusammen¹¹⁵:

- *Offenhaltung von Handlungsspielräumen*
Heutige Entscheidungen sind so zu treffen, dass in Zukunft ein möglichst großer Handlungsspielraum gewährleistet wird.
- *Anpassungsgeschwindigkeit*
Zwischen Anpassungsgeschwindigkeit und Flexibilität besteht ein unmittelbarer Zusammenhang. Je höher die Anpassungsgeschwindigkeit an unvorgesehene Entwicklungen ist, desto höher ist auch die Flexibilität.
- *Ökonomische Flexibilität*¹¹⁶
Bei Offenhaltung von Handlungsspielräumen und Anpassungsmaßnahmen muss die Reaktion der Kosten und des Gewinns berücksichtigt werden.

Diese drei Elemente finden sich in zahlreichen weiteren Definitionen¹¹⁷. Insgesamt zeigt sich aber, dass sich in der betriebswirtschaftlichen Literatur *keine allgemeingültige Definition* herausgebildet hat. Die gängigen Ansätze ähneln sich jedoch sehr stark.

¹¹³ Vgl. hierzu Reichwald, R., Behrbohm, P. (Flexibilität, 1983), S. 850, Horváth, P., Mayer, R., (Flexibilität, 1986), S. 70, Meffert, H. (Flexibilität, 1985), S. 121ff, Schneeweiss, C., Kühn, M. (Flexibilität, 1990), S. 378ff und Hitt, M.A. et al. (Flexibilität, 1998), S. 26.

¹¹⁴ Klimecki, R., Gmür, M. (Strategie und Flexibilität, 1997), S. 207.

¹¹⁵ Vgl. Adam, D. (Planung und Entscheidung, 1996), S. 288ff.

¹¹⁶ Vgl. hierzu auch Adam, D. (Flexible Fertigungssysteme, 1993), S. 15.

¹¹⁷ Einen anschaulichen Überblick über den derzeitigen Stand der Definitionen und deren Inhalt liefert Wolf, C. (Flexibilität, 2005), S. 8f..

In den letzten Jahrzehnten sind besonders zwei Tendenzen festzustellen, die die Bedeutung von Flexibilität für Unternehmen kontinuierlich gesteigert haben¹¹⁸. Zum einen beschleunigt sich der *technologische Fortschritt* immer mehr. Dies zeigt sich u.a. in innovativen Fertigungsmaterialien und -prozessen sowie in der raschen Entwicklung nutzbarer Informationstechnologien. Zum anderen ist die *zunehmende Dynamik und Unsicherheit der wirtschaftlichen Umwelt* anzuführen, die sich z.B. durch steigende Produktinnovationsraten, verkürzte Produktlebenszyklen, mangelnde Prognostizierbarkeit der privaten Nachfrage oder unvorhersehbare Marktentwicklungen äußert. Aus beiden Entwicklungen ergibt sich für Unternehmen ein ständig *wachsendes Potenzial zur Anpassung an die Veränderungen der Unternehmensumwelt*.

(2) Flexibilität als strategischer Erfolgsfaktor

Strategische Erfolgsfaktoren haben für die erfolgreiche langfristige Sicherung des Unternehmenserfolgs und die Erzielung von Wettbewerbsvorteilen eine besondere Bedeutung¹¹⁹. In den 70er Jahren galten die *Kosten* als Hauptfaktor, in den 80er und 90er Jahren gewannen zusätzlich die Faktoren *Qualität* und *Zeit* an Bedeutung. Aufgrund der zunehmenden Individualisierung der Nachfrage kommen der Faktor *Erzeugnisvielfalt* und damit einhergehend der Faktor *Service* hinzu. Flexibilität wird wegen der sich rasch ändernden und schwer vorhersehbaren Umweltsituationen zu einem zentralen *strategischen Erfolgsfaktor*. Abb. 3.1 auf der Folgeseite verdeutlicht diese Entwicklung¹²⁰.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die ursprünglichen *strategischen Erfolgsfaktoren* ihre Bedeutung nicht verloren haben. Als Herausforderung für Unternehmen ergibt sich, die gestiegenen Flexibilitätsanforderungen umzusetzen, ohne die anderen Faktoren zu vernachlässigen. Insbesondere in wettbewerbsintensiven Märkten mit kurzen Produktlebenszyklen und hohen Innovationsraten geht der Fokus weg von den Market-Qualifier-Faktoren *Kosten, Qualität und Service* hin zu den Market-Winner-Faktoren *Lieferfähigkeit, Flexibilität und Innovation*¹²¹. Die auftretenden *Trade-Offs zwischen den*

¹¹⁸ Vgl. hierzu z.B. Suarez, F. et al. (Flexibilität, 1995) oder Burmann, C. (Strategische Flexibilität, 2002).

¹¹⁹ Synonym zu *Strategischer Erfolgsfaktor* werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur auch die Begriffe *Kritischer Erfolgsfaktor*, *Exzellenzfaktor* oder *Strategischer Schlüsselfaktor* verwendet. Vgl. hierzu Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005), S. 3f.

¹²⁰ Vgl. hierzu Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005), S. 4f.

¹²¹ Vgl. Clark et al. (Organisation und Produktion, 1988).

einzelnen Erfolgsfaktoren bestimmen in Abhängigkeit vom aktuellen Wettbewerbsumfeld und der gewählten Wettbewerbsstrategie die Attraktivität einer Lösungsalternative¹²². So führen z.B. hochautomatisierte Fertigungsanlagen nur dann zu niedrigeren Stückkosten, wenn die Anzahl der Umrüstvorgänge zwischen den einzelnen Varianten gering gehalten werden kann. Dies geht allerdings zu Lasten der Variantenflexibilität. Hochautomatisierte Anlagen werden somit bei „steigender“ Variantenanzahl zunehmend unattraktiv.

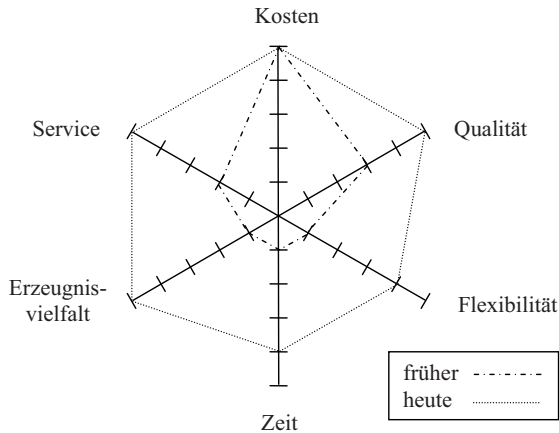


Abb. 3.1: Bedeutung der strategischen Erfolgsfaktoren im Zeitverlauf¹²³

Mit der zunehmenden Bedeutung der Flexibilität in der Wirtschaftspraxis hat dieser Begriff auch in Teildisziplinen der Betriebswirtschaftslehre eine wachsende Beachtung erfahren¹²⁴. Insbesondere in der *Entscheidungstheorie*, der *Personalwirtschaft* und der *Produktionswirtschaft* sind zahlreiche Beiträge zur Flexibilitätsdiskussion zu finden.

Die *entscheidungstheoretischen* Arbeiten sind größtenteils sehr abstrakter Natur und geben nur sehr bedingt hilfreiche Anleitungen zur Gestaltung der Flexibilität in Unternehmen.¹²⁵

In den *personalwirtschaftlichen* Beiträgen ist der Begriff der Flexibilität eng mit der

¹²² Vgl. Kaluza, B., Blecker, Th. (Wettbewerbsstrategien, 2000), S. 4.

¹²³ Vgl. hierzu Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005), S. 4..

¹²⁴ Vgl. Amend, F. (Flexibilität, 2000), S. 13.

¹²⁵ Vgl. hierzu z.B. Mandelbaum, M., Buzacott, J. A. (Flexibilität, 1990).

Ausgestaltung von Arbeitszeitmodellen verbunden¹²⁶. Dabei geht es insbesondere darum, die Mitarbeiter entsprechend dem Arbeitsaufkommen einzusetzen.

Eine große Fülle an Beiträgen zur Flexibilität findet sich in der *produktionswirtschaftlichen* Literatur¹²⁷. Insbesondere in den 80er und 90er Jahren beschäftigten sich zahlreiche Veröffentlichungen mit der Entwicklung von sog. *flexiblen Fertigungssystemen*. So wurde z.B. in diesem Zusammenhang das Konzept des *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) äußerst ausführlich diskutiert¹²⁸.

(3) Ebenen der Flexibilität in Unternehmen

Die gesamte unternehmerische *Flexibilität* lässt sich in der Regel einer *strategischen* und einer *operativen Ebene* zuordnen. In vielen Fällen wird noch eine *zusätzliche Ebene* eingefügt, die entweder den operativen oder den strategischen Charakter weitergehend ausführt¹²⁹. Carlsson unterscheidet in diesem Sinne drei Ebenen der Flexibilität nach dem zeitlichen Horizont der geforderten Anpassungsfähigkeit¹³⁰:

- *Operative Flexibilität* bedeutet kurzfristige Anpassungsfähigkeit. Die Anlagen und Prozesse sind nicht veränderbar. Nur *innerhalb der vorgegebenen Prozesse und Potenziale* besteht eine gewisse Variabilität der Ablauforganisation. So können beispielsweise Änderungen in der Reihenfolge-, Termin- und Kapazitätsbelegungsplanung vorgenommen werden. Im Fall von Mehrproduktunternehmen heißt das, dass zwischen (bereits existierenden) Produkten schnell und kostengünstig gewechselt werden kann¹³¹.
- *Taktische Flexibilität* betrifft Entscheidungen über Art und Kapazität der Anlagen. Nach Festlegung dieser Parameter kann ausschließlich operativ flexibel reagiert werden¹³².

¹²⁶ Vgl. hierzu z.B. Kutscher, J. (Flexibilität, 1990).

¹²⁷ Ein ausführlicher Literaturüberblick zur Produktionsflexibilität findet sich z.B. bei De Toni, A., Tonchia, S. 1587ff (Produktionsflexibilität, 1998).

¹²⁸ Vgl. hierzu z.B. Scheer, A.W. (CIM, 1990).

¹²⁹ Ein Überblick über die verschiedenen Klassifizierungsansätze findet sich bei Mayer, A. (Flexibilität, 2001), S. 76ff.

¹³⁰ Vgl. Carlsson, B. (Flexibilität, 1989), S. 186ff.

¹³¹ Ebd.

¹³² Ebd.

- *Strategische Flexibilität* bezieht sich auf langfristige Entscheidungen bezüglich des Produktionsprogramms, der Märkte, der Fertigungstiefe, der Standortstruktur und der Forschung und Entwicklung¹³³.

Ein weiterer Klassifizierungsansatz stammt von Ansoff und Brandenburg¹³⁴. Dabei liegt *Flexibilität* losgelöst von *operativer Effizienz* vor, die unter stabilen Umweltbedingungen und stabiler interner Prozessdurchführung einen möglichst hohen Output anstrebt. Diese Stabilitätsbedingung wird für die drei Ebenen der Flexibilität aufgelöst:

- *Operative Flexibilität* gibt dabei die maximal mögliche Durchsatzhöhe der bestehenden Prozesse an und die Fähigkeit, unterschiedliche Mengen herzustellen.
- *Strategische Flexibilität* kennzeichnet die Möglichkeiten zur Änderung der angebotenen Produkt-Markt-Struktur¹³⁵.
- *Strukturelle Flexibilität* betrifft die Änderung der Organisationsstruktur. Diese wird benötigt, wenn Defizite in der operativen Effizienz sowie der operativen und strategischen Flexibilität zu beheben sind.

Jacob bezeichnet die Anpassungsfähigkeit der bestehenden Potenziale eines Unternehmens als Bestandsflexibilität oder *operative Flexibilität*. Die *strategische Flexibilität*, die auch Entwicklungsflexibilität genannt wird, geht von einer Veränderung des Bestandes an Potenzialen aus¹³⁶. Weitere Klassifizierungsansätze zu den Ebenen der Flexibilität in Unternehmen finden sich bei Upton, Eppink sowie Volberda¹³⁷.

(4) *Unsicherheit und Flexibilität, Gesamtflexibilität und Teilflexibilitäten*

Bei stationären und deterministischen Märkten und Technologien muss ein Unternehmen über keinerlei Flexibilität verfügen. Mit zunehmender Unsicherheit sollte die *Flexibilität eines Unternehmens* jedoch mindestens so weit vorhanden sein, dass langfristig der Unternehmensbestand gesichert werden kann.

Es stellt sich die Frage, wie der notwendige *gesamte Flexibilitätsbedarf eines Unternehmens* ermittelt werden kann und wie hoch dieser ausfallen muss. Amend schlägt

¹³³ Vgl. Carlsson, B. (Flexibilität, 1989), S. 187.

¹³⁴ Vgl. Ansoff, H. J., Brandenburg, R.G. (Organisation, 1971), S. 709ff.

¹³⁵ Vgl. dazu die Produkt-Markt-Strategien nach ANSOFF (Management-Strategien, 1966).

¹³⁶ Vgl. Jacob, H. (Flexibilität, 1990), S. 19ff.

¹³⁷ Vgl. Eppink, D. J. (Flexibilität, 1978), Volberda, H. W. (Flexibilität, 1998), Upton, D. M. (Flexibilität, 1994).

zur Beantwortung dieser Fragen eine systemtheoretische Einteilung der Unternehmensflexibilität vor¹³⁸. Alle *Bestandteile innerhalb des Systems bestimmen dessen Flexibilität* und alle Elemente außerhalb des Systems legen den systemexternen *Flexibilitätsbedarf* fest.

Die Gesamtflexibilität eines Unternehmens kann in Teilflexibilitäten seiner *Subsysteme* aufgeteilt werden. Dementsprechend kann sich Flexibilität bei Fokussierung auf den produktionswirtschaftlichen Kontext u. a. auf folgende Subsysteme beziehen:

- den Maschineneinsatz,
- die gesamte Produktion,
- das gesamte Unternehmen oder
- das Unternehmensnetzwerk, in dem sich das Unternehmen mit seinen Zulieferern befindet

Dabei ist zu beachten, dass ein Subsystem, das für sich allein optimale Funktionen zeigt, bei Zusammenfassung mit anderen Subsystemen suboptimal werden kann. Aus der *Addition der höchstmöglichen Flexibilitäten einzelner Funktionsbereiche* resultiert daher *nicht unbedingt ein maximal flexibles Gesamtunternehmen*. Um die Gesamtflexibilität eines Unternehmens zu optimieren, muss die *Kombination aller funktionalen Flexibilitäten koordiniert* werden¹³⁹. Soll im Unternehmen eine effektive Flexibilitätsstruktur geschaffen werden, muss zudem geklärt werden, welche *Maßnahmen des Managements die Flexibilität des Unternehmens erhöhen bzw. verringern*. In diesem Zusammenhang sind die *Ursache-Wirkung-Zusammenhänge*, die die Flexibilität eines Unternehmens ausmachen, von zentraler Bedeutung¹⁴⁰.

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge kann hier das von Milling und Thun beschriebene Konzept des *Cellular Manufacturing* für den Bereich der Produktionsflexibilität als Beispiel angeführt werden¹⁴¹. Mit Hilfe einer bestimmten Maschinenanordnung werden in diesem Konzept die Fertigungsprinzipien der Werkstatt- und Fließfertigung durch Einführung von *Manufacturing Cells* miteinander verbunden. Dadurch kann die Herstellungsmenge pro Zeiteinheit leichter verändert werden. Um in

¹³⁸ Vgl. Amend, F. (Flexibilität, 2000), S. 17ff.

¹³⁹ Vgl. Hyun L. H., Ahn B. N. (Flexibilität, 1992), S. 253ff.

¹⁴⁰ Vgl. Amend, F. (Flexibilität, 2000), S. 18.

¹⁴¹ Vgl. Milling, P., Thun J.-H. (Produktionsflexibilität, 2004), S. 253.

diesem Fall allerdings die insgesamt höchste Flexibilität zu erreichen, ist zusätzlich eine Flexibilisierung der Arbeitszeiten der Fertigungsmitarbeiter nötig. Erst dadurch wird die maximale Flexibilität bezüglich der Ausstoßmenge sichergestellt.

(5) Kosten und Nutzen von Flexibilität

Es leuchtet ein, dass die *Bereitstellung von Flexibilitätspotenzialen* zu *Mehrkosten* führt. Abb. 3.2 zeigt einen Überblick von Corsten über die einzelnen Bestandteile, die beim Aufbau von Flexibilitätspotenzialen für Produktionssysteme anfallen¹⁴². Andererseits führt das *Nichtvorhandensein von (Re-)Aktionsfähigkeit*, wenn diese erforderlich ist, zu Opportunitätskosten, z.B. in Form von entgangenen Gewinnen¹⁴³. Thielen bezeichnet die Kosten, die Folge fehlender Flexibilitätspotenziale sind, als *Kosten der Inflexibilität*¹⁴⁴. Im Gegensatz zu den Kosten der Flexibilitätsbereitstellung lassen sich die Kosten der Inflexibilität nur schwer oder gar nicht quantifizieren.

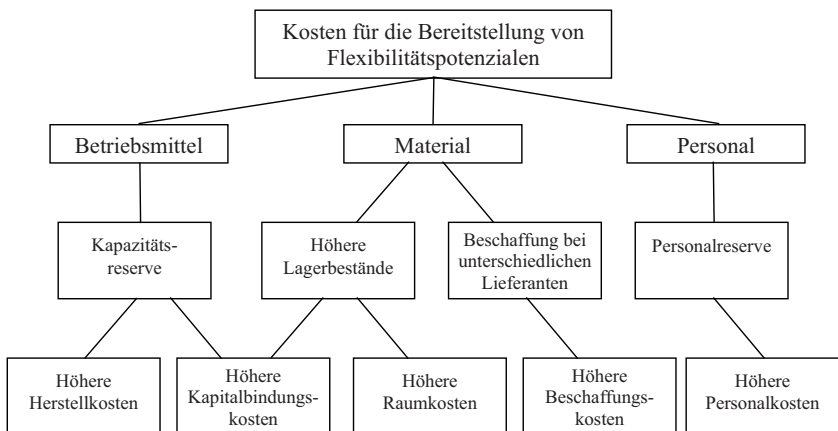


Abb. 3.2: Kostenbestandteile beim Aufbau von Flexibilitätspotenzialen für Produktionssysteme¹⁴⁵

¹⁴² Vgl. Corsten (Produktionswirtschaft, 2004), S. 25.

¹⁴³ Vgl. Nagel, M. (Flexibilitätsmanagement, 2003), S. 16.

¹⁴⁴ Vgl. Thielen, C. (Flexibilität, 1993), S. 102.

¹⁴⁵ I Anlehnung an Corsten (Produktionswirtschaft, 2004), S. 25.

Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass der *Nutzen der Flexibilität*, der sich z.B. durch den Aufbau flexibler Maschinen im Produktionsbereich ergibt, *nur schwer messbar* ist. Rein formal liegt das optimale Maß an Flexibilität bei gegebener Kosten-/Nutzenfunktion dort, wo der *Grenznutzen der Flexibilitätserhöhung gleich den Grenzkosten* ist¹⁴⁶. Diese Optimalitätsbedingung besitzt für die Praxis jedoch nur eine sehr eingeschränkte Aussagekraft.

Corsten unterteilt den *Flexibilitätsnutzen* in *zwei Bestandteile*¹⁴⁷. Zum einen wird die *Verringerung der Unsicherheit* angeführt, mit der Absatzeinbußen und damit Wettbewerbsnachteile vermieden werden können. Zum anderen können *Chancen ausgenutzt* werden, die *ohne Flexibilität nicht möglich* wären. Als Beispiele werden die Verkürzung der Anlaufzeiten bei Neuprodukteinführungen oder kürzere Lieferzeiten genannt. Dadurch kommt es zu einer Verbesserung der Wettbewerbssituation und möglicherweise einer Absatzausweitung¹⁴⁸.

Amend streicht die Parallelen bei der Bewertung der *Flexibilität* zum Begriff der *Qualität* heraus¹⁴⁹: Für beide Eigenschaften gilt ohne Berücksichtigung der Kosten, dass ein Mehr besser für das Unternehmen ist. Sowohl *Flexibilität* als auch *Qualität* hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab. Im Gegensatz zur Flexibilität muss die Qualität jedoch ständig nach außen hin belegbar sein.

Insgesamt wird die *Bewertung der Flexibilität* oder der Flexibilitätspotenziale als ein *zentrales, ungelöstes Problem in der betriebswirtschaftlichen Forschung* angesehen¹⁵⁰. Mascarenhas zeigte bereits Mitte der 80er Jahre in einer umfassenden Untersuchung von 19 Merkmalen, dass kein allgemein gültiges Modell zur Messung von Flexibilität existiert¹⁵¹. In der Literatur gibt es zahlreiche Versuche zur Erfassung und Messung sämtlicher Flexibilitätsanforderungen eines Unternehmens¹⁵².

¹⁴⁶ Vgl. Mössner, G. U. (Flexible Unternehmensstrategien, 1982), S. 327.

¹⁴⁷ Vgl. Corsten (Produktionswirtschaft, 2004), S. 25.

¹⁴⁸ Diese Unterteilung deckt sich weitgehend mit der Definition des Flexibilitätsbegriffs, der sich aus einer reaktiven und einer proaktiven Komponente zusammensetzt (Vgl. S. 38).

¹⁴⁹ Vgl. Amend, F. (Flexibilität, 2000), S. 17.

¹⁵⁰ Vgl. Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005), S. 10.

¹⁵¹ Vgl. Mascarenhas, B. (Flexibilität, 1984), S.120.

¹⁵² Vgl. u.a. Upton, D. M. (Flexibilität, 1994), Nagel, M. (Flexibilitätsmanagement, 2003), Pibernik, R. (Flexibilität, 2001), Jacob, H. (Flexibilität, 1990).

Ein Ansatz geht z.B. dahin, reale Investitionen, die zum Aufbau von Flexibilitätspotenzialen führen, mit Optionen zu bewerten (*Realoptionstheorie*).¹⁵³ Allerdings handelt es sich dabei um eine sehr eingeschränkte Form der Flexibilitätswertung, da ein Einsatz lediglich auf strategischer Ebene möglich ist und die vorausgesetzte Analogie zu den zugrunde liegenden Finanzoptionen nur teilweise gegeben ist. Ein anderer Ansatz zur ganzheitlichen Analyse des Flexibilitätswaufwands stammt von Nagel. Mit Hilfe eines *System-Dynamics-Modells* wird versucht, die wichtigsten Flexibilitätswertbestände eines Unternehmens zu bewerten und Steuerungsprinzipien zu entwickeln¹⁵⁴. Insgesamt zeigt sich aber, dass die Ansätze zur Bewertung der Unternehmensflexibilität meist sehr abstrakt gehalten und somit wenig praktikabel sind.

3.2 Produktionswirtschaftlichen Flexibilität: Basiskonzepte

Erste Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet stammen von Stigler (1939). Er bezeichnet *Flexibilität* als die *Anpassungsfähigkeit eines produktionswirtschaftlichen Systems*, das mit den vorhandenen Betriebsmitteln unterschiedliche Ausbringungsmengen kurzzeitig realisieren kann¹⁵⁵. Gutenberg betrachtet den Begriff der *Flexibilität* Mitte der 50er Jahre als *Gegenstand der Produktions- und Kostentheorie*¹⁵⁶. Die relative Änderung der Kosten, die sich aus den relativen Mengenänderungen ergibt, wird von Gutenberg als *Elastizität der Kosten* bezeichnet.

In den letzten Jahren entstanden zahlreiche Artikel, die sich mit produktionswirtschaftlicher *Flexibilität* beschäftigen. Suarez et al. unterteilen die wissenschaftliche Literatur dieses Themengebiets in vier Bereiche¹⁵⁷:

- (a) Den Fokus auf die *geschichtliche Entwicklung* der Produktionsflexibilität und deren *Bedeutung als strategischem Wettbewerbsfaktor* für Unternehmen, Branchen und Länder richten u.a. Harrigan (1985), Cusumano (1992) und Burmann (2002).

¹⁵³ Vgl. zur Literatur der Realoptionstheorie u. a. Myers, S. (Realoptionstheorie, 1977), Trigeorgis (Realoptionen, 2000), Lucke, C. (Realoptionstheorie, 2001), Mayer, A. (Strategische Flexibilität, 2001).

¹⁵⁴ Vgl. Nagel, M. (Flexibilitätsmanagement, 2003).

¹⁵⁵ Vgl. Stigler, G. (Produktion und Distribution, 1939), S. 305ff.

¹⁵⁶ Vgl. Gutenberg, E. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1951), S. 330ff.

¹⁵⁷ Vgl. Suarez, F. et al. (Produktionsflexibilität, 1995), S. 25.

- (b) Einen *Überblick über die bestehende Literatur* liefern Sethi und Sethi (1990), Hyun und Ahn (1990) oder Vokurka und O'Leary-Kelly (2000).
- (c) Mit der *Entwicklung eines Klassifizierungssystems* zu den unterschiedlichen Arten der Produktionsflexibilität beschäftigen sich u. a. Buzacott (1982), Gerwin (1993), Shewchuk et al. (1998) oder D'Souza und Williams (2000).
- (d) Die *Auswirkungen unterschiedlicher Produktionsflexibilität auf die Leistung* werden insbesondere von Jaikumar (1986) oder Fiegenbaum und Karnani (1991) untersucht.

Im Gegensatz dazu identifizieren De Toni und Tonchia¹⁵⁸ insgesamt *sechs Forschungsbereiche produktionswirtschaftlicher Flexibilität*, die im Folgenden näher erläutert werden:

(1) *Definition produktionswirtschaftlicher Flexibilität*

Die Literatur zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität ist dadurch geprägt, dass eine *einheitliche Definition des Flexibilitätsbegriffs fehlt*. So zählen Shewchuk und Moodie beispielsweise mehr als siebzig unterschiedliche Flexibilitätsdefinitionen.¹⁵⁹ Im Folgenden sind drei Definition exemplarisch aufgeführt:

- (a) Upton bezeichnet produktionswirtschaftliche Flexibilität als „ability to change or react with little penalty in time, effort, cost or performance¹⁶⁰.“
- (b) Nach Swamidass bestimmt sich diese als „capacity of a manufacturing system to adapt successfully to changing environmental conditions as well as changing product and process¹⁶¹.“
- (c) Für Zhang et al. definiert sich diese als “ability of the organisation to manage production resource and uncertainty to meet various customer requests¹⁶².“

Insgesamt lassen sich zwei Kerncharakteristiken erkennen, die in nahezu allen Definitionen vorhanden sind. Zum einen wird produktionswirtschaftliche Flexibilität benötigt, um *Änderungen* aufzufangen, die *durch inner- und außerbetriebliche Unsicherheiten* entstehen. Zum anderen bezieht sie sich auf die *Fähigkeit eines Produktionssystems, die*

¹⁵⁸ Vgl. De Toni, A., Tonchia, S. (Produktionsflexibilität, 1998), S. 1587ff.

¹⁵⁹ Vgl. Shewchuk, J.P., Moodie C.L. (Manufacturing Flexibility, 1998), S. 325ff.

¹⁶⁰ Upton, D. M. (Flexibilität, 1994), S. 73.

¹⁶¹ Swamidass, P. M. (Produktionsflexibilität, 2000), S. 399.

¹⁶² Zhang, Q. et al. (Produktionsflexibilität, 2003), S. 178.

Ressourcen erfolgreich den Änderungen anzupassen. Zudem werden in der produktionswirtschaftlichen Literatur einige Begriffe eingesetzt, die teilweise synonym zum Begriff der *Flexibilität* verwendet werden. Spring und Dalrymple¹⁶³ zählen dazu neben der *Totalen Flexibilität (Total Flexibility)*¹⁶⁴ insbesondere den *Begriff der Agilität (Agility)*¹⁶⁵. BAKER sieht den *Unterschied zwischen Agilität und Flexibilität* im unterschiedlichen Anwendungskontext. Von *Flexibilität* wird insbesondere in Zusammenhang mit der operativen Ebene gesprochen, wohingegen der Schwerpunkt der *Agilität* im strategischen Kontext liegt. *Flexibilität* im operativen Bereich stellt die Grundlage für die *Agilität* eines organisatorischen Netzwerks dar¹⁶⁶.

(2) *Marktentwicklungen, die produktionswirtschaftliche Flexibilität erfordern*

Zu den *Faktoren bzw. Marktentwicklungen*, die produktionswirtschaftliche Flexibilität erfordern, zählen

- eine steigende Unsicherheit der Nachfrage,
- kürzer werdende Produktlebenszyklen,
- zunehmender Umfang der Produktsortimente,
- steigende Kundenwünsche und
- immer kürzere Lieferzeiten.

(3) *Messung produktionswirtschaftlicher Flexibilität*

Bei der Bewertung und Messung produktionswirtschaftlicher Flexibilität ergeben sich *zahlreiche Schwierigkeiten*, die auf mehreren Faktoren basieren¹⁶⁷. Zum einen handelt es sich um die *Messung einer potentiellen und nicht einer tatsächlichen Leistung*. Zum anderen *fehlt* es, wie bereits erläutert, an einer *praktikablen Klassifizierung*. Hinzu kommt die Mehrdimensionalität des Forschungsgebietes. Insgesamt orientiert sich die Literatur zur Messung an der Literatur zur Klassifizierung produktionswirtschaftlicher

¹⁶³ Vgl. Spring, M. and Dalrymple, J. F. (Produktionsstrategien, 2000), S. 441ff.

¹⁶⁴ Unter *Totaler Flexibilität* wird die Fähigkeit eines Produktionssystems verstanden, einem Kunden zu jeder Zeit ein qualitativ hochwertiges Produkt zu Massenproduktionskosten zu liefern. Dies entspricht dem Konzept der *Mass customization*. (Vgl. hierzu Pine B. J. (Mass customization, 1993)).

¹⁶⁵ Vgl. Abschn. 2.2 zum Begriff der *Agilität* im Supply Chain Management.

¹⁶⁶ Vgl. Baker, J. (Agilität und Flexibilität, 1996).

¹⁶⁷ Vgl. hierzu Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1987), S. 35ff, Upton, D. M. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1995), S. 74ff.

Flexibilitätsarten¹⁶⁸. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich zudem aus den Messkriterien, die von der Unsicherheit der Umwelt, der Unternehmensziele und der Maschinenleistungsfähigkeit abhängen¹⁶⁹. Insbesondere die Unbestimmtheit dieser Faktoren erschwert eine praktikable Messung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in den bisherigen Ansätzen hauptsächlich drei unterschiedliche Messkriterien angewendet werden¹⁷⁰.

- (a) *Maximal erreichbare Anzahl oder Bandbreite von Produktionsmöglichkeiten innerhalb einer bestimmten Zeit*

Nach Gerwin ist das in der Praxis am häufigsten verwendete Messkriterium die *Anzahl der Produktionsmöglichkeiten, die innerhalb einer vorgegebenen Zeit erreicht werden können*¹⁷¹. Das bedeutet, dass ein Produktionssystem umso flexibler ist, je höher die Anzahl der Möglichkeiten ist, mit denen es auf unterschiedliche Kundenanforderungen eingehen kann.

- (b) *Organisatorische Mobilität des Unternehmens, einen veränderten Zustand einzunehmen*

Dazu zählen sowohl die *Zeit* als auch die *Kosten*, die für eine solche Veränderung benötigt werden. Ein Produktionssystem, das schnell und kostengünstig seinen Zustand ändert, ist flexibler als ein System, das für den gleichen Wechsel eine längere Zeit benötigt und höhere Kosten verursacht¹⁷².

- (c) *Leistung, die innerhalb einer vorgegebenen Bandbreite von Produktionsmöglichkeiten erzielt wird*

In Gegensatz zu (1) ist bei diesem Messkriterium die maximal erreichbare Anzahl von Möglichkeiten bekannt. Es wird gemessen, welche Leistung innerhalb dieser Möglichkeiten erreicht wird.

¹⁶⁸ Vgl. Gupta, Y. P., Goyal, S. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1989), S. 119ff.

¹⁶⁹ Vgl. hierzu. Gupta, D. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1993), S. 2947ff.

¹⁷⁰ Vgl. hierzu u.a. die Arbeiten von Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1987), Gerwin, D. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1993), Upton, D. M. (Flexibilität, 1994) und Koste L. J., Malhorta M. K. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1999).

¹⁷¹ Vgl. Gerwin, D. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1993), S. 38ff.

¹⁷² Vgl. Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1987), S. 35ff.

(4) *Ausgestaltung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität*

Dieser Teil der Literatur beschäftigt sich hauptsächlich mit den in den 80er- und 90er-Jahren entwickelten sog. *Flexiblen Fertigungssystemen*. In diesen Bereich gehören sowohl die technologische als auch die organisatorische Ausgestaltung der betrachteten Produktionssysteme¹⁷³.

(5) *Interpretation der produktionswirtschaftlichen Flexibilität*

Ebenso wie in den bisher erwähnten Forschungsbereichen gibt es auch im Falle der *Interpretation produktionswirtschaftlicher Flexibilität* eine große Zahl unterschiedlicher Ansätze. Insbesondere kann *produktionswirtschaftliche Flexibilität* als

- *Ziel (ex ante) oder Ergebnis (ex post) eines Leistungsprozesses*¹⁷⁴,
- *potentielle oder tatsächliche Leistung*¹⁷⁵,
- *strategische oder operative Eigenschaft*¹⁷⁶ oder
- *unabhängig von bzw. im Zusammenhang mit anderen Unternehmenszielen*¹⁷⁷

interpretiert werden.

(6) *Klassifizierung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität*

Dieses von De Toni und Tonchia¹⁷⁸ als letztes erwähnte *Forschungsgebiet produktionswirtschaftlicher Flexibilität* soll im nachfolgenden Abschn. 3.3 ausführlicher betrachtet werden.

¹⁷³ Vgl. hierzu ausführlich De Toni, A., Tonchia, S. (Produktionsflexibilität, 1998), S. 1608f.

¹⁷⁴ Vgl. hierzu Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1983), S. 9ff.

¹⁷⁵ Vgl. hierzu Upton, D. M. (Flexibilität, 1994).

¹⁷⁶ Vgl. hierzu Gerwin, D. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1993) und Sanchez, R. (Strategische Flexibilität, 1995).

¹⁷⁷ Vgl. hierzu Mandelbaum, M., Buzacott, J. A. (Flexibilität, 1990).

¹⁷⁸ Vgl. De Toni, A., Tonchia, S. (Produktionsflexibilität, 1998), S. 1587ff.

3.3 Konzepte zur Klassifizierung produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsstrukturen

3.3.1 Überblick

In zahlreichen Klassifikationsbeiträgen wird versucht, eine praktikable Systematisierung der produktionswirtschaftlichen Flexibilitätsarten zu erreichen¹⁷⁹. In den meisten Fällen wird diese Zielsetzung jedoch weit verfehlt. Dies kann durch das Forschungsfeld erklärt werden, das sich auf sehr heterogene Branchen erstreckt¹⁸⁰. Erschwerend kommen zahlreiche Inkonsistenzen in den Begriffsverwendungen hinzu¹⁸¹. Upton stellte dazu bereits 1994 fest, dass die Handhabung produktionswirtschaftlicher Flexibilität durch die Einführung eines einheitlichen Klassifizierungssystems erleichtert würde. Das damit einhergehende Ziel, Vieldeutigkeiten und Inkonsistenzen zu vermeiden, kann als gescheitert angesehen werden.

In Folgenden werden stellvertretend für die zahlreichen Veröffentlichungen zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität vier *unterschiedliche Konzepte zur Beschreibung und Einordnung produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsstrukturen* vorgestellt. Dabei handelt es sich um Beiträge von Sethi und Sethi (1990), Gerwin (1993), Koste und Malhorta (1999) sowie D'Souza und Williams (2000)¹⁸².

Dem Artikel von Sethi und Sethi fällt eine wegweisende Rolle auf dem Gebiet der Klassifizierung zu¹⁸³. In dem Beitrag wird die relevante Literatur der 70er- und 80er-Jahre zusammengefasst und darauf basierend elf unterschiedliche Flexibilitätsdimensionen entwickelt. Gerwin betrachtet den *Einfluss der Unsicherheit* in der Umwelt auf die

¹⁷⁹ Vgl. hierzu u. a. Buzacott, J. A., Yao, D. D. (Produktionsflexibilität, 1986), Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1987), Gupta, Y. P., Goyal, S. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1989), Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990), De Groote, X. (Produktionsflexibilität, 1994), Koste L J., Malhorta M. K. (Produktionsflexibilität, 1999), Beach, R. et al. (Produktionsflexibilität, 2000), D' Souza, D. E., Williams, F. P. (Produktionsflexibilität, 2000), Vokurka, R. J., O'Leary-Kelly, S. (Produktionsflexibilität, 2000).

¹⁸⁰ Vgl. Swamidass, P. M. (Produktionsflexibilität, 1988).

¹⁸¹ Vgl. Kumar, V. (Produktionsflexibilität, 1996).

¹⁸² Vgl. Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990), Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1993), D' Souza, D. E., Williams, F. P. (Produktionsflexibilität, 2000) und Koste L J., Malhorta M. K. (Produktionsflexibilität, 1999).

¹⁸³ Vgl. Kara, S., Kayis, B. (Produktionsflexibilität, 2004), S. 466.

produktionswirtschaftliche Flexibilität und deren Auswirkungen auf die Unternehmensstrategie. Bezugnehmend auf die Organisationsstruktur entwickeln Koste und Malhorta eine *Fünf-Stufen-Hierarchie*. Dabei stellt die produktionswirtschaftliche Flexibilität neben der Marketing-, der Forschungs- und Entwicklungs- und der Systemflexibilität sowie der organisatorischen Flexibilität eine funktionale Flexibilitätsebene dar. Die gesamte produktionswirtschaftliche Flexibilität ergibt sich aus dem Zusammenwirken der Werks-, der Fertigungsstufenflexibilität und der Flexibilität des Individuums. D'Souza und Williams schlagen eine Zweiteilung der produktionswirtschaftlichen Flexibilitätsdimensionen in unternehmens- und umweltgetriebene Bestandteile vor. Die Grundlage dafür bildet ein Konzept aus den 80er Jahren, das die Unterteilung der Unternehmensbereiche in unternehmens- und umweltorientierte Komponenten verfolgt¹⁸⁴.

3.3.2 Hierarchische Drei-Ebenen-Struktur von Sethi und Sethi

Sethi und Sethi sehen die Flexibilität eines Systems „as its adaptability to a wide range of possible environments that it may encounter¹⁸⁵.“ Einer Definition von Kickert folgend¹⁸⁶, wird *Flexibilität* weiter ausgeführt als „metacontrol aimed at increasing control capacity by means of an *increase in variety, speed and amount of responses* as a reaction to uncertain future environmental developments¹⁸⁷.“

Daraus abgeleitet ergibt sich produktionswirtschaftliche Flexibilität als Fähigkeit „to reconfigure manufacturing resources so as to produce efficiently different products of acceptable quality¹⁸⁸.“ Aus dieser Definition wird deutlich, dass Manufacturing Flexibility mehr ist als die bloße Möglichkeit zur Mengenanpassung gegebener Produktionsanlagen.

In einem umfassenden Ansatz stellt Produktionsflexibilität die strukturierte Ausgestaltung der betrieblichen Ressourcen, die für die Herstellung verschiedener Produkte benötigt werden, dar. Zielsetzung ist eine möglichst effiziente Produktion, bei der Produkte in einer

¹⁸⁴ Vgl. hierzu Hambrick, D.C. et al. (Unternehmensstrategie, 1982) und Galbraith, C.S., Schendel, D.E. (Unternehmensstrategie, 1983).

¹⁸⁵ Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990), S. 295.

¹⁸⁶ Vgl. Kickert, W.J. (Flexibilität, 1985), S. 6ff.

¹⁸⁷ Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990), S. 295 (Hervorhebung durch den Verfasser)

¹⁸⁸ Ebd. (Hervorhebung durch den Verfasser).

akzeptablen Qualität hergestellt werden. Insbesondere der Aspekt der Strukturierung ist in diesem Zusammenhang zu beachten. Produktionsflexibilität ist das *Ergebnis eines strukturierten Planungsprozesses*, in dem die Ausgestaltung und Anordnung bestimmter Flexibilitätsarten die gesamte Produktionsflexibilität ergibt. Sethi und Sethi entwickeln dafür ein System unterschiedlicher Flexibilitätsarten, die in einer hierarchischen Dreiebenen-Struktur zueinander in Beziehung gesetzt werden, wie in Abb. 3.3 dargestellt¹⁸⁹.

Die unterste Ebene *Basisflexibilität (component or basic flexibilities)* stellt dabei die Grundlage für die beiden höheren Ebenen der *Systemflexibilität (system flexibilities)* und der *Aggregierten Flexibilität (aggregate flexibilities)* dar.

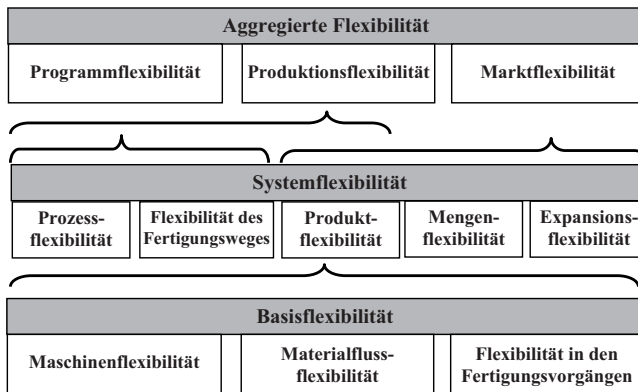


Abb. 3.3: Verknüpfungen zwischen den einzelnen produktionswirtschaftlichen Flexibilitätsarten nach Sethi und Sethi

Die Bestandteile der *Basisflexibilität* sind die *Maschinen-* und *Materialflussflexibilität* sowie die *Flexibilität in den Fertigungsvorgängen*. Maschinenflexibilität (machine flexibility) bezieht sich auf die verschiedenen Arbeitsgänge, die von einer Maschine durchgeführt werden können. Um die Maschinenflexibilität zu gewährleisten, ist die Materialflussflexibilität (material handling flexibility) unabdingbar. Diese beschreibt die Fähigkeit, die unterschiedlichen für den Fertigungsprozess nötigen Teile effizient bereitzustellen. Unter Flexibilität in den Fertigungsvorgängen (operation flexibility) wird

¹⁸⁹ Acht der elf aufgeführten Flexibilitätsdimensionen gehen auf Browne et al. (Flexible Manufacturing Systems, 1984) zurück.

die Fähigkeit verstanden, ein Teil auf unterschiedliche Arten herzustellen. So kann z.B. der Arbeitsvorgang Entgraten eines halbfertigen Metallerteignisses entweder durch Abbürsten mit einer Drahtbürste oder Eintauchen in ein Absetzbecken erfolgen. Während sich die drei Arten der Basisflexibilität am jeweiligen Fertigungsvorgang ausrichten bzw. einen engen Zusammenhang zur fertigenden Maschine aufweisen, orientiert sich die Systemflexibilität am gesamten Herstellungsprozess.

Die *Systemflexibilität* setzt sich aus der *Prozess-*, *Produkt-*, *Mengen-* und *Expansionsflexibilität* sowie der *Flexibilität des Fertigungsweges* zusammen. Die *Prozessflexibilität* (*process flexibility*) hängt von der Breite des Produktprogramms ab, das ein Produktionssystem fertigen kann, ohne dass dabei größere Umrüstungsvorgänge anfallen. *Produktflexibilität* (*product flexibility*) stellt die Fähigkeit des gesamten Produktionssystems dar, bestehende durch neue Produkte zu ersetzen oder neue Produkte in das Produktionsprogramm aufzunehmen. Bei der Produktflexibilität geht es also wie bei der Prozessflexibilität darum, ein breiteres Produktprogramm herzustellen. Allerdings liegt der Schwerpunkt auf einer Änderung des gesamten Produktionssystems. Die *Flexibilität des Fertigungsweges* (*routing flexibility*) gibt die Fähigkeit des Produktionssystems wieder, ein Produkt auf unterschiedlichen Wegen durch das Produktionssystem herzustellen. Mit unterschiedlichen „Wegen“ sind unterschiedliche Maschinen, Fertigungsvorgänge und Fertigungsreihenfolgen gemeint. Die auf der Ebene der Basisflexibilität bereits erwähnte Flexibilität des Fertigungsweges wird als Bestandteil der *Flexibilität im Fertigungsvorgang* angesehen. Die Fähigkeit eines produktions-wirtschaftlichen Systems, ausgehend von einer unsicheren Nachfrage unterschiedliche Outputmengen zu realisieren, wird als *Mengenflexibilität* (*volume flexibility*) bezeichnet. Während die Mengenflexibilität von Variationsmöglichkeiten eines bestehenden Systems ausgeht, betrachtet die *Expansionsflexibilität* (*expansion flexibility*) die Fähigkeit des Systems zur Weiterentwicklung und damit zur Erhöhung der Mengenflexibilität.

Zu den Arten der *Aggregierten Flexibilität* zählen die *Programm-*, die *Herstell-* und die *Marktflexibilität*. Während sämtliche Arten der *Systemflexibilität* jeweils alle Arten der *Basisflexibilität* voraussetzen, gilt dies für die *Aggregierte Flexibilität* nicht: Jede Art der *Aggregierten Flexibilität* basiert jeweils nur auf bestimmten Arten der *Systemflexibilität*. So setzt sich die *Programmflexibilität* (*program flexibility*) aus der Prozessflexibilität und der Flexibilität des Fertigungsweges zusammen. Sie gewährleistet, dass ein System längere

Zeit ohne Ausfälle funktionieren kann. Programmflexibilität steht also insgesamt für die Fähigkeit des Systems, ein bestehendes Produktionsprogramm zu fertigen, ohne dass dabei größere Umrüstungsvorgänge anfallen. Die *Produktionsflexibilität* (*production flexibility*) basiert ebenfalls auf der Prozessflexibilität und der Flexibilität des Fertigungsweges. Im Vergleich zur Programmflexibilität kommt noch die Produktflexibilität hinzu. Die Produktionsflexibilität ist die Fähigkeit des Systems, mehrere unterschiedliche Produkte herzustellen, ohne größere Zusatzinvestitionen für den Herstellprozess aufzubringen. Der Hauptvorteil der Produktionsflexibilität liegt in der Risikominimierung, da durch Produktion mehrerer unterschiedlicher Produkte Risk-Pooling-Effekte erzielt werden¹⁹⁰. Die *Marktflexibilität* (*market flexibility*) setzt sich neben der Produktflexibilität auch aus der Mengen- und Expansionsflexibilität zusammen. Sie stellt die Eigenschaft des Systems dar, auf grundlegende Marktveränderungen reagieren zu können. Damit sind insbesondere Änderungen in der Nachfragemenge gemeint, die entweder durch das gegebene System oder dessen Erweiterbarkeit realisiert werden können.

3.3.3 Flexibilitätsdimensionen nach Gerwin

Das von Gerwin entwickelte Modell setzt produktionswirtschaftliche Flexibilität in einen weiten Zusammenhang¹⁹¹. Abb. 3.4 verdeutlicht den konzeptionellen Rahmen, der der Arbeit von Gerwin zugrunde liegt.

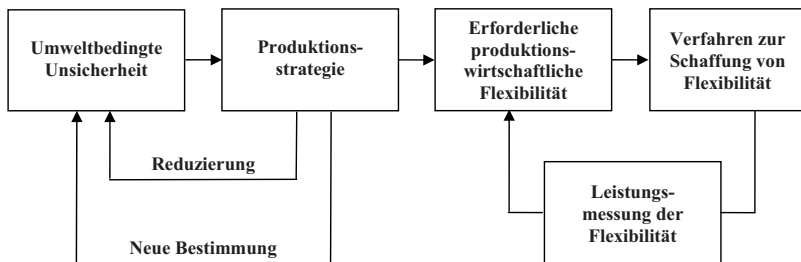


Abb. 3.4: Konzeptioneller Rahmen des Flexibilitätsansatzes von Gerwin

¹⁹⁰ Vgl. zum Begriff Risk-Pooling stellvertretend Diruf, G. (Risk-Pooling-Strategien, 2005).

¹⁹¹ Vgl. Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1993).

Insgesamt beinhaltet das Modell fünf Variablen: die *umweltbedingte Unsicherheit*, die *Produktionsstrategie*, die *erforderliche Produktionsflexibilität*, die *Verfahren zur Schaffung von Flexibilität* und die *Leistungsmessung der Flexibilität*.

Eine Reduzierung der *umweltbedingten Unsicherheit* kann durch Auswahl einer geeigneten Produktionsstrategie erreicht werden. Die Auswahl muss laufend überprüft werden. Durch die Produktionsstrategie wird zudem die erforderliche produktionswirtschaftliche Flexibilität geschaffen. Ähnlich wie Sethi und Sethi nimmt Gerwin eine Einteilung der produktionswirtschaftlichen Flexibilitätsarten vor. Gerwin setzt dabei den Begriff der Flexibilitätsdimension ein. Insgesamt verwendet Gerwin sieben Dimensionen, um die gesamte produktionswirtschaftliche Flexibilität eines Unternehmens zu erfassen. Jede Flexibilitätsdimension stellt dabei eine produktionswirtschaftliche Antwort auf eine ganz bestimmte Art der unsicheren Umwelt dar. Abb. 3.5 verdeutlicht das Zusammenwirken der Unsicherheitsart mit der korrespondierenden Flexibilitätsdimension.

Art der Unsicherheit	Korrespondierende Flexibilitätsdimension
Marktakzeptanz der verschiedenen Produktvarianten	Produkt-Mix
Spezifische Produkteigenschaften	Produktveränderung
Produktnachfrage	Menge
Länge des Produktionslebenszyklus	Produktinnovation
Maschinenausfall	Umsteuerung
Materialeigenschaften	Material
Umweltrisiken	Strategie

Abb. 3.5: Arten von Unsicherheit und korrespondierende Flexibilitätsdimension nach Gerwin¹⁹²

¹⁹² Vgl. Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1993), S. 398.

Die gesamte produktionswirtschaftliche Flexibilität eines Unternehmens besteht aus sieben Flexibilitätsdimensionen, die von Gerwin folgendermaßen definiert werden:

- *Produkt-Mix-Flexibilität (mix flexibility)* ist die Fähigkeit des Unternehmens, unterschiedliche Produktvarianten herzustellen. Sie ist erforderlich, weil vor Beginn der Verkaufssaison noch nicht feststeht, welche bestehenden Varianten in welchen Mengen nachgefragt werden¹⁹³.
- Mit *Produktveränderungsflexibilität (modification flexibility)* können bestehende Produkte gemäß den Marktgegebenheiten verändert werden.
- *Mengenflexibilität (volume flexibility)* erlaubt eine Reduzierung oder Erhöhung der ursprünglich geplanten Produktionsmenge.
- *Produktinnovationsflexibilität (changeover flexibility)* stellt das Vermögen eines Unternehmens dar, neue Produkte in das Produktionsprogramm aufzunehmen. Dies ist insbesondere wegen der immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen erforderlich.
- *Umsteuerungsflexibilität (rerouting flexibility)* bedeutet, einen Ausfall bestimmter Produktionsmaschinen durch andere Produktionswege zu kompensieren.
- *Materialflexibilität (material flexibility)* ist die Fähigkeit, ein Fertigungsmaterial durch ein anderes zu ersetzen.
- Mit dem *strategischen Reaktionsvermögen (flexibility responsiveness)* wird das Unternehmen in die Lage versetzt, sämtliche Flexibilitätsdimensionen kombiniert einzusetzen.

Um die *erforderliche produktionswirtschaftliche Flexibilität* der jeweiligen Dimension festzulegen, wird zudem eine funktionierende *Leistungsmessung der Flexibilität* benötigt. In diesem Zusammenhang geht Gerwin auf den bereits in Abschn. 3.1 diskutierten Mangel an praktikablen Methoden ein¹⁹⁴.

¹⁹³ SETHI und SETHI verwenden dafür den Begriff der Prozessflexibilität (vgl. Abschn. 3.2.2).

¹⁹⁴ Behandelt werden u. a. die Konzepte von Dixon, J. R. (Messung der Produktionsflexibilität, 1992) Mandelbaum, M., Buzacott, J. A. (Flexibilität, 1990) und Graves, S. C., Jordan, W. C. (Produktionsflexibilität, 1991).

3.3.4 Fünf-Stufen-Hierarchie nach Koste und Malhorta

Zur Klassifizierung der Flexibilitätsdimensionen schlagen Koste und Malhorta eine Fünf-Stufen-Hierarchie (*five-tier-hierarchy*) vor¹⁹⁵ (vgl. Abb. 3.6). Diese Stufen leiten sich aus der Organisationsstruktur ab und beziehen sich aufsteigend auf *Individualressource*, *Fertigungsbereich*, *Produktionswerk*, *Unternehmensfunktionen* und *Strategische Geschäftseinheit*.

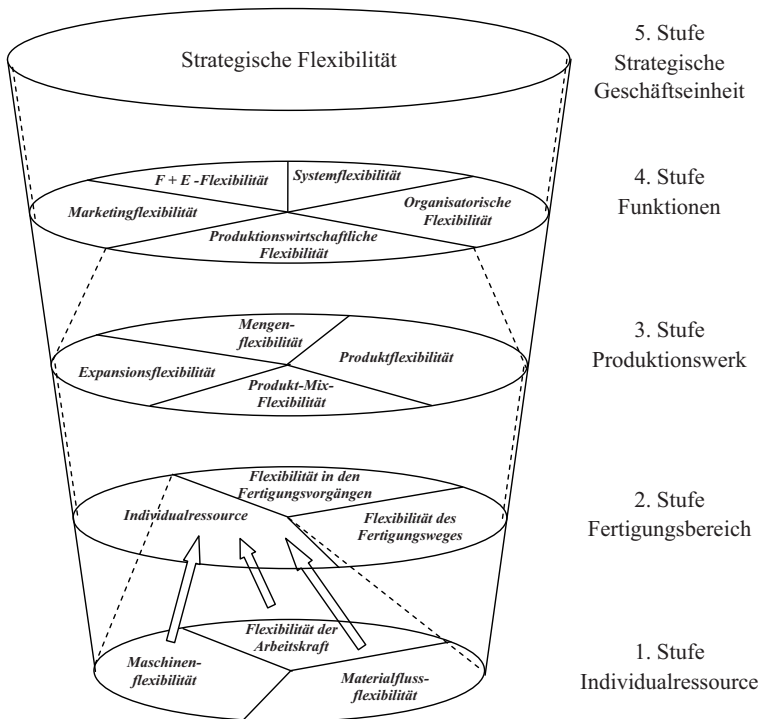


Abb. 3.6: Fünf-Stufen-Hierarchie nach Koste und Malhorta¹⁹⁶

¹⁹⁵ Vgl. Koste L. J., Malhorta M. K. (Produktionsflexibilität, 1999), S. 75ff.

¹⁹⁶ in Anlehnung an Koste, L. J., Malhorta, M. K. (Produktionsflexibilität, 1999), S. 87.

Um die gewünschte Flexibilität im operativen Bereich zu analysieren, muss zuerst die übergeordnete, organisatorische Stufe bestimmt werden. Von dieser Stufe ausgehend wird dann *top down* jede betroffene Flexibilitätsdimension ausgestaltet. Die Definitionen der Flexibilitätsdimensionen, die bereits von Sethi und Sethi verwendet werden, werden größtenteils von Koste und Malhorta übernommen.

Zur *Individualressource* (1. Stufe) zählt neben der *Materialflussflexibilität* (*material handling flexibility*) und *Maschinenflexibilität* (*machine flexibility*), die bereits in der *Ebene der Basisflexibilität* von Sethi und Sethi verwendet werden, auch die *Flexibilität der Arbeitskraft* (*labor flexibility*). Damit ist die Anzahl unterschiedlicher Tätigkeiten gemeint, die eine Arbeitskraft in der Produktion verrichten kann.

Die *Stufe des Fertigungsbereichs* (2. Stufe) setzt sich aus der *Flexibilität der Individualressource* (1. Stufe), der *Flexibilität des Fertigungsweges* (*routing flexibility*) und der *Flexibilität in den Fertigungsvorgängen* (*operation flexibility*) zusammen. Dabei liegt der *Flexibilität des Fertigungsweges* die Definition von Sethi und Sethi zugrunde. Dagegen wird unter *Flexibilität der Fertigungsvorgänge* die Fähigkeit verstanden, die Produktionssequenz zu ändern.

Zur *Werksebene* (3. Stufe) zählen zum einen die *Mengenflexibilität* (*volume flexibility*) und die *Expansionsflexibilität* (*expansion flexibility*), wie sie bereits von Sethi und Sethi auf der Ebene der *Systemflexibilität* verwendet werden. Zum anderen ist die *Produktflexibilität* (*product flexibility*), die die Neuprodukt- und Veränderungsflexibilität beinhaltet, ein Bestandteil der Werksebene. Hinzu kommt die *Produkt-Mix-Flexibilität* (*mix flexibility*), die dem bei Gerwin verwendeten Begriff entspricht.

Diese drei Stufen, die aufeinander aufbauen, ergeben zusammen die gesamte *produktionswirtschaftliche Flexibilität* eines Unternehmens. Diese wiederum bildet zusammen mit der *Marketing-, Forschungs- und Entwicklungs-* und *Systemflexibilität* sowie der *Organisatorischen Flexibilität* die funktionale Flexibilitätsebene (4. Stufe). Die einzelnen Elemente der funktionalen Flexibilität und deren Zusammenwirken ergeben die *Strategische Flexibilität* einer *Strategischen Geschäftseinheit* (5. Stufe).

3.3.5 Unternehmens- und umweltgetriebene Flexibilitätsdimensionen nach D'Souza und Williams

Die von D'Souza und Williams vorgeschlagene Klassifizierung¹⁹⁷ basiert auf dem von Hambrick et al. sowie Galbraith und Schendel entwickelten Konzept der *dominanten Orientierung eines Unternehmens*¹⁹⁸. Damit lässt sich ein Unternehmen anhand zweier Stossrichtungen beschreiben, einer unternehmens- und einer umweltgetriebenen Komponente. Auf diesem Konzept aufbauend unterteilen D'Souza und Williams die Flexibilitätsdimensionen eines Unternehmens in zwei Kategorien.¹⁹⁹

Zu den *umweltgetriebenen Dimensionen (externally-driven dimensions)* zählen die *Mengen-* und die *Produktflexibilität*. Die hauptsächlich *unternehmensgetriebenen Dimensionen (internally-driven dimensions)* sind die *Prozess-* und die *Materialflussflexibilität*. Die vier Dimensionen werden zudem anhand der beiden Kriterien *Spannbreite (range)* und *Beweglichkeit (mobility)* bewertet.²⁰⁰

Die *Mengenflexibilität (volume flexibility)* stellt die Fähigkeit des Produktionssystems dar, den Ausstoß zu verändern. Die Ausstoßmengen, bei denen das Unternehmen einen Gewinn erwirtschaftet, entsprechen der *Spannbreite*. Die *Beweglichkeit* der Mengenflexibilität zeigt sich in der *Zeit* und den *Kosten*, die benötigt werden, um die reduzierte oder vergrößerte Produktionsmenge zu erreichen.

Zur Dimension *Variantenflexibilität (variety flexibility)* gehört neben der Fähigkeit, verschiedene Produkte mit einem Produktionssystem zu fertigen, auch die Eigenschaft, neue Produkte aufzunehmen. Die *Spannbreite* wird durch die Anzahl der unterschiedlichen und der neuen Produkte, die in einem bestimmten Zeitraum gefertigt werden, festgelegt. Mit der für die Einführung benötigten *Zeit* und den damit verbundenen *Kosten* wird die *Beweglichkeit* dieser Dimension gemessen.

¹⁹⁷ Vgl. D' Souza, D. E., Williams, F. P. (Produktionsflexibilität, 2000), S. 577ff.

¹⁹⁸ Vgl. hierzu Hambrick, D.C. et al. (Unternehmensstrategie, 1982) und Galbraith, C.S., Schendel, D.E. (Unternehmensstrategie, 1983).

¹⁹⁹ Die von D'SOUZA und WILLIAMS verwendeten Flexibilitätsdimensionen orientieren sich an den Arbeiten von Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990, Vgl. Abschn. 3.2.2), Gupta, Y.P., Somers, T.M. (Produktionsflexibilität, 1996) und Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1993).

²⁰⁰ Vgl. D' Souza, D. E., Williams, F. P. (Produktionsflexibilität, 2000), S. 577ff.

Die *Prozessflexibilität (process flexibility)* resultiert aus der Fähigkeit eines Prozesses, auf unerwartete Störungen bzw. Änderungen im Produktionsprogramm angemessen zu reagieren. Die *Spannbreite* wird ermittelt durch die Anzahl an Fertigungsvorgängen, die ein Prozess ohne kostenaufwendige Unterbrechungen zustande bringt. Die *Beweglichkeit* wird an der Zeit, die für die Umstellung von dem einen auf den anderen Produkt-Mix benötigt wird, und an den dadurch anfallenden Kosten gemessen.

Unter *Materialflussflexibilität (material handlings flexibility)* wird die Fähigkeit des Produktionssystems verstanden, das passende Material auf den jeweiligen Produktionsstufen bereitzustellen. Die *Spannbreite* ergibt sich aus der Anzahl der Möglichkeiten, die Produktionsmaschinen unterschiedlich zu verknüpfen und aus der Anzahl der Routen, auf denen das Material durch das Produktionssystem bewegt werden kann. Die *Beweglichkeit* der Dimension Materialflussflexibilität kann an dem Anteil der Bestandhaltungskosten an den Gesamtkosten gemessen werden.

3.4 Schwächen und Begrenzungen bisheriger Flexibilitätstheorien

3.4.1 Defizite bei der Strukturierung, Fundierung und Operationalisierung von Wirkungszusammenhängen

Bei zusammenfassender Betrachtung der umfangreichen Literatur zur Flexibilität von Produktionsprozessen, Produktionsunternehmen und Supply Chains gewinnt man zunächst die durchaus nicht selbstverständliche Erkenntnis, dass es sich um ein *extrem vielgestaltiges und komplexes Forschungsgebiet* handelt. Indikatoren hierfür sind zahlreiche heterogene Strukturierungsversuche und -ansätze mit

- *mehreren Entscheidungs- und Systemebenen* (vgl. insbesondere Abschn. 3.3) und
- einer großen Zahl unterschiedlicher *Flexibilitätsdimensionen, -typen und -messgrößen* (vgl. Abschn. 3.2),

die letztlich zu einer *verwirrenden Vielfalt teilweise inkompatibler Begriffssysteme* geführt haben (vgl. die in Abschn. 3.2 identifizierten über 70 unterschiedlichen Flexibilitätsdimensionen²⁰¹). Ein weiterer Indikator der Problemkomplexität und des begrenzten Wissenstandes ist darin zu sehen, dass sich viele wissenschaftliche Beiträge weitgehend

²⁰¹ Vgl. Shewchuk, J.P., Moodie C.L. (Manufacturing Flexibility, 1998), S. 325ff.

auf die *Definition und Klassifizierung von Flexibilitätsbegriffen* beschränken. Bei der Formulierung und Operationalisierung der *komplexen Wirkungszusammenhänge* zwischen den definierten Gestaltungsvariablen, Flexibilitätstypen und Systemebenen findet man dagegen häufig nur plausible Vermutungen anstelle der erforderlichen *modellgestützten oder empirischen Fundierungen*. Aufgrund dieser Defizite können die im Rahmen der *Supply-Chain-Theorien* offen gebliebenen Fragen zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität (vgl. Abschn. 2.6) auch von den derzeitigen *Flexibilitätstheorien* nur zu einem geringen Teil beantwortet werden.

3.4.2 Begrenzte quantitative Erkenntnisse zu den Erfolgspotenzialen produktionswirtschaftlicher Flexibilität

Es wurde bereits darauf hingewiesen²⁰², dass sich *Mehrkosten der Flexibilitätsbereitstellung* gegebenenfalls sehr viel leichter und genauer quantifizieren lassen (z.B. mit klassischen Kostenrechnungsmethoden) als die resultierenden *Erfolgspotenziale*. Andererseits steht aber fest, dass Flexibilitätsstrategien nur dann optimiert werden können, wenn nicht nur die Kosten, sondern auch die Nutzungspotenziale von flexiblen Gestaltungs- und Steuerungsalternativen mit hinreichender Genauigkeit abschätzbar sind. Ein dringendes Bedürfnis nach *quantitativen Theorien zur Abschätzung des Flexibilitätsnutzens* tritt insbesondere in Supply Chains mit *hohen Absatzrisiken* auf, weil dort Flexibilitätsstrategien das wirksamste Konzept zur Risikobewältigung darstellen.

Die vorhandene Operations-Research-Literatur hat auf dem angesprochenen Forschungsgebiet durchaus interessante Ansätze vorzuweisen, die meisten Modelle sind aber relativ *realitätsfern*, weil sie von hochabstrakten Szenarien und äußerst einschränkenden Annahmen ausgehen²⁰³. Realitätsnähere Modelle zum Flexibilitätsnutzen könnten somit *wertvolle Beiträge zum Risikomanagement in Supply Chains* leisten.

²⁰² Vgl. Abschn. 3.1 und insbesondere Abschn. 3.2.

²⁰³ Vgl. Tsay, A. (Produktionsflexibilität, 1999), Zhang, Q. et al. (Produktionsflexibilität, 2003), Feng, D.-Z., Yamashiro, M. (Produktionsflexibilität, 2005), Tang, C., Tomlin, B. (Supply-Chain-Flexibilität, 2008), Gong, Z., Hu, S. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 2008).

Eine vielversprechende Modelltheorie zur *Reduzierung von Absatzrisiken durch agile Produktionsprozesse* wurde in jüngster Zeit von Diruf entwickelt²⁰⁴. Als Beitrag zur Weiterentwicklung dieser Theorie sollen in Kapitel vier die Analysen von Diruf zu den *Erfolgspotenzialen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität vertieft* werden. Kapitel fünf ist dann einer *Erweiterung der Theorie auf heterogene Modellsortimente* gewidmet. Diese Erweiterung sprengt die analytischen Möglichkeiten der Wahrscheinlichkeitsrechnung und erfordert somit den Einsatz von *Monte-Carlo-Methoden*.

²⁰⁴ Vgl. Diruf, G. (Mode-Supply-Chains, 2007) und ergänzend Diruf, G. (Risk-Pooling-Kooperationen, 2007), Diruf, G. (Risk-Pooling-Strategien, 2005), Diruf, G. (Produktionspostponement, 2001).

4. Analyse der Risikosenkungspotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien in Supply Chains für homogene Modesortimente²⁰⁵

4.1 Mode-Supply-Chains als idealtypische Beispiele für Supply Chains mit hohen Absatzrisiken

Wenn ausschließlich auf Basis *verbindlicher Kundenaufträge* produziert wird, gibt es für den Produzenten keine Absatzrisiken. Absatzrisiken entstehen erst dann, wenn man *auf Basis unsicherer Verkaufsprognosen* in Produkte und Produktionsprozesse investiert.

Beachtlich können zunächst die *strategischen Absatzrisiken* sein, die mit Investitionen in Neuproduktentwicklungen verbunden sind (Entwicklung neuer Produkte und Prozesse, Errichtung neuer Produktionsanlagen, Entwicklung neuer Absatzkanäle). Hohe strategische Absatzrisiken treten dann auf,

- wenn die neuen Produkte und Prozesse *hohe Innovations sprünge* aufweisen,
- wenn es sich um *hochspezialisierte Produkte und Prozesse* oder um *High-Tech-Produktionen* handelt,
- wenn wegen hoher Größendegressionseffekte *Großanlagen* erforderlich sind,
- oder wenn leistungsfähige Wettbewerber an der *Entwicklung ähnlicher Innovationen* arbeiten (Erfolgsfaktor: Time-to-Market).

Hohen strategischen Absatzrisiken sollten entsprechend *hohe Gewinnchancen* gegenüberstehen.

Im laufenden Produktions- und Absatzbetrieb werden neben den strategischen die *operativen Absatzrisiken* relevant. Operative Absatzrisiken realisieren sich als *Absatzrisikokosten* in Form von zwei kalkulatorischen Kostenarten:

- (1) als *Wertverluste*, die bei jenen Produkten und Produktvarianten eintreten, die in zu großen Mengen produziert wurden, so dass deren Restbestände wegen *technischer oder ökonomischer Veralterung* nicht mehr oder nur noch unter Einstandskosten absetzbar sind (*Überdeckungskosten*).

²⁰⁵ Die Ausführungen in Kap. 4 beruhen weitgehend auf den theoretischen Arbeiten von Diruf (vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007) und sind insoweit nicht als eigene Entwicklungen des Autors zu betrachten.

- (2) als *Opportunitätskosten (entgangene Deckungsbeiträge)*, die dann in Kauf zu nehmen sind, wenn flüchtige Nachfrage verloren geht, weil die nachgefragten Produkte wegen zu geringer Planungsmengen nicht sofort oder nicht in der gewünschten Lieferzeit verfügbar sind (*Unterdeckungskosten, Fehlmengenkosten*).

Welche Supply Chains weisen *hohe operative Absatzrisiken* auf? Aus der Definition der Absatzrisikokosten lassen sich folgende typischen Risikocharakteristiken herleiten:

- (1) *Produkte:*

Produkte, die wegen hoher Innovationsraten der Branche jeweils nach kurzen Verkaufsperioden als technisch oder ökonomisch obsolet gelten und damit deutlich an Wert verlieren (*hohe Überdeckungsrisiken*).

- (2) *Flüchtige Nachfrage:*

Kaufentscheidungen werden nicht vom Funktionswert eines Produktes dominiert, sondern vom Imagenutzen, Prestigenutzen oder momentanen Unterhaltungswert²⁰⁶, es liegt ein hoher Anteil an Impulskäufen vor (*hohe Unterdeckungsrisiken*).

- (3) *Schwer prognostizierbare Nachfrage:*

Vergangenheitsdaten haben nur einen sehr begrenzten Wert für die Vorhersage des künftigen Kaufverhaltens; subjektive Prognosemethoden dominieren (*hohe Nachfrageprognosefehler*).

- (4) *Hohe zeitliche und räumliche Verfügbarkeit der Produkte als Market Qualifier:*

Wenn das Wettbewerbsszenario und die Kundenerwartungen während der Verkaufsperiode eine flächendeckende Sofortverfügbarkeit der Produkte erzwingen, muss i.d.R. ein dezentrales Netz von Fertiglagerbeständen errichtet werden (*hohe Bestandsrisiken*).

- (5) *Lange Vor- und Durchlaufzeiten durch eine vielstufige Supply Chain:*

Produktionsplanungen, die wegen langer Durchlaufzeiten weit entfernte Prognosehorizonte erfordern, sind mit großen Ungenauigkeiten behaftet (*hohe Prognose- und Planungsrisiken*).

²⁰⁶ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 2.

(6) *Großer Reichtum an Produktvarianten:*

Mit der Variantenzahl nehmen die Prognosefehler und die Bestände überproportional zu (*steigende Prognoseunsicherheiten und Bestandsrisiken*).

Überprüft man die Produkt-Markt-Kombinationen der Praxis hinsichtlich der Risikocharakteristiken (1) bis (6), wird deutlich, dass die meisten *Modemärkte* diese Kennzeichen in stark ausgeprägter Form aufweisen. Insbesondere Modeprodukte, die in kurzen, oft rhythmischen Zyklen verkauft werden (*saisonale Modeprodukte*), zeigen die beschriebenen Risikostrukturen. *Mode-Supply-Chains sind deshalb idealtypische Beispiele für Supply Chains mit hohen Absatzrisiken*. Wegen ihres idealtypischen Charakters kann man erwarten, dass *strukturelle Erkenntnisse zu den Risikosenkungspotenzialen von Flexibilitätsstrategien*, die an Mode-Supply-Chains gewonnen werden, auch für andere Supply Chains mit hohen Absatzrisiken gelten.

Eine deutliche Verallgemeinerung des Geltungsbereichs erhält man bereits, wenn man den *Begriff des Modeproduktes sehr weit auslegt*: „Nicht nur Damenkleider und -schuhe werden heute als Modeprodukte verkauft, sondern auch Sportartikel, Spielzeuge oder Konsumelektronik. Darüber hinaus folgen auch in den meisten übrigen Konsumbranchen begrenzte Marktsegmente dem Mode-Paradigma: Nach kurzer Verkaufssaison mit zahlreichen Produktvarianten werden die bisherigen Modeartikel durch die neue Mode entwertet²⁰⁷.“ Vergleicht man diese verallgemeinerte Definition eines Modeproduktes mit den *innovativen Produkten* in der Klassifizierung von Fisher²⁰⁸, lässt sich eine weitgehende Übereinstimmung erkennen.

²⁰⁷ Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 5.

²⁰⁸ Vgl. Fisher, M. L. (*Supply Chain Management*, 1997).

4.2 Einsatz der Modelltheorie von Diruf für eine vertiefte Analyse des Flexibilitätsnutzens

Auf die Modelltheorie von Diruf wurde bereits hingewiesen²⁰⁹. Für eine vertiefte Analyse des Flexibilitätsnutzens erscheint diese Theorie besonders geeignet. Hierfür sprechen u. a. folgende Gründe:

- (1) Es handelt sich um eine *quantitative Theorie* mit expliziten strukturellen Annahmen und logisch nachvollziehbaren Schlussfolgerungen. An plausiblen qualitativen Allgemeinbehauptungen ohne Operationalisierungsanspruch herrscht in der Organisations- und Managementliteratur kein Mangel²¹⁰.
- (2) Die *Nutzwerte von Flexibilitätsstrategien* werden mit Hilfe von Gewinn- und Kostenerwartungen, also mit letztlich entscheidenden *ökonomischen Maßstäben* gemessen. Zahlreiche quantitative Arbeiten zur Flexibilität (besonders im Bereich flexibler Fertigungssysteme) begnügen sich dagegen mit der Entwicklung technischer Maßzahlen für Flexibilitäten und Flexibilitätswirkungen.
- (3) Der *Abstraktionsgrad der Theorie* ist einerseits so hoch, dass die Datenanforderungen überschaubar und die quantitativen Analysen beherrschbar bleiben. Andererseits sind die grundlegenden Modellannahmen trotz starker Vereinfachungen aber noch so realitätsnah, dass wesentliche strukturelle Erkenntnisse ihre Praxisrelevanz behalten.
- (4) Trotz der *begrenzten Parameterzahl* der Modelle werden die drei wesentlichen Dimensionen einer Flexibilitätsstruktur (*Reaktivität, Mengen- und Variantenflexibilität*) quantitativ erfasst (z.T. unmittelbar, z.T. in Form von „Zwischengrößen“)

²¹¹

²⁰⁹ Vgl. Abschn. 3.4.2 und Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007.

²¹⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 6.

²¹¹ Vgl. Abschn. 4.4.1 (3).

4.3 Beschreibung der Modellstruktur

4.3.1 Entscheidungsszenario

Den Ausgangspunkt der Modellierung bildet das folgende *idealtypische Entscheidungsszenario*²¹²:

Ein Unternehmen entwirft und plant ein *innovatives Sortiment von Modeprodukten* (z.B. Wintersportmoden), die in relativ kurzen (typischerweise rhythmischen) *Verkaufszyklen* auf dem Markt angeboten werden. Der modische Charakter der Produkte äußert sich insbesondere darin, dass Artikel, die während der *regulären Verkaufssaison* nicht abgesetzt werden können, so stark an Wert verlieren, dass sie sich (nach der Saison) nur noch *mit Verlusten auf Sekundärmärkten* (z.B. an *Discounter*) *verkaufen lassen*. Die Flüchtigkeit der Modenachfrage tritt aber nicht nur bei *Übermengen* in Erscheinung, sondern auch bei *Fehlmengen*: Nachfrage, die mangels Produktverfügbarkeit nicht „sofort“ befriedigt werden kann, geht „unwiederbringlich“ verloren, so dass im Fehlmengenfall (in weit höherem Ausmaß als bei Standardprodukten) *entgangene Deckungsbeiträge* zu verzeichnen sind.

Die betrachteten Modeprodukte für die „kommende“ Verkaufssaison können teilweise oder zur Gänze auf *Normkapazitäten* oder mit Hilfe von *Reaktivkapazitäten* produziert werden. Normkapazitäten (z.B. in Fernost) sind relativ kostengünstig und „beliebig“ erweiterungsfähig, haben allerdings den Nachteil *langer Planungs-, Vorlauf- und Durchlaufzeiten*. Reaktivkapazitäten (z.B. in Deutschland) können demgegenüber *relativ rasch auf veränderte Nachschubmengenplanungen reagieren*, sie stehen kurzfristig aber nur dann zur Verfügung, wenn sich das Modeunternehmen (z.B. *in Form einer mittelfristigen Reservierung*) an den Leerkapazitätsrisiken beteiligt. Darüber hinaus können Reaktivkapazitäten *höhere Fertigungskosten* aufweisen.

Bei einer *Einzelbetrachtung von Modeartikeln* lassen sich die Entscheidungsprobleme der Produktionsplanung für die Modellierung stark vereinfacht wie folgt darstellen:

Wegen der langen Vorlaufzeiten der Normkapazitäten muss bereits zum *Zeitpunkt t_0* (*Priorzeitpunkt*) relativ lange vor Beginn der Verkaufssaison planerisch festgelegt werden,

²¹² Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 7ff.

- wie hoch die *Mindestproduktionsmenge* sein soll (die i.d.R. mit der Normalkapazität produziert wird) und
- in welchem Umfang eine *Kapazitätsoption* (für Reaktivkapazitäten) erworben wird, die zum späteren Zeitpunkt t_1 in *flexibler Weise für Zusatzmengen* in Anspruch genommen werden kann²¹³.

Zum Priorzeitpunkt t_0 liegen wegen der großen zeitlichen Entfernung zur Verkaufssaison nur *sehr ungenaue Nachfrageprognosen (Priorprognosen)* vor²¹⁴. Die Priorentscheidungen zur Mindestproduktionsmenge und zur Kapazitätsoption sind deshalb mit entsprechend hohen Planungsrisiken behaftet.

Erst zum *Posteriorzeitpunkt* t_1 muss entschieden werden, ob und gegebenenfalls in welchem Umfang eine *Zusatzmenge zur Mindestmenge* mit Hilfe von Reaktivkapazitäten produziert werden soll. Wie weit der Posteriorzeitpunkt an die Verkaufssaison heran- oder sogar in die Verkaufssaison hineingeschoben werden kann, hängt somit von den *Quick-Response-Fähigkeiten der Reaktivkapazitäten* ab. Ein späterer Posteriorzeitpunkt ist i.d.R. mit einer *genaueren Prognose der saisonalen Nachfragemengen*, d.h. mit geringeren Risiken verbunden. Diruf nennt für Modesegmente in der Bekleidungsindustrie folgende idealtypischen Phasen²¹⁵:

„(1) ein Jahr vor Beginn der Verkaufssaison:

relativ ungenaue Erstprognosen mit mittleren Prognosefehlern in der Größenordnung von $\pm 40\%$

(2) ein halbes Jahr vor der Verkaufssaison:

deutliche Prognoseverbesserungen durch neue Informationen, z.B. Ersteinkäufe des Fachhandels oder Ergebnisse von Fachmessen (oft Halbierung der ursprünglichen Prognosefehler)

(3) kurz nach Beginn der Verkaufssaison:

weitere Verbesserungssprünge auf Basis laufend eintreffender artikelgenauer Verkaufsdaten am Point-of-Sale

²¹³ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 83ff.

²¹⁴ Vgl. Abschn. 4.3.2.

²¹⁵ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 5.

Priorzeitpunkte im Modell können wir i.d.R. mit den oben genannten Zeitpunkten (1) gleichsetzen, *Posteriorzeitpunkte* mit den Zeitpunkten (2) oder (3).

Eine wesentliche *Erweiterung des Entscheidungsszenarios* erhält man, wenn man von der Betrachtung einzelner Modeartikel auf die Betrachtung von *Teilsortimenten produktionstechnisch verwandter Artikel* übergeht²¹⁶. Eine produktionstechnische Verwandtschaft besteht insbesondere zwischen jenen Artikeln oder Produktvarianten,

- die weitgehend *dieselben Vorprodukte* benötigen und
- die ohne prohibitive Umrüstkosten *auf denselben Kapazitäten gefertigt* werden können.

Umfasst ein *variantenflexibler Produktionsprozess* ein Teilsortiment von m Artikeln oder Produktvarianten und kann man auf der Nachfrageseite (näherungsweise) von stochastisch unabhängigen Prognosefehlern ausgehen, dann wird die Unsicherheit der geplanten Produktionsmengen durch *Risk-Pooling-Effekte*²¹⁷ gemindert. Die Variantenflexibilität von Produktionsprozessen kann man somit einsetzen,

- um bei *gegebener Mengenflexibilität* (gegebener Kapazitätsoption) die *Absatzrisikokosten (Über- und Fehlmengenkosten)* zu senken oder
- um bei gegebenem Niveau der Absatzrisikokosten bei der *eingesetzten Mengenflexibilität zu sparen*.

Im Modell werden die *Produktionsplanungsprobleme*, die bei produktionstechnisch verwandten Artikeln (Teilsortimenten) auftreten, vereinfacht wie folgt erfasst:

Wegen der *Variantenflexibilität* des (für das betrachtete Teilsortiment relevanten) Produktionsprozesses muss zum *Priorzeitpunkt t_0* (bei ungenauen Nachfrageprognosen) planerisch festgelegt werden,

- wie hoch die *gesamte Mindestproduktionsmenge für das Teilsortiment* sein soll (*nicht*: welche einzelnen Mindestmengen für die m Produktvarianten zu planen sind) und
- in welchem *Gesamtumfang Reaktivkapazitäten* für das betrachtete Sortiment zu reservieren sind.

²¹⁶ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 119ff.

²¹⁷ Vgl. Abschn. 4.4.2 (5).

Bei *wesentlich besserem Informationsstand* (d.h. bei genaueren Nachfrageprognosen) kann dann der Disponent zum *Posteriorzeitpunkt* t_1 darüber entscheiden,

- welche *Einzelartikelmengen* für die m Produktvarianten produziert werden sollen und (simultan mit den Einzelartikelmengen)
- in welchem *Ausmaß* die *prior reservierten Reaktivkapazitäten* zu nutzen sind.

Die *Dispositionsflexibilitat* bei der Einzelmengenplanung wird durch die *prior disponierten Gesamtmengen-Schranken* begrenzt: Die *Summe der Einzelartikelmengen* des betrachteten Teilsortiments

- muss mindestens die *prior* mit den produzierenden Subunternehmern vereinbarte *Mindestproduktionsmengen* erreichen,
- darf aber andererseits nicht so hoch sein, dass die *prior reservierte Reaktivkapazität* (die vereinbarte *Kapazitätsoption*) überschritten wird.

Eine *quantitative Modellierung* des beschriebenen Szenarios muss insbesondere folgende *Strukturen des Entscheidungsprozesses* berücksichtigen:

- (1) *Stufenweise Verminderung und Auflösung der Nachfragerisiken*
 - *Priorzeitpunkt*: „große“ Nachfrageunsicherheit
 - *Posteriorzeitpunkt*: „verminderte“ Nachfrageunsicherheit
 - *Ende der Verkaufssaison*: Realisierung der Nachfragemengen (Auflösung der Nachfrageunsicherheit)
- (2) *Zweistufig verkettete Entscheidungsstruktur der Produktionsplanung*
 - *Priorentscheidungen*:
 - basieren auf „sehr unsicheren“ Nachfrageprognosen
 - setzen Rahmenbedingungen für die Detailentscheidungen zum Posteriorzeitpunkt
 - bestimmen insbesondere in Form der Mengenflexibilität die Entscheidungsfreiheit, mit der später genauere Posteriorprognosen für eine Verbesserung der Planungsmengen genutzt werden können
 - *Posteriorentscheidungen*:
 - basieren auf verbesserten Nachfrageprognosen
 - legen die Einzelartikelmengen „optimal“ fest,

- soweit die prior disponierten unteren und oberen Gesamtmengenschranken dies zulassen
- (3) *Gewinn- und Kostenerwartungen als quantitative Entscheidungskriterien*
- *Risikoneutrale Entscheidungsträger:*
 - Die Verwendung von Gewinn- und Kostenerwartungswerten setzt *risikoneutrale Entscheidungsträger* voraus.
 - Da es sich bei den modellierten Dispositionen um *operative Entscheidungen* handelt, erscheint dies akzeptabel.
 - *Messung der Erfolgspotenziale von Flexibilitätsstrategien:*
 - Flexibilitätsentscheidungen sind *Priorentscheidungen* (vgl. (2)).
 - Die in der vorliegenden Arbeit analysierten Erfolgspotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien werden somit in Form von *Steigerungen der Prior-Gewinnerwartungen* oder in Form von *Senkungen der Prior-Erwartungswerte der Absatzrisikokosten* gemessen.

4.3.2 Modellierung der Nachfragerisiken und des Prognoseverbesserungsprozesses²¹⁸

(1) *Nachfrageprognosen zum Priorzeitpunkt t_0*

Wir nehmen an, dass zum „frühen“ Entscheidungszeitpunkt t_0 für jeden der betrachteten Modeartikel i ($i = 1, \dots, m$) Prognosewerte μ_{0i} [ME] vorliegen, die wir als *erwartungstreue Werte für die Absatzmengen* in der „kommenden“ Verkaufssaison betrachten können. In der Praxis sind diese Prognosewerte i.d.R. Ergebnisse von komplexen Informationsverarbeitungsprozessen, in die u.a. Expertenschätzungen und Nachfragedaten aus vergangenen Verkaufszyklen einfließen.

Besonders wichtig für die Risiko- und Flexibilitätsplanung ist die Annahme, dass es sich bei den Prognosen nicht um sog. „Einpunktvorhersagen“ handelt: Auch das *Ausmaß an Prognoseunsicherheit* muss quantifiziert werden. Im Modellsystem von Diruf wird generell davon ausgegangen, dass die Unsicherheit der Nachfrageprognosen in *Form von*

²¹⁸ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 15ff.

Normalverteilungen erfasst werden kann. „Empirische Erfahrungen stützen die Normalverteilungsannahme²¹⁹.“

Zusammenfassend halten wir also fest: Aus Priorsicht kann die unsichere Nachfragemenge für Artikel i in der „kommenden“ Verkaufssaison mit Hilfe einer *Normalverteilung* mit dem Erwartungswert μ_{0i} und der Standardabweichung σ_{0i} beschrieben werden. Die *Standardabweichung* σ_{0i} ist dabei ein grobes Maß für den *absoluten Prognosefehler* (in Mengeneinheiten). Der *Variationskoeffizient* $v_{0i} = \frac{\sigma_{0i}}{\mu_{0i}}$ (in Prozent) beschreibt den relativen Vorhersagefehler.

(2) *Nachfrageprognosen zum Posteriorzeitpunkt t_1*

Zwischen dem Prior- und dem Posteriorzeitpunkt werden *neue Informationen zugänglich* (z.B. Fruhbestellungen von Schlüsselkunden, Informationen aus Modefachmessen oder Erstverkufe in der beginnenden Verkaufssaison), die einen *Prognoseverbesserungsprozess* in Gang setzen. Als Ergebnis dieses Prognoseverbesserungsprozesses liegen zum Posteriorzeitpunkt t_1 für jeden Artikel i *revidierte Prognosewerte* μ_{1i} vor. Auch die verbesserten Nachfrageprognosen μ_{1i} sind i.d.R. noch mit Unsicherheiten behaftet, d.h. auch diese Prognosen werden mit *Normalverteilungen* beschrieben. Aus bisherigen Erfahrungen lässt sich jedoch für jede Artikelgruppe (und damit letztlich für jeden Artikel i) grob abschätzen, auf *welchen Anteil* α_i *des Priorprognosefehlers* σ_{0i} *der Posteriorprognosefehler* σ_{1i} *sinkt*.

Aus Posteriorsicht gehorcht somit die Saisonnachfrage von Artikel i einer Normalverteilung mit dem „verbesserten“ Erwartungswert μ_{1i} und dem *verminderten Standardprognosefehler* $\sigma_{1i} = \alpha_i \cdot \sigma_{0i}$. Der *Verbesserungsfaktor* α_i ($0 \leq \alpha_i \leq 1$) beschreibt hierbei den Erfolg des Verbesserungsprozesses: Kleine α -Werte (in der Nähe von null) kennzeichnen besonders relevante Nachfrageinformationen (z.B. Erstverkufe), die zu einem sehr geringen Restfehler $\alpha_i \cdot \sigma_{0i}$ führen. Treten andererseits bei bestimmten

²¹⁹ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 15ff., Fisher, M.L. et al. (Supply Chain Management, 1994), Fisher, M. L., Raman, A. (Nachfrageunsicherheit, 1996).

Modeartikeln große α -Werte (in der Nahе von eins) auf, dann leidet die Posterior-Disposition unter denselben Nachfrageunsicherheiten wie die Priordisposition.

(3) *Modellierung des Prognoseverbesserungsprozesses*

Angesichts der Heterogenität und Komplexität möglicher Prognoseverbesserungsprozesse in der Praxis erscheint eine überzeugende Modellierung aussichtslos. Man muss sich jedoch vor Augen halten, dass es im Rahmen der vorliegenden Problemstellung nicht darauf ankommt, den Verbesserungsprozess selbst realitätsnah darzustellen, sondern nur seine *möglichen Ergebnisse* μ_{1i} . Aus Priorsicht sind die Ergebnisse *Zufallsergebnisse*, die einer bestimmten Priorverteilung unterliegen. Es erhebt sich also die Frage: *Welcher Priorverteilung* gehorchen die verbesserten Prognosewerte μ_{1i} ?

Voraussetzungsgemäß sind die Nachfragewerte r_i aus Priorsicht Zufallswerte aus einer Normalverteilung mit den Parametern μ_{0i} , σ_{0i} . Als weitere Annahme halten wir fest, dass *dieselben Nachfragewerte* r_i aus Posteriorsicht einer Normalverteilung mit dem Erwartungswert μ_{1i} und der verminderten Standardabweichung $\alpha_i \cdot \sigma_{0i}$ unterliegen. Gesucht ist somit jene Verteilung für die Zufallsgröße μ_{1i} , die beim zweistufigen Zufallsziehungsprozess $\mu_{0i} \rightarrow \mu_{1i} \rightarrow r_i$ in derselben r_i -Verteilung resultiert wie der einstufige Zufallsziehungsprozess $\mu_{0i} \rightarrow r_i$.

Diruf konnte zeigen²²⁰, dass die gesuchte μ_{1i} -Verteilung eine *Normalverteilung mit dem Erwartungswert* μ_{0i} *und der Standardabweichung* $\sqrt{1-\alpha_i^2} \cdot \sigma_{0i}$ sein muss.

4.3.3 Messung der Risikosenkungspotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien mit Hilfe von Gewinn- und Kostenerwartungen

(1) *Das Newsvendor-Modell als Basismodell*

Würde im Entscheidungsszenario von Abschn. 4.3.1 die Möglichkeit einer Reaktivproduktion von Zusatzmengen zum Posteriorzeitpunkt t_1 verschwinden, müsste der Produktionsplaner bereits zum Priorzeitpunkt t_0 auf Basis *ungenauer Nachfrageprognosen* μ_0 , σ_0 die *endgültigen Produktionsmengen* x_0 festlegen. Eine quantitative Strukturierung

²²⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 215f.

dieser stark vereinfachten Entscheidungssituation kann auf das klassische *Newsvendor-Modell* zuruckgreifen²²¹.

Wir unterstellen für einen *bestimmten Artikel* (unter Außerachtlassung des Artikelindex i) folgende *Preis- und Kostendaten*²²²:

- *regulärer Verkaufspreis in der Saison*: p [GE/ME]
- *variable Produktionskosten bei Einsatz der Normalkapazität*: c [GE/ME]
- *reduzierter Verkaufspreis für Restmengen*: $p_{\bar{u}}$ [GE/ME]
- *Voraussetzung*: $p_{\bar{u}} < c < p$

Aus den Preis- und Kostendaten p , c und $p_{\bar{u}}$ lassen sich folgende *Bewertungsgrößen* herleiten:

- *Deckungsbeitrag pro ME*: $c_u = p - c$

Der Deckungsbeitrag c_u pro ME ist einerseits ein wichtiger Bestandteil der positiven Gewinnkomponente, andererseits spielt er aber auch als *entgangener Deckungsbeitrag* bei der Quantifizierung der *Unterdeckungs- oder Fehlmengenkosten* eine bedeutende Rolle.

- *überdeckungskosten pro ME*: $c_{\bar{u}} = c - p_{\bar{u}}$

Verbleibt am Ende der Verkaufssaison eine zum Regularpreis nicht verkäufliche *Restmenge*, dann muss diese, mit $c_{\bar{u}}$ bewertet, als Verlustbeitrag verbucht werden.

- *Preisreduzierungsspanne für Restmengen*: $p_s = p - p_{\bar{u}}$

Typischerweise ist für hochmodische Produkte die Preisreduzierungsspanne sehr hoch, für modische Standardprodukte dagegen deutlich geringer. Die vorliegende Theorie geht allerdings immer davon aus, dass mit dem Auftreten von Restmengen Verluste verbunden sind ($c > p_{\bar{u}}$).

Die *Risikosituation im klassischen Newsvendor-Modell* ist durch folgenden Entscheidungskonflikt gekennzeichnet: Disponiert der Produktionsplaner „aus Vorsicht“ Produktionsmengen x_0 , die wesentlich kleiner sind als die Prognosewerte μ_0 , dann ist die

²²¹ Vgl. Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 17ff.

²²² Neben den dargestellten Preis- und Kostendaten werden im *Newsvendor-Modell* auch Strafkosten ausgewiesen, die Good-Will-Verluste oder Mehrkosten für Sonderbeschaffungsmanahmen bei auftretenden Fehlmengen quantifizieren. Im Modebereich werden diese Strafkosten i.d.R. außer Acht gelassen, vgl. dazu Diruf, G. (*Produktionspostponement*, 2001), S. 22.

Wahrscheinlichkeit für Fehlmengen $(r-x_0)^+$ hoch. Es treten aber auch mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Übermengen $(x_0-r)^+$ auf. Je höher man die Produktionsmenge x_0 plant, desto kleiner wird die Fehlmengenerwartung, desto höher steigt aber andererseits die Ubermengenerwartung. Im vorliegenden Kontext mit μ_0, σ_0 -normalverteilter Prior-Nachfrageprognose gilt²²³:

$$E(\text{Unterdeckungsmenge}) = \sigma_0 \cdot \Psi\left(\frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0}\right) = \sigma_0 \cdot \Psi(z_0) \quad \text{Gl. 1}$$

$$E(\text{Uberdeckungsmenge}) = \sigma_0 \cdot \Psi\left(-\frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0}\right) = \sigma_0 \cdot \Psi(-z_0) \quad \text{Gl. 2}$$

mit

$$z_0 = \frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0} \quad \text{Gl. 3}$$

Die aus der Fehlmengentheorie wohlbekannte *Fehlmengenfunktion* $\Psi(z_0)$ sinkt mit steigenden z_0 -Werten gegen null²²⁴. Unseren allgemeinen Überlegungen entsprechend, sinkt also der $E(U)$ -Wert gemäß Gl. 1 mit steigender Produktionsmenge x_0 , während der $E(\ddot{U})$ -Wert gemäß Gl. 2 zunimmt.

Für eine rationale Entscheidungsfindung müssen die bisherigen *Mengenbetrachtungen* durch *Kostenbewertungen* ergänzt werden. Mit Hilfe der spezifischen Unterdeckungskosten c_u und der spezifischen Überdeckungskosten $c_$ ist dies ohne Schwierigkeiten möglich. Das wichtigste Kriterium zur Beurteilung unterschiedlicher Newsvendor-Strategien ist der Erwartungswert der Absatzrisikokosten $E(K_0)$, der sich als *Summenerwartung der Unter- und Überdeckungskosten* darstellen lasst²²⁵:

²²³ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 20.

²²⁴ Vgl. z.B. Silver, E., et al. (Inventory Management, 1998), S. 721. Im Abschn. 4.4.2 (1) folgt eine ausführliche Analyse der Fehlmengenfunktion.

²²⁵ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 21.

$$\begin{aligned}
E(K_0) &= E(K_U) + E(K_I) = \\
&= c_{\bar{u}} \cdot E(\ddot{U}) + c_u \cdot E(U) = \\
&= \sigma_0 \cdot [c_{\bar{u}} \Psi(-z_0) + c_u \cdot \Psi(z_0)] = \\
&= \sigma_0 \cdot [c_{\bar{u}} z_0 + (c_u + c_{\bar{u}}) \cdot \Psi(z_0)]
\end{aligned}
\tag{Gl. 4}$$

mit z_0 aus Gl. 3.

Als Funktion der Entscheidungsvariablen $x_0 = \mu_0 + z_0 \sigma_0$ hat $E(K_0)$ einen U-förmigen Verlauf, so dass sich die *kostenoptimale Produktionsmenge* x_0^* mit Hilfe der Differentialrechnung leicht finden lässt²²⁶:

$$\frac{dE(K_0)}{dx_0} = c_{\bar{u}} - (c_u + c_{\bar{u}}) \left[1 - \Phi\left(\frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0}\right) \right] = 0
\tag{Gl. 5}$$

Aus Bedingungsgleichung 5 ergibt sich unmittelbar die *Optimallösung*:

$$x_0^* = \mu_0 + z_0^* \cdot \sigma_0
\tag{Gl. 6}$$

mit

$$z_0^* = \Phi^{-1}(\omega_0^*)
\tag{Gl. 7}$$

$$\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}} = \frac{c_u}{p_s}
\tag{Gl. 8}$$

Die Größe ω_0^* gem. Gl. 8 bezeichnet man als *optimale Servicewahrscheinlichkeit*, weil sie bei Adoption der optimalen Produktionsmenge x_0^* der Wahrscheinlichkeit entspricht, mit der der Bedarf r ohne Fehlmenge gedeckt werden kann. Laut Gl. 8 kann $\omega_0^* = \frac{c_u}{p_s}$ aber auch als *relativer (auf die Preisreduzierungsspanne bezogener) Stückdeckungsbeitrag* eines Artikels aufgefasst werden. Die Funktion $\Phi(z)$ stellt die *kumulierte Normalverteilung*²²⁷ dar und die Funktion $\Phi^{-1}(\omega)$ ihre Umkehrfunktion.

²²⁶ Vgl. zur Definition von $\Psi(z)$ und zur ersten Ableitung der Fehlmengenfunktion die Gleichungen 22 bis 26 in Abschn. 4.4.2.

²²⁷ Vgl. Gl. 24 in Abschn. 4.4.2.

Substituiert man die Optimallösung (in der normierten Form z_0^*) in die Zielfunktion Gl. 4 erhält man den folgenden einfachen Ausdruck für die *minimale Kostenerwartung* $E(K_0^*)$ im Newsvendor-Modell²²⁸:

$$E(K_0^*) = \sigma_0 [c_u z_0^* + (c_u + c_i) \Psi(z_0^*)] = \sigma_0 [(c_u + c_i) \Phi(z_0^*)] = \sigma_0 P_s \varphi(z_0^*) \quad \text{Gl. 9}$$

Soll das Newsvendor-Modell vom Kostenerwartungsmodell zum *Gewinnerwartungsmodell* erweitert werden, definiert man zweckmäßigerweise zunächst die sog. *risikofreie Gewinnerwartung*²²⁹:

$$E(G_{rf}) = c_u \cdot \mu_0 \quad \text{Gl. 10}$$

Die risikofreie Gewinnerwartung²³⁰ „Stückdeckungsbeitrag c_u mal Nachfrageprognosewert μ_0 “ würde nur in einem *idealisierten Szenario ohne Absatzrisikokosten* der tatsächlichen Gewinnerwartung entsprechen. Dieses idealisierte Szenario könnte man sich z.B. in Form eines *bedarfsgesteuerten und verzögerungsfreien Produktions- und Nachschubsystems* während der gesamten Verkaufssaison vorstellen.

Supply Chains der Realität weisen im Gegensatz zu idealisierten Supply Chains positive *Unter- und Uberdeckungsrisiken* auf, weshalb man realistische Abschätzungen der *Gewinnerwartungen* $E(G_0)$ im Newsvendor-Modell nur dann erhält, wenn man die risikofreie Gewinnerwartung um die Absatzrisikokosten vermindert²³¹:

$$E(G_0) = c_u \cdot \mu_0 - E(K_0) \quad \text{Gl. 11}$$

mit $E(K_0)$ aus Gl. 4.

Analog kann auch die *maximale Gewinnerwartung* $E(G_0^*)$ bei optimaler Produktionsmenge x_0^* berechnet werden:

$$E(G_0^*) = c_u \cdot \mu_0 - E(K_0^*) \quad \text{Gl. 12}$$

mit $E(K_0^*)$ aus Gl. 9.

²²⁸ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 24.

²²⁹ Eigentlich handelt es sich jeweils um „Deckungsbeiträge“ und nicht um „Gewinne“, weil Fixkosten außer Betracht bleiben.

²³⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 18.

²³¹ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 21 und S. 24.

(2) *Modellstruktur in der Posterior-Situation*

In der Posterior-Situation liegen für alle m Artikel i des betrachteten Teilsortiments die *verbesserten Prognosewerte* μ_{1i} vor²³². Der Disponent kennt darüber hinaus auch die *verminderten Prognosefehler* $\alpha_i \cdot \sigma_{0i}$ und die *Preis- und Kostendaten*, insbesondere die c_{ui} - und $c_{\bar{u}i}$ -Werte. Schließlich liegen auch die *Prior-Entscheidungen* fest²³³: Sie binden den Produktionsplaner zum Posteriorzeitpunkt t_1

- an eine *Mindestproduktionsmenge* X_0 [ME] für das gesamte Teilsortiment und
- an eine *Kapazitätsoption* mR_0 [ME], die zu einem beliebigen Anteil genutzt werden kann.

Konkret bedeutet dies: Der Produktionsplaner darf zum Zeitpunkt t_1 die *Einzelartikelmengen* x_{1i} ($i = 1, \dots, m$) im Prinzip frei wählen, die insgesamt disponierte Produktionsmenge $\sum_{i=1}^m x_{1i}$ muss aber im *prior disponierten Mengenflexibilitätsbereich* liegen:

$$X_0 \leq \sum_{i=1}^m x_{1i} \leq X_0 + mR_0 \quad \text{Gl. 13}$$

Aus Sicht der *Kostenbewertung* ist zu beachten, dass die Beanspruchung der *Kapazitätsoption* (über die regulären Kosten c [GE/ME] hinaus) variable Mehrkosten Δc [GE/ME] verursacht.

Um analytische Lösungen zu ermöglichen, werden in der Modelltheorie *erhebliche Vereinfachungen* vorgenommen. Insbesondere werden sog. *homogene Teilsortimente* unterstellt. Dies bedeutet: Um die *durchschnittlichen Gewinn- und Kostenwirkungen* unterschiedlicher Strategien *pro Artikel* zu ermitteln, wird angenommen, *ein Teilsortiment mit m Artikeln* würde aus m Durchschnittsartikeln mit jeweils *identischen Artikeldaten* $\mu_0, \sigma_0, \alpha, c_u$ und $c_{\bar{u}}$ bestehen. *Artikelspezifisch* sind also in der Posteriorsituation der Modelltheorie nur die Zufallswerte μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$), die die *verbesserten Nachfrageprognosewerte* darstellen²³⁴.

²³² Vgl. Abschn. 4.3.2.

²³³ Vgl. Abschn. 4.3.1.

²³⁴ Vgl. Abschn. 4.3.2.

Generell wird angenommen²³⁵, dass der Produktionsplaner in der jeweils vorliegenden Posteriorsituation μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$) zunächst versucht, *optimale Produktionsmengen* x_{1i}^* im Sinn des Newsvendor-Modells zu disponieren. Dies gelingt immer dann, wenn die μ_{1i} -Werte insgesamt in einem „mittleren“ Bereich liegen, so dass die Summe der Optimalmengen $\sum_{i=1}^m x_{1i}^*$ die Doppelungleichung Gl. 13 erfüllt. Die *Posterior-Kostenerwartungen* haben in diesem Fall *minimale Werte*.

Wenn andererseits die μ_{1i} -Werte insgesamt so hoch „ausgefallen“ sind, dass die Summe der Optimalwerte $\sum_{i=1}^m x_{1i}^*$ die verfügbare Maximalkapazität $X_0 + mR_0$ überschreiten würde, müssen die x_{1i} -Werte so reduziert werden, dass (im Vergleich zur Optimallösung x_{1i}^*) die *geringste Gesamtkostensteigerung* erscheint. Ein *Lagrange-Ansatz* liefert für diese *restringierten Optimallösungen* $\sum_{i=1}^m x_{1i}' = X_0 + mR_0$ die korrekten Werte²³⁶. Entsprechend ist vorzugehen, wenn die *Mindestabnahmegrenze* X_0 durch die Summe der Optimalwerte $\sum_{i=1}^m x_{1i}^*$ nicht erreicht wird (kostenoptimale „Aufblähung“ der Produktionsmengen x_{1i}' bis zur Grenze $\sum_{i=1}^m x_{1i} = X_0$).

(3) Berechnung der Prior-Gewinnerwartung für alternative Flexibilitatsstrategien²³⁷

Maßgebend für die Transformation der Posterior- in Prior-Erwartungswerte sind die *Wahrscheinlichkeitsverteilungen der revidierten Prognosewerte* μ_{1i} . Unter den Bedingungen *homogener Teilsortimente* (insbesondere bei gleichen c_u , $c_{\bar{u}}$ und Δc -Werten für alle m Artikel) gilt allerdings eine wesentliche Vereinfachung²³⁸: Es genügt die Betrachtung der *Summenverteilung* $\sum_{i=1}^m \mu_{1i}$ oder (mathematisch äquivalent) die Betrachtung

²³⁵ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 146ff.

²³⁶ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 149.

²³⁷ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 150ff.

²³⁸ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 150.

der Verteilung der Mittelwerte $\bar{\mu}_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mu_{1i}$. Da beim Zufallsziehungsprozess der μ_{1i} -Werte stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt wird²³⁹, gehorcht der Mittelwert der Posteriorprognosen $\bar{\mu}_1$ einer *Normalverteilung* mit dem Erwartungswert μ_0 und der Standardabweichung $\frac{\sqrt{1-\alpha^2}\sigma_0}{\sqrt{m}}$.

Die *analytische Darstellung* der Prior-Gewinnerwartungen und die *Optimierung* der Prior-Entscheidungen erweist sich trotz der aufgezeigten erheblichen Modellvereinfachungen als relativ komplex²⁴⁰. Auf numerische Interpretations- und Optimierungsverfahren kann teilweise nicht verzichtet werden.

4.4 Struktur der Risikosenkungspotenziale bei suboptimalen Priorstrategien

4.4.1 Anpassung von Entscheidungsszenario und Problemstellung

Für eine vertiefte *Analyse der Risikosenkungspotenziale* alternativer Flexibilitätsstrategien ist es zweckmäßig, die *Interpretation des Entscheidungsszenarios* im Modellsystem von Diruf zu modifizieren:

(1) *Ausgangspunkt: das m-Artikel-Kapazitätsoptionsmodell von Diruf*²⁴¹

Dieses lässt sich in einer Zusammenfassung von Abschn. 4.3 wie folgt darstellen. Gegeben sind folgende Daten und Strukturen:

- *Ein Teilsortiment von m produktionstechnisch verwandten Modeartikeln i*
 - die näherungsweise dieselben Priordaten aufweisen (*homogenes Teilsortiment*)
 - die mit einer *Normalkapazität* oder mit einer *variantenflexiblen Reaktivkapazität* produziert werden können
- *Relativ ungenaue Nachfrageprognosen zum Priorzeitpunkt t_0*
m stochastisch unabhängige μ_0, σ_0 -Normalverteilungen

²³⁹ Vgl. Abschn. 4.3.2.

²⁴⁰ Vgl. Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 150ff.

²⁴¹ Vgl. Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 144ff.

- *Verbesserte Nachfrageprognosen zum Posteriorzeitpunkt t_1*
 m stochastisch unabhängige $\mu_{1i}, \alpha\sigma_0$ -Normalverteilungen
 - mit dem prior abschätzbaren Prognoseverbesserungsfaktor α ($0 < \alpha < 1$)
 - und den verbesserten Prognosewerten μ_{1i} für die m Artikel des Teilsortiments ($i = 1, \dots, m$)
 - Formale Erzeugung der μ_{1i} -Werte: m Stichprobenwerte aus einer $\mu_0, \sqrt{1-\alpha^2}\sigma_0$ -Normalverteilung
- *Schätzdaten für die Preise und Kosten vor, in und nach der Verkaufssaison²⁴²*
 - Regulärer Verkaufspreis p [GE/ME]
 - Reduzierter Verkaufspreis $p_{\bar{a}}$ [GE/ME]
 - Variable Produktionskosten c [GE/ME] bei Herstellung der Produkte mit der Normalkapazität (lange Durchlaufzeit)
 - Höhere variable Produktionskosten $c + \Delta c$ [GE/ME] bei Herstellung der Produkte mit der Reaktivkapazität (kurze Durchlaufzeit)
- *Angebot einer Kapazitätsoption durch den „Produzenten“ der betrachteten Supply Chain*
 - *Unflexibler Teil X_0 [ME] der Mengendisposition*
 eine zum Priorzeitpunkt t_0 verpflichtend festzulegende minimale Gesamtproduktionsmenge $X_0 = mx_0$ [ME], die sich auf das gesamte Teilsortiment bezieht; wegen der langen Prior-Vorlaufzeit kostengünstige Produktion von variantenneutralen Vorprodukten auf der Normalkapazität möglich; deshalb niedrige variable Kosten c [GE/ME] für die prior disponierte Minimalmenge $X_0 = mx_0$ [ME]
 - *Mengenflexibler Teil mR_0 der Kapazitätsoption*
 eine zum Priorzeitpunkt t_0 festzulegende *Kapazitätsreservierung* mR_0 [ME] für Produktionsmengen, die möglicherweise zusätzlich zur Mindestmenge X_0 [ME] benötigt werden; Entscheidung über das tatsächliche Ausmaß der Optionsnutzung erst posterior *bei besserem Informationsstand* erforderlich; Reservierungspreis c_R [GE/ME] zur Abdeckung des Nichtbeschäftigungsrisikos (*upfront fee* = $c_R mR_0$)

²⁴² Vgl. Abschn. 4.3.3 (1).

[GE]); höhere variable Produktionskosten $c + \Delta c$ [GE/ME] für die posterior tatsächlich genutzten Mengeneinheiten der Option (wegen des Einsatzes von Reaktivkapazitäten)

- *Variantenflexibler Teil der Kapazitätsoption*

Entscheidungen über die *Einzelmengen* x_{1i} der Produktvarianten i (*Produkt-Mix-Entscheidungen*) müssen erst getroffen werden, wenn die verbesserten Prognosewerte μ_{1i} vorliegen; Begrenzung der Produktmix-Entscheidung durch die prior disponierten minimalen und maximalen Gesamtmengen²⁴³

$$mx_0 \leq \sum_{i=1}^m x_{1i} \leq mx_0 + mR_0 \quad \text{Gl. 14}$$

- *Operative Entscheidungsvariablen des Disponenten (des „Einkäufers“) in der Supply Chain*

Zum *Priorzeitpunkt* t_0 auf Basis ungenauer Nachfrageprognosen μ_0, σ_0 (*d.h. bei relativ hohem Absatzrisiko*) sind festzulegen:

- die minimale *Gesamtproduktionsmenge* $X_0 = mx_0$ [ME] für das betrachtete Teilsortiment,
- die *Kapazitätsoption* mR_0 [ME] (d.h. die *Gesamtmengefexibilitat* für das betrachtete Teilsortiment zum Posteriorzeitpunkt)

Zum *Posteriorzeitpunkt* t_1 müssen auf Basis von deutlich genaueren Prognosewerten $\mu_{1i}, \alpha\sigma_0$ (*also bei erheblich verringertem Absatzrisiko*) disponiert werden:

- die *Einzelartikelmengen* x_{1i} ($i = 1, \dots, m$)
- und simultan mit den Einzelmengen das *Ausmaß* $\left[\sum_{i=1}^m x_{1i} - X_0 \right]^+$, in dem die prior disponierte Kapazitätsoption mR_0 tatsächlich für „Zusatzproduktionsmengen“ genutzt wird

$$0 \leq \left[\sum_{i=1}^m x_{1i} - X_0 \right]^+ \leq mR_0 \quad \text{Gl. 15}$$

²⁴³ Vgl. Gl. 13 in Abschn. 4.3.3 (2).

- *Entscheidungskriterien zur Bewertung unterschiedlicher Flexibilitätsstrategien sind*
 - die Gewinnerwartungen $E(G)$
 - oder (äquivalent) die Erwartungswerte der *Absatzrisikokosten* (einschließlich der *Opportunitätskosten*)
 - aus *Priorsicht*.

(2) *Modifizierte Definition der Prior-Entscheidungsvariablen für die vorliegende Problemstellung*

Der Disponent entscheidet prior über zwei Größen pro Teilsortiment:

- Welche *Zielkapazität* (*mittlere Gesamtkapazität*) R_m [ME pro Artikel] sollte zum Posteriorzeitpunkt t_1 verfügbar sein?
- Wie „breit“ soll der *durchschnittliche Mengenflexibilitätsbereich* der Kapazität $R_m \pm \Delta R$ [ME pro Artikel] sein?

Entscheidet sich also ein Produktionsplaner bei einem Teilsortiment mit m Artikeln prior für einen durchschnittlichen *Mengenflexibilitätsbereich* von $R_m \pm \Delta R$ [ME pro Artikel], dann liegt seine *Dispositionsfreiheit posterior* (*bei der Festlegung der Einzelartikelmengen x_{ij}*) im *Flexibilitätsbereich*:

$$m(R_m - \Delta R) \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq m(R_m + \Delta R) \quad \text{Gl. 16}$$

Wie leicht zu erkennen ist, bestehen zwischen den Prior-Entscheidungsvariablen im Modell von Diruf und den hier festgelegten modifizierten Entscheidungsgrößen die folgenden Beziehungen:

$$x_0 = R_m - \Delta R \quad \text{Gl. 17}$$

$$R_0 = 2\Delta R \quad \text{Gl. 18}$$

(3) *Interpretation der modellexogenen Daten α und m als strategische Gestaltungsvariablen*

Der Einsatz produktionswirtschaftlicher Flexibilität zur Senkung von Absatzrisiken ist das zentrale Problemfeld der vorliegenden Arbeit. Aus dieser Sicht ist es von Bedeutung, dass nicht nur die Modellgröße R_0 (nach modifizierter Definition: ΔR), sondern auch die

Modellparameter α und m als *grobe Flexibilitätsindikatoren eines Produktionsprozesses* interpretiert werden können:

- *Steigende Gesamtmengenflexibilität* entspricht einer zunehmenden Bandbreite $R_m \pm \Delta R$ der Kapazitätsoption.
- *Kürzere Reaktionszeiten* (als zweite bedeutsame Flexibilitätsdimension eines Produktionssystems) sind i.d.R. mit kleineren α -Werten (d.h. sinkenden Prognosefehlern $\alpha\sigma_0$) verbunden.
- *Zunehmende Variantenflexibilität* (die dritte wichtige Flexibilitätsdimension) äußert sich in einer steigenden Zahl m technisch verwandter Produkte, die mit demselben System produziert werden können.

Von den drei Flexibilitätsparametern R_0 (bzw. ΔR), α und m ist im Modell von Diruf nur die *Flexibilitätsbandbreite der Kapazitäten R_0 ($= 2\Delta R$)* explizit als operative *Prior-Entscheidungsvariable* ausgewiesen. In der Tat sind sinkende Prognosefehler $\alpha\sigma_0$ oder steigende Variantenzahlen m pro Produktionssystem *in der Praxis keine direkten Aktionsvariablen*, sondern messbare Wirkungen von technischen oder organisatorischen Gestaltungsmaßnahmen zur Erhöhung der Quick-Response-Fähigkeiten bzw. der Variantenflexibilität von Produktionsprozessen. Im Modell sind aber letztlich *ökonomische Wirkungen (Gewinn- und Kostenerwartungen)* maßgebend. Es kann deshalb durchaus sinnvoll sein, die „Zwischengrößen“ α und m (wenn der Produktionszusammenhang geeignet erscheint) „hilfsweise“ wie *strategische Gestaltungsvariablen der Reaktivität bzw. der Variantenflexibilität* zu behandeln.

(4) *Partielle Außerachtlassung der Flexibilitätsmehrkosten Δc und c_R*

Im Gegensatz zu den umfassenden Optimierungszielen in der Arbeit von Diruf²⁴⁴ besteht das *partielle Erkenntnisziel* der vorliegenden Untersuchung darin, die *Struktur der Nutzenpotenziale* alternativer Flexibilitätsstrategien in vertiefter Form zu analysieren²⁴⁵. Diese Struktur wird dann besonders deutlich, wenn man zunächst den ungeschmälernten *Bruttonutzen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität* untersucht. Die im Modell von

²⁴⁴ Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007

²⁴⁵ Vgl. Abschn. 3.4.2.

Diruf definierten *gegenläufigen Mehrkosten einer Flexibilitaterhohung* Δc und c_R werden somit in der vorliegenden Analyse partiell außer acht gelassen.

(5) *Problemstellungen für die folgenden Analysen*

Wichtige Fragestellungen, die im Rahmen der folgenden Untersuchungen geklärt werden sollen, lauten:

- Welches *Ausmaß an Mengenflexibilität* ΔR muss prior geplant werden,
 - wenn als *Zielkapazität* R_m der (i.d.R. suboptimale) Wert μ_0 (der *Nachfrageprognosewert*) gewählt wird
 - und wenn das Risikosenkungspotenzial zu *einem bestimmten Anteil* γ_K [%] *ausgeschöpft* werden soll?
- Wie wirkt sich eine *steigende Variantenflexibilität* m auf die Absatzrisikokosten aus?
- In welchem Ausmaß kann man *Mengenflexibilitatsanforderungen* ΔR im *Produktionsprozess* einsparen, wenn die Variantenflexibilität des Prozesses steigt?
- Welche *Zielkapazität* R_m^* sollte man prior planen,
 - wenn bei *vorgegebener Breite* $2\Delta R$ des *Mengenflexibilitatsbereiches* $R_m^* \pm \Delta R$
 - die *Risikokostensparnisse* maximiert werden sollen?

4.4.2 Auswirkungen der Mengen- und Variantenflexibilität im Grenzfall einer sicheren Posterior-Nachfrageprognose

(1) *Der Grenzfall* $\alpha = 0$

Der Grenzfall einer sicheren Posteriorprognose $\alpha = 0$ tritt in der Praxis zwar äußerst selten in „Reinform“ auf, aus folgenden Gründen ist er aber trotzdem besonders interessant:

- Er entspricht im Hinblick auf die Flexibilitätsdimension „Reaktivität“ einer *Best-Case-Rechnung*.
- Er erfasst in grober Näherung jene durchaus realistischen Fälle, bei denen die *Nachfrage-Prognosefehler* $\alpha\sigma_0$ posterior auf vernachlässigbar *geringe Werte* gesenkt werden können.
- Er liefert auch für Fälle einer geringeren Prognoseverbesserung $\alpha > 0$ *strukturelle Teileerkenntnisse*.
- Er kann mit *mathematischen Methoden* relativ einfach analysiert werden.

(2) *Entwicklung einer flexibilitätsabhängigen Risikokostenfunktion für den Grenzfall $\Delta c = 0$ und $\alpha = 0$ aus der Gewinnerwartungsfunktion des Kapazitätsoptionsmodells*

Wie bereits in Abschn. 4.1.1 (1) erläutert, bildet das Kapazitätsoptionsmodell den Ausgangspunkt der Analysen. Wir übernehmen zunächst von Diruf²⁴⁶ ohne Herleitung die Gewinnerwartungsfunktion für den Grenzfall $\alpha = 0$. Die Gewinnerwartungsfunktion quantifiziert für ein Teilsortiment mit m Artikeln den *durchschnittlichen Prior-Erwartungswert des Gewinns pro Artikel* bei optimaler Disposition:

$$E(\bar{G}_1^* | \alpha = 0) = c_u \mu_0 - \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \left\{ (c_u + \Delta c) \cdot \Psi(\hat{z}_{IT}) + (c_u - c_R) \cdot \hat{z}_{IT} + (c_u - \Delta c) \cdot \Psi(\hat{z}_{IH}) + c_R \hat{z}_{IH} \right\} \quad \text{Gl. 19}$$

mit den Hilfsvariablen

$$\hat{z}_{IT} = \sqrt{m} \frac{x_0 - \mu_0}{\sigma_0} \quad \text{Gl. 20}$$

$$\hat{z}_{IH} = \sqrt{m} \frac{x_0 + R_0 - \mu_0}{\sigma_0} \quad \text{Gl. 21}$$

und den Parametern

$c_u = p - c$ (Unterdeckungskosten pro ME)

$c_u = c - p_u$ (Überdeckungskosten pro ME)

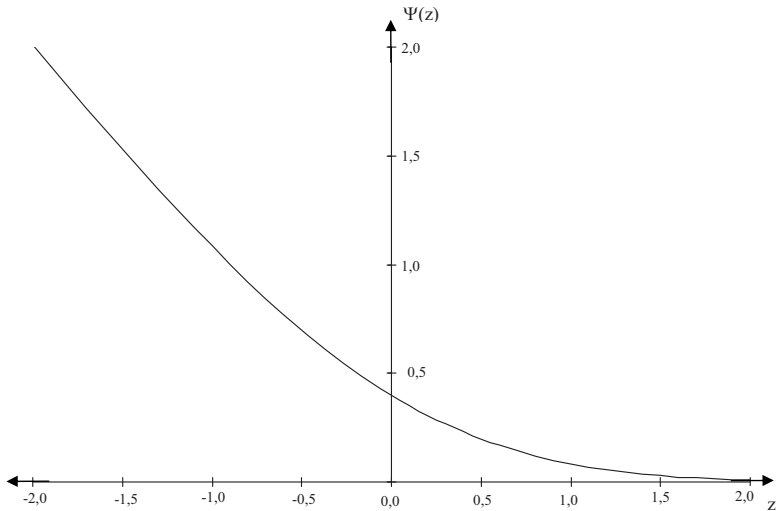
sowie den übrigen Modellgrößen, wie in Abschn. 4.4.1 (1) definiert.

Innerhalb der Gewinnerwartungsfunktion tritt mehrfach als *formbildender Term die Fehlmengen- oder Servicefunktion $\Psi(z)$ auf*, die ohne nähere Erläuterungen bereits in den Gln. 1, 2 und 4 benutzt wurde (vgl. Abb. 4.1). Die Funktion $\Psi(z)$ ist wie folgt definiert²⁴⁷:

$$\Psi(z) = \varphi(z) - z \cdot \Phi(-z) \quad \text{Gl. 22}$$

²⁴⁶ Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 154, Gl. 296

²⁴⁷ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 154, Gl. 296 oder Silver, E., et al. (Inventory Management, 1998), S. 721, B.7.

Abb. 4.1: Die Fehlmengenfunktion $\Psi(z)$

Die definierenden Funktionen $\varphi(z)$ und $\Phi(z)$ symbolisieren hierbei die Dichte bzw. die kumulierte Funktion der *Standardnormalverteilung*:

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \text{Gl. 23}$$

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \varphi(t) dt \quad \text{Gl. 24}$$

Als erste Ableitung von $\Psi(z)$ erhält man den einfachen Ausdruck:

$$\frac{d\Psi(z)}{dz} = -\Phi(-z) = \Phi(z) - 1 \quad \text{Gl. 25}$$

Wegen $\Phi(z) - 1 < 0$ für $-\infty < z < +\infty$ gilt: $\Psi(z)$ ist im gesamten z -Bereich eine monoton abnehmende Funktion (vgl. Abb. 4.1). Für $z = 0$ ergibt sich der Wert:

$$\Psi(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \approx 0,3989$$

Für steigende positive z -Werte nähert sich die Funktion asymptotisch dem Wert null; für $z \rightarrow -\infty$ stellt die Winkelhalbierende $f(z) = -z$ des 2. Quadranten die Asymptote dar. Bemerkenswert ist hierbei folgende Symmetrie-Eigenschaft:

$$\Psi(-z) = \Psi(z) + z \quad \text{Gl. 26}$$

In der Gewinnfunktion (Gl. 19) erscheint zunächst als positiver Term die *risikofreie Gewinnerwartung* $E(G_{\text{rf}}) = c_u \mu_0$, deren Bedeutung bereits in Abschn. 4.3.3 (1) erlauert wurde²⁴⁸. Die risikofreie Gewinnerwartung würde nur dann der tatsächlichen Gewinnerwartung entsprechen, wenn ein verzogerungs- und risikofreier Produktnachschub (ohne Fehl- und Übermengen) während der Verkaufssaison vorausgesetzt werden könnte. Im Gegensatz zu dieser unrealistischen Voraussetzung kommt es aber in der Verkaufspraxis von Modeprodukten regelmäßig bei einigen Artikeln zu *Fehlmengensituationen*, bei anderen zu regulär nicht verkäuflichen *Restmengen*. Bei einer realistischen Abschätzung der Gewinnerwartung muss somit der risikofreie Gewinn $E(G_{\text{rf}})$ um die *Absatzrisikokosten (die Fehlmengen- und Ubermengenkosten)* vermindert werden.

Die Absatzrisikokosten und die Kapazitatsreservierungskosten $c_{\text{R}}mR_0$ erklären den negativen Teil der Gewinnfunktion. Da nur dieser negative Term von der Flexibilitätspolitik beeinflusst wird, können wir die folgenden Analysen ohne Beschränkung der Allgemeinheit auf die *Absatzrisikokosten (und gegebenenfalls auf die Kapazitatsreservierungskosten)* fokussieren.

Setzen wir in diesem Sinn (wie in Abschn. 4.4.1 (1) erlauert): $\Delta c = 0$, $R_0 = 2\Delta R$ und $x_0 = R_m - \Delta R$, dann erhalten wir nach einigen Umformungen folgende *für den vorliegenden Problemtext angepasste Kostenfunktion*:

$$\begin{aligned} E\left(\overline{K}_1 \mid \alpha = 0; \Delta c = 0\right) &= \\ &= \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \left\{ c_u \Psi\left(-\sqrt{m} \frac{R_m - \Delta R - \mu_0}{\sigma_0}\right) + c_u \Psi\left(\sqrt{m} \frac{R_m + \Delta R - \mu_0}{\sigma_0}\right) \right\} + 2c_{\text{R}}\Delta R \end{aligned} \quad \text{Gl. 27}$$

Der erste Term dieser Kostenfunktion quantifiziert *den durchschnittlichen Erwartungswert der Absatzrisikokosten pro Artikel* für ein Teilsortiment von m Produkten, die mit

²⁴⁸ Vgl. Gl. 10.

demselben variantenflexiblen Prozess produziert werden. Wie zu erkennen ist, hängen die Absatzrisikokosten ab

- von der prior disponierten *Zielkapazität* R_m
- von der prior disponierten *Mengenflexibilität* ΔR
- von der *Variante[n]flexibilität* m des Prozesses (Sortimentsumfang)
- vom *Prior-Nachfrageprognosefehler* σ_0
- und von den spezifischen *Über- und Unterdeckungskosten* $c_{\text{ü}}$ bzw. c_{u} .

Wie bereits im Rahmen der Gewinnfunktion erläutert, sind neben den Absatzrisikokosten gegebenenfalls noch Bereitstellungskosten in Höhe von $2c_{\text{R}}\Delta R$ für die prior disponierte *Bandbreite* $\pm \Delta R$ der *posterior verfügbaren Mengenflexibilität* zu berücksichtigen (Kosten der Kapazitätsoption).

(3) *Spezifizierung der Risikokostenfunktion für die suboptimale Priorstrategie* $R_m = \mu_0$

In welchem Ausmaß lassen sich Absatzrisiken durch eine Erhöhung der Mengenflexibilität ΔR oder durch eine Steigerung der Variantenflexibilität m senken? Antworten auf diese Frage erfordern sinnvolle *Dispositionswerte für die Zielkapazität* R_m . Um einen *strukturellen Überblick* zu gewinnen, verzichten wir zunächst auf eine Berechnung der Optimalwerte²⁴⁹ R_m^* und begnügen uns mit der Naherungsstrategie: *Zielkapazität* R_m ist der *Priorprognosewert* μ_0 . Die *Priordisposition* $R_m = \mu_0$ erscheint deshalb besonders plausibel, weil mit ihr die *Wahrscheinlichkeit maximiert* wird, dass die verbesserten Nachfrageprognosewerte μ_{1i} zum Posteriorzeitpunkt t_1 *innerhalb des Kapazitatsflexibilitatsbereiches* $R_m \pm \Delta R = \mu_0 \pm \Delta R$ liegen (vgl. Abb. 4.2).

²⁴⁹ Vgl. hierzu Abschn. 4.5.

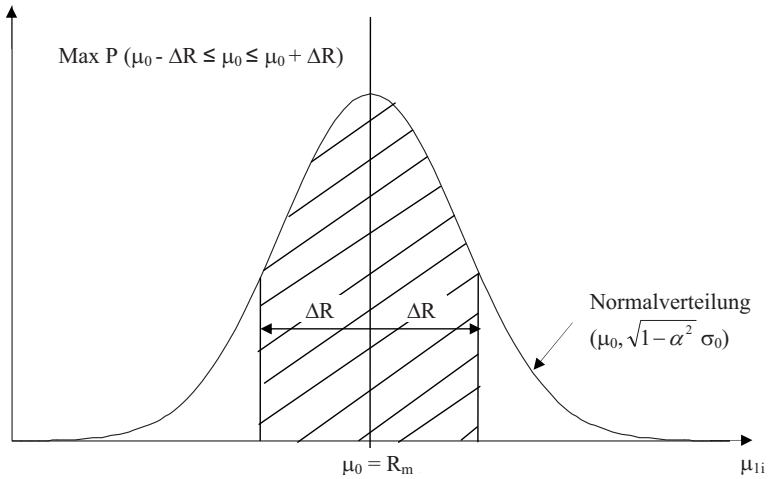


Abb. 4.2: Verbesserte Prognosewerte μ_{i1} im Flexibilitätsbereich $\mu_0 \pm \Delta R$

Darüber hinaus hat die Näherungslösung $\mu_0 = R_m$ den Vorteil, dass die gesuchten strukturellen Zusammenhänge zwischen den Flexibilitatswerten ΔR und m einerseits und den ökonomischen Flexibilitätswirkungen andererseits z.T. analytisch dargestellt werden können, während eine Verwendung der Optimalwerte R_m^* den Einsatz numerischer Optimierungsmethoden erfordert.²⁵⁰

Setzt man in der Kostenfunktion $E(\overline{K}_i | \alpha = 0; \Delta c = 0)$ gem. Gl. 27 die Zielkapazität R_m auf den Prognosewert μ_0 , erhält man den relativ einfachen Ausdruck:

$$E(\overline{K}_i | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0) = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} (c_{ii} + c_{iu}) \Psi \left(\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0} \right) + 2c_R \Delta R \quad \text{Gl. 28}$$

²⁵⁰ Vgl. Abschn. 4.5.

(4) *Wirkungen einer steigenden Mengenflexibilität ΔR auf die Absatzrisikokosten von Einzelartikeln*

Besteht ein „Teilsortiment“ nur aus *einem* Artikel ($m = 1$), dann bedeutet dies: der Mengenflexibilitätsbereich $R_m \pm \Delta R = \mu_0 \pm \Delta R$ wird nur von *diesem* Artikel genutzt. Die im Fall $m > 1$ aus der *Variantenflexibilität* und der gemeinsamen Nutzung von Flexibilitatsbereichen durch mehrere Artikel *resultierenden Risk-Pooling-Effekte* können somit nicht risikomindernd wirksam werden. Als Kostenerwartung erhalten wir für diesen wichtigen Grenzfall die Funktion

$$E(K_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1) = \sigma_0 (c_u + c_u) \Psi\left(\frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) + 2c_R \Delta R \quad \text{Gl. 29}$$

mit $0 \leq \Delta R \leq \mu_0$

Wird darüber hinaus für Einzelartikel ($m = 1$) *keine Mengenflexibilität* disponiert ($\Delta R = 0$), erreichen die Absatzrisikokosten c.p. ihren *höchsten Wert*, weil der Disponent posterior die verbesserten Nachfrageprognosewerte μ_{1i} wegen *fehlender Dispositionsfreiheit (fehlender Flexibilität)* nicht für Korrekturen nutzen kann. Die Produktionsplanungswerte bleiben deshalb mit entsprechenden Kostenwirkungen auf die ungenauen (möglicherweise ungünstigen) Prior-Prognosewerte μ_0 fixiert. Diesen Worst-Case *ohne Varianten- und Mengenflexibilität* wollen wir im Folgenden als Vergleichsmaßstab verwenden, um die durch steigende Flexibilitatswerte bewirkten Risikokostensenkungen zu messen:

$$\begin{aligned} E(K_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1; \Delta R = 0) &= \\ = \Psi(0) \sigma_0 (c_u + c_u) &= \frac{P_s \sigma_0}{\sqrt{2\pi}} \approx 0,3989 P_s \sigma_0 \end{aligned} \quad \text{Gl. 30}$$

mit

$p_s = c_u + c_u = p - p_u =$ Preisreduzierungsspanne für Restmengen
am Ende der Verkaufssaison [GE/ME]

$\sigma_0 =$ Standardfehler der Prior-Nachfrageprognose [ME]

Gl. 30 kann man wie folgt interpretieren: Für Einzelartikel, deren Produktionsmengen prior ohne Mengen- und Variantenflexibilität auf den ungenauen Prognosewert μ_0 festgelegt werden, beträgt der *Erwartungswert der Absatzrisikokosten ca. 40% des mit der*

Preisreduzierungsspanne p_s bewerteten Nachfrageprognosefehlers σ_0^{251} . Gl. 30 gilt nicht nur für den Fall $\alpha = 0$, sondern für beliebige α -Werte ($0 < \alpha \leq 1$).

Erfolgswirkungen von Flexibilitatserhoigungen werden in Form von *Einsparungen bei den Absatzrisikokosten* gemessen. Wie sich zeigen wird, können die (maximalen) Absatzrisikokosten des unflexiblen Falles $E(K_1 | m=1; \Delta R = 0)$ durch sukzessive Steigerungen der Mengenflexibilität ΔR oder der Variantenflexibilität m gesenkt und schließlich (asymptotisch) zum Verschwinden gebracht werden. Die maximale Kostenerwartung

$$E(K_1 | m=1; \Delta R = 0) = p_s \sigma_0 \Psi(0) = \frac{p_s \sigma_0}{\sqrt{2\pi}} = K_{\max} \quad \text{Gl. 31}$$

kann somit auch als *maximales Brutto-Ersparnispotenzial der Flexibilität* interpretiert werden (brutto, d.h. ohne Berücksichtigung eventuell anfallender Mehrkosten $2c_R \Delta R$ für die Bereitstellung der Flexibilität). Offensichtlich steigt das maximale Brutto-Ersparnispotenzial K_{\max}

- proportional zur Preisreduzierungsspanne p_s eines Artikels und
- proportional zum Prior-Nachfrageprognosefehler σ_0 .

Mit Hilfe von K_{\max} lässt sich Gl. 29 auch wie folgt schreiben:

$$\begin{aligned} E(K_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1) &= \\ &= \frac{K_{\max}}{\Psi(0)} \Psi\left(\frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) + 2c_R \Delta R = \\ &= \sqrt{2\pi} K_{\max} \Psi\left(\frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) + 2c_R \Delta R \end{aligned} \quad \text{Gl. 32}$$

mit $0 \leq \Delta R \leq \mu_0$

Der erste Term von Gl. 32 stellt die mit wachsender Mengenflexibilität ΔR *monoton absinkenden Absatzrisikokosten* dar, der zweite Term die mit ΔR linear steigenden *Bereitstellungskosten der Flexibilität (Kosten der Kapazitätsoption)*. Bildlich entspricht die

²⁵¹ Vgl. hierzu auch Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 26, Gl. 21.

Funktionskurve der Absatzrisikokosten dem positiven Ast der Fehlmengenfunktion $\Psi(z)$ mit dem Argumentwert $z = \frac{\Delta R}{\sigma_0}$ (vgl. Abb. 4.1 und 4.3).

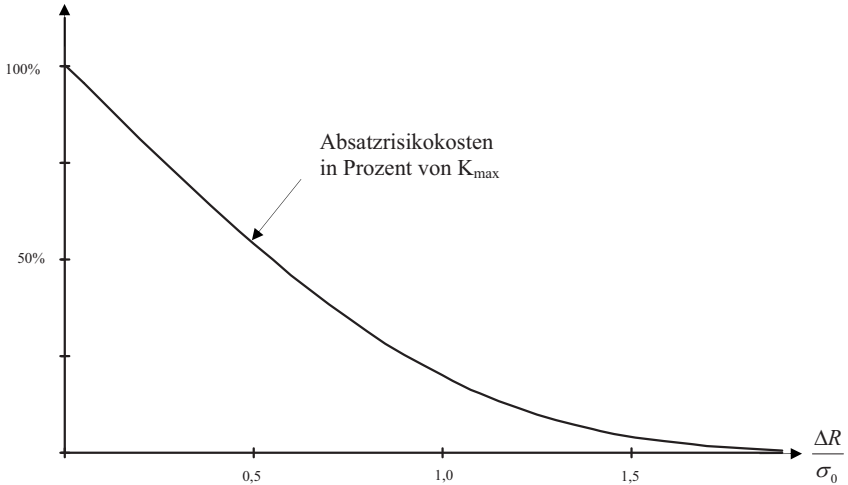


Abb. 4.3: Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$

Die Funktion der Absatzrisikokosten (Gl. 29 und Abb. 4.3) weist zwei wichtige Charakteristiken auf:

- Der Ersparnis-Erfolg der Mengenflexibilität hängt von der *relativen Größe* $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ ab.
- Die durch Flexibilität erreichbare *Grenzersparnis* fällt mit wachsendem Wert $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ monoton.

Die mit steigenden ΔR -Werten *sinkende Grenzersparnis* wird auch von der *Risiko-Grenzkostenfunktion* bestätigt (vgl. Abb. 4.4):

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\Delta R} E(K_i | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1) = \\ & = \underbrace{-p_s \Phi\left(-\frac{\Delta R}{\sigma_0}\right)}_{\substack{\text{Grenzkosten der} \\ \text{Mengenflexibilität} \\ \Delta R}} + \underbrace{2c_R}_{\substack{\text{Marginale} \\ \text{Bereitstellungskosten} \\ \text{der Flexibilität} \Delta R}} \end{aligned} \quad \text{Gl. 3.3}$$

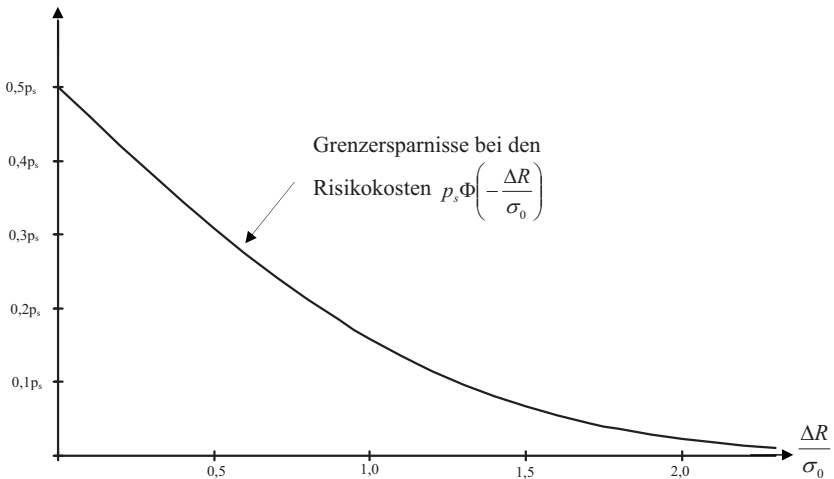


Abb. 4.4: Grenzersparnisse in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$

Auf Basis der bisherigen theoretischen Überlegungen lässt sich nun folgende (in Abschn. 4.4.1 (5) gestellte) Frage beantworten:

Welches *Ausmaß an Mengenflexibilität* ΔR_K muss prior geplant werden,

- wenn als *Zielkapazität* R_m der Wert μ_0 gewählt wird
- und wenn das *Risikosenkungspotenzial* K_{max} zu *einem bestimmten Anteil* γ_K [%] ausgeschöpft werden soll?

Den Hintergrund für diese Fragenstellung bildet die in vielen Problemstellungen der Praxis angewandte *heuristische Regel*, dass es sich wegen abnehmender Grenzerträge (bzw. wegen zunehmender Grenzkosten) *meistens nicht lohnt, vorhandene Potenziale voll auszuschöpfen*. Man sollte sich deshalb mit der Ausschöpfung eines „lohnenden“ Potenzialanteils begnügen. Ehe man aber im vorliegenden Fall darüber entscheidet, welcher Anteil γ_K [%] des Risikosenkungspotenzials K_{\max} „lohnend“ erscheint, muss Klarheit darüber bestehen, welche Mengenflexibilität ΔR_K hierfür jeweils erforderlich ist. Grundsätzlich haben wir jedenfalls bereits erkannt, dass wegen abnehmender Grenzersparnisse die Ausschöpfung der „letzten“ Potenzialanteile *unverhältnismäßig hohe Flexibilitatszuwachse* ΔR erfordern würde.

Aus der Fragestellung folgt unmittelbar folgende Bedingungsgleichung:

$$\sqrt{2\pi}K_{\max}\Psi\left(\frac{\Delta R_K}{\sigma_0}\right) = (1 - \gamma_K)K_{\max} \quad \text{Gl. 34}$$

Als Lösung ΔR_K erhält man:

$$\Delta R_K = \sigma_0\Psi^{-1}\left(\frac{1 - \gamma_K}{\sqrt{2\pi}}\right) \quad \text{Gl. 35}$$

Alternativ kann auch die normierte Lösungsvariable γ_Δ (*relative Mengenflexibilität*) verwendet werden:

$$\gamma_\Delta = \Psi^{-1}\left(\frac{1 - \gamma_K}{\sqrt{2\pi}}\right) \quad \text{Gl. 36}$$

mit der *relativen Mengenflexibilität*

$$\gamma_\Delta = \frac{\Delta R_K}{\sigma_0} \quad \text{Gl. 37}$$

Tab. 4.1 gibt einen numerischen Überblick zum funktionalen Zusammenhang zwischen dem ausgeschöpften Anteil γ_K des Verbesserungspotenzials und der hierfür erforderlichen relativen Mengenflexibilität γ_Δ .

γ_K	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%
γ_Δ	0	0,08	0,17	0,27	0,37	0,49	0,63	0,80	1,02	1,36	1,66	2,02

Tab. 4.1 Erforderliche relative Mengenflexibilität γ_Δ in Abhängigkeit vom gewünschten Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials

Eine formale *Optimierung der Flexibilitätsentscheidung* ΔR^* ist nur dann möglich, wenn sich die *spezifischen Bereitstellungskosten der Mengenflexibilität* c_R [GE/ME] (Kosten der Kapazitätsoption) abschätzen lassen: Man sollte die Flexibilität ΔR so weit steigern, bis die (durch sie bewirkte) *Grenzersparnis* gleich den *Grenzkosten* einer weiteren Flexibilitäts-erhöhung ist. Mit Gl. 33 ergibt sich hieraus mathematisch die Bedingungsgleichung:

$$\underbrace{p_s \Phi\left(-\frac{\Delta R}{\sigma_0}\right)}_{\text{Grenzkosten der Mengenflexibilität } \Delta R} = \underbrace{2c_R}_{\text{marginale Bereitstellungskosten einer Flexibilitätseinheit } \Delta R} \quad \text{Gl. 38}$$

Man ermittelt aus dieser Optimalbedingung folgenden Optimalwert ΔR^* :

$$\Delta R^* = \sigma_0 \Phi^{-1}\left(1 - \frac{2c_R}{p_s}\right) \quad \text{Gl. 39}$$

mit

$$c_R \leq 0,25 p_s \quad \text{Gl. 40}$$

Die Obergrenze für c_R (gem. Gl. 40) folgt aus der Bedingung $\Delta R \geq 0$: Steigen die spezifischen Bereitstellungskosten c_R [GE/ME] über den Wert $0,25 p_s$, dann sind die Risikokostensparnisse der Mengenflexibilität ΔR generell zu gering, um die hohen Bereitstellungskosten aufzuwiegen. Aus ökonomischer Sicht ist es dann günstiger, *die relativ hohen Absatzrisikokosten einer unflexiblen Priordisposition in Kauf zu nehmen*.

Zusammenfassend können wir für das Szenario $\alpha = 0$, $R_m = \mu_0$ und $m = 1$ festhalten:

- Bei einer unflexiblen Strategie $\Delta R = 0$ erreichen die Absatzrisikokosten relativ hohe Werte ($K_{\max} \approx 0,4 (c_u + c_{\bar{u}}) \sigma_0$). Der K_{\max} -Wert hängt nur vom Prior-Prognosefehler σ_0 und der Kostensumme $c_u + c_{\bar{u}}$ (Preisreduzierungsspanne p_s), nicht vom Kostenverhältnis $\frac{c_u}{c_{\bar{u}}}$ ab.
- Wegen der unterstellten sicheren Posteriorprognose $\alpha = 0$ ist es allerdings *prinzipiell möglich*, bei Einsatz einer entsprechend hohen Mengenflexibilität ΔR die Risikokostenerwartung nahezu auf den Wert null zu senken. Die gesamten Risikokosten K_{\max} im Worst-Case können also als maximales *Brutto-Erfolgspotenzial* der Flexibilität gelten.
- I.d.R. ist es jedoch nicht opportun, das Brutto-Erfolgspotenzial K_{\max} zu 100% auszuschöpfen, weil die durch mehr Flexibilität erzielbaren *Grenzersparnisse* bei den Risikokosten mit zunehmendem Flexibilitatseinsatz monoton abnehmen. Um einen unverhältnismäßig hohen Flexibilitatseinsatz ΔR für die „letzten Ausschopfungsprozente“ zu vermeiden, wird man sich auf einen *fallabhängig* „lohnenden“ *Ausschöpfungsanteil* γ_K des Flexibilitätspotenzials beschränken. So erfordert z.B. ein gewünschter Ausschöpfungsanteil $\gamma_K = 80\%$ eine Flexibilitätsbandbreite der Reaktivkapazitäten von $\mu_0 \pm 1,02 \sigma_0$. Soll der Ausschöpfungsanteil des Brutto-Potenzials K_{\max} auf $\gamma_K = 90\%$ (also um 10 Prozentpunkte) gesteigert werden, ist hierfür eine um 33% höhere Mengenflexibilität bereitstellen ($\mu_0 \pm 1,36 \sigma_0$).
- Formal lässt sich eine *optimale Flexibilitatsstrategie* ΔR^* und damit ein optimaler Ausschöpfungsanteil γ_K^* dann bestimmen, wenn die spezifischen Bereitstellungskosten c_R [GE/ME] für ΔR bekannt sind. Die Optimalrechnung zeigt: Die Flexibilitätspolitik $\mu_0 \pm 1,02 \sigma_0$ mit $\gamma_K = 80\%$ ist dann optimal, wenn c_R den Wert $c_R = 0,0794p_s$ [GE/ME] aufweist. Den höheren Anteil $\gamma_K = 90\%$ sollte man dagegen nur dann anstreben, wenn der Bereitstellungspreis für die Mengenflexibilität auf $c_R = 0,0435p_s$ [GE/ME] absinkt. Steigt andererseits der Bereitstellungspreis der Flexibilität über die Grenze $c_R > 0,25p_s$, sollte besser die unflexible Strategie $\Delta R = 0$ gewählt werden.

Beispiel 1

Um die bisherigen quantitativen Erkenntnisse zur Mengenflexibilität zu illustrieren, unterstellen wir folgende Dispositionsdaten für einen *einzelnen Modeartikel*:

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 10.000 \text{ ME} & \sigma_0 &= 4.000 \text{ ME} & \alpha &= 0,0 & p &= 80 \text{ GE/ME} \\ c &= 40 \text{ GE/ME} & p_{\bar{u}} &= 30 \text{ GE/ME} & c_R &= 4 \text{ GE/ME} & \Delta c &= 0 \text{ GE/ME} \\ R_m &= \mu_0 = 10.000 \text{ ME} \end{aligned}$$

Derivative Parameterwerte:

$$c_u = 40 \text{ GE/ME} \quad c_{\bar{u}} = 10 \text{ GE/ME} \quad p_s = 50 \text{ GE/ME} \quad c_R = 0,08 p_s$$

Als *maximales Brutto-Ersparnispotenzial der Flexibilität* K_{\max} ergibt sich

$$K_{\max} = E(K_1 | m=1; \Delta R=0) = p_s \sigma_0 \Psi(0) = 50 \cdot 4.000 \cdot 0,3989 = 79.788 \text{ GE}$$

Für den Fall, dass keine spezifischen Bereitstellungskosten c_R anfallen, ist z.B. eine *Flexibilitätsbandbreite* von $\Delta R = 0,4 \cdot 4.000 = 1.600 \text{ ME}$ nötig, um einen Ausschöpfungsanteil von $\gamma_K = 42\%$ des maximalen Ersparnispotenzials zu erreichen.

Da der Bereitstellungspreis für die Flexibilität unterhalb der Grenze $c_R = 0,08 \leq 0,25 p_s$ liegt, lässt sich die *optimale Flexibilitätsstrategie* ΔR^* folgendermaßen bestimmen:

$$\Delta R^* = \sigma_0 \Phi^{-1} \left(1 - \frac{2c_R}{p_s} \right) = 4.000 \cdot \Phi^{-1}(0,84) = 4.000 \cdot 0,9945 = 3.978 \text{ ME}$$

Die dann benötigte *relative Mengenflexibilität* γ_{Δ} von 0,9945 führt zu einem *Ausschöpfungsanteil* des Risiko-Ersparnispotenzials γ_K von 79,12%.

Als *minimale Kostenerwartung* $E(K_1^*)$ erhalten wir:

$$E(K_1^*) = \frac{K_{\max}}{\Psi(0)} \Psi \left(\frac{\Delta R^*}{\sigma_0} \right) + 2c_R \Delta R^* = \frac{79.788}{\Psi(0)} \Psi(0,9945) + 2 \cdot 4 \cdot 3.978 = 48.662 \text{ GE}$$

(5) Senkung der Absatzrisikokosten durch steigende Variantenflexibilität m

Die Senkung der Absatzrisikokosten durch steigende Variantenflexibilität der Produktionsprozesse resultiert aus sog. *Risk-Pooling-Effekten*²⁵². Im vorliegenden Fall bedeutet dies: Falls die Nachfrageprognosefehler für die einzelnen Artikel i eines Teilsortiments (näherungsweise) voneinander *stochastisch unabhängig* sind, dann ist die *Standardabweichung* σ_{Σ} *der Nachfragesumme* deutlich geringer als die Summe der einzelnen Standardabweichungen $\sum_{i=1}^m \sigma_i$, weil sich wegen *stochastischer Ausgleichseffekte* nicht die Standardabweichungen sondern die Varianzen addieren²⁵³:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2} \ll \sum_{i=1}^m \sigma_i \quad \text{Gl. 41}$$

Sind die einzelnen Varianzen σ_i^2 näherungsweise gleich, dann lässt sich das Gesetz der Varianzsumme auf das einfache Wurzelgesetz für Standardabweichungen reduzieren:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{m} \sigma_i \ll m \sigma_i \quad \text{Gl. 42}$$

Aus Gl. 42 folgt, dass der *relative Summenprognosefehler* mit steigendem Umfang m eines Teilsortiments monoton absinkt:

$$\frac{\sigma_{\Sigma}}{\mu_{\Sigma}} = \frac{\sqrt{m} \sigma_i}{m \mu_i} = \frac{1}{\sqrt{m}} \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad \text{Gl. 43}$$

Unterstellt man weiterhin, dass sämtliche m Artikel eines Teilsortiments mit denselben variantenflexiblen Reaktivkapazitäten produziert werden können, dann sind für *Flexibilitätsplanungen* nicht die Nachfrageprognosefehler σ_i der Einzelartikel, sondern die *Summenprognosefehler* σ_{Σ} *der Teilsortimente maßgebend*.

Bezogen auf die einzelnen Artikel muss dann wegen des absinkenden relativen Summenprognosefehlers eine immer geringere Mengenflexibilität ΔR bereitgestellt werden, wenn der Umfang m eines Teilsortiments und mit ihm die Variantenflexibilität der Reaktivkapazitäten steigt.

²⁵² Vgl. Diruf, G. (Risk-Pooling-Strategien, 2005), S. 8ff.

²⁵³ Vgl. hierzu auch Abschn. 5.3.1 (2).

Eine *zunehmende Variantenflexibilität* m kann somit dazu genutzt werden

- bei gleich bleibender durchschnittlicher Mengenflexibilität ΔR pro Artikel die Absatzrisikokosten weiter zu senken (*höhere Ausschöpfung des vorhandenen Flexibilitätpotenzials*) oder
- bei gleich bleibender Ausschöpfung des Flexibilitätpotenzials den Einsatz ΔR an Mengenflexibilität pro Artikel zu verringern (*Substitution von Mengenflexibilität durch Variantenflexibilität*).

Wie bereits erläutert, bildet die (zumindest in grober Näherung vorhandene) *stochastische Unabhängigkeit* der Nachfrageprognosefehler der m Einzelartikel eine kritische Voraussetzung für die Gültigkeit der Modellergebnisse im Kapazitätsoptionsmodell von Diruf. „Im Vergleich dazu treten in der Realität häufig auch komplexere Strukturen auf, z.B. *positiv korrelierte Nachfragerisiken* (etwa bei wetterabhängiger Nachfrage), aber auch *negativ korrelierte Nachfragemengen* (z. B. zwischen substitutiven Modevarianten).“²⁵⁴ Im Vergleich zu stochastisch unabhängigen Nachfrageunsicherheiten nehmen bei positiv korrelierten Nachfragerisiken die (erwünschten) Risk-Pooling-Effekte ab²⁵⁵, bei negativ korrelierten Einzelprognosen treten sie verstärkt auf.

Die Modellgröße ΔR muss für $m > 1$ als *durchschnittliche Mengenflexibilität pro Artikel* interpretiert werden. Real wirksam sind zum Posteriorzeitpunkt t_1 allerdings nicht Durchschnittsmengen, sondern *Gesamtmenen für das betrachtete Teilsortiment*, also einerseits der Summenprognosewert $\sum_{i=1}^m \mu_{i1}$, andererseits die prior für das ganze Teilsortiment disponierte Kapazitätsoption $m\mu_0 \pm m\Delta R$. Innerhalb der Gesamtmengengrenze $m\mu_0 \pm m\Delta R$ hat der Disponent zum Posteriorzeitpunkt t_1 die *Freiheit, die Planungsmengen x_{i1} für die Einzelartikel optimal festzulegen* (Gl. 14 in Abschn. 4.4.1 (1)). Eine *Mengenflexibilität für die Artikeleinzelmengen* wird also bei variantenflexiblen Prozessen in jedem Fall vorausgesetzt.

²⁵⁴ Vgl. Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 192.

²⁵⁵ Vgl. hierzu die Modellierung positiv korrelierter Nachfragerisiken in räumlich gegliederten Modemärkten bei Diruf, G. (*Risk-Pooling-Strategien*, 2005) und Diruf, G. (*Risk-Pooling-Kooperationen*, 2007).

Um die *Risikosenkungspotenziale der Variantenflexibilität m in Kombination mit der Mengenflexibilität ΔR* zu quantifizieren, greifen wir wieder auf die in Abschn. (3) formulierte Kostenfunktion (gem. Gl. 28) zurück:

$$\begin{aligned}
 E(\overline{K}_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0) &= \\
 &= \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} (c_u + c_i) \Psi\left(\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) + 2c_R \Delta R = \\
 &= \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} p_s \Psi\left(\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) + 2c_R \Delta R = \quad \text{Gl. 44} \\
 &= \sigma_m p_s \Psi\left(\frac{\Delta R}{\sigma_m}\right) + 2c_R \Delta R
 \end{aligned}$$

mit

$$0 \leq \Delta R \leq \mu_0$$

$m \geq 1$ und ganzzahlig

$$\sigma_m = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \quad \text{Gl. 45}$$

Vom bisher diskutierten Spezialfall $m = 1$ ohne Variantenflexibilität (Gl. 29) unterscheidet sich die vorliegende verallgemeinerte *Durchschnittskostenfunktion pro Artikel* durch das Hinzutreten des Modellparameters m als Maß für den Umfang des betrachteten Teilsortiments für die Variantenflexibilität des zugehörigen Produktionsprozesses. Betrachtet man die Definition des Parameters σ_m , dann erkennt man, dass steigende Werte der Variantenflexibilität (für $m > 1$) auf die Risikokosten eines Artikels die gleiche Wirkung haben wie *Absenkungen des Priorprognosefehlers für Einzelartikel vom Wert σ_0 auf den niedrigeren Wert $\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$* . Steigerungen des m -Wertes tragen somit auf doppelte

Weise zur Senkung der Absatzrisikokosten bei:

- über den Faktor $\frac{1}{\sqrt{m}}$ der Kostenfunktion und
- über den zunehmenden Argumentwert der absinkenden Fehlmengenfunktion

$$\Psi\left(\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0}\right).$$

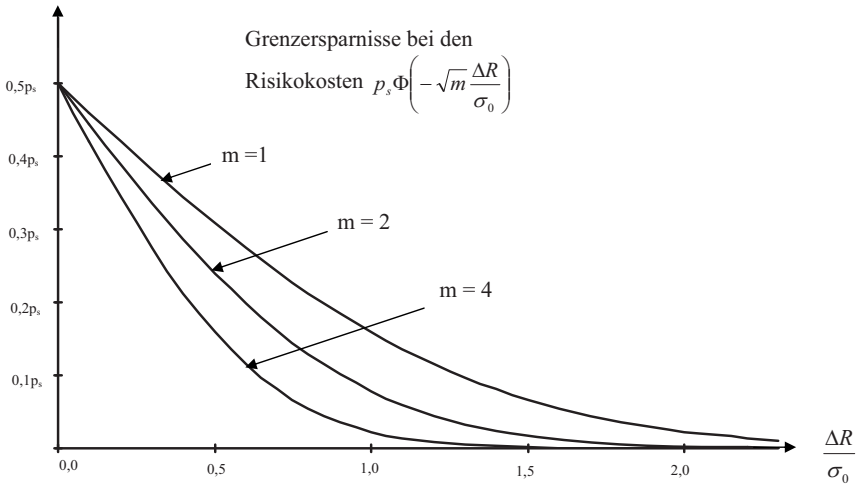


Abb. 4.5: Grenzersparnisse in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ für steigende Werte der Variantenflexibilität ($m = 1, m = 2$ und $m = 4$)

Die zu $E(K_1 | m \geq 1)$ gehörende verallgemeinerte Grenzkostenfunktion $\frac{dE(K_1 | m \geq 1)}{d\Delta R}$ erhält man aus der bereits bekannten Spezialfunktion für $m = 1$ (Gl. 33 und Abb. 4.4), indem man analog zu $E(K_1 | m \geq 1)$ die Standardabweichung durch $\sigma_m = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$ ersetzt:

$$\begin{aligned}
 & \frac{d}{d\Delta R} E(K_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m \geq 1) = \\
 & = -p_s \Phi\left(-\frac{\Delta R}{\sigma_m}\right) + 2c_R = \tag{Gl. 46} \\
 & = \underbrace{-p_s \Phi\left(-\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0}\right)}_{\substack{\text{Grenzkosten der} \\ \text{Mengenflexibilität } \Delta R \\ \text{für } m \geq 1}} + \underbrace{2c_R}_{\substack{\text{marginale Bereitstellungskosten} \\ \text{einer Flexibilitatseinheit } \Delta R}}
 \end{aligned}$$

Aus Abb. 4.5 erkennt man: Bei steigender relativer Mengenflexibilität $\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ nehmen die *Grenzersparnisse bei den Risikokosten* umso schneller ab, je höher die Variantenflexibilität m ist.

Wenn im Szenario $m \geq 1$ (wie bei Einzelartikeln $m = 1$) das Ziel der Flexibilitätspolitik darin besteht, einen fallabhängig „*lohnenden*“ Anteil γ_K [%] des Risikosenkungspotenzials K_{\max} auszuschöpfen, dann müssen hierbei die *kombinierten Wirkungen* der Mengenflexibilität ΔR und der Variantenflexibilität m berücksichtigt werden. Unter Verwendung der Risikokostenfunktion $E(\overline{K_1} | m \geq 1)$ und der Definition von K_{\max} lautet die verallgemeinerte Form von Bedingungsleichung 38:

$$\frac{\sqrt{2\pi} K_{\max}}{\sqrt{m}} \Psi\left(\sqrt{m} \frac{\Delta R_K}{\sigma_0}\right) = (1 - \gamma_K) K_{\max} \quad \text{Gl. 47}$$

Hieraus ergibt sich für den *Ausschöpfungsanteil* γ_K folgende funktionale Abhängigkeit von m , ΔR_K und σ_0 :

$$\gamma_K = 1 - \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \Psi\left(\sqrt{m} \frac{\Delta R_K}{\sigma_0}\right) = 1 - \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \Psi(\sqrt{m} \gamma_\Delta) \quad \text{Gl. 48}$$

In Tab. 4.2 wurde der Ausschöpfungsgrad γ_K des Risikosenkungspotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von ausgewählten Werten der Variantenflexibilität m und der relativen Mengenflexibilität γ_Δ berechnet. Der Grenzfall *positiver Mengenflexibilität ohne Variantenflexibilität* (Spalte $m = 1$ in Tab. 4.2) wurde bereits in Abschn. (4) diskutiert. Der umgekehrte Grenzfall *positiver Variantenflexibilität ohne Mengenflexibilität* (Zeile $\gamma_\Delta = 0$) entspricht dem einfachen „*Wurzelgesetz*“ von Risk-Pooling-Systemen. Hier vereinfacht sich nämlich Gl. 48 wie folgt:

$$\gamma_K(\gamma_\Delta = 0) = 1 - \frac{1}{\sqrt{m}} \quad \text{Gl. 49}$$

Insgesamt zeigen die Tabellenwerte die starke Wirksamkeit von Risk-Pooling-Effekten: Schon bei kleinen Sortimentsgroen (d.h. bei geringer Variantenflexibilität m) reicht eine

relativ „bescheidene“ Mengenflexibilität aus (z.B. $\Delta R = 0,4\sigma_0$), um mehr als 80% des Risikosenkungspotenzials K_{\max} auszuschöpfen.

γ_{Δ} \ m	1	2	3	4	5	10	20
0,0	0%	29,3%	42,3%	50,0%	55,3%	68,4%	77,6%
0,2	23,1%	51,5%	63,9%	71,1%	75,9%	87,3%	94,3%
0,4	42,2%	68,4%	79,1%	84,9%	88,6%	96,1%	99,2%
0,6	57,7%	80,5%	88,8%	93,0%	95,3%	99,1%	99,9%
0,8	69,9%	88,6%	94,5%	97,1%	98,4%	99,9%	100%
1,0	79,1%	93,7%	97,6%	98,9%	99,5%	100%	100%
1,2	85,9%	96,7%	99,0%	99,7%	99,9%	100%	100%
1,4	90,8%	98,4%	99,6%	99,9%	100%	100%	100%

Tab. 4.2 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$

Zur Bestimmung der *absoluten oder der relativen Mengenflexibilität* ΔR_K bzw. γ_{Δ} , die man zur Erreichung eines *gewünschten Ausschöpfungsanteils* γ_K benötigt, sind folgende Umkehrfunktionen von Gl. 48 von Nutzen.

$$\Delta R_K = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \Psi^{-1} \left(\frac{(1 - \gamma_K) \sqrt{m}}{\sqrt{2\pi}} \right) \quad \text{Gl. 50}$$

$$\gamma_{\Delta} = \frac{1}{\sqrt{m}} \Psi^{-1} \left(\frac{(1 - \gamma_K) \sqrt{m}}{\sqrt{2\pi}} \right) \quad \text{Gl. 51}$$

Aus der *Nicht-Negativitatsbedingung für die Mengenflexibilität* und aus den Eigenschaften der Umkehrfunktion $\Psi^{-1}(z)$ folgt die Restriktion:

$$(1 - \gamma_K) \sqrt{m} \leq 1 \quad \text{Gl. 52}$$

Hieraus lässt sich unmittelbar folgende *Dispositionsregel* ableiten:

Wenn die *Variantenflexibilität* m den Schwellwert

$$m \geq \left(\frac{1}{1 - \gamma_K} \right)^2 \quad \text{Gl. 53}$$

übersteigt, dann ist zur Erreichung eines gewünschten Ausschöpfungsgrades γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials *keine Flexibilität bei den Produktionsgesamtmengen* erforderlich (d.h. $\Delta R_K = 0$). Sollen z.B. mindestens $\gamma_K = 80\%$ des durch Flexibilität aktivierbaren Risikosenkungspotenzials K_{\max} ausgeschöpft werden, dann kann die für den Zeitpunkt t_1 geplante Gesamtkapazität prior *ohne Flexibilitätsbandbreite* auf den Planungswert $m_{\mu_0} \pm 0$ festgelegt werden, wenn der Umfang des betrachteten Teilesortiments (die Variantenflexibilität) m den Wert 25 erreicht oder übersteigt.

Wie gezeigt wird im Fall $m \geq \left(\frac{1}{1 - \gamma_K} \right)^2$ die zur Erreichung des Ausschöpfungsanteils γ_K

bei Einzelartikeln ($m = 1$) erforderliche Gesamtmengenflexibilität ΔR_K *vollständig durch eine entsprechend hohe Variantenflexibilität substituiert*. Unterhalb dieser Grenze findet eine *Teilsubstitution* statt. Der *Substitutionsanteil* $s_m < 100\%$ kann auf einfache Weise wie folgt ermittelt werden:

$$s_m = 1 - \frac{\Delta R_K(m \geq 1)}{\Delta R_K(m = 1)} = 1 - \frac{\frac{1}{\sqrt{m}} \Psi^{-1} \left(\frac{(1 - \gamma_K) \sqrt{m}}{\sqrt{2\pi}} \right)}{\Psi^{-1} \left(\frac{1 - \gamma_K}{\sqrt{2\pi}} \right)} \quad \text{Gl. 54}$$

mit

$$m \leq \left(\frac{1}{1 - \gamma_K} \right)^2 \quad \text{Gl. 55}$$

Theoretisch interessant ist hierbei, dass das prozentuale Ausmaß s_m , in dem die *Variantenflexibilität* m die *Mengenflexibilität* ΔR ersetzt, nur vom geforderten Ersparnispotenzialanteil γ_K und vom Sortimentsumfang m abhängt. Für die Parameterwerte $\gamma_K = 80\%$ und $m = 4$ resultiert z.B. ein *Substitutionsanteil* von

$$s_m = 1 - \frac{\frac{1}{\sqrt{4}} \Psi^{-1}\left(\frac{0,2\sqrt{4}}{\sqrt{2\pi}}\right)}{\Psi^{-1}\left(\frac{0,2}{\sqrt{2\pi}}\right)} = 1 - \frac{1}{2} \frac{0,634}{1,0225} = 69\%$$

Dies bedeutet: Steigt c.p. bei einem geforderten Risikosenkungsanteil von $\gamma_K = 80\%$ die Variantenflexibilität von $m = 1$ (d.h. keine Variantenflexibilität) auf $m = 4$, dann lässt sich die Gesamtmengenflexibilität von $\Delta R_{80\%}(m = 1) = 1,0225\sigma_0$ auf $\Delta R_{80\%}(m = 4) = 0,317\sigma_0$, also um 69% absenken.

Wie bei Einzelartikeln $m = 1$ ohne Variantenflexibilität (vgl. Abschn. (4)) ist eine *formale Optimierung* der Mengenflexibilitatsentscheidung ΔR^* dann möglich, wenn die *spezifischen Bereitstellungskosten der Mengenflexibilität* c_R [GE/ME] quantifiziert werden können. Eine Gleichsetzung der durch Mengenflexibilität bewirkten *Grenzersparnis* und der *Bereitstellungsgrenzkosten* unter Einbeziehung der Variantenflexibilität m führt auf die verallgemeinerte Bedingungsgleichung (vgl. hierzu Gl. 38):

$$p_s \Phi\left(-\sqrt{m} \frac{\Delta R}{\sigma_0}\right) = 2c_R \quad \text{Gl. 56}$$

Die *optimale Mengenflexibilität* ΔR^* unter Berücksichtigung der Variantenflexibilität m lautet somit:

$$\Delta R^* = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \Phi\left(1 - \frac{2c_R}{p_s}\right) \quad \text{Gl. 57}$$

Wie im Spezialfall $m = 1$ dürfen die Bereitstellungskosten der Mengenflexibilität nicht über den Wert $c_R = 0,25p_s$ steigen, wenn die Prior-Disposition einer positiven Gesamtmengenflexibilität $\Delta R > 0$ lohnend sein soll.

Ergänzend zum Spezialfall $\alpha = 0$, $R_m = \mu_0$, $m = 1$ (vgl. Abschn. (4)) können die Erkenntnisse für den verallgemeinerten Fall einer positiven Variantenflexibilität $m > 1$ wie folgt zusammengefasst werden:

- Kritische Voraussetzungen für die Nutzung von Risk-Pooling-Effekten bei der Planung von Teilsortimenten vom Umfang m sind
 - einerseits *stochastisch voneinander unabhängige* (oder auch negativ korrelierte) Nachfrageprognosefehler bei den Einzelartikeln ($i = 1, \dots, m$) und
 - andererseits *variantenflexible Produktionsprozesse*, die zum Posteriorzeitpunkt t_1 eine freie Disposition der Einzelartikelmengen x_{i1} innerhalb von prior disponierten *Gesamt mengen oder Gesamtkapazitatsgrenzen* $m\mu_0 \pm m\Delta R$ für das Teilsortiment erlauben.
- Sind die kritischen Voraussetzungen näherungsweise erfüllt, bewirkt eine *Steigerung der Variantenflexibilität* vom Wert $m = 1$ (keine Variantenflexibilität) auf den Wert $m > 1$ c.p. dieselbe Risikoabsenkung, wie wenn bei m Einzelartikeln (ohne Variantenflexibilität) der *Prior-Prognosefehler* von σ_0 auf den Wert $\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$ vermindert worden wäre:
 - Im Grenzfall einer fehlenden Mengenflexibilität $\Delta R = 0$ hat dies eine Absenkung der Risikokosten nach dem „*Wurzelgesetz*“ $\frac{1}{\sqrt{m}}$ zur Folge.
 - Bei positiver Gesamt mengenflexibilität $\Delta R > 0$ vermindert der steigende Argumentwert $\frac{\sqrt{m}\Delta R}{\sigma_0}$ der *monoton fallenden Fehlmengenfunktion* (zusätzlich zum „*Wurzelgesetz*“) die Absatzrisikokosten.
- Besteht die Flexibilitätspolitik darin, einen *bestimmten Anteil* γ_k (z.B. 80%) des *Risiko senkungspotenzials* K_{\max} auszuschöpfen, dann ist hierzu eine *immer geringere Mengenflexibilität* ΔR_k erforderlich, je höher die Variantenflexibilität m ansteigt (*Substitution von Mengenflexibilität ΔR durch Variantenflexibilität m*). Bei Erreichen oder überschreiten des *Schwellwertes* $m \geq \left[\frac{1}{1-\gamma_k} \right]^2$ sind die stochastischen

Mengenausgleichseffekte zwischen den m Varianten des betrachteten Teilsortiments (*Risk-Pooling-Effekte*) so stark angewachsen, dass *ohne Gesamtmengenflexibilität* der Zielwert γ_k erfüllt oder übererfüllt wird (100%ige Substitution, d.h. $\Delta R_K = 0$).

- Für die *optimale Flexibilitatsstrategie* ΔR^* bei gegebener Variantenflexibilität m gilt: Verglichen mit der optimalen Einzelartikeldisposition $m = 1$ (vgl. Abschn. (4)) schrumpft der Optimalwert ΔR^* mit wachsender Variantenflexibilität m proportional zum *Schrumpfungsfaktor* $\frac{1}{\sqrt{m}}$. Die Schwelle $c_R < 0,25p_s$ für die *Bereitstellungskosten der Flexibilität* gilt auch für $m > 1$: überschreitet c_R den Wert $0,25p_s$ ist es kostengünstiger, auf die Bereitstellung von Mengenflexibilität zu verzichten ($\Delta R^* = 0$).

Beispiel 2

Wir gehen von den Daten des Beispiels 1 (Seite 100) aus und unterstellen zusätzlich eine *Variantenflexibilität von $m = 3$* :

$$\begin{array}{llll} \mu_0 = 10.000 \text{ ME} & \sigma_0 = 4.000 \text{ ME} & \alpha = 0,0 & p = 80 \text{ GE/ME} \\ c = 40 \text{ GE/ME} & p_u = 30 \text{ GE/ME} & c_R = 4 \text{ GE/ME} & \Delta c = 0 \text{ GE/ME} \\ R_m = \mu_0 = 10.000 \text{ ME} & m = 3 & & \end{array}$$

Derivative Parameterwerte:

$$\begin{array}{llll} c_u = 40 \text{ GE/ME} & c_d = 10 \text{ GE/ME} & p_s = 50 \text{ GE/ME} & c_R = 0,08 p_s \\ \sigma_m = 2.309 \text{ ME} & & & \end{array}$$

Als *optimale Mengenflexibilität* ΔR^* unter Berücksichtigung der Variantenflexibilität von $m = 3$ ergibt sich

$$\Delta R^* = 2.309 \cdot \Phi\left(1 - \frac{2 \cdot 4}{50}\right) = 2.297 \text{ ME}$$

Die *minimale Kostenerwartung* liegt bei

$$K_{\min} = E(K_i^*) = 2.309 \cdot 50 \cdot \Psi\left(\sqrt{3} \frac{2.297}{4.000}\right) + 2 \cdot 4 \cdot 2.297 = 28.095 \text{ GE}$$

Als *relative Mengenflexibilität* berechnet sich

$$\gamma_\Delta = \frac{2.297}{4.000} = 57,42\%$$

Dadurch ergibt sich als *Ausschöpfungsanteil des Risikoersparnispotenzials* γ_K

$$\gamma_K = 1 - \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \Psi(\sqrt{m}\gamma_\Delta) = 1 - \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{3}} \Psi(\sqrt{3} \cdot 0,5742) = 87,81\%$$

Der *Substitutionsanteil* s_m beträgt

$$s_m = 1 - \frac{\Delta R(m=3)}{\Delta R(m=1)} = 1 - \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \Psi^{-1}\left(\frac{(1-0,8781)\sqrt{3}}{\sqrt{2\pi}}\right)}{\Psi^{-1}\left(\frac{1-0,8781}{\sqrt{2\pi}}\right)} = 1 - \frac{0,5740}{1,2688} = 54,76\%$$

Es zeigt sich, dass ein gefordertes *Risiko-Ersparnispotenzial* von $\gamma_K = 87,81\%$ durch einen Anstieg der Variantenflexibilität von $m = 1$ auf $m = 3$ mit einer um 54,76% verringerten Gesamt mengenflexibilität erreicht werden kann. Die Gesamt mengenflexibilität reduziert sich von $\Delta R_{87,81\%}(m=1) = 1,2688\sigma_0 = 3,976$ ME auf $\Delta R_{87,81\%}(m=3) = 0,5740\sigma_0 = 2,297$ ME = ΔR^* .

Den *Schwellwert* m , ab dem ganz auf Mengenflexibilität verzichtet werden kann, berechnen wir als

$$m \geq \left(\frac{1}{1-0,8781}\right)^2 \approx 68$$

4.4.3 Flexibilitaterfolge bei begrenzten Prognoseverbesserungen

(1) *Ermittlung der Risikokostenfunktion für den verallgemeinerten Fall einer unsicheren Posteriorprognose $0 < \alpha < 1$*

Wir greifen wieder (ohne Herleitung) auf ein Ergebnis von Diruf²⁵⁶ zurück und definieren zunächst die Hilfsvariablen \hat{z}_{1T} und \hat{z}_{1H} unter Einbeziehung des Prognoseverbesserungsfaktors $\alpha > 0$ (vgl. Glen. 20 und 21 in Abschn. 4.4.2 (2)):

$$\hat{z}_{1T} = \sqrt{m} \frac{x_0 - z_1^* \alpha \sigma_0 - \mu_0}{\sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0} \quad \text{Gl. 58}$$

$$\hat{z}_{1H} = \sqrt{m} \frac{x_0 + R_0 - z_1^* \alpha \sigma_0 - \mu_0}{\sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0} \quad \text{Gl. 59}$$

Im vorliegenden suboptimalen Entscheidungsszenario mit $R_m = \mu_0$ und $\Delta c = 0$ gelten für \hat{z}_{1T} und \hat{z}_{1H} die folgenden speziellen Parameterdefinitionen:

$$z_1^* = \Phi^{-1} \left(\omega_0^* + \frac{\Delta c}{p_s} \right) = \Phi^{-1} (\omega_0^*) = \Phi^{-1} \left(\frac{c_u}{p_s} \right) = z_0^* \quad \text{Gl. 60}$$

$$x_0 = \mu_0 - \Delta R \quad \text{Gl. 61}$$

$$x_0 + R_0 = \mu_0 + \Delta R \quad \text{Gl. 62}$$

$$\Delta R = \sigma_0 \gamma_\Delta \quad \text{Gl. 63}$$

Somit erhalten wir:

$$\hat{z}_{1T} = \sqrt{m} \frac{-\alpha z_0^* - \gamma_\Delta}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \quad \text{Gl. 64}$$

$$\hat{z}_{1H} = \sqrt{m} \frac{-\alpha z_0^* + \gamma_\Delta}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \quad \text{Gl. 65}$$

Die *Risikokostenfunktion des m-Artikel-Kapazitätsoptionsmodells* umfasst in Abhängigkeit vom Ergebnis der verbesserten Posteriorprognosewerte μ_{1i} *einen (a)-, einen (b)- und einen (c)-Bereich*²⁵⁷:

²⁵⁶ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 151ff.

(a)-Bereich: Untergrenze $R_m - \Delta R$ des Mengenflexibilitatsbereichs aktiv

Die verbesserten Posterior-Nachfrageprognosen μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$) sind im (a)-Fall so „niedrig“ ausgefallen, dass der Disponent zum Zeitpunkt t_1 die (eigentlich gewünschten) optimalen Planungsmengen x_{1i}^* für die m Varianten nicht realisieren kann, weil er die Untergrenze des prior disponierten Flexibilitatsbereichs einhalten muss:

$$\sum_i x_{1i} = m(R_m - \Delta R) \quad \text{Gl. 66}$$

Um die Flexibilitatsuntergrenze einzuhalten, müssen die x_{1i} -Werte im Fall (a) größer als die Optimalwerte disponiert werden: $x_{1i} > x_{1i}^*$. Als durchschnittliche Prior-Kostenerwartung pro Artikel für den (a)-Bereich erhält man²⁵⁸:

$$E(\bar{K}_1 | a\text{-Bereich}) = \alpha \sigma_0 \left[c_{ii} (b_1 \Phi(\hat{z}_{1T}) - a \varphi(\hat{z}_{1T})) + (c_u + c_{ii}) \int_{-\infty}^{\hat{z}_{1T}} \Psi(az_1 + b_1) \varphi(z_1) dz_1 \right] \quad \text{Gl. 67}$$

mit \hat{z}_{1T} gem. Gl. 64 und

$$a = -\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\sqrt{m} \alpha} \quad \text{Gl. 68}$$

$$b_1 = -\frac{\gamma_{\Delta}}{\alpha} \quad \text{Gl. 69}$$

(b)-Bereich: Unter- und Obergrenze $R_m \pm \Delta R$ des Mengenflexibilitatsbereichs nicht aktiv

Die verbesserten Posterior-Prognosewerte μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$) haben im (b)-Fall „mittlere“ Zufallswerte angenommen, so dass der Disponent bei Realisierung der Optimalmengen x_{1i}^* ($i = 1, \dots, m$) im prior disponierten Flexibilitätsbereich $R_m \pm \Delta R$ bleibt:

$$m(R_m - \Delta R) \leq \sum_i x_{1i}^* \leq m(R_m + \Delta R) \quad \text{Gl. 70}$$

Als durchschnittliche Prior-Kostenerwartung des (b)-Bereichs pro Artikel erscheinen somit die *Optimalkosten*, gewichtet mit der Wahrscheinlichkeit, dass der (b)-Fall eintritt²⁵⁹:

²⁵⁷ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 146ff, Gln. 256 bis 290.

²⁵⁸ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 152, Gl. 283.

²⁵⁹ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 152, Gl. 286.

$$E(\overline{K}_1 | b - \text{Bereich}) = \alpha \sigma_0 [c_{\bar{u}} z_0^* + (c_u + c_{\bar{u}}) \Psi(z_0^*)] \cdot (\Phi(\hat{z}_{1H}) - \Phi(\hat{z}_{1T})) \quad \text{Gl. 71}$$

mit \hat{z}_{1H} und \hat{z}_{1T} gem. Gl. 64 bzw. 65

(c)-Bereich: Obergrenze $R_m + \Delta R$ des Mengenflexibilitatsbereichs aktiv

Spiegelbildlich zum Fall (a) sind hier die Posterior-Prognosewerte μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$) „zufällig“ so hoch ausgefallen, dass zum Zeitpunkt t_1 die (eigentlich gewünschten) Optimalmengen x_{1i}^* nicht realisiert werden können, weil die maximal verfügbare Kapazität pro Artikel $R_m + \Delta R$ hierzu nicht ausreicht:

$$\sum_i x_{1i} = m(R_m + \Delta R) \quad \text{Gl. 72}$$

Um die Kapazitätsobergrenze einzuhalten, müssen die Optimalwerte x_{1i}^* mit geringsten Kostensteigerungen gekürzt werden: $x_{1i} < x_{1i}^*$.

Als durchschnittliche Prior-Kostenerwartung pro Artikel ermittelt man für den (c)-Bereich²⁶⁰:

$$\begin{aligned} E(\overline{K}_1 | c - \text{Bereich}) &= \\ &= \alpha \sigma_0 \left[c_{\bar{u}} (b_2 \Phi(-\hat{z}_{1H}) - a \varphi(\hat{z}_{1H})) + (c_u + c_{\bar{u}}) \int_{\hat{z}_{1b}}^{\infty} \Psi(a z_1 + b_2) \varphi(z_1) dz_1 \right] \end{aligned} \quad \text{Gl. 73}$$

mit \hat{z}_{1H} und a gem. Gl. 64 bzw. Gl. 68 und

$$b_2 = + \frac{\gamma \Delta}{\alpha} \quad \text{Gl. 74}$$

(d) Zusammenfassung der Kostenkomponenten

Bei Zusammenfassung der Kostenkomponenten des (a)-, (b)- und (c)-Bereichs ergibt sich die Risikokostenfunktion für das vorliegende verallgemeinerte Szenario $\alpha > 0$. Eine Ergänzung durch (eventuell vorhandene) Flexibilitatsbereitstellungskosten $2c_R \Delta R$ erbringt folgendes Ergebnis:

$$\begin{aligned} E(\overline{K}_1 | 0 \leq \alpha \leq 1; \Delta c = 0; R_m = \mu_0) &= \\ &= E(\overline{K}_1 | a - \text{Bereich}) + E(\overline{K}_1 | b - \text{Bereich}) + E(\overline{K}_1 | c - \text{Bereich}) + 2c_R \Delta R \end{aligned} \quad \text{Gl. 75}$$

²⁶⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 152, Gl. 288.

(2) *Maximales Brutto-Ersparnispotenzial der Mengenflexibilität ΔR und der Variantenflexibilität m für $\alpha > 0$*

(a) *Maximale Kostenerwartung K_{\max} im unflexiblen Fall $\Delta R = 0$ und $m = 1$*

Wie im Fall der sicheren Posteriorprognose $\alpha = 0$ (vgl. Abschn. 4.4.2 (4)) gehen wir von den Risikokosten K_{\max} aus, die ohne Mengen- und ohne Variantenflexibilität zu erwarten sind (vgl. Gl. 31):

$$K_{\max} = \Psi(0)(c_u + c_a)\sigma_0 = \frac{p_s\sigma_0}{\sqrt{2\pi}} \approx 0,3989 p_s\sigma_0 \quad \text{Gl. 76}$$

Wie man leicht erkennt, gilt der für den Spezialfall $\alpha = 0$ ermittelte K_{\max} -Wert auch für beliebige andere α -Werte ($0 < \alpha < 1$): Ohne Varianten- und Mengenflexibilität wird die Planungsmenge ohne spätere Korrekturmöglichkeit prior auf den Wert μ_0 festgelegt. Die vom *Prognoseverbesserungsfaktor* α beeinflussten Posterior-Prognosewerte μ_{1i} spielen also für die Disposition und damit für die Kostenerwartung *keine Rolle*.

Auch formal lässt sich der K_{\max} -Wert aus der verallgemeinerten Kostenfunktion $E(\overline{K}_1 | 0 < \alpha < 1; \Delta c = 0; R_m = \mu_0)$ für den unflexiblen Grenzfall $\Delta R = \gamma_\Delta = 0$ und $m = 1$ herleiten. Es gilt zunächst:

$$\hat{z}_{1T}(\gamma_\Delta = 0) = \hat{z}_{1H}(\gamma_\Delta = 0) \quad \text{Gl. 77}$$

Wegen

$$\Phi(\hat{z}_{1H}) - \Phi(\hat{z}_{1T}) = 0 \quad \text{Gl. 78}$$

folgt hieraus:

$$E(\overline{K}_1 | b\text{-Bereich}) = 0 \quad \text{Gl. 79}$$

Ebenso verschwinden die Terme $b_1\Phi(\hat{z}_{1T})$ und $b_2\Phi(\hat{z}_{1H})$ im (a)-Bereich bzw. im (c)-Bereich wegen $b_1 = b_2 = 0$. Schließlich heben sich auch die Terme $-a\varphi(\hat{z}_{1T}) + a\varphi(\hat{z}_{1H}) = 0$ wegen $\hat{z}_{1T} = \hat{z}_{1H}$ gegenseitig auf. Es verbleiben also nur *die beiden Integrale* im (a)- und

im (c)-Bereich. Wegen übereinstimmender Grenzen $\hat{z}_{1T} = \hat{z}_{1H}$ und Integranden können diese Integrale zusammengefasst und mit Hilfe der Integralformel²⁶¹

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(az + b) \varphi(z_1) dz_1 = \sqrt{1+a^2} \Psi\left(\frac{b}{\sqrt{1+a^2}}\right) \quad \text{Gl. 80}$$

wie folgt ausgewertet werden:

$$\begin{aligned} E(\overline{K_1} | 0 < \alpha < 1; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1; \Delta R = 0) &= \\ &= \alpha \sigma_0 (c_u + c_a) \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(-\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha} z_1\right) \varphi(z_1) dz_1 = \\ &= \alpha \sigma_0 (c_u + c_a) \frac{1}{\alpha} \Psi(0) = \frac{P_s \sigma_0}{\sqrt{2\pi}} = K_{\max} \end{aligned} \quad \text{Gl. 81}$$

Es ergibt sich somit dasselbe Ergebnis, das bei der Herleitung von Gl. 76 auf anderem Weg gefunden wurde.

(b) Durch „große“ Mengenflexibilität ΔR erreichbares minimales Risikostenniveau K_{\min}

Bei sicherer Posterior-Nachfrageprognose $\alpha = 0$ können für Einzelartikel $m = 1$ (also ohne Variantenflexibilität) die Risikokosten (asymptotisch) auf null gesenkt werden ($K_{\min} (\alpha = 0) = 0$), wenn die Mengenflexibilität ΔR auf „hohe“ Werte steigt (vgl. Abschn. 4.4.2 (4)).

Es stellt sich die Frage, welchem unteren Grenzwert K_{\min} sich die Risikokostenerwartung $E(\overline{K_1})$ nähert, wenn nur *begrenzte Prognoseverbesserungen* $\alpha > 0$ möglich sind?

Hier ist zunächst anzumerken, dass bei der vorliegenden Definition eines *symmetrischen Flexibilitätsbereiches* $R_m \pm \Delta R = \mu_0 \pm \Delta R$ die Mengenflexibilität *maximal auf den Wert* $\Delta R = \mu_0$ steigen kann, weil andernfalls unsinnige negative Bereichsuntergrenzen entstehen würden. Für das allgemeine Kapazitätsoptionsmodell von Diruf gilt diese Flexibilitätsrestriktion jedoch nicht, weil hier die Kapazitätsunter- und -obergrenzen (x_0 bzw. $x_0 + R_0$) unabhängig voneinander festgelegt werden.

Für die folgenden Grenzwertüberlegungen können wir somit unbeschadet der Obergrenze $\Delta R_{\max} = \mu_0$ von „hohen“ ΔR -Werten und damit von „hohen“ γ_{Δ} -Werten ausgehen. Steigt

²⁶¹ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 200, Gl. B7.

der γ^Δ -Wert an, dann sinkt der Wert der Hilfsvariablen \hat{z}_{1T} ab, während der Wert von \hat{z}_{1H} monoton zunimmt (vgl. die Gln. 64 und 65). In der Risikokostenfunktion $E(\overline{K}_1)$ steigt dadurch die Breite des (b)-Bereiches $\hat{z}_{1H} - \hat{z}_{1T}$ und die *Eintrittswahrscheinlichkeit des (b)-Falles* $\Phi(\hat{z}_{1H}) - \Phi(\hat{z}_{1T})$ monoton an, während die beiden Randbereiche (a) und (c) immer „schmäler“ und damit „unwahrscheinlicher“ werden. Für „große“ γ^Δ -Werte nähert sich schließlich die Eintrittswahrscheinlichkeit des (b)-Bereiches 100%, während die (a)- und die (c)-Komponente der Kostenfunktion verschwinden. Als unterer *Grenzwert der Kostenfunktion* verbleibt:

$$\begin{aligned} E(\overline{K}_1 | 0 < \alpha < 1 = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m = 1; \Delta R \text{ „groß“}) = \\ = \alpha \sigma_0 (c_u z_0^* + (c_u + c_i) \Psi(z_0^*)) = K_{\min} \end{aligned} \quad \text{Gl. 82}$$

Gl. 82 kann wie folgt interpretiert werden: Bei *nicht begrenzter Mengenflexibilität* ΔR kann der Disponent in jedem Fall die zum Posteriorzeitpunkt t_1 verfügbaren verbesserten Prognosewerte μ_{1i} bestmöglich verwerten und ohne einengende Kapazitätsober- und -untergrenzen die posterior optimalen Planungswerte x_{1i}^* ($i = 1, \dots, m$) realisieren. K_{\min} spiegelt somit die *minimale Kostenerwartung* wider, die gemäß *Newsvendor-Modell* bei optimaler Disposition mit dem *verminderten Posterior-Prognosefehler* $\alpha \sigma_0$ erreichbar ist. Da für den optimalen Newsvendor-Kostenwert eine (einfachere) alternative Darstellung existiert²⁶², können wir auch schreiben:

$$\begin{aligned} K_{\min} &= \alpha \sigma_0 [c_u z_0^* + (c_u + c_i) \Psi(z_0^*)] = \\ &= \alpha \sigma_0 (c_u + c_i) \varphi(z_0^*) = \\ &= \alpha \sigma_0 (c_u + c_i) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}} = \\ &= \alpha K_{\max} \sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*) = \\ &= \alpha K_{\max} e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}} \end{aligned} \quad \text{Gl. 83}$$

mit

$$z_0^* = \Phi^{-1}(\omega_0^*) = \Phi^{-1}\left(\frac{c_u}{c_u + c_i}\right) \quad \text{Gl. 84}$$

²⁶² Vgl. Gl. 9 in Abschn. 4.3.3 (1).

(c) Durch „große“ Variantenflexibilität m erreichbares minimales Risikokostenniveau K_{\min} bei positiver Mengenflexibilität ΔR

Bereits bei der Grenzwertbildung für „große“ ΔR -Werte hatten wir erkannt, dass in der Kostenfunktion $E(K_1)$ die Eintrittswahrscheinlichkeit $\Phi(\hat{z}_{1H}) - \Phi(\hat{z}_{1T})$ des optimalen (b)-Bereiches auf Kosten der nichtoptimalen Randbereiche (a) und (c) ansteigt, wenn c.p. die (b)-Breite $\hat{z}_{1H} - \hat{z}_{1T}$ zunimmt. Gehen wir zunächst von einer *positiven Mengenflexibilität* γ_Δ aus, dann gilt für die (b)-Breite gem. Gl. 64 und Gl. 65:

$$\Delta \hat{z} = \hat{z}_{1H} - \hat{z}_{1T} = \sqrt{m} \frac{2\gamma_\Delta}{\sqrt{1-\alpha^2}} > 0 \quad \text{Gl. 85}$$

Man erkennt aus Gl. 85, dass $\Delta \hat{z}$ und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit des (b)-Falls in der Kostenfunktion mit \sqrt{m} monoton ansteigt. *Positive Mengenflexibilität* $\Delta R > 0$ vorausgesetzt, nähert sich somit die $E(\overline{K_1})$ bei einer *monotonen Erhöhung der Variantenflexibilität* m , wenn „hohe“ m -Werte erreicht werden, *demselben unteren Grenzwert* $K_{\min} = \alpha\sigma_0(c_u + c_{\bar{u}})\varphi(z_0^*)$ wie bei einem monotonen Anstieg der Mengenflexibilität ΔR .

(d) *Sonderfall: zunehmende Variantenflexibilität m ohne Mengenflexibilität ($\Delta R = \gamma_\Delta = 0$)*

Wir greifen nochmals die Herleitung von $K_{\max} = \sigma_0(c_u + c_{\bar{u}})\Psi(0)$ für den *unflexiblen Grenzfall* ($\gamma_\Delta = 0$ und $m = 1$) in Abschn. (a) auf (Gln. 77 bis 81). Es sei nun angenommen, dass für die *Mengenflexibilität bleibend der Wert null* disponiert wurde ($\Delta R = \gamma_\Delta = 0$), während die *Variantenflexibilität m monoton auf „große“ Werte ansteigt*. Es erhebt sich die Frage, welchem unteren Grenzwert sich die Risikokostenfunktion $E(\overline{K_1})$ in diesem Szenario nähert.

Wie man aus der Definition der Hilfsvariablen \hat{z}_{1T} und \hat{z}_{1H} erkennt (vgl. Gl 64 und 65), stört ein monotoner Anstieg des m -Wertes für $\gamma_K = 0$ nicht die nach wie vor gültige Gleichheit der \hat{z} -Werte:

$$\hat{z}_{1T}(\gamma_\Delta = 0; m > 1) = \hat{z}_{1H}(\gamma_\Delta = 0; m > 1) \quad \text{Gl. 86}$$

Ebenso gilt weiterhin (unabhängig vom m-Wert)

$$b_1 = b_2 = 0 \quad \text{Gl. 87}$$

Die Analyse verläuft somit bis zur Zusammenführung der Teilintegrale wie im K_{\max} -Szenario. Erst hier erscheint im Integranden der Parameter $m > 1$. Entsprechend der Integralformel (Gl. 80) erhalten wir das folgende verallgemeinerte Ergebnis:

$$\begin{aligned} E(\overline{K}_1 | 0 < \alpha < 1 = 0; \Delta c = 0; R_m = \mu_0; m > 1; \Delta R = 0) &= \\ = \alpha \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi \left(-\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\sqrt{m\alpha}} z_1 \right) \varphi(z_1) dz_1 &= \\ = \alpha \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \sqrt{1 + \frac{1}{m\alpha^2} - \frac{1}{m}} \cdot \Psi(0) \end{aligned} \quad \text{Gl. 88}$$

Steigt die Variantenflexibilität m auf „große“ Werte, während die Mengenflexibilität beim Wert null verharrt ($\Delta R = 0$), dann nähern sich die Risikokosten folgendem unteren Kostenwert K'_{\min} :

$$K'_{\min} = \alpha \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \Psi(0) = \alpha \cdot K_{\max} \quad \text{Gl. 89}$$

Wir halten fest: Bei fehlender Mengenflexibilität ($\Delta R = 0$) können die Risikokosten allein durch die Steigerung der Variantenflexibilität m nur bis zum Kostenniveau $K'_{\min} = \alpha \cdot K_{\max} > K_{\min}$ gesenkt werden.

(e) *Maximales Risikosenkungspotenzial ΔK_{\max} der Flexibilitätspolitik bei begrenzter Prognoseverbesserung $\alpha > 0$*

Wird im suboptimalen Entscheidungsszenario $R_m = \mu_0$

- die Mengenflexibilität ΔR und/oder
- die Variantenflexibilität m
- sukzessive gesteigert,

dann sinken die Absatzrisikokosten

- von ihrem maximalen Wert $K_{\max} = \frac{(c_u + c_{\bar{u}}) \cdot \sigma_0}{\sqrt{2\pi}}$ im Fall der Unflexibilität ($\Delta R = 0$; m = 1)

- asymptotisch auf ihren unteren Grenzwert ($\Delta R > 0$ vorausgesetzt):

$$K_{\min} = \alpha \sigma_0 (c_u + c_i) \varphi(z_0^*) = \alpha \sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*) K_{\max}$$

Der in der K_{\min} -Funktion zusätzlich zu α auftretende *Kostenschrumpfungsfaktor* $\sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*) \leq 1$ erklärt sich aus der *Suboptimalität der Prior-Strategie* $R_m = \mu_0$. Im Kapazitätsoptionsmodell von Diruf werden zum Posteriorzeitpunkt t_1 grundsätzlich *optimale Mengen-Dispositionen* auf Basis der verbesserten Nachfrageprognosewerte μ_{1i} unterstellt. Der i.d.R. suboptimale K_{\max} -Wert kann somit bei ausreichender Dispositionsflexibilitat durch Optimierung selbst dann auf $K_{\min} = \alpha \sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*) K_{\max} < K_{\max}$ gesenkt werden, *wenn keine Prognoseverbesserung* ($\alpha = 1$) zu erwarten ist. Diese Verbesserungsmöglichkeit verschwindet allerdings, wenn *optimale Prior-Dispositionen* unterstellt werden (vgl. Abschn. 4.5.1)

Unter der Voraussetzung $\Delta R > 0$ repräsentiert die Spanne $\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min}$ das *maximale Ersparnispotenzial bei den Absatzrisikokosten*, das prinzipiell durch Steigerung der Mengen- und/oder Variantenflexibilität aktiviert werden kann. Offenbar *steigt das Risikosenkungspotenzial der Flexibilität*

$$\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min} = (0,3989 - \alpha \varphi(z_0^*)) (c_u + c_i) \sigma_0 = (1 - \alpha \sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*)) K_{\max} \quad \text{Gl. 90}$$

- proportional zum Prior-Prognosefehler σ_0
- proportional zur Preisreduzierungsspanne $p_s = c_u + c_i$
- mit zunehmender Verbesserung der Nachfrageprognose (d.h. mit sinkendem α -Wert)
- und mit zunehmender Entfernung des Kostenverhaltnisses $\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_i}$ vom mittleren Bereichswert 50% (d.h. mit sinkendem Kostenschrumpfungsfaktor $\sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*) \leq 1$)

(3) Einsatz numerischer Auswertungs- und Optimierungsprozeduren für vertiefende Analysen des Flexibilitaterfolges

Die Untersuchungen zu den Risikosenkungspotenzialen der Flexibilität im Grenzfall einer sicheren Posterior-Nachfrageprognose $\alpha = 0$ konnten weitgehend mit *mathematisch-analytischen Methoden* durchgeführt werden, weil in diesem Spezialfall die

Risikokostenfunktion $E(\overline{K}_1 | \alpha = 0)$ eine relativ einfache Form aufweist (vgl. Abschn. 4.4.2, insbes. Gl. 27). Im Gegensatz dazu sind im vorliegenden verallgemeinerten Fall $\alpha > 0$ die *Möglichkeiten der mathematischen Analyse begrenzt*, weil die Risikokostenfunktion $E(\overline{K}_1 | \alpha > 0)$ *wesentlich komplexer strukturiert ist und Integralfunktionen umfasst*, die sich nicht als algebraische Kombinationen von Standardfunktionen darstellen lassen (vgl. Gln. 67 bis 74). Vertiefende Untersuchungen können somit nur durchgeführt werden, wenn man zusätzlich zur mathematischen Analyse *numerische Auswertungs- und Optimierungsprozeduren* einsetzt.

In diesem Sinn wurden EXCEL-Programme entwickelt, die für beliebige Parameterkombinationen

- eine Auswertung und
- eine Optimierung

des m-Artikel-Kapazitätsoptionsmodells erlauben. Im Rahmen dieser EXCEL-Programme werden die Integralfunktionen von $E(\overline{K}_1 | \alpha > 0)$ mit einer numerischen Prozedur ausgewertet²⁶³. Für Optimierungen kommt das Standardprogramm SOLVER zum Einsatz. Die Ergebnisse der EXCEL-Programme haben eine numerische Genauigkeit (im Bereich 10^{-6}), die für alle denkbaren praktischen und theoretischen Einsatzmöglichkeiten ausreichen dürfte.

(4) *Wirkungen einer steigenden Mengenflexibilität ΔR auf die Absatzrisikokosten von Einzelartikeln $m = 1$ bei unterschiedlichen Nachfrageverbesserungswerten $\alpha > 0$*

Für den *Grenzfall einer sicheren Posterior-Nachfrageprognose $\alpha = 0$* wurden die Wirkungen der Mengenflexibilität ΔR auf die Absatzrisikokosten bereits analysiert (vgl. Abschn. 4.4.2 (4)):

- Der Wert der Kostenerwartung $E(\overline{K}_1 | \alpha = 0)$ hängt wesentlich ab von der *relativen*

$$\text{Mengenflexibilität } \gamma_{\Delta} = \frac{\Delta R}{\sigma_0}.$$

- Mit wachsenden γ_{Δ} -Werten sinken die Risikokosten $E(\overline{K}_1 | \alpha = 0)$

²⁶³ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 199ff.

- von ihrem *Höchstwert* K_{\max} (bei $\gamma_{\Delta} = 0$)
- mit *fallenden Grenzersparnissen* ab und
- nähern sich für „große“ Flexibilitatswerte γ_{Δ} ihrem *unteren Grenzwert* $K_{\min} = 0$.

Eine mathematische und numerische Analyse der verallgemeinerten *Risikokostenfunktion* $E(\overline{K}|\alpha > 0)$ zeigt (vgl. Gl. 75), dass die für den Grenzfall $\alpha = 0$ ermittelten *Struktureigenschaften der Risikokostenfunktion* weitgehend auch für beliebige α -Werte ($0 < \alpha < 1$) gelten. Der wesentliche Unterschied zum Grenzfall $\alpha = 0$ besteht darin, dass mit *wachsenden α -Werten* (d.h. mit schlechter werdender Posterior-Prognose)

- das für große Mengenflexibilitaten geltende *minimale Kostenniveau* K_{\min}
- auf *höhere Kostenniveaus verschoben* wird (vgl. Abschn. (2), Gl. 83):

$$K_{\min} = \alpha \cdot \sqrt{2\pi} \phi\left(z_0^*\right) K_{\max} = \alpha \cdot e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}} K_{\max} \quad \text{Gl. 91}$$

Neben dem Prognoseverbesserungsfaktor α bestimmt auch *das artikelspezifische Verhältnis der Über- und Unterdeckungskosten* $\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}}$ das im Bestfall durch die hohe Flexibilität erreichbare minimale Kostenniveau K_{\min} (vgl. Tab. 4.3).

ω_0^*	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
z_0^*	-1,2816	-0,8416	-0,5244	-0,2533	0,0000	0,2533	0,5244	0,8416	1,2816
$e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}}$	0,4399	0,7018	0,8715	0,9684	1,0000	0,9684	0,8715	0,7018	0,4399

Tab. 4.3: Abhängigkeit des Kostenschumpfungsfaktors $e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}}$ vom Verhältnis der

$$\text{Über- und Unterdeckungskosten } \frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}} = \omega_0^*$$

Wir greifen als *Beispiel* einen Modeartikel heraus, für den $c_u = c_{\bar{u}}$, also $\omega_0^* = 50\%$ gilt. In diesem Fall entspricht die suboptimale Disposition $R_m = \mu_0$ der *Optimaldisposition* (vgl.

Abschn. 4.5) weshalb der Kostenschumpfungsfaktor den neutralen Wert $e^{-\frac{\omega_0^2}{2}} = 1$ annimmt. Es gilt somit: $K_{\min} = \alpha K_{\max}$. Die Schar der Risikokostenkurven für unterschiedliche α -Werte ist für $\omega_0^* = 50\%$ in Abb. 4.6 dargestellt.

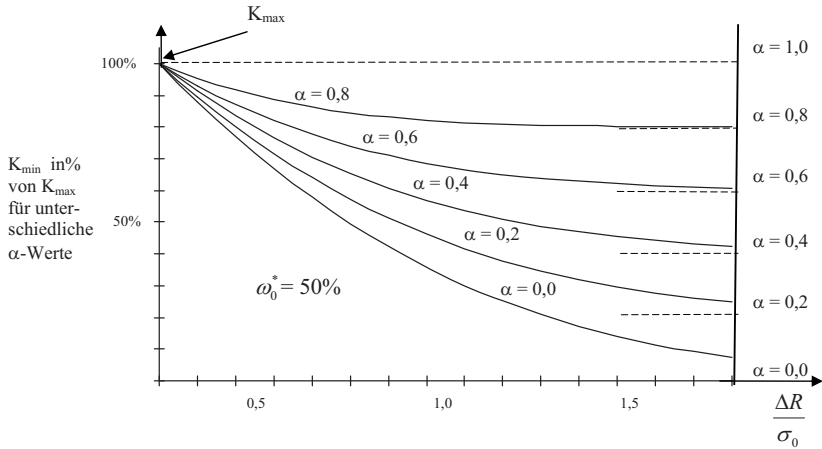


Abb. 4.6: Die Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität

$\frac{\Delta R}{\sigma_0}$ für unterschiedliche Prognoseverbesserungsniveaus α (bei $\omega_0^* = 50\%$)

(5) *Wirkungen unterschiedlicher Prognoseverbesserungsniveaus α auf die Erfolgspotenziale der Variantenflexibilität m*

Gehen wir wieder vom Idealwert einer sicheren Posterior-Nachfrageprognose $\alpha = 0$ aus. Hier hat die Analyse in Abschn. 4.4.2 (5) gezeigt, dass *die kombinierte Wirkung steigender Varianten- und zunehmender Mengenflexibilität* das vorhandene Risiko-Ersparnispotenzial ΔK_{\max} ($\alpha = 0$) = K_{\max} bereits bei mittleren Flexibilitatswerten zu einem hohen Anteil ausschöpft (vgl. γ_K -Werte in Tab. 4.2).

Es ist zu vermuten, dass bei *schlechter werdenden Nachfrageprognosen* (steigenden α -Werten) ähnlich hohe Ausschöpfungsanteile γ_K erreicht werden wie für $\alpha = 0$. Der

wesentliche Unterschied zum prognostischen Idealfall $\alpha = 0$ besteht jedoch darin, dass sich diese Ausschopfunganteile γ_K gegebenenfalls *auf erheblich geringere maximale Ersparnispotenziale* beziehen (vgl. Abschn. 2e):

$$\Delta K_{\max}(\alpha \geq 0) = (1 - \alpha \cdot \sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*)) K_{\max} \quad \text{Gl. 92}$$

$\gamma_\Delta \backslash m$	1	2	3	4	5	10	20
0,0	0%	41,9%	58,6%	67,7%	73,5%	86,0%	92,8%
0,2	29,6%	65,4%	78,4%	85,0%	88,9%	96,2%	99,0%
0,4	52,0%	80,8%	89,9%	94,0%	96,1%	99,3%	99,9%
0,6	68,4%	90,0%	95,7%	97,9%	98,9%	99,9%	100%
0,8	80,0%	95,2%	98,4%	99,4%	99,7%	100%	100%
1,0	87,8%	97,9%	99,5%	99,8%	99,9%	100%	100%
1,2	92,8%	99,1%	99,8%	100%	100%	100%	100%
1,4	96,0%	99,7%	100%	100%	100%	100%	100%

Tab. 4.4 Ausschopfunganteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials $\Delta K_{\max} = 0,5 K_{\max}$ in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ für den Fall $\omega_0^* = 50\%$ und $\alpha = 0,50$

Zur Überprüfung dieser Vermutung sollen für den Fall $\omega_0^* = 50\%$ und $\alpha = 0,5$ entsprechend zu Tab. 4.2 (in Abschn. 4.4.2 (5)) die Ausschopfunganteile γ_K des Risiko-Ersparnis-Potenzials in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der Mengenflexibilität γ_Δ berechnet werden. Es wurde bereits erläutert, dass für $\omega_0^* = 50\%$ der Kostenschumpfungsfaktor $\sqrt{2\pi} \varphi(z_0^*)$ den neutralen Wert 1,0 annimmt. Im vorliegenden Fall gilt somit:

$$\Delta K_{\max} = (1 - \alpha) K_{\max} = 0,5 K_{\max}$$

Dies bedeutet: Im Vergleich zu Tab. 4.2 beziehen sich die Ausschopfungsteile γ_K der folgenden Tab. 4.4 auf ein *nur halb so großes Risiko-Ersparnispotenzial der Flexibilität*.

Der Vergleich der Ausschopfungsteile γ_K bei sicherer (Tab. 4.2) und unsicherer (Tab. 4.4) Prognose liefert folgende Ergebnisse:

- In beiden Fällen gilt, dass bei kleinen Sortimentsgroen (d.h. bei geringer Variantenflexibilität) *m* bereits eine *relativ geringe Mengenflexibilität* ausreicht, um mehr als 80% des Risikosenkungspotenzials ΔK_{\max} zu erlangen.
- Die Ausschopfungsteile γ_K der begrenzten Prognoseverbesserung für $\Delta R > 0$ und $m \geq 1$ erreichen bei unsicherer Posteriorprognose nahezu *durchgängig höhere (schlechtestenfalls gleiche) Werte* verglichen mit der sicheren Prognose.
- Die größten Unterschiede des Ausschöpfungsgrads zeigen sich bei *fehlender Mengenflexibilität und vorhandener Variantenflexibilität*. Mit *steigender Mengenflexibilität (und auch steigender Variantenflexibilität)* nähern sich die Ausschopfungsteile γ_K beider Fälle an und erreichen schließlich 100%.

(6) *Demonstrationsbeispiel zu den Flexibilitatserfolgen bei begrenzten Prognoseverbesserungen $\alpha > 0$*

Beispiel 3

Für den Durchschnittsartikel eines Modeteilsortimentes mit *m* produktionstechnisch verwandten Artikeln wurden folgende Modelldaten abgeschätzt:

$$\begin{array}{lll} \mu_0 = 10.000 \text{ ME} & \sigma_0 = 2.000 \text{ ME} & \alpha = 0,5 \\ p = 80 \text{ GE/ME} & c = 52 \text{ GE/ME} & p_u = 40 \text{ GE/ME} \end{array}$$

Derivative Parameterwerte:

$$\begin{array}{lll} R_m = \mu_0 = 10.000 \text{ ME} & c_u = 28 \text{ GE/ME} & c_{\bar{u}} = 12 \text{ GE/ME} \\ p_s = 40 \text{ GE/ME} & \omega_0^* = 0,7 & z_0^* = 0,5244 \end{array}$$

Als maximale Kostenerwartung K_{\max} im unflexiblen Fall $\Delta R = 0$ und $m = 1$ ergibt sich:

$$K_{\max} = \psi(0) \cdot (28 + 12) \cdot 2.000 = 31.915 \text{ GE}$$

Das durch eine „große“ Mengenflexibilität ΔR bzw. eine „große“ Variantenflexibilität *m* (bei positiver Mengenflexibilität ΔR) erzielbare minimale Risikokostenniveau K_{\min} beträgt:

$$K_{\min} = 0,5 \cdot 2.000 \cdot (28 + 12) \varphi(0,5244) = 13.908 \text{ GE}$$

Daraus resultiert das maximale Risikosenkungspotenzial der Flexibilität (bei $\Delta R > 0$):

$$\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min} = 18.008 \text{ GE}$$

Allein durch die Steigerung der Variantenflexibilität m lassen sich die Risikokosten bei fehlender Mengenflexibilität ($\Delta R = 0$) auf folgendes Niveau K'_{\min} senken:

$$K'_{\min} = 0,5 \cdot 31.915 = 15.958 \text{ GE}$$

Folgende Auswirkungen auf die Absatzrisikokosten eines Einzelartikels $m = 1$ zeigen sich bei steigender Mengenflexibilität ΔR , wenn die Nachfrageverbesserungswerte α variieren:

In Abb. 4.7 sind zusätzlich zur angenommenen Prognoseverbesserung $\alpha = 0,5$ die Berechnungen für die Prognoseverbesserungsniveaus $\alpha = 0,0$, $\alpha = 0,2$ und $\alpha = 0,8$ bei steigender Mengenflexibilität dargestellt.

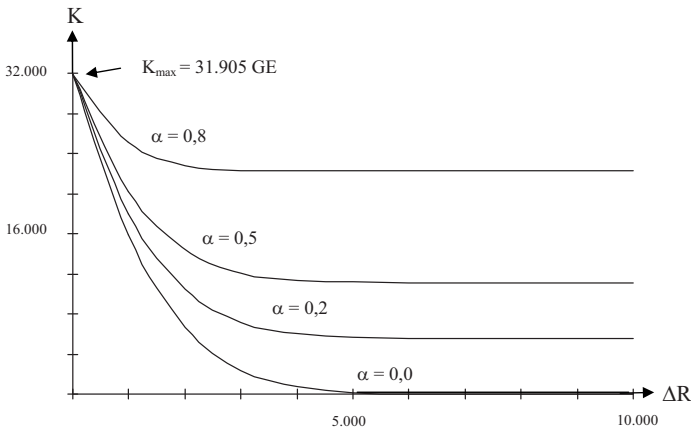


Abb. 4.7: Die Absatzrisikokosten eines Einzelartikels ($m = 1$) in Abhängigkeit von der Mengenflexibilität ΔR für die Prognoseverbesserungsniveaus $\alpha = 0,0$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,5$ und $\alpha = 0,8$ (für $\omega_0^* = 70\%$)

Ausgehend von $K_{\max} = 31.905$ GE reduzieren sich die Absatzrisikokosten mit zunehmender Mengenflexibilität sukzessive bis zum jeweiligen Minimalwert K_{\min} . Es zeigt sich, dass niedrigere Prognoseverbesserungsniveaus den jeweiligen Minimalwert K_{\min} bereits mit einer geringeren Mengenflexibilität erreichen.

Eine „sehr große“ Mengenflexibilität führt bei einer sicheren Bedarfsprognose ($\alpha = 0,0$) zu einem Minimalwert $K_{\min} = 0$. Bei den begrenzten Prognoseverbesserungen ergeben sich die Minimalwerte $K_{\min}(\alpha = 0,2) = 5.563$ GE, $K_{\min}(\alpha = 0,5) = 13.908$ GE und $K_{\min}(\alpha = 0,8) = 22.252$ GE. Verglichen mit einem Verhaltnis $\omega_0^* = 0,5$ (vgl. Tab. 4.3 und Abb. 4.6) fallen die Minimalwerte bei dem gegebenen Verhaltnis von $\omega_0^* = 0,7$ wegen des geringeren Kostenschrumpfungsfaktors ($e^{-\frac{\sigma^2}{2}} = 0,8715$) um ca. 13% niedriger aus.

Im anderen Fall einer steigenden Variantenflexibilität m wirken sich unterschiedliche Prognoseverbesserungsniveaus α auf die Erfolgspotenziale bei einer Mengenflexibilität von $\Delta R = 800$ bzw. $\gamma_{\Delta} = 0,4$ folgendermaßen aus:

Durch das Festlegen der Mengenflexibilität auf den Wert $\gamma_{\Delta} = 0,4$ verringert sich der *maximal mögliche Wert der Absatzrisikokosten* bei fehlender Variantenflexibilität ($m = 1$) jeweils auf folgende Werte:

$$E(\overline{K}_1 | \alpha = 0,8, \gamma_{\Delta} = 0,4, m = 1) = 25.961 \text{ GE}$$

$$E(\overline{K}_1 | \alpha = 0,5, \gamma_{\Delta} = 0,4, m = 1) = 22.891 \text{ GE}$$

$$E(\overline{K}_1 | \alpha = 0,2, \gamma_{\Delta} = 0,4, m = 1) = 20.172 \text{ GE}$$

$$E(\overline{K}_1 | \alpha = 0,0, \gamma_{\Delta} = 0,4, m = 1) = 18.435 \text{ GE}$$

Weil das Kostenminimum K_{\min} unverändert bleibt, reduziert sich das ausschopfbare Risiko-Ersparnispotenzial $\Delta K = E(\overline{K}_1 | \gamma_{\Delta} = 0,4, m = 1) - K_{\min}$ entsprechend.

Wie in Abb. 4.8 dargestellt, nähern sich die Absatzrisikokosten mit zunehmender Variantenflexibilität asymptotisch dem Minimalwert K_{\min} . Das ausschopfbare Risiko-Ersparnispotenzial ΔK ist umso größer, je höher die Prognoseverbesserung $(1-\alpha)$ ausfällt.

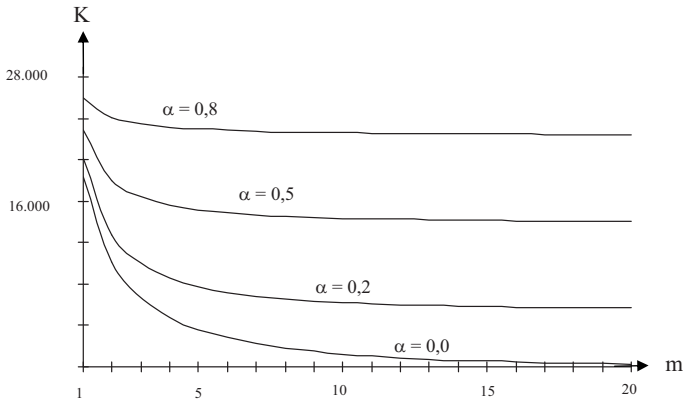


Abb. 4.8: Die Absatzrisikokosten in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m für die Prognoseverbesserungsniveaus $\alpha = 0,0$, $\alpha = 0,2$, $\alpha = 0,5$ und $\alpha = 0,8$ bei einer Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,4$ (für $\omega_0^* = 70\%$)

4.5 Senkung der Absatzrisikokosten bei optimaler Planung der posterior verfügbaren Zielkapazität

4.5.1 Verminderung des maximalen Risikosenkungspotenzials bei optimaler Prior-Disposition

Ausgangspunkte und Vergleichsmaßstäbe bei der Analyse der flexibilitatsbedingten Risikosenkungsmoglichkeiten *im suboptimalen Entscheidungsszenario* waren

- die *maximalen Absatzrisikokosten* K_{\max} im Worst-Case völliger Unflexibilität ($\Delta R = \gamma_{\Delta} = 0$ und $m = 1$)
- die *minimalen Absatzrisikokosten* K_{\min} im Best-Case einer nicht begrenzten Mengen- und/oder Variantenflexibilität (‘‘hohe‘‘ ΔR und/oder m -Werte)
- und das prinzipiell durch Flexibilitätserhöhung *ausschopfbare Risiko-Ersparnispotenzial* $\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min}$.

Im *optimalen Entscheidungsszenario* müssen diese Vergleichsmaßstäbe *neu interpretiert und berechnet* werden.

- Im *Worst-Case völliger Unflexibilität* ($\Delta R = \gamma_{\Delta} = 0$ und $m = 1$) wird ein rational handelnder Disponent nicht (wie bisher unterstellt) die i.d.R. suboptimale Strategie $R_m = \mu_0$ wählen. Vielmehr wird er für die Produktion eine Stückzahl R_m^* planen, bei der *aus Sicht der ungenauen Prior-Prognose* μ_0, σ_0 und unter Berücksichtigung der *artikelspezifischen Über- und Unterdeckungskosten* ($c_{\bar{u}}$ bzw. c_u) die Risikokosten-erwartung $E(K_0)$ minimal wird. Wie sich leicht zeigen lässt²⁶⁴, entspricht die *optimale Dispositionsmenge* R_m^* der Optimalmenge des klassischen *Newsvendor-Problems*²⁶⁵:

$$R_m^*(\Delta R = 0 \text{ und } m = 1) = \mu_0 + z_0^* \cdot \sigma_0 \quad \text{Gl. 93}$$

mit

$$z_0^* = \Phi^{-1}(\omega_0^*) = \Phi^{-1}\left(\frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}}\right) \quad \text{Gl. 94}$$

Die aus der Disposition von R_m^* resultierende *minimale Priorkostenerwartung* $E(K_0^*)$ ²⁶⁶ *ohne Flexibilität* ist gleichwohl aus Sicht *möglicher Kostensenkungen durch steigende Flexibilität* als „Worst-Case“ und somit als „*neuer*“ *Vergleichsmaßstab* K_{\max}^* zu betrachten:

$$\begin{aligned} K_{\max}^*(\Delta R = 0 \text{ und } m = 1) &= E(K_0^*) = \\ &= \sigma_0 [c_{\bar{u}} z_0^* + (c_u + c_{\bar{u}}) \Psi(z_0^*)] = \\ &= \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*) = \sigma_0 p_s \varphi(z_0^*) \end{aligned} \quad \text{Gl. 95}$$

Ein Vergleich mit dem „alten“ K_{\max} -Wert im suboptimalen Entscheidungsszenario $K_{\max} = \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \psi(0) = \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(0)$ zeigt, dass der „neue“ Ausgangswert für flexibilitätsbedingte Kostensenkungen K_{\max}^* um so weiter (nach unten) vom „alten“

²⁶⁴ Vgl. Abschn. 4.3.3 (1).

²⁶⁵ Vgl. Gl. 6 bis 8 in Abschn. 4.3.3.

²⁶⁶ Vgl. Gl. 9 in Abschn. 4.3.3.

Wert abweicht, je weiter sich das artikelspezifische Kostenverhältnis ω_0^* vom mittleren Bereichswert 50% entfernt²⁶⁷ (vgl. Tab. 4.5):

$$\frac{K_{\max}^*}{K_{\min}} = \frac{\varphi(z_0^*)}{\varphi(0)} = 2\pi\varphi(z_0^*) = e^{-\frac{z_0^{*2}}{2}} \quad \text{Gl. 96}$$

ω_0^*	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
z_0^*	-1,2816	-0,8416	-0,5244	-0,2533	0,0000	0,2533	0,5244	0,8416	1,2816
$\frac{K_{\max}^*}{K_{\min}}$	0,4399	0,7018	0,8715	0,9684	1,0000	0,9684	0,8715	0,7018	0,4399

Tab. 4.5: Das Kostenverhältnis $\frac{K_{\max}^*}{K_{\min}}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis der Über- und

$$\text{Unterdeckungskosten } \omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}}$$

- Im „Best-Case“ einer nicht begrenzten Mengen- und/oder Variantenflexibilität wird das flexibilitatsbedingte Brutto-Ersparnispotenzial *unabhängig von der Optimalität oder Nichtoptimalitat der Prior-Disposition voll ausgeschöpft* ($\Delta R > 0$ vorausgesetzt). Es gilt somit²⁶⁸:

$$K_{\min}(\text{neu}) = K_{\min}(\text{alt}) = K_{\min} = \alpha \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*) = \alpha \sigma_0 p_s \varphi(z_0^*) \quad \text{Gl. 97}$$

- Als maximales Brutto-Ersparnispotenzial ΔK_{\max}^* der Mengen- oder Variantenflexibilität im optimalen Entscheidungsszenario erhalten wir²⁶⁹:

$$\begin{aligned} \Delta K_{\max}^* &= K_{\max}^* - K_{\min} = \\ &= (1 - \alpha) \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*) = (1 - \alpha) \sigma_0 p_s \varphi(z_0^*) \end{aligned} \quad \text{Gl. 98}$$

²⁶⁷ Vgl. hierzu auch die numerisch identische Tab. 4.3 in Abschn. 4.4.3 (4).

²⁶⁸ Vgl. Gl. 83 in Abschn. 4.4.3 (2).

²⁶⁹ Vgl. hierzu auch Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 29, Gl. 27.

Zusammenfassend kann man konstatieren: Das maximal durch hohe Mengen- und Variantenflexibilität aktivierbare Brutto-Ersparnispotenzial ΔK_{\max}^* ist (im Vergleich zu ΔK_{\max} im suboptimalen Szenario) *umso kleiner*, je weiter das artikelspezifische Verhältnis der Über- und Unterdeckungskosten $\frac{c_u}{c_u + c_{\bar{u}}}$ nach oben oder unten vom mittleren Bereichswert 50% abweicht. Eine Erklärung hierfür ist leicht zu finden:

- Bei optimaler Priordisposition werden die *Nachfrage- und Kosteninformationen zum Zeitpunkt t_0 bestmöglich verwendet*, so dass (im Vergleich zum suboptimalen Szenario) die flexibilitatsbedingten Verbesserungen bei einem anspruchsvolleren (d.h. niedrigeren) Kostenniveau K_{\max}^* ansetzen müssen.
- Im Fall $\omega_0^* = 50\%$ entspricht die suboptimale Disposition $R_m = \mu_0$ der Optimaldisposition ($K_{\max} = K_{\max}^*$). Je weiter der ω_0^* -Wert nach unten oder oben vom Wert 50% abweicht, *desto höher steigt der Grad der Suboptimalität*.

4.5.2 Untersuchung der Flexibilitätswirkungen bei sicherer Posterior-Prognose

(1) *Ermittlung der optimalen Zielkapazität R_m^* bei gegebener Mengenflexibilität ΔR*

Im vorliegenden Grenzfall $\alpha = 0$ können wir wieder von einer relativ einfachen Risikokostenfunktion ausgehen (vgl. Abschn. 4.4.2, Gl. 27):

$$\begin{aligned} E(\bar{K}_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0) &= \\ &= \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \left\{ c_{\bar{u}} \Psi \left(-\sqrt{m} \frac{R_m - \Delta R - \mu_0}{\sigma_0} \right) + c_u \Psi \left(\sqrt{m} \frac{R_m + \Delta R - \mu_0}{\sigma_0} \right) \right\} + 2c_R \Delta R \end{aligned} \quad \text{Gl. 99}$$

Gesucht ist jener Wert R_m^* der Zielkapazität, bei dem die *Risikokostenfunktion $E(\bar{K}_1)$ ihr Minimum erreicht*. Mit Hilfe der Bedingung

$$\frac{dE(x_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0)}{dR_m} = 0 \quad \text{Gl. 100}$$

erhält man folgende Gleichung für den Optimalwert R_m^* :

$$\omega_0^* \Phi \left(-\frac{R_m^* + \Delta R - \mu_0}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}} \right) = (1 - \omega_0^*) \Phi \left(-\frac{R_m^* - \Delta R - \mu_0}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}} \right) \quad \text{Gl. 101}$$

Zur Vereinfachung definieren wir die folgenden normierten Variablen:

$$z_R = \frac{R_m - \mu_0}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}} \quad \text{Gl. 102}$$

$$z_\Delta = \sqrt{m} \gamma_\Delta = \frac{\Delta R}{\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}} \quad \text{Gl. 103}$$

In normierter Form lautet die Bedingung für den Optimalwert z_R^*

$$\omega_0^* \Phi(- (z_R^* + z_\Delta)) = (1 - \omega_0^*) \Phi(z_R^* - z_\Delta) \quad \text{Gl. 104}$$

Diese Bedingung lässt sich zwar als Verhältnisgleichung darstellen

$$\frac{\Phi(- (z_R^* + z_\Delta))}{\Phi(z_R^* - z_\Delta)} = \frac{(1 - \omega_0^*)}{\omega_0^*}, \quad \text{Gl. 105}$$

eine explizite Auflösung nach dem gesuchten Optimalwert z_R^* ist jedoch nicht möglich.

Fallweise *numerische Lösungen* können allerdings leicht mit einer *einfachen Suchprozedur* ermittelt werden. Als nicht normierte Lösungswerte erhält man dann:

$$R_m^* = \mu_0 + z_R^* \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \quad \text{Gl. 106}$$

$$\Delta R = z_\Delta \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \quad \text{Gl. 107}$$

Ein alternativer Weg zur optimalen Zielkapazität R_m^* bei gegebener Mengenflexibilität ΔR_0 eröffnet sich, wenn man die in der Kostengleichung $E(\bar{K}_1 | \alpha = 0; \Delta c = 0)$ enthaltenen *Bereitstellungskosten für die Flexibilität* $2c_R \Delta R$ als kalkulatorische Kostenart betrachtet. Für

positive Kostenwerte $c_R > 0$ hat Diruf²⁷⁰ *explizite Lösungen für optimale Flexibilitätsstrategien* hergeleitet, die unter Beachtung $\Delta c = 0$ in der Symbolik der vorliegenden Arbeit wie folgt lauten:

$$\Delta R^* = \frac{1}{2} \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \left[\Phi^{-1} \left(\frac{c_{\bar{u}} - c_R}{c_{\bar{u}}} \right) - \Phi^{-1} \left(\frac{c_R}{c_{\bar{u}}} \right) \right] \quad \text{Gl. 108}$$

$$R_m^* = \mu_0 - \frac{1}{2} \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}} \left[\Phi^{-1} \left(\frac{c_{\bar{u}} - c_R}{c_{\bar{u}}} \right) - \Phi^{-1} \left(\frac{c_R}{c_{\bar{u}}} \right) \right] \quad \text{Gl. 109}$$

Je höher die *spezifischen Bereitstellungskosten* c_R [GE/ME] steigen, desto weiter sinkt der Optimalwert ΔR^* für die Mengenflexibilität ab, weil die abnehmenden *Grenzersparnisse* höherer ΔR -Werte die steigenden *Grenzkosten* $2c_R$ nicht mehr aufwiegen. Bei Kostenwerten von

$$c_R (\Delta R^* = 0) \geq \frac{c_u c_{\bar{u}}}{c_u + c_{\bar{u}}} \quad \text{Gl. 110}$$

erreicht die optimale Mengenflexibilität ΔR^* den Wert null. Für positive optimale Flexibilitatswerte $\Delta R^* > 0$ gilt somit der *kalkulatorische Kostenwertbereich*:

$$0 < c_R < \frac{c_u c_{\bar{u}}}{c_u + c_{\bar{u}}} \quad \text{Gl. 111}$$

Auch der alternative Weg zur Ermittlung von R_m^* liefert *keine explizite Berechnungsfunktion* $R_m^* = f(\mu_0, \sigma_0, m, c_u, c_{\bar{u}}, \Delta R)$, weil sich der Parameter c_R aus den beiden Gln. 108 und 109 nicht eliminieren lässt. Für fallweise numerische Berechnungen empfiehlt sich wiederum ein systematisches Probiervorgehen, bei dem der c_R -Wert (von $c_R = \frac{c_u c_{\bar{u}}}{c_u + c_{\bar{u}}}$ ausgehend) so weit gesenkt wird, *bis ΔR^* den gewünschten Wert ΔR_0 erreicht hat*. Eine Auswertung der R_m^* -Funktion (Gl. 109) mit dem gefundenen Parameterwert c_0 erbringt dann den gesuchten Lösungswert R_m^* .

²⁷⁰ Vgl. hierzu auch Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 154, Gln. 299 und 300.

Schließlich steht noch eine dritte „rein numerische“ Alternative zur Verfügung, um Optimalwerte R_m^* für vorgegebene Parameterausprägungen μ_0 , σ_0 , c_u , $c_{\bar{u}}$, c_R , ΔR zu ermitteln: *der Einsatz numerischer Auswertungsprozeduren*, die allgemein für das Kapazitätsoptionsmodell von Diruf entwickelt wurden²⁷¹. Im Rahmen dieser EXCEL-Programme wird die Optimierungsrechnung von dem allgemein einsetzbaren nichtlinearen Optimierungsprogramm SOLVER durchgeführt.

Im Prinzip verläuft die Suche nach dem korrekten Optimalwert R_m^* (bei gegebenem ΔR -Wert) mit SOLVER wie beim alternativen Verfahren: Die c_R -Werte werden sukzessive so weit abgesenkt, bis ΔR^* den vorgegebenen Wert ΔR_0 erreicht hat. Der korrekte Optimalwert R_m^* und der Wert der Risikokosten erscheinen dann als „Nebenprodukte“ der Optimierungsrechnung. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass der Grenzfall $\alpha = 0$ nur approximativ (z.B. mit dem Wert $\alpha = 0,0001$) berechnet werden kann und dass die Bereitstellungskosten $2c_R\Delta R$ gegebenenfalls im Kostenergebnis zu neutralisieren sind.

Da ein Ziel der vorliegenden Arbeit darin besteht, die *Wirkungen alternativer Flexibilitätsstrategien* zu analysieren, erscheint es mangels einer expliziten Funktionsdarstellung $R_m^* = f(\mu_0, \sigma_0, m, c_u, c_{\bar{u}}, \Delta R)$ zweckmäßig, zumindest einen *tabellarischen Überblick zur Struktur der optimalen Zielkapazitatswerte R_m^* in Abhängigkeit von der Flexibilitätspolitik ΔR* zu gewinnen. In normierter Form ist dies leicht möglich, weil der *normierte Optimalwert z_R^** nur von der normierten Mengenflexibilität z_Δ und vom *Kostenverhältnis ω_0^** abhängt (vgl. Tab. 4.6).

²⁷¹ Vgl. Abschn. 4.4.3 (3).

ω_0^* \diagdown z_Δ	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
0,0	-1,2816	-0,8416	-0,5244	-0,2533	0,0000	0,2533	0,5244	0,8416	1,2816
0,2	-1,1312	-0,7320	-0,4526	-0,2178	0,0000	0,2178	0,4526	0,7320	1,1312
0,4	-1,0006	-0,6414	-0,3947	-0,1895	0,0000	0,1895	0,3947	0,6414	1,0006
0,6	-0,8893	-0,5667	-0,3478	-0,1668	0,0000	0,1668	0,3478	0,5667	0,8893
0,8	-0,7951	-0,5048	-0,3093	-0,1482	0,0000	0,1482	0,3093	0,5048	0,7951
1,0	-0,7156	-0,4533	-0,2775	-0,1329	0,0000	0,1329	0,2775	0,4533	0,7156
1,2	-0,6482	-0,4100	-0,2509	-0,1201	0,0000	0,1201	0,2509	0,4100	0,6482
1,4	-0,5909	-0,3734	-0,2284	-0,1093	0,0000	0,1093	0,2284	0,3734	0,5909
1,6	-0,5417	-0,3422	-0,2092	-0,1002	0,0000	0,1002	0,2092	0,3422	0,5417

Tab. 4.6 Optimalwerte z_R^* der normierten Zielkapazität in Abhängigkeit von der disponierten normierten Mengenflexibilität z_Δ und vom artikelspezifischen Kostenverhältnis ω_0^*

Für den vorliegenden Fall einer sicheren Posterior-Prognose $\alpha = 0$ lässt sich die *Struktur der Optimalwerte* z_R^* wie folgt interpretieren:

- Als *optimale Zielkapazität* R_m^* für eine bestimmte Mengenflexibilität ΔR_0 sollte der Nachfrageprognosewert μ_0 gewählt werden, den man durch *einen optimalen Mengenzuschlag oder -abschlag* $z_R^* \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$ erhöhet bzw. vermindert ($R_0^* = \mu_0 + z_R^* \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$).
- Die Höhe des optimalen Mengenzu- oder -abschlags
 - steigt c.p. proportional zum Prognosefehler σ_0
 - und sinkt c.p. gemäß dem „Wurzelgesetz“ $\frac{1}{\sqrt{m}}$ mit zunehmender Variantenflexibilität m .

- Der *optimale Wert des Zuschlagsfaktors* z_R^* hängt zunächst maßgeblich vom

artikelspezifischen Kostenverhaltis $\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_i}$ ab:

- Für ω_0^* -Werte von 50% ist es bei jedem ΔR -Wert optimal, $R_m^* = \mu_0$ zu setzen (Zuschlagsfaktor $z_R^* = 0$, vgl. mittlere Spalte von Tab. 4.6).
- Steigende ω_0^* -Werte über 50% implizieren c.p. steigende (positive) Zuschlagswerte $z_R^* > 0$.
- Fallende ω_0^* -Werte unter 50% implizieren c.p. betragsmäßig steigende (negative) Zuschlagswerte $z_R^* < 0$.
- Generell gilt die Symmetriebeziehung $z_R^* (\omega_0^* = 50\% - \Delta\omega) = -z_R^* (50\% + \Delta\omega)$.
- Für $\Delta R = z_\Delta = 0$ (keine Mengenflexibilität) entspricht der Faktor z_R^* dem optimalen Newsvendor-Faktor $\Phi^{-1}(\omega_0^*)$ (vgl. 1. Zeile von Tab. 4.6).
- Nimmt c.p. die disponierte Mengenflexibilität ΔR (bzw. der normierte Wert z_Δ) zu, dann nähert sich der *optimale Zielkapazitatswert* R_m^*
 - > bei $\omega_0^* < 50\%$ „von unten“,
 - > bei $\omega_0^* > 50\%$ „von oben“,
 - > dem Prognosewert μ_0 ,
 - > d.h. die Beträge des Zuschlags-/ Abschlagsfaktors $|z_R^*|$ werden mit steigenden z_Δ -Werten monoton kleiner.

(2) *Senkung der Absatzrisikokosten durch steigende Mengenflexibilität ΔR und zunehmende Variantenflexibilität m bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^**

Bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ wurde deutlich, dass die kombinierten Wirkungen einer steigenden Mengen- und Variantenflexibilität die Ausschöpfungsanteile γ_K des maximalen Ersparnispotenzials K_{\max} bereits bei relativ geringen γ_Δ - und m -Werten in Sättigungsbereiche über 80 - 90% treiben (vgl. Tab. 4.2 in Abschn. 4.4.2 (5)). Es erhebt sich somit die Frage, ob diese Flexibilitätswirkungen in

ähnlichem Ausmaß auch „im anspruchsvolleren“ Kosten-Szenario einer optimalen Zielkapazitätsdisposition R_m^* auftreten.

$\gamma_\Delta \backslash m$	1	2	3	4	5	10	20
0,0	0%	29,3%	42,3%	50,0%	55,3%	68,4%	77,6%
0,2	21,5%	50,2%	62,7%	70,0%	74,9%	86,6%	93,9%
0,4	40,1%	66,8%	77,9%	83,7%	87,2%	93,5%	99,1%
0,6	55,5%	79,2%	88,0%	92,4%	94,9%	98,7%	99,7%
0,8	67,9%	87,7%	93,8%	96,3%	97,6%	99,4%	99,9%
1,0	77,5%	91,6%	95,4%	97,0%	97,9%	99,5%	99,9%
1,2	82,7%	92,6%	95,6%	97,0%	97,9%	99,5%	99,9%
1,4	84,8%	92,8%	95,6%	97,0%	97,9%	99,5%	99,9%

Tab. 4.7 Ausschöpfungsanteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max}^* in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^* (für den Fall $\omega_0^* = 80\%$)

Teilsortimente mit dem Kostenverhältnis $\omega_0^* = 50\%$ zeigen keine Unterschiede zur suboptimalen Struktur, weil hier die suboptimale mit der optimalen Disposition übereinstimmt. Wir wählen deshalb für unseren Vergleich den Wert $\omega_0^* = 80\%$, weil hier die Optimaldisposition deutlich von der suboptimalen abweicht. Bei Teilsortimenten mit den Parameterwerten $\omega_0^* = 0,8$ und $\alpha = 0$ steht das folgende durch *Flexibilität aktivierbare Brutto-Ersparnispotenzial* zur Verfügung (vgl. Gl. 98 in Abschn. 4.5.1):

$$\Delta K_{\max}^* (\alpha = 0; \omega_0^* = 80\%) = K_{\max}^* = (1 - \alpha) \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*) = 0,2800 \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}})$$

Wegen des niedrigeren Kostenwertes K_{\max}^* bei optimaler Disposition umfasst ΔK_{\max}^* nur 70% des entsprechenden Ersparnispotenzials K_{\max} des suboptimalen Szenarios (vgl. Tab. 4.5 in Abschn. 4.5.1). Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ist Tab. 4.7, in der die

Ausschöpfungsanteile γ_K dargestellt sind, ebenso aufgebaut wie Tab. 4.2 im suboptimalen Szenario (Abschn. 4.4.2 (5)).

Beim Vergleich der Ausschöpfungsanteile γ_K für das optimale Szenario im Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0$ (Tab. 4.7) und der entsprechenden γ_K -Werte für das *suboptimale Szenario* (Tab. 4.2) stellen wir zusammenfassend fest:

- Bei fehlender Mengen- und steigender Variantenflexibilität ($\Delta R = \gamma_\Delta = 0$; $m > 1$; 1. Zeile der Tabellen) sind die Ausschöpfungsanteile γ_K im optimalen und suboptimalen Szenario identisch, weil sie in beiden Fällen dem einfachen „Wurzelgesetz“ $\gamma_K(\gamma_\Delta = 0) = 1 - \frac{1}{\sqrt{m}}$ gehorchen.
- Im übrigen gilt bei optimalen Prior-Entscheidungen wie im suboptimalen Fall: Schon bei kleinen Sortimentsgroen (d.h. bei geringer Variantenflexibilität) *m reicht eine relativ bescheidene Mengenflexibilität aus* (z.B. $\Delta R = 0,6 \sigma_0$), um mehr als 80% des Risikosenkungspotenzials K_{\max}^* auszuschöpfen.
- Die Ausschöpfungsanteile γ_K sind im optimalen Szenario für $\Delta R > 0$ und $m \geq 1$ *nur geringfügig geringer als im suboptimalen Szenario*.
- Trotz der teilweise niedrigeren Ausschöpfungsanteile $\gamma_k^{opt} \leq \gamma_k^{sub}$ erreichen die *Risikokosten* $E(\overline{K}_1)$ bei optimalen Prior-Dispositionen für die Zielkapazitäten R_m^* *geringere (schlechtestenfalls gleiche) Werte im Vergleich zu suboptimalen Strategien*, also $E(\overline{K}_1 | R_m^*) \leq E(\overline{K}_1 | R_m = \mu_0)$.
- Die Erklärung hierfür liefert das niedrigere Kostenausgangsniveau K_{\max}^* im Vergleich zum suboptimalen K_{\max} (vgl. Tab. 4.5 in Abschn. 4.5.1). Es gilt:

$$E(\overline{K}_1 | R_m^*) = (1 - \gamma_K^{opt}) K_{\max} = (1 - \gamma_K^{opt}) \sigma_0 p_s \varphi(z_0^*) \quad \text{Gl. 112}$$

$$E(\overline{K}_1 | R_m = \mu_0) = (1 - \gamma_K^{sub}) K_{\max} = (1 - \gamma_K^{sub}) \sigma_0 p_s \varphi(0) \quad \text{Gl. 113}$$

$$\text{mit } \varphi(z_0^*) \leq \varphi(0)$$

- Die Kostennachteile einer suboptimalen Disposition $R_m = \mu_0$ der Zielkapazität
 - sind am größten bei sehr geringen ($< 20\%$) oder sehr hohen ($> 80\%$) ω_0^* -Werten, wenn gleichzeitig eine nur geringe Mengenflexibilität ΔR (insbesondere $\Delta R = 0$) disponiert wird,
 - lösen sich aber auf, wenn sich die ω_0^* -Werte 50% nähern oder wenn relativ hohe Mengenflexibilitatswerte vorliegen (verschwindende Risikokosten im optimalen und im suboptimalen Fall).

Beispiel 4

Um die unterschiedlichen Wirkungen der *optimalen* und der *suboptimalen* Flexibilitätsstrategien bei sicherer Prognose zu veranschaulichen, wählen wir folgende Daten für den Durchschnittsartikel eines Modeteilsortiments:

$$\begin{array}{lll} \mu_0 = 10.000 \text{ ME} & \sigma_0 = 4.000 \text{ ME} & \alpha = 0,0 \\ p = 80 \text{ GE/ME} & c = 52 \text{ GE/ME} & p_{\bar{u}} = 40 \text{ GE/ME} \end{array}$$

Derivative Parameterwerte:

$$\begin{array}{lll} c_u = 28 \text{ GE/ME} & c_{\bar{u}} = 12 \text{ GE/ME} & p_s = 40 \text{ GE/ME} \\ \omega_0^* = 0,7 & z_0^* = 0,5244 & \end{array}$$

Die *maximalen Absatzrisikokosten* im Fall völliger Unflexibilität ($\Delta R = \gamma_{\Delta} = 0$ und $m = 1$) nehmen folgende Werte an:

$$\text{- bei optimaler Disposition: } K_{\max}^* = \varphi(z_0^*) \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) = 0,3477 \cdot 4.000 \cdot 40 = 55.630 \text{ GE}$$

$$\text{- bei suboptimaler Disposition: } K_{\max} = p_s \sigma_0 \Psi(0) = 40 \cdot 4.000 \cdot 0,3989 = 63.831 \text{ GE}$$

Erwartungsgemäß zeigt sich, dass das Kostenausgangsniveau bei optimaler Priordisposition $K_{\max}^* = 55.630$ GE wegen des relativ hohen ω_0^* -Wertes von 0,7 wesentlich niedriger ist (um 13%) als das Kostenniveau der suboptimalen Prior-Lösung $K_{\max} = 63.831$ GE.

Die Absatzrisikokosten lassen sich bei *sicherer Bedarfsprognose* auf den *Minimalwert* $K_{\min} = 0$ reduzieren. Somit beträgt das *maximale Bruttoersparnispotenzial* ($\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min}$) im suboptimalen Fall 87,15% des optimalen Falls (vgl. $\omega_0^* = 70\%$ in Tab. 4.5 in Abschn. 4.5.1).

Tab. 4.8 vergleicht die *Ausschopfunganteile* γ_K des optimalen und des suboptimalen Szenarios bei einer Mengenflexibilität $\Delta R = 0,4\sigma_0$ (bzw. $\gamma_\Delta = 0,4$), wenn die Variantenflexibilität m variiert. Tab. 4.9 stellt die dazugehörigen *Risikokosten* $E(\overline{K}_1)$ beider Dispositionsstrategien gegenüber.

m	1	2	3	4	5	10	20
γ_k^{opt}	41,4%	67,8%	77,9%	83,7%	87,2%	93,5%	99,1%
γ_k^{sub}	42,2%	68,4%	79,1%	84,9%	88,6%	96,1%	99,2%

Tab. 4.8 Ausschopfunganteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{max} bei optimaler und suboptimaler Disposition der Zielkapazität R_m in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m , wenn die Mengenflexibilität $\gamma_\Delta = 40\%$ bzw. $\Delta R = 1.600$ beträgt (für $\omega_0^* = 70\%$)

In Tab. 4.8 zeigt sich, dass bei suboptimaler Disposition ausnahmslos höhere *Ausschopfunganteile* γ_K erzielt werden als im optimalen Fall. Trotzdem resultieren im suboptimalen Szenario durchgängig höhere Absatzrisikokosten als bei Anwendung der optimalen Strategie (vgl. Tab. 4.9), weil die Flexibilitatsverbesserungen im suboptimalen Fall beim höheren Ausgangsniveau 63.831 GE ansetzen.

m	1	2	3	4	5	10	20
$E(\overline{K}_1 R_m^*)$	32.612	17.921	6.200	4.557	3.596	1.832	254
$E(\overline{K}_1 R_m = \mu_0)$	36.871	20.171	13.360	9.617	7.260	2.481	526

Tab. 4.9 Absatzrisikokosten $E(\overline{K}_1)$ beider Dispositionsstrategien in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m bei einer Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 40\%$ (für $\omega_0^* = 70\%$)

4.5.3 Struktur der Risikokostensparnisse bei Nachfrageunsicherheit zum Posteriorzeitpunkt

- (1) *Einsatz numerischer Auswertungsprozeduren als einzige Möglichkeit zur exakten Ermittlung der Optimalwerte R_m^* bei gegebener Mengenflexibilität ΔR*

Im Gegensatz zur sicheren Prognose ist die Risikokostenfunktion im verallgemeinerten Fall einer unsicheren Prognose $0 < \alpha < 1$ so komplex²⁷², dass eine geschlossene analytische Optimierungslösung ausgeschlossen ist. Zur Ermittlung der Optimalwerte R_m^* für vorgegebene Parameterausprägungen μ_0 , σ_0 , c_u , $c_{\bar{u}}$, c_R , ΔR stehen somit nur noch „rein numerische“ Alternativen zur Verfügung. Im Prinzip kann wie schon im Fall der sicheren Prognose jedes leistungsfähige nichtlineare Optimierungsprogramm verwendet werden²⁷³, z.B. die *numerischen Auswertungsprozeduren*, die allgemein für das Kapazitätsoptionsmodell von Diruf entwickelt wurden²⁷⁴. Die Optimierungsrechnung an sich erfolgt dabei mit Hilfe des nichtlinearen Optimierungsprogramms *Solver*, wobei die Integralfunktionen von $E(\overline{K}_1 | \alpha > 0)$ mit einer numerischen Prozedur ausgewertet wird²⁷⁵.

- (2) *Wirkungen einer steigenden Mengenflexibilität ΔR und zunehmenden Variantenflexibilität m auf die Absatzrisikokosten bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^**

Bei sicherer Bedarfsprognose (vgl. Abschn. 4.5.2 (2)) zeigte sich bereits, dass die Ausschöpfungsanteile γ_K des Ersparnispotenzials K_{\max} bei optimaler (wie auch bei suboptimaler) Disposition der Zielkapazität R_m schon dann relativ hohe Werte erreichen, wenn Mengen- und Variantenflexibilität vergleichsweise gering ausfallen. So reicht bei einem Kostenverhältnis $\omega_0^* = 80\%$ z.B. eine relative Mengenflexibilität $\gamma_{\Delta} = 0,4$ und eine Sortimentsgröße $m = 4$, um einen Ausschöpfungsgrad von über 80% zu erzielen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob diese Flexibilitätswirkungen bei *Nachfrageunsicherheit* ($0 < \alpha < 1$) in ähnlicher Form auftreten.

²⁷² Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 150ff.

²⁷³ Vgl. Abschn. 4.5.2 (1).

²⁷⁴ Vgl. Abschn. 4.4.3 (3).

²⁷⁵ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 199ff.

Um die Vergleichbarkeit zur sicheren Bedarfsprognose zu gewährleisten, wählen wir ebenfalls den Parameterwert $\omega_0^* = 80\%$. Als Wert für die Bedarfsunsicherheit zum Posteriorzeitpunkt wird $\alpha = 0,5$ gesetzt. Die Ausschopfunganteile γ_K in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der Mengenflexibilität γ_Δ für dieses Szenario sind in Tab. 4.10 dargestellt.

$\gamma_\Delta \backslash m$	1	2	3	4	5	10	20
0,0	0%	41,9%	58,6%	67,7%	73,5%	86,0%	92,8%
0,2	28,8%	65,1%	78,3%	84,9%	88,8%	96,2%	98,9%
0,4	51,2%	80,5%	89,3%	93,7%	96,0%	99,3%	99,3%
0,6	67,7%	88,9%	94,4%	96,6%	97,8%	99,5%	99,9%
0,8	76,9%	91,6%	96,0%	97,7%	98,7%	99,7%	100%
1,0	87,4%	97,6%	99,3%	99,7%	99,9%	100%	100%
1,2	92,3%	98,7%	99,7%	99,9%	100,0%	100%	100%
1,4	94,3%	99,1%	99,8%	99,9%	100,0%	100%	100%

Tab. 4.10 Ausschopfunganteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max}^* in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_K bei optimaler Disposition der Zielkapazität R_m^* für den Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0,5$

Verglichen mit der sicheren Prognose steht nur die Hälfte des durch *Flexibilität* aktivierbaren *Brutto-Ersparnispotenzials* zur Verfügung (vgl. Gl. 98 in Abschn. 4.5.1):

$$\Delta K_{\max}^* (\alpha = 0,5; \omega_0^* = 80\%) = K_{\max}^* = (1 - \alpha) \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*) = 0,1400 \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}})$$

Beim Vergleich der Ausschopfunganteile γ_K von sicherer und unsicherer Prognose (Tab. 4.7 und 4.10) ergeben sich folgende Ergebnisse im *optimalen* Szenario R_m^* :

- Sowohl bei sicherer als auch bei unsicherer Prognose führt bereits eine *geringe Variantenflexibilität* m zusammen mit einer *relativ niedrigen Mengenflexibilität* zu einem Ausschöpfungsgrad von mehr als 80%.
- Bei begrenzter Prognoseverbesserung liegen die Werte für die Ausschöpfungsanteile γ_K für $\Delta R > 0$ und $m \geq 1$ *nahezu durchgängig höher* als bei sicherer Prognose.
- Die *größten Unterschiede* des Ausschöpfungsgrads ergeben sich bei *fehlender Mengenflexibilität und vorhandener Variantenflexibilität*. *Mit steigender Mengenflexibilität (und auch steigender Variantenflexibilität)* nähern sich die Ausschöpfungsanteile γ_K beider Fälle immer mehr an.

$\gamma_\Delta \backslash m$	1	2	3	4	5	10	20
0,0	0%	32,3%	45,1%	52,2%	56,6%	66,2%	71,5%
0,2	26,9%	56,1%	67,2%	73,2%	76,9%	84,8%	89,1%
0,4	48,1%	73,0%	81,9%	86,4%	89,1%	94,5%	97,2%
0,6	64,3%	84,4%	90,8%	93,9%	95,6%	98,5%	99,6%
0,8	76,2%	91,5%	95,8%	97,6%	98,5%	99,7%	100%
1,0	84,7%	95,7%	98,3%	99,2%	99,6%	100%	100%
1,2	90,5%	98,0%	99,4%	99,8%	99,9%	100%	100%
1,4	94,3%	99,1%	99,8%	99,9%	100%	100%	100%

Tab. 4.11 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials $\Delta K_{\max} = 0,5 K_{\max}$ in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition ($R_m = \mu_0$) für den Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0,5$

Es zeigt sich, dass der *Vergleich der Flexibilitätswirkungen* bei *sicherer* ($\alpha = 0$) und *unsicherer* ($\alpha = 0,50$) *Posteriorprognose* im *optimalen Szenario* analoge Ergebnisse

erbringt wie bei entsprechendem Vergleich *im suboptimalen Szenario* (vgl. Abschn. 4.4.3 (5)).

Darüber hinaus stellt sich die Frage, welche Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede bei *optimaler* bzw. *suboptimaler* Disposition auftreten, wenn *Nachfrageunsicherheit* ($\alpha = 0,50$) vorliegt. Weil Teilsortimente mit dem Kostenverhältnis $\omega_0^* = 50\%$ keine Unterschiede aufweisen können, wird der Parameterwert $\omega_0^* = 0,8$ gewählt. Als Wert für die Unsicherheit wird wieder $\alpha = 0,5$ eingesetzt. Für das *optimale Szenario* sind die Ausschöpfungsanteile γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials in Tab. 4.10 dargestellt. In Tab. 4.11 sind die Ausschöpfungsanteile γ_K für das *suboptimale Szenario* zu sehen.

Aus dem Vergleich der Ausschöpfungsanteile γ_K für das *optimale Szenario* im Fall $\omega_0^* = 80\%$ und $\alpha = 0,50$ (Tab. 4.10) und der entsprechenden γ_K -Werte im *suboptimalen Szenario* (Tab. 4.11) resultieren folgende Ergebnisse:

- Bei fehlender Mengen- und steigender Variantenflexibilität ($\Delta R = \gamma_\Delta = 0$; $m > 1$) sind die Ausschöpfungsanteile γ_K im optimalen und suboptimalen Szenario identisch, weil sie in beiden Fällen dem einfachen „Wurzelgesetz“ $\gamma_K(\gamma_\Delta = 0) = 1 - \frac{1}{\sqrt{m}}$ gehorchen.
- Im optimalen sowie im suboptimalen Fall reicht schon bei kleinen Sortimentsgrößen (d.h. bei geringer Variantenflexibilität) *m eine relativ bescheidene Mengenflexibilität aus* (z.B. $\Delta R = 0,6 \sigma_0$), um mehr als 80% des Risikosenkungspotenzials K_{\max}^* auszuschöpfen.
- Im optimalen Szenario sind die Ausschöpfungsanteile γ_K für $\Delta R > 0$ und $m \geq 1$ *nur geringfügig niedriger als im suboptimalen Szenario*.
- Die *Risikokosten* $E(\overline{K_1})$ erreichen bei optimalen Prior-Dispositionen für die Zielkapazitäten R_m^* *geringere (schlechtestenfalls gleiche) Werte* im Vergleich zu suboptimalen Strategien (vgl. hierzu Glen. 112 und 113).
- *Je weiter die ω_0^* -Werte vom Wert 50% entfernt sind, umso größer sind die Kostenvorteile einer optimalen Disposition $R_m = R_m^*$ gegenüber einer suboptimalen Disposition $R_m = \mu_0$ der Zielkapazität.*

Abschließend lässt sich festhalten, dass die charakteristischen Strukturen von Flexibilitätswirkungen mit denen der sicheren Posterior-Prognose übereinstimmen (vgl. Abschn. 4.5.3 (2)). Alle wichtigen Strukturkenntnisse zu den Flexibilitätswirkungen lassen sich somit mutatis mutandis vom Sonderfall $\alpha = 0$ auf den allgemeinen Fall $0 < \alpha < 1$ übertragen. Die ausführliche Analyse des Grenz-Szenarios $\alpha = 0$ in den vorhergehenden Abschnitten erweist sich damit als gerechtfertigt.

Beispiel 5

Wir greifen die Daten von Beispiel 4 (vgl. Abschn. 4.5.2 (2)) auf, um die Wirkungen folgender vier Szenarien miteinander zu vergleichen:

- *Optimale* Flexibilitatsstrategie ($R_m = R_m^*$) bei *sicherer* Prognose ($\alpha = 0,0$)
- *Optimale* Flexibilitatsstrategie ($R_m = R_m^*$) bei *unsicherer* Prognose ($\alpha = 0,5$)
- *Suboptimale* Flexibilitatsstrategie ($R_m = \mu_0$) bei *sicherer* Prognose ($\alpha = 0,0$)
- *Suboptimale* Flexibilitatsstrategie ($R_m = \mu_0$) bei *unsicherer* Prognose ($\alpha = 0,5$)

Während das *maximale Ersparnispotenzial* ΔK_{max} bei unsicherer Prognose im Vergleich zur sicheren Prognose im *optimalen Fall* um den Faktor $(1 - \alpha)$ geringer ausfällt, beträgt der Reduzierungsfaktor bei *suboptimaler Disposition* lediglich $(1 - \alpha\sqrt{2\pi}\varphi(z_0^*)) < (1 - \alpha)$. Dementsprechend halbiert sich das maximale Ersparnispotenzial ΔK_{max} bei optimaler Disposition durch den Prognoseverbesserungsfaktor $\alpha = 0,5$ exakt. Dagegen findet bei suboptimaler Disposition lediglich eine Verringerung um ca. 44 Prozent statt (vgl. Tab. 4.12).

	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,0$	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,5$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,0$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,5$
ΔK_{max}	55.630 GE	27.815 GE	63.831 GE	36.015 GE

Tab. 4.12 Maximale Ersparnispotenziale ΔK_{max} bei *optimaler* und *suboptimaler Disposition* der Zielkapazität R_m im Fall einer *sicheren* und einer *unsicheren Prognose*

Für den Vergleich der unterschiedlichen Flexibilitätswirkungen wählen wir unterschiedlich flexible Rahmenbedingungen: Beim Zustand mit *geringerer Flexibilität* soll die Mengenflexibilität $\gamma_{\Delta} = 0,2$ und die Variantenflexibilität $m = 2$ betragen, beim *flexibleren* Zustand $\gamma_{\Delta} = 0,6$ und $m = 5$. Tab. 4.13 zeigt die *Ausschöpfungsanteile* γ_K , Tab. 4.14 die dazugehörigen *Risikokosten* $E(\overline{K_1})$.

	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,0$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,0$	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,5$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,5$
$\gamma_{\Delta} = 0,2,$ $m = 2$	51,0%	44,4%	65,3%	49,3%
$\gamma_{\Delta} = 0,6,$ $m = 5$	95,2%	94,6%	98,1%	96,7%

Tab. 4.13: Ausschöpfungsanteile γ_K bei unterschiedlich flexiblen Ausgangsbedingungen

	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,0$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,0$	$R_m = R_m^*, \alpha = 0,5$	$R_m = \mu_0, \alpha = 0,5$
$\gamma_{\Delta} = 0,2,$ $m = 2$	27.256 GE	30.929 GE	37.474 GE	41.921 GE
$\gamma_{\Delta} = 0,6,$ $m = 5$	2.684 GE	2.980 GE	28.353 GE	28.732 GE

Tab. 4.14: Absatzrisikokosten $E(\overline{K_1})$ bei unterschiedlich flexiblen Ausgangsbedingungen

Bei beiden Flexibilitäts-Szenarien wird der höchste Ausschöpfungsanteil γ_K jeweils dann erreicht, wenn eine unsichere Prognose vorliegt und dabei optimal disponiert wird. Die Absatzrisikokosten $E(\overline{K_1})$ fallen bei unsicherer Prognose höher aus, können allerdings durch optimale Disposition reduziert werden.

5. Simulationsstudien zu den Erfolgspotenzialen flexibler Produktionsprozesse: Erweiterung der Analyse auf heterogene Modesortimente

5.1 Auswirkungen heterogener Artikeldaten auf die Erfolgspotenziale der Variantenflexibilität: offene Fragen

Einzelne Modeartikel i werden in der bisher dargestellten Modelltheorie jeweils durch folgenden *Datensatz* beschrieben (vgl. Abschn. 4.4.1):

μ_{0i} = Nachfrageprognosewert (prior)

σ_{0i} = Standardfehler der Priorprognose

α_i = Prognoseverbesserungsfaktor

c_{ui} = spezifische Unterdeckungskosten (Stückdeckungsbeitrag)

$c_{üi}$ = spezifische Überdeckungskosten

Hinzu kommen noch die speziell für den Artikel i *zum Priorzeitpunkt festzulegenden Dispositionsgrößen*:

R_{mi} = mittlere *Zielkapazität*, die für den Artikel i zum Posteriorzeitpunkt bereitgestellt werden soll

ΔR_i = *Mengenflexibilität (Kapazitätsoption)*, die dem Disponenten zum Posteriorzeitpunkt (bei besserem Informationsstand) für die dann endgültig festzulegende Produktionsmenge x_{ji} Dispositionsfreiheiten im Bereich $R_{mi} - \Delta R_i \leq x_{ji} \leq R_{mi} + \Delta R_i$ sichert

c_{Ri} = *spezifische Reservierungskosten*, die (gegebenenfalls) zum Priorzeitpunkt für die Flexibilitätsbandbreite $2\Delta R_i$ aufzuwenden sind

Modesortimente der Praxis bestehen i.d.R. aus zahlreichen Artikeln und Produktvarianten, die oft *sehr unterschiedliche Nachfragedaten* (μ_{0i} , σ_{0i} , α_i) und manchmal auch stark differierende Preis- und Kostendaten (c_{ui} , $c_{üi}$) aufweisen. Risiko- und Flexibilitätsanalysen von Artikeln mit *heterogenen Nachfrage- oder Kostendaten* sind mit den in Kap. 4 dargestellten Methoden offensichtlich problemlos möglich, so lange es sich jeweils um *Einzelartikel-Analysen* handelt (Spezialfall $m = 1$).

Eine wesentlich komplexere Problematik ist jedoch dann zu bewältigen, wenn für bestimmte *Teilsortimente* (oder auch für das Gesamtsortiment) *Verbundanalysen* erforderlich werden. Verbundanalysen sind insbesondere dann notwendig, wenn sämtliche Produkte eines Teilsortiments *gemeinsame Produktionskapazitäten mit begrenzter Einsatzflexibilität* nutzen.

In der Modelltheorie von Kap. 4 werden in diesem Sinn *variantenflexible Reaktivkapazitäten* unterstellt, die den m Artikeln i eines bestimmten Teilsortiments zum Posteriorzeitpunkt *gemeinsam zur Verfügung* stehen. Der große Vorteil der *Variante[n]flexibilität* und der resultierenden gemeinsamen Kapazitätsnutzung besteht darin, dass *stochastische Ausgleichseffekte* zwischen den Prognosefehlern der einzelnen Artikel (*Risk-Pooling-Effekte*) die *Kapazitätsrisiken und letztlich auch die Absatzrisikokosten deutlich reduzieren*.

Die bisherige Theorie zu den Wirkungen der Variantenflexibilität beruht allerdings (verglichen mit der Realität) auf einer *groben Vereinfachung*: Um die *Gesamtwirkungen der Variantenflexibilität* auf ein Teilsortiment (oder äquivalent: die *Durchschnittswirkungen pro Artikel*) zumindest näherungsweise zu quantifizieren, wird fiktiv angenommen, das betrachtete Teilsortiment würde aus m *datentechnisch identischen Durchschnittsartikeln* $\mu_0, \sigma_0, \alpha_i, c_{iv}, c_{ii}$ bestehen. Streng genommen gelten somit die bisherigen Modellergebnisse zu den Wirkungen der Variantenflexibilität nur für (datentechnisch) *völlig homogene Teilsortimente*. Man darf allerdings annehmen, dass die Theorie auch dann noch gute Näherungsergebnisse liefert, wenn die Einzeldaten, aus denen die Datenmittelwerte des fiktiven Durchschnittsartikels gebildet werden, *nur schwach streuen*.

Bei starker Streuung der Artikeldaten $\mu_{0i}, \sigma_{0i}, \alpha_i, c_{iv}$ oder c_{ii} (*bei heterogenen Teilsortimenten*) sind jedoch erhebliche Zweifel angebracht, ob die bisherige Theorie homogener Teilsortimente noch Gültigkeit beanspruchen kann. Folgende Fragen sollten deshalb beantwortet werden:

- In welchem Ausmaß und in welcher Weise beeinflussen *heterogene Nachfragedaten* ($\mu_0, \sigma_0, \alpha_i$) in einem Teilsortiment
 - die Erfolgspotenziale der Variantenflexibilität
 - im Vergleich zur Theorie homogener Teilsortimente?

- Wie wirken sich *heterogene Fehlmengen- und Überdeckungskosten* (c_{ii} , c_{iii}) von Artikeln eines Teilsortiments
 - auf Flexibilitätserfolge und
 - auf Flexibilitätsstrategien aus?
- Lassen sich systematische Zusammenhänge zwischen *dem Heterogenitätsgrad von Artikeldaten* und den resultierenden Absatzrisikokosten erkennen?

Im Rahmen der folgenden Untersuchungen soll ein *Beitrag zur Klärung dieser Fragen* geleistet werden. Da heterogene Teilsortimente die Möglichkeiten wahrrscheinlichkeitstheoretischer Analysen überfordern, müssen zusätzlich *Monte-Carlo-Methoden* eingesetzt werden. Wir wollen uns deshalb zunächst der *Entwicklung geeigneter Simulationsmodelle* zuwenden.

5.2 Modellierung und Programmierung eines Simulationstools

5.2.1 Grundstruktur

Die *Monte-Carlo-Methode*²⁷⁶ stellt den Kern stochastischer *Simulationsmodelle* dar. Sie ist ein statistisches Verfahren zur numerischen Bestimmung von Näherungslösungen für komplexe stochastische Probleme. Diese werden nicht analytisch durchgerechnet, sondern nach einem entsprechend konstruierten stochastischen Modell mit Zufallszahlen exemplarisch simuliert. Die Menge aller Werte, die eine Zufallsvariable annehmen kann, wird dabei durch eine geeignete Stichprobe ersetzt. Zwei Eigenschaften werden bei den Monte-Carlo-Experimenten vorausgesetzt²⁷⁷:

- Die *Wahrscheinlichkeit* dafür, dass beim „Wurf einer Kugel“ eine bestimmte Zahl erzielt wird, ist *a priori bekannt* und für alle Zahlen eines vorgegebenen Ereignisraumes gleich groß.
- Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine bestimmte Zahl erreicht wird, ist unabhängig davon, welche Zahl im vorhergehenden Wurf „gewürfelt“ wurde (*stochastische Unabhängigkeit*).

²⁷⁶ Zur Entstehung und Entwicklung der Monte-Carlo-Methode siehe u.a. Hammersley, J. M. et al. (Monte-Carlo-Methode, 1979), S. 4ff.

²⁷⁷ Vgl. Domschke, W., Drexl, A. (Operations Research, 2005), S. 207f.

Die Monte-Carlo-Methode eignet sich also zur Analyse statistischer Probleme mit *bekanntem Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie der Normalverteilung*²⁷⁸. In einfacher Form wird die *Monte-Carlo-Methode* für das *Newsvendor-Problem* u. a. bei Kohlas und Hengartner erörtert²⁷⁹.

Für die Durchführung der *Monte-Carlo-Simulation* eignet sich z.B. die *objektorientierte Programmiersprache JAVA*²⁸⁰. Diese garantiert eine hohe Rechengeschwindigkeit. Über die spezielle Funktion *nextGaussian()* werden Zufallszahlen generiert, die einer Normalverteilung folgen. Der zugrunde liegende Zufallszahlengenerator liefert (0,1)-gleichverteilte Zufallszahlen nach der *linearen Kongruenzmethode*²⁸¹. Anhand der *Transformationsmethode* werden diese in die Normalverteilung überführt²⁸². Mit Hilfe des *Oberflächengenerators* lässt sich eine grafische Benutzeroberfläche programmieren, die die Schnittstelle zwischen Anwender und System bildet. Dabei können eigene Zellen für die *Inputdaten* definiert werden. Der *Simulationsoutput* kann sowohl *tabellarisch-numerisch* als auch *grafisch* dargestellt werden.

Eine weitere Anforderung an das im vorliegenden Fall benötigte Simulationstool liegt in der Einbindung der *Lagrange-Methode*²⁸³. Für den Fall, dass die nicht restringierten Optimalwerte x_{ij}^* „aufgebläht“ bzw. „geschrumpft“ werden müssen, um die Kapazitätsrestriktionen zu erfüllen, sind Lösungswerte für den Lagrange-Multiplikator λ zu ermitteln. Dafür kann jedes nichtlineare Optimierungsprogramm zur Berechnung numerischer Lösungen verwendet werden. So berechnet z.B. das *EXCEL-Optimierungsprogramm SOLVER* problemlos optimale Lösungen für beliebige Modelldatensätze. Darüber hinaus hat es den Vorteil, eine automatisierte Schnittstelle zum Java-Zufallszahlengenerator einsetzen zu können. SOLVER soll deshalb im Folgenden verwendet werden.

²⁷⁸ Vgl. Domschke, W., Drexl, A. (Operations Research, 1995), S. 207.

²⁷⁹ Vgl. Kohlas, J. (Monte-Carlo-Methode, 1972), S.32ff und Hengartner, W. et al. (Monte-Carlo-Methode, 1979) S. 13f.

²⁸⁰ Die Eigenschaften von JAVA werden u. a. bei Middendorf, S. (JAVA, 2003), S.4ff und Steyer, R. (Java, 2001), S. 19ff ausführlich erklärt.

²⁸¹ Vgl. hierzu Härtel, F. (Zufallszahlen, 1994), S. 39ff.

²⁸² Vgl. hierzu u. a. Steinhausen, D. (Simulation, 1994), S. 36ff.

²⁸³ Vgl. hierzu Abschn. 5.2.2.

5.2.2 Verfahrensvarianten

Um die in Abschn. 5.1 aufgeworfenen Fragen beantworten zu können, werden in den nachfolgenden Abschnitten *zwei grundlegend unterschiedliche Konstellationen* untersucht:

(1) *Heterogene Nachfragedaten* (μ_{0i} , σ_{0i} , α_i) und *homogene Kostendaten* (c_{ui} , c_{ii}) von Teilsortimenten mit m Artikeln

Nur die *Nachfragedaten* μ_0 , σ_0 und α der m Artikel der betrachteten Teilsortimente sind *artikelspezifisch unterschiedlich* (heterogen), wohingegen die *Kostendaten* c_{ui} und c_{ii} bei allen Artikeln *gleich* sind (vgl. Abschn. 5.3). Damit lassen sich c. p. die strukturellen Wirkungen heterogener Nachfragedaten auf die Erfolgspotenziale untersuchen.

(2) *Homogene Nachfragedaten* (μ_0 , σ_0 , α) und *heterogene Kostendaten* (c_{ui} , c_{ii}) von Teilsortimenten mit m Artikeln

Die *Nachfragedaten* werden jeweils *homogen* gehalten. Nur die *Kostendaten* werden bei den verglichenen Teilsortimenten „heterogenisiert“ (vgl. Abschn. 5.4). Dadurch lässt sich zeigen, in welcher Weise heterogene Fehlmengen- und Überdeckungskosten c. p. die Flexibilitätserfolge beeinflussen.

Bei beiden Konstellationen liegt dem *Simulationsmodell* folgende *Entscheidungsstruktur* zugrunde:

- Für die Disposition eines Teilsortimentes sind *zum Priorzeitpunkt* die artikel-spezifischen Daten μ_{0i} , σ_{0i} , α_i , c_{ui} und c_{ii} ($i = 1, \dots, m$) gegeben. Hinzu kommen die Dispositionsparameter, die das gesamte Sortiment betreffen:
 - $R_\Sigma (= m \cdot R_m) =$ *Zielkapazität (mittlere Gesamtkapazität)*, die für das gesamte Teilsortiment ($i = 1, \dots, m$) zum Posteriorzeitpunkt zur Verfügung gestellt werden soll
 - $\Delta R_\Sigma (= m \cdot \Delta R) =$ *Mengenflexibilität (Kapazitätsoption)*, das posterior (d.h. bei besserem Informationsstand) die Dispositionsfreiheit (bei Festlegung der Einzelartikelmengen x_{1i}) für den Bereich $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma \leq \sum x_{1i} \leq R_\Sigma + \Delta R_\Sigma$ definiert

- Zum Posteriorzeitpunkt steht zusätzlich zu den Prior-Daten je ein *Stichprobenwert* für den verbesserten Prognosewert pro Artikel μ_{ii} ($i = 1, \dots, m$) zur Verfügung, der aus einer Normalverteilung $\sim (\mu_0, \sqrt{1 - \alpha_i^2} \sigma_0)$ gezogen wird²⁸⁴.
- In jedem Posteriorfall wird *optimal disponiert* ($= x_{ii}^*$), soweit dies der Flexibilitätsbereich $R_\Sigma \pm \Delta R_\Sigma$ zulässt (*Posterioroptimierung*). Wenn die Flexibilitätsgrenzen $R_\Sigma \pm \Delta R_\Sigma$ über- bzw. unterschritten werden, wählt man jene „geschrumpften“ bzw. „aufgeblähten“ x_{ii}^* -Werte, die unter Einhaltung der aktiven Restriktionen die *geringste Risikokostenerwartung* haben.
- Das entscheidende *Erfolgskriterium* ist wie in Kap. 4 der *durchschnittliche Prior-Erwartungswert der Risikokosten pro Artikel* $E(\overline{K_i} | \text{prior})$.

5.3 Heterogene Absatzwerte und Prognosefehler bei gemeinsam produzierten Artikeln²⁸⁵

5.3.1 Messung der Datenheterogenität und der Heterogenitätswirkungen

- (1) *Definition von vergleichbaren homogenen Teilsortimenten und Teilsortimenten mit unterschiedlichem Grad der „Artikel-Heterogenität“*

Eine Grundanforderung für den *Vergleich von homogenen und heterogenen Teilsortimenten* besteht darin, nur „*Vergleichbares*“ miteinander zu vergleichen (Definition einer sinnvollen Ceteris-Paribus-Klausel). Um zu ermitteln, wie die „*Artikel-Heterogenität*“ der Nachfragedaten $\mu_{0i}, \sigma_{0i}, \alpha_i$ ($i = 1, \dots, m$) die Ergebnisse der Analysen verändert, die in Kap. 4 für homogene Teilsortimente ($\mu_{0i} = \mu_0, \sigma_{0i} = \sigma_0, \alpha_i = \alpha$ für alle i) erzielt wurden, müssen sich die Daten der *vergleichenen homogenen und heterogenen Teilsortimente* mit Ausnahme des *differenzierenden Merkmals* (also des *unterschiedlichen Heterogenitätsgrades*) entsprechen. Es stellt sich die Frage, wie „*Entsprechung*“ *sinnvoll definiert werden kann?*

²⁸⁴ Vgl. Diruf, G., *Mode-Supply-Chains*, 2007, S. 215f.

²⁸⁵ Die mathematischen Grundlagen, auf denen die Simulationsanalysen von Kap. 5 aufbauen, beruhen auf theoretischen Arbeiten von Diruf (internes Paper des Lehrstuhls für BWL, insbes. Logistik und logistische Informatik der Universität Bamberg).

Im vorliegenden Fall wird ein pragmatischer Ansatz gewählt und festgelegt, dass Teilsortimente mit jeweils *gleichen Datenmittelwerten* pro Artikel, also mit gleichen Werten für

- die durchschnittliche Prior-Nachfrageprognose pro Artikel

$$\bar{\mu}_0 = \frac{\sum \mu_{0i}}{m} \quad \text{Gl. 114}$$

- und den mittleren Nachfrageprognosefehler pro Artikel

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{\sum \sigma_{0i}}{m} \quad \text{Gl. 115}$$

miteinander verglichen werden.

Bei Betrachtung des *mittleren Prognosefehler* $\bar{\mu}_0$ zeigt sich, dass die *Homogenität* oder *Heterogenität* der μ_i -Werte für das Ergebnis keine Rolle spielt, *solange der Summenwert* $\sum \mu_{0i}$ *gleich bleibt*. Vergleicht man also Teilsortimente mit gleichen Summen $\sum \mu_{0i} = m\bar{\mu}_0$, aber unterschiedlichen Summanden μ_{0i} , dann hat dieser Teil der Datenheterogenität keine Auswirkungen auf die Kostenerwartungen $E(\bar{K}_1 | \text{prior})$. Die *Höhe der Summe* $\sum \mu_{0i}$ *selbst* hat allerdings *als Mittelwert der Zufallsziehungen für* $\sum_i \mu_{0i}$ *erhebliche Auswirkungen* auf die Prior-Entscheidung über die Zielkapazität R_Σ .

Bezüglich der mittleren Nachfragefehlerwerte $\bar{\sigma}_0$ und α erkennt man, dass nach jeder Simulationsziehung eines Zufallswertes für $\sum_i \mu_{0i}$ nur die Summen $\sum_i \alpha \cdot \sigma_{0i}$ in die Posterior-Rechnung eingehen. Bleibt die Summe $\sum_i \alpha \cdot \sigma_{0i}$ gleich und ändern sich nur die Summanden, ergeben sich im Endergebnis keine Veränderungen. Daher ist es zweckmäßig, Teilsortimente miteinander zu vergleichen, die hinsichtlich dieser Summe, also hinsichtlich des Mittelwertes $\bar{\alpha\sigma}_0 = \frac{1}{m} \sum_i \alpha_i \sigma_{0i}$, gleich sind²⁸⁶.

²⁸⁶ Eine Untersuchung unterschiedlicher Verbesserungsfaktoren α_i ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. In den Analysen wird durchgehend von gleichen Werten α für alle Artikel i ausgegangen ($\alpha_i = \alpha$).

(2) *Das Varianzadditionsgesetz als theoretische Grundlage zur Erklärung unterschiedlicher Heterogenitätswirkungen*

Allgemein geht das *Varianzadditionsgesetz* von folgenden Annahmen aus:

- m Zufallsgrößen x_i mit den Einzelstandardabweichungen σ_i werden zur Summe $\sum_{i=1}^m x_i$ addiert.

- Wenn die m Zufallsgrößen *vollständig positiv korreliert* sind²⁸⁷, dann berechnet sich die Standardabweichung der Summe $\sigma_{\Sigma 1}$ als

$$\sigma_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^m \sigma_i.$$

- Wenn andererseits die m Zufallsgrößen wechselseitig *stochastisch unabhängig* sind, dann ergibt sich die Standardabweichung der Summe $\sigma_{\Sigma 2}$ nach dem Varianzadditionsgesetz als

$$\sigma_{\Sigma 2} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}. \quad \text{Gl. 116}$$

Da $\sigma_{\Sigma 2}$ *i.d.R. deutlich kleiner ist als* $\sigma_{\Sigma 1}$ ²⁸⁸ gründen auf dem Varianzadditionsgesetz die *Risk-Pooling-Ersparnisse*, die wirtschaftlich vielfältig genutzt werden. Im vorliegenden Fall treten sie in Form von *Variantenflexibilität* auf²⁸⁹.

Die Unsicherheitsreduktion $\sigma_{\Sigma 1} - \sigma_{\Sigma 2}$ hängt stark vom Grad der Ungleichheit der Summanden σ_i ab. Selbst bei stochastischer Unabhängigkeit der Summanden x_i hat der Grad der Ungleichheit der Summanden σ_i bei gegebenem Mittelwert $\bar{\sigma} = \frac{1}{m} \sum \sigma_i$ starke Auswirkungen auf das Ausmaß des Risk-Pooling-Effektes, das sich in der Differenz $\sum \sigma_i - \sqrt{\sum \sigma_i^2}$ widerspiegelt. *Am größten* ist c.p. die Verminderung der Summen-

²⁸⁷ Das bedeutet, dass zwischen allen Paaren x_i und x_j der Korrelationskoeffizient 1 gilt.

²⁸⁸ Vgl. hierzu auch Gln. 41 bis 43.

²⁸⁹ Vgl. hierzu auch Abschn. 4.4.2 (5) *Senkung der Absatzrisikokosten durch steigende Variantenflexibilität m*.

Standardabweichung durch Risk-Pooling-Effekte, wenn alle Einzel-Standardabweichungen σ_i gleich groß sind. Dann gilt:

$$\sigma_i = \bar{\sigma} = \frac{1}{m} \sum \sigma_i \text{ für alle } i \quad \text{Gl. 117}$$

Daraus folgt:

$$\sigma_{\Sigma 2} = \sqrt{m \cdot \bar{\sigma}^2} = \sqrt{m} \cdot \bar{\sigma} \quad \text{Gl. 118}$$

Dies entspricht für stochastisch unabhängige Zufallsgrößen x_i dem *minimalen Wert* unter allen σ_{Σ} -Werten mit *gegebenem Mittelwert* $\bar{\sigma}$ der σ_i -Werte. Im vorliegenden Fall ist dies gegeben, wenn es sich um ein *homogenes Teilsortiment* handelt.

Im *anderen Extremfall* einer „völligen Ungleichheit“ der σ_i -Werte (bei gegebenem Mittelwert $\bar{\sigma}$) verschwindet der Risk-Pooling-Effekt gänzlich. Dies tritt dann ein, wenn die Gesamtstreuung völlig *auf nur eine einzige Variable* (z.B. x_1) zurückzuführen ist, während die übrigen $m - 1$ x_i -Variablen einer *entarteten Verteilung* mit $\sigma_i = 0$ gehorchen. Man erhält:

$$\sigma_1 = m \cdot \bar{\sigma} \text{ und } \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_m = 0$$

Die Voraussetzung eines $\bar{\sigma}$ -Wertes ist somit erfüllt:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m} \sum \sigma_i = \frac{1}{m} m \bar{\sigma} = \bar{\sigma}$$

Für die *Standardabweichung der Summe* ermittelt man:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{m^2 \bar{\sigma}^2 + 0 + 0 + \dots + 0} = m \bar{\sigma} = \sum_{i=1}^m \sigma_i$$

Bei *völliger Konzentration des Nachfragerisikos* auf nur einen der m Artikel erhält man für die Standardabweichung der Summe $\sum_{i=1}^m x_i$ somit denselben Wert, den man erhalten würde, wenn alle x_i -Variablen paarweise vollständig positiv korreliert wären. Beispiel 5.1 veranschaulicht die Zusammenhänge.

Beispiel 5.1

Gegenübergestellt werden vier unterschiedliche Modeteilsortimente I bis IV mit gleicher Artikelanzahl ($m = 4$) und gleicher durchschnittlicher Standardabweichung ($\bar{\sigma} = 10.000$ ME), aber unterschiedlichen Einzelstandardabweichungen σ_i . Vorausgesetzt wird jeweils stochastische Unabhängigkeit der Nachfragedaten der einzelnen Artikel.

	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	$\sum \sigma_i$	$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2}$	$\sum \sigma_i - \sigma_\Sigma$
I	10.000	10.000	10.000	10.000	40.000	20.000	20.000
II	13.333,3	13.333,3	13.333,3	0	40.000	23.094	16.906
III	20.000	20.000	0	0	40.000	28.284	11.716
IV	40.000	0	0	0	40.000	40.000	0

Tab. 5.1 Einfaches Beispiel zu den Wirkungen des Varianzadditionsgesetzes bei unterschiedlichem Heterogenitätsgrad der Standardabweichungen der einzelnen Artikel

Wie in Tab. 5.1 dargestellt, lässt sich die *Standardabweichung der Summe* σ_Σ beim *homogenen* Modeteilsortiment auf 20.000 ME reduzieren. Somit beträgt das Ausmaß des Risk-Pooling-Effektes $\sum \sigma_i - \sigma_\Sigma$ ebenfalls 20.000 ME. Bei den beiden heterogenen Sortimenten II und III verringert sich das Ausmaß, je mehr sich die Varianz auf wenige Artikel konzentriert. Bei völliger Konzentration im Teilsortiment IV stellt sich kein Risk-Pooling-Effekt ein.

Zusammenfassend lässt sich für stochastisch unabhängige Nachfragedaten folgendes Fazit ziehen:

- Je stärker sich die mit den Einzelstandardabweichungen σ_i gemessene Unsicherheit auf wenige Variablen x_i konzentriert, desto geringere Risk-Pooling-Einsparungen sind bei der Gesamtunsicherheit σ_Σ des Summenwertes $\sum_{i=1}^m x_i$ zu verzeichnen.

- Geht man vom maximalen Risk-Pooling-Effekt bei gleichen Einzel- σ_i -Werten aus und steigert bei konstantem $\bar{\sigma}$ -Wert die „Ungleichheit“ der einzelnen σ_i -Werte, dann wirkt dies auf die Summen-Standardabweichung σ_Σ so, wie wenn man
 - die positive Korrelation zwischen den x_i - x_j -Paaren verstärken würde
 - oder (bei konstantem $\bar{\sigma}$ -Wert und homogenen σ_i -Werten) die *Variationsflexibilität* m absenken würde.

(3) *Entwicklung eines Konzentrationsmaßes β_σ als Maß für die Stärke der Datenheterogenität der σ_i -Werte*

Bei *Konstruktion eines geeigneten Maßstabs für die Ungleichheit* ist insbesondere auf die *im Modell wirksamen Risk-Pooling-Effekte bei der Zufallsziehung* der Summenwerte $\sum_i \mu_i$ zu achten. Die maßgebende Standardabweichung für die Zufallsziehung lautet

- für allgemein unterschiedliche Werte:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_i (1 - \alpha_i^2) \cdot \sigma_{0i}^2} \quad \text{Gl. 119}$$

- im vorliegenden Spezialfall $\alpha_i = \alpha$:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_i (1 - \alpha^2) \cdot \sigma_{0i}^2} = \sqrt{1 - \alpha^2} \sqrt{\sum_i \sigma_{0i}^2} \quad \text{Gl. 120}$$

Ausgehend von der Wirkung der Ungleichheit der einzelnen σ_i -Werte auf die Summen-Standardabweichung σ_Σ wird ein Maß gewählt, das

- für den Extremfall gleicher σ_i -Werte (keinerlei Konzentration der Datenstreuung, homogene σ_i -Werte) den Wert 0 % annimmt und
- für den entgegengesetzten Extremfall (volle Konzentration der Streuung auf einen Artikel) $\sigma_1 = m \cdot \bar{\sigma}$ und $\sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_m = 0$ den Wert 100% erreicht.

Wie man leicht nachvollziehen kann, weist das folgende Konzentrationsmaß für die Ungleichverteilung (Heterogenität) der Einzelvarianzen σ_i^2 die gewünschten Eigenschaften auf:

$$\beta_{\sigma} = \frac{\frac{\sqrt{\sum_i \sigma_i^2}}{\sum_i \sigma_i^2} - \frac{1}{\sqrt{m}}}{1 - \frac{1}{\sqrt{m}}} \quad \text{für } m \geq 2 \quad \text{Gl. 121}$$

Im *vorliegenden Fall* mit heterogenen Daten μ_{0i} , σ_{0i} und homogenen Daten α , c_u , c_i werden die Wirkungen der Variantenflexibilität m nur durch *heterogene Einzel-Standardabweichungen* $\sqrt{1-\alpha^2}\sigma_{0i}$ ($i = 1, \dots, m$) gemindert, weil eine steigende Ungleichheit der $\sqrt{1-\alpha^2}\sigma_{0i}$ -Werte c. p. die Risk-Pooling-Effekte bei den „gewürfelten“ μ_{1i} -Werten schwächt, wodurch die Streuung der Summen-Standardabweichung

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_i (1-\alpha^2)\sigma_{0i}^2} = \sqrt{1-\alpha^2} \sqrt{\sum_i \sigma_{0i}^2} \quad \text{Gl. 122}$$

steigt.

Die *Definition von β_{σ}* für den vorliegenden Fall lautet:

$$\beta_{\sigma} = \frac{\frac{\sqrt{\sum_i \sigma_{0i}^2}}{\sum_i \sigma_{0i}} - \frac{1}{\sqrt{m}}}{1 - \frac{1}{\sqrt{m}}} \quad \text{Gl. 123}$$

Beispiel 5.2 veranschaulicht die Anwendung des β_{σ} -Maßes.

Beispiel 5.2

Es werden die Daten von Beispiel 5.1 (vgl. Abschn. 5.3.1, S. 157f) zugrunde gelegt. Tab. 5.2 zeigt die Ergebnisse.

	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	β_{σ}
I	10.000	10.000	10.000	10.000	0%
II	13.333,3	13.333,3	13.333,3	0	15,5%
III	20.000	20.000	0	0	41,4%
IV	40.000	0	0	0	100%

Tab. 5.2 Einfaches Demonstrationsbeispiel zum Konzentrationsmaß β_{σ}

Beim *homogenen* Modeteilsortiment I des Demonstrationsbeispiels beträgt die Streuung der Standardabweichung *null*, wohingegen im anderen Extremfall IV eine *100%ige Konzentration* vorliegt.

(4) *Messung der Heterogenitätswirkungen auf die Risk-Pooling-Effekte der Variantenflexibilität: Einzelartikelproduktion versus variantenflexible gemeinsame Produktion*

Disponiert und bewertet werden die *m homogenen oder heterogenen Artikel* zunächst wie *m Einzelartikel* (d.h. ohne Variantenflexibilität und die resultierenden Risk-Pooling-Effekte):

- Für jeden der *m Artikel* wird eine geeignete *Zielkapazität* R_{mi} und eine bestimmte *Mengenflexibilität* ΔR_i ($i = 1, \dots, m$) disponiert. Für alle *m Artikel* kommt dieselbe Dispositionsstrategie zum Einsatz. Dies bedeutet: Wegen der Homogenität der Daten c_u, c_a und α sind die disponierten R_{mi} -Werte proportional zu den μ_{0i} -Daten und die disponierten ΔR_i -Werte proportional zu den σ_{0i} -Daten.
- Die resultierenden *Prior-Risikokostenerwartungen* werden zunächst einzeln berechnet, also: $E(K_i | \text{prior})$ für $i = 1, \dots, m$.
- Hieraus ermittelt man die mittleren *Risikokostenerwartungen pro Artikel bei Einzelartikel-Betrachtung*

$$E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E(K_i | \text{prior}; \text{Einzelartikel}) \quad \text{Gl. 124}$$

Zum Vergleich werden dieselben *m Artikel als Teilsortiment* betrachtet und mit denselben Daten die mittleren Absatzrisikokosten pro Artikel berechnet (mit *Variantenflexibilität und den resultierenden Absatzrisikokosten*). Es ergibt sich folgender Ablauf:

- Das Teilsortiment mit *m Artikeln* verfügt insgesamt über die *Zielkapazität*

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m R_{mi} \text{ und die Mengenflexibilität } \Delta R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta R_i .$$

- Als *Ergebnis* für die mittleren Absatzrisikokosten des Teilsortiments bei Berücksichtigung der Risk-Pooling-Vorteile erhält man:

$$E(\bar{K} | \text{prior}; \text{Teilsortiment } m > 1) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E(K_{i_i} | \text{prior}; m \text{ Sortiment}) \quad \text{Gl. 125}$$

- Darüber hinaus berechnet man die mittleren *Risikokostenerwartungen pro Artikel bei Einzelartikel-Betrachtung*

$$E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E(K_{i_i} | \text{prior}; \text{Einzelartikel}) \quad \text{Gl. 126}$$

Um das *Ausmaß der durch die Variantenflexibilität bewirkten Risk-Pooling-Vorteile* aufzuzeigen, wird der folgende *Quotient* γ_V eingeführt:

$$\gamma_V = \gamma_{\text{Variantenflexibilität}} = \frac{E(\bar{K} | \text{prior}; \text{Teilsortiment } m)}{E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel})} \leq 1 \quad \text{Gl. 127}$$

Wenn der Quotient z.B. den Wert $\gamma_V = 85\%$ annimmt, bewirkt die *Variantenflexibilität eine Risikokostensenkung von 15%* verglichen mit einer Einzelartikelproduktion. Für entsprechende *homogene und heterogene Sortimente* wird ein *Vergleich der γ_V -Werte* durchgeführt. Bei der Ermittlung der γ_V -Werte ist zu beachten, dass sich wegen der unterstellten μ -Proportionalität der R_{mi} -Werte und der σ -Proportionalität der ΔR_i -Werte die *durchschnittliche Kostenerwartung bei Einzelartikel-Betrachtung*

$$E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E(K_{i_i} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel})$$

durch eine Heterogenisierung der σ_{0i} - und μ_{0i} -Werte nicht ändert. Das bedeutet, dass die Heterogenisierung *keinen Einfluss* auf die *mittleren Kosten bei Einzelartikel-Betrachtung* hat, wenn die übrigen Daten homogen bleiben. Dies gilt sowohl bei Anwendung der *suboptimalen als auch der optimalen Dispositionsstrategie*²⁹⁰.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Teilsortimenten gemäß Gl.127 erfolgt die *Zuteilung der R_{mi} - und ΔR_i -Werte bei der Einzelartikel-Betrachtung* (wie bereits erläutert) proportional zu den μ_{0i} - und σ_{0i} -Werten. Dies bedeutet insbesondere für die Risiko-Disposition, dass die relative Mengenflexibilität $\gamma_{\Delta i}$ für jeden Artikel des betrachteten Teilsortiments gleich bleibt.

²⁹⁰ Vgl. hierzu Abschn. 5.3.4.

$$\gamma_{\Delta i} = \frac{\Delta R_i}{\sigma_{0i}} = \text{konst.} \quad \text{für } i = 1, \dots, m \quad \text{Gl. 128}$$

Um die Vergleichbarkeit von Teilsortimenten zu sichern, müssen zudem R_{Σ} und ΔR_{Σ} oder alternativ bei unterschiedlichen m -Werten die *mittlere Zielkapazität* $\frac{1}{m} R_{\Sigma}$ und das *mittlere Ausmaß an Mengenflexibilität* $\frac{1}{m} \Delta R_{\Sigma}$ gleich sein.

5.3.2 Modellsortimente mit steigendem Heterogenitätsgrad der Nachfrage- und Prognosewerte

(1) *Fallende geometrische Folge als geeignetes Mittel zur Darstellung von heterogenen σ_{0i} - oder μ_{0i} -Mustern*

Im vorliegenden Fall sollen die Wirkungen der Heterogenität der Nachfragedaten μ_{0i} , σ_{0i} bei jeweiliger Konstanthaltung der Teilsortimentsdaten $\bar{\mu}_0$, $\bar{\sigma}_0$, α , c_u und $c_{\bar{u}}$ analysiert werden. Es stellt sich die Frage, welche systematisierten heterogenen σ_{0i} - oder μ_{0i} -Muster für die Untersuchungen herangezogen werden sollten, um einen Überblick zu den Heterogenitätswirkungen zu erhalten.

Eine Möglichkeit besteht z.B. darin, die σ_{0i} -Werte (oder μ_{0i} -Werte) in Form einer *fallenden arithmetischen Folge* darzustellen. Eine wesentlich attraktivere theoretische Möglichkeit bieten allerdings *fallende geometrische Folgen* (vgl. Abb. 5.1), da die Heterogenität mit einem einfachen *Faktor q* gesteuert werden kann, wie im Folgenden für die *Standardabweichungen* σ_{0i} gezeigt wird²⁹¹.

Als rekursive Grundgleichung gilt:

$$\sigma_{0i} = \sigma_{0,i-1} \cdot q \quad \text{für } 0 < q \leq 1 \text{ und } i = 1, \dots, m \quad \text{Gl. 129}$$

Daraus folgt:

$$\sigma_{0i} = \sigma_{0,1} \cdot q^{i-1} = \sigma_{\max} \cdot q^{i-1} \quad \text{für } i = 1, \dots, m \quad \text{Gl. 130}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sigma_{\max} \cdot q^{i-1} = \frac{1}{m} \sigma_{\max} \frac{1-q^m}{1-q} \quad 0 < q < 1 \quad \text{Gl. 131}$$

²⁹¹ Da die Artikelnummern i nur *nominalen Charakter* besitzen, kann man die Artikel immer so anordnen, dass z.B. die σ_{0i} -Werte monoton mit i fallen.

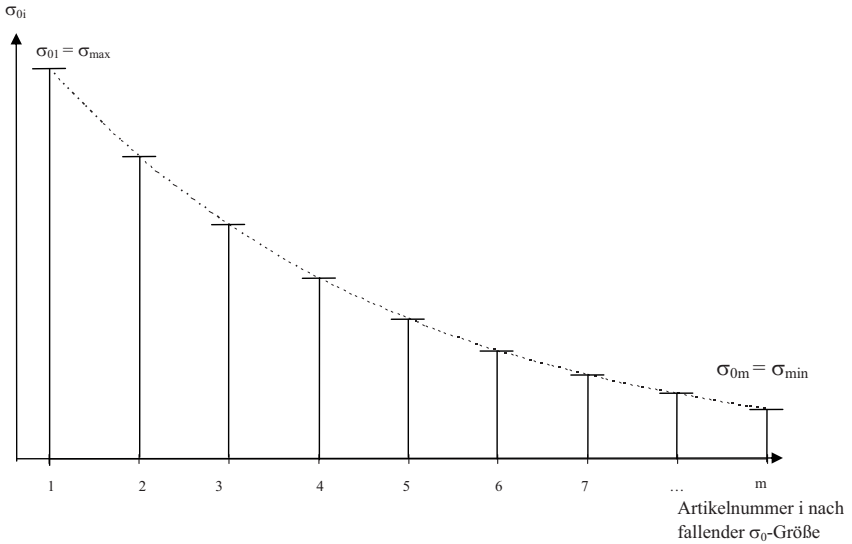


Abb. 5.1: Die σ_{0i} -Werte der i Artikel eines Teilsortiments in Form einer *fallenden geometrischen Folge*

Umgekehrt erhält man bei *Vorgabe von m , $\bar{\sigma}$ und q* :

$$\sigma_{\max} = m\bar{\sigma} \frac{1-q}{1-q^m} \quad \text{Gl. 132}$$

$$\sigma_{\min} = m\bar{\sigma} \frac{1-q}{1-q^m} q^{m-1} \quad \text{Gl. 133}$$

$$\sigma_{0i} = m\bar{\sigma} \frac{1-q}{1-q^m} q^{i-1} \quad \text{für } i = 1, \dots, m \quad \text{Gl. 134}$$

Der *Grad der Heterogenität der σ_{0i} -Werte* wird zunächst durch *Vorgabe des q -Wertes* gesteuert:

- Für den einen *Grenzfall* $q = 1$ folgt²⁹²:

$$\sigma_{01} = \sigma_{02} = \dots = \sigma_{0m} = \bar{\sigma} \quad (= \text{homogene } \sigma_i\text{-Werte})$$
- Für den anderen *Grenzfall* q *nahe null* entstehen sehr große Unterschiede zwischen den σ_i -Werten (*starke Heterogenität*)

Weiterhin sind die Unterschiede der σ_{0i} -Werte immer *in Abhängigkeit von der Artikelanzahl* m zu betrachten.

Hier gelten folgende Formeln:

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{0i} = m\bar{\sigma} = \sigma_{\max} \frac{1-q^m}{1-q} \quad \text{Gl. 135}$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{0i}^2 = \sum_{i=1}^m \sigma_{\max}^2 q^{2(1-i)} = \sigma_{\max}^2 \frac{1-q^{2m}}{1-q^2} \quad \text{Gl. 136}$$

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_{0i}^2}}{\sum_{i=1}^m \sigma_{0i}} = \frac{\sqrt{\sigma_{\max}^2 \frac{1-q^{2m}}{1-q^2}}}{\sigma_{\max} \frac{1-q^m}{1-q}} = \frac{\sqrt{(1-q^{2m})(1-q)^2}}{\sqrt{(1-q^2)(1-q^m)^2}} \quad \text{Gl. 137}$$

Das in Abschn. 5.3.1 (3) vorgestellte *Konzentrationsmaß* β_σ berechnet sich als:

$$\beta_\sigma = \frac{\sqrt{\sum_i \sigma_{0i}^2}}{\sum_i \sigma_{0i}} \cdot \frac{1}{\sqrt{m}} = \frac{\sqrt{(1+q^m)(1-q)}}{\sqrt{(1-q^m)(1+q)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{m}} \quad \text{Gl. 138}$$

$$1 - \frac{1}{\sqrt{m}} \quad 1 - \frac{1}{\sqrt{m}}$$

Bemerkenswert an Gl. 138 ist insbesondere die Tatsache, dass das Ausmaß der Streuungsheterogenität nur von q und m , nicht aber von der absoluten Größe der σ -Werte abhängt. Beispiel 5.3 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem q -Faktor und dem *Konzentrationsmaß* β_σ .

²⁹² Zu beachten ist hierbei, dass ein Teil der obigen Formeln für $q = 1$ nicht funktioniert, weil der

Grenzfall $\frac{0}{0}$ erreicht wird.

Beispiel 5.3

Anhand eines Beispiels lässt sich das Zusammenspiel von *Artikelzahl* m , *Faktor* q und *durchschnittlicher Standardabweichung* $\bar{\sigma}$ verdeutlichen. Bei Vorgabe von $m = 4$, $\bar{\sigma} = 1.000$ ME und $q = 0,5$ ergeben sich:

$$\text{- die } \sigma_i\text{-Werte: } \sigma_1 = \sigma_{\max} = 4 \cdot 1.000 \frac{1-0,5}{1-0,5^4} = 2.133 \text{ [ME]}$$

$$\sigma_2 = 0,5 \cdot 2.133 \text{ [ME]} = 1.067 \text{ [ME]}$$

$$\sigma_3 = 0,5 \cdot 1.067 \text{ [ME]} = 533 \text{ [ME]}$$

$$\sigma_4 = 0,5 \cdot 533 \text{ [ME]} = 267 \text{ [ME]}$$

- das *Konzentrationsmaß* β_σ :

$$\beta_\sigma = \frac{\sqrt{(1+0,5^4)(1-0,5)} - \frac{1}{\sqrt{4}}}{1 - \frac{1}{\sqrt{4}}} = 22,9\%$$

Tab. 5.3 zeigt, wie sich die *Streuungskonzentration* von *Teilsortimenten* bei *unterschiedlicher Sortimentsgröße* und *variierendem Faktor* q verhalten. Eine *starke Heterogenität* der σ_i -Werte ergibt sich z.B. bei $m = 8$ und $q = 0,2$, wo β_σ bei 71,6% liegt. *Schwach heterogene* Werte stellen sich dagegen bei $m = 2$ und $q = 0,8$ ($\beta_\sigma = 1,5$ %) ein.

m \ q	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2	70,5%	48,7%	32,8%	21,2%	13,1%	7,4%	3,7%	1,5%	0,3%
3	77,6%	58,1%	41,8%	28,5%	18,3%	10,7%	5,5%	2,2%	0,5%
4	80,9%	63,6%	48,0%	34,3%	22,9%	13,9%	7,3%	3,0%	0,7%
5	82,7%	66,9%	52,2%	38,7%	26,9%	16,9%	9,1%	3,8%	0,9%
6	83,9%	69,0%	55,1%	42,1%	30,1%	19,5%	10,9%	4,7%	1,1%
7	84,7%	70,5%	57,2%	44,7%	32,8%	21,9%	12,6%	5,5%	1,3%
8	85,2%	71,6%	58,8%	46,6%	35,0%	24,0%	14,2%	6,4%	1,6%
9	85,7%	72,5%	60,1%	48,2%	36,8%	25,8%	15,6%	7,2%	1,8%
10	86,0%	73,2%	61,1%	49,5%	38,3%	27,3%	16,9%	8,0%	2,0%

Tab. 5.3 Das Konzentrationsmaß β_σ in Abhängigkeit von der Artikelanzahl m und dem Faktor q der fallenden geometrischen Folge

(2) *Betriebswirtschaftlich sinnvolle Datenszenarien für Teilsortimente*

Nach den bisherigen theoretischen Überlegungen²⁹³ spielt beim *Vergleich von Teilsortimenten* mit *heterogenen Werten* μ_{0i} und σ_{0i} und *homogenen Werten* α , c_{1i} , c_{2i}

- nur die Ungleichverteilung der σ_{0i} -Werte in der Summe $\sum \sigma_{0i}$,
- nicht aber die Ungleichverteilung der μ_{0i} -Werte in der Summe $\sum \mu_{0i}$

für die Flexibilitätserfolge $E(\overline{K}_j)$ eine Rolle. Trotzdem sollten die μ_{0i} -Werte und die dazugehörigen σ_{0i} -Werte auch *betriebswirtschaftlich plausible Strukturen* und darüber hinaus *Grenzen für die Werte des Variationskoeffizienten* v_{0i} wegen des verwendeten Normalverteilungsmodells²⁹⁴ aufweisen.

²⁹³ Vgl. insbesondere Abschn. 5.3.1 (1)

²⁹⁴ $v_{0i} = \frac{\sigma_{0i}}{\mu_{0i}}$; Vgl. zu *Grenzen der v_{0i} -Werte*: Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 33.

Wie oben gezeigt, lässt sich eine einfache, leicht manipulierbare und analysierbare Datenstruktur mit Hilfe von *geometrischen Datenfolgen* finden. Geometrische Datenfolgen können gleichzeitig mit unterschiedlichen q -Werten für die μ_{0i} - und für die σ_{0i} -Werte eingesetzt werden. Für μ_{0i} gelten die für σ_{0i} entwickelten Formeln analog. Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich folgende *Vorgehensweise für die Zusammenstellung eines Mustersortiments* ableiten:

- Folgende Parameter werden vorgegeben:
 $m, \bar{\sigma}, q_{\sigma}, \bar{\mu}, q_{\mu}, \alpha, c_u, p_s$
- Daraus lassen sich die μ_{0i} - und σ_{0i} -Werte der einzelnen Artikel des Teilsortiments ($i = 1, \dots, m$) berechnen:
 - $\sigma_{\max} = m \cdot \bar{\sigma} \cdot \frac{1 - q_{\sigma}}{1 - q_{\sigma}^m}$ und $\sigma_{0i} = \sigma_{\max} \cdot q_{\sigma}^{i-1}$ Gl. 139
 - $\mu_{\max} = m \cdot \bar{\mu} \cdot \frac{1 - q_{\mu}}{1 - q_{\mu}^m}$ und $\mu_{0i} = \mu_{\max} \cdot q_{\mu}^{i-1}$ Gl. 140

Um realitätsferne Datenstrukturen zu vermeiden, ziehen wir den *relativen Prognosefehler je Artikel* v_{0i} heran:

$$v_{0i} = \frac{\sigma_{0i}}{\mu_{0i}} \quad \text{Gl. 141}$$

Die Erfahrung zeigt, dass in den meisten Sortimenten *der relative Prognosefehler v_{0i} mit kleiner werdender Stückzahl (in der Tendenz) zunimmt*. Idealtypisch vereinfacht kann dies im vorliegenden Fall dadurch erreicht werden, dass $q_{\sigma} > q_{\mu}$ gesetzt wird. Unbeschadet dessen kann man sicherlich auch ausnahmsweise Artikel finden, die trotz kleinerer Stückzahl einen kleineren relativen Fehler v_{0i} aufweisen als Artikel mit großer Stückzahl. Dies wäre bei einem Mode-Spezialgeschäft dann der Fall, wenn es sich bei den Artikeln mit größeren Stückzahlen um hochmodische Produkte handelt, die im Nebensortiment durch Standardartikel mit jeweils kleineren Stückzahlen ergänzt werden. Auch diesen (eher seltenen) Fall kann man stark vereinfacht nachbilden, indem man $q_{\mu} > q_{\sigma}$ wählt. Zudem

sollte wegen der *Normalverteilungsannahme* in den vorliegenden Risikomodellen gelten²⁹⁵:

$$v_{0i} \leq 0,8 \quad \text{Gl. 142}$$

Für den Standardfall $q_\sigma > q_\mu$ ergibt sich daraus folgende Restriktion:

$$v_{\max} = v_{0m} = \frac{\sigma_{\max}}{\mu_{\max}} \cdot \left(\frac{q_\sigma}{q_\mu} \right)^{m-1} \leq 0,8 \quad \text{Gl. 143}$$

$$v_{\min} = v_{01} = \frac{\sigma_{\max}}{\mu_{\max}} \quad \text{Gl. 144}$$

Daraus folgt:

$$q_\sigma \leq q_\mu \cdot m \cdot \sqrt[m]{\frac{0,8}{v_{01}}} \quad \text{Gl. 145}$$

(3) Bildung idealtypischer Modellsortimente mit unterschiedlichem Heterogenitätsgrad

Um die Zusammenstellung von illustrativen Modellsortimenten zu verdeutlichen, werden im folgenden *drei Modellsortimente mit unterschiedlichem Heterogenitätsgrad* gebildet. In allen drei Fällen sind die *Sortimentsgröße* m , der *durchschnittliche Erwartungswert* $\bar{\mu}$ und die *durchschnittliche Standardabweichung* $\bar{\sigma}$ identisch:

$$m = 5 \quad \bar{\sigma} = 2.000 \text{ ME} \quad \bar{\mu} = 10.000 \text{ ME}$$

Die beiden q -Faktoren werden jeweils so gewählt, dass die Restriktion, die den relativen Prognosefehler begrenzt ($v_{0i} \leq 0,8$), eingehalten wird.

(a) *Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte* ($q_\sigma = 0,8$ und $q_\mu = 0,6$)

Als *Konzentrationsmaß* β_σ für die Standardabweichung resultiert bei der Kombination $q_\sigma = 0,8$ und $m = 5$ folgender Wert (vgl. Tab. 5.3, S. 167):

$$\beta_\sigma = 3,8 \%$$

Die Maximalwerte für Erwartungswert und Standardabweichung berechnen sich als:

²⁹⁵ Vgl. zu Grenzen der v_{0i} -Werte: Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 33

$$\mu_{\max} = \mu_{0i} = 5 \cdot 10.000 \cdot \frac{1-0,6}{1-0,6^5} = 21.686 \text{ ME}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{0i} = 5 \cdot 2.000 \cdot \frac{1-0,8}{1-0,8^5} = 2.975 \text{ ME}$$

Daraus ergibt sich folgender relativer Prognosefehler des ersten Artikels v_{01}

$$v_{01} = \frac{2.975}{21.686} = 0,14 < 0,8$$

Die *Restriktion* $q_{\sigma} \leq q_{\mu} \cdot \sqrt{\frac{0,8}{v_{01}}}$ (vgl. Gl. 144) wird eingehalten:

$$0,8 \leq 0,6 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{0,14}} = 0,93$$

In Tab. 5.4 ist dargestellt, wie sich das *Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte* zusammensetzt.

Artikel i \ Artikelparameter	μ_{0i}	σ_{0i}	v_{0i}
1	21.686	2.975	0,14
2	13.012	2.380	0,18
3	7.807	1.904	0,24
4	4.684	1.523	0,33
5	2.811	1.218	0,43
Summe	50.000	10.000	1,32
Durchschnitt	10.000	2.000	0,26

Tab. 5.4 Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte

(b) *Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte* ($q_{\sigma} = 0,5$ und $q_{\mu} = 0,4$)

Das *Konzentrationsmaß* β_{σ} für die Standardabweichung ($q_{\sigma} = 0,5$ und $m = 5$) beträgt:

$$\beta_{\sigma} = 26,9 \%$$

Die Bedingung, die die Höhe des Variationskoeffizienten begrenzt, wird eingehalten:

$$0,5 \leq 0,4 \sqrt[4]{\frac{0,8}{0,17}} = 0,59 < 0,8$$

Tab. 5.5 zeigt das Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte.

Artikelparameter Artikel i	μ_{0i}	σ_{0i}	v_{0i}
1	30.310	5.161	0,17
2	12.124	2.581	0,21
3	4.850	1.290	0,27
4	1.940	645	0,33
5	776	323	0,42
Summe	50.000	10.000	1,40
Durchschnitt	10.000	2.000	0,28

Tab. 5.5 Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte

Artikelparameter Artikel i	μ_{0i}	σ_{0i}	v_{0i}
1	42.004	8.003	0,19
2	6.721	1.601	0,24
3	1.075	320	0,30
4	172	64	0,37
5	28	13	0,47
Summe	50.000	10.000	1,56
Durchschnitt	10.000	2.000	0,31

Tab. 5.6 Teilsortiment mit hoher Heterogenität der Nachfragewerte

(c) Teilsortiment mit hoher Heterogenität der Nachfragewerte ($q_\sigma = 0,2$ und $q_\mu = 0,16$)

Als Konzentrationsmaß β_σ für die Standardabweichung ($q_\sigma = 0,2$ und $m = 5$) ergibt sich²⁹⁶:

$$\beta_\sigma = 66,9 \%$$

²⁹⁶ Vgl. hierzu Tab. 5.3.

Die Restriktion, die den Variationskoeffizienten beschränkt, wird erfüllt:

$$0,2 \leq 0,16 \sqrt[4]{\frac{0,8}{0,19}} = 0,23 < 0,8$$

In Tab. 5.6 ist das *Teilsortiment mit hoher Heterogenität der Nachfragerwerte* dargestellt.

In den nachfolgenden Untersuchungen werden jeweils folgende *homogene Preis- und Kostendaten* für die heterogenen Mustersortimente unterstellt:

$$p = 70 \text{ GE/ME} \quad c = 40 \text{ GE/ME} \quad p_{ii} = 20 \text{ GE/ME}$$

Daraus ergeben sich als *derivative Parameterwerte*:

$$c_{ii} = 30 \text{ GE/ME} \quad c_{ii} = 20 \text{ GE/ME} \quad \omega_0^* = 0,6 \quad z_0^* = 0,2533$$

5.3.3 Simulationsablauf bei homogenen Preis- und Kostendaten

(1) *Ober- und Untergrenzen für die Posterior-Dispositionsvariablen x_{1i}*

Die verwendeten Modelle von Diruf²⁹⁷ setzen zur Beschreibung von Nachfragerisiken *ausnahmslos Normalverteilungen* ein. Für viele Problemstellungen ist dies ohne Weiteres möglich, in einigen Entscheidungssituationen würde allerdings eine *rein formale Übernahme der Normalverteilungs-Annahme* zu völlig unrealistischen Ergebnissen führen, weil Normalverteilungen auf der Merkmalsachse

- sowohl links vom Mittelwert $\mu - \Delta r$
- als auch rechts vom Mittelwert $\mu + \Delta r$

keine Begrenzungen aufweisen²⁹⁸.

Bei einer *rein formalen Vorgehensweise* im Fall einer *Verletzung der Kapazitätsrestriktionen an der Obergrenze* $\sum_{i=1}^m x_{1i} > R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$ kann der Fall eintreten, dass die Produktionsmengen für einen oder mehrere Artikel so weit abgesenkt werden müssten, dass dies zu *unsinnigen negativen Produktionsmengen x_{1i}* führt. Es liegt also auf der Hand, dass die folgenden *Posterioroptimierungsverfahren* die *Nichtnegativitätsbedingung für alle Posteriorproduktionsmengen* einhalten müssen.

²⁹⁷ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007.

²⁹⁸ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 33ff.

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{für alle } i \quad \text{Gl. 146}$$

Im *entgegengesetzten Restriktionsfall* $\sum_{i=1}^m x_{ij} < R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ wird die *prior disponierte Mindestmenge nicht erreicht*. Dies geschieht in der Praxis z.B. dadurch, dass ein Vertrag vorliegt, der dem produzierenden Subunternehmer eine Mindestmenge $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ zusichert, oder dass zum Posteriorzeitpunkt bereits Vorprodukte für die Mindestmenge $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ abgeschlossen sind, die bei einer Nichtweiterverarbeitung völlig entwertet würden. Um insgesamt die Restriktion der Mindestmenge $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ erfüllen zu können, *müssen* „zwangsweise“ *Übermengen eingeplant werden*.

Bei einer *rein formalen Optimierung* kann der Fall eintreten, dass für einen oder mehrere Artikel *unsinnig hohe Produktionsmengen* x_{ij} produziert werden. Im oben diskutierten *Unterdeckungsfall* gibt es für alle Artikel die „logische“ *Untergrenze* $x_{ij} = 0$. Entsprechend *zwingende Obergrenzen* gibt es bei der erzwungenen Planung von *Überdeckungsmengen nicht*. Bei einer *realistischen Interpretation der Planungs- und Marktsituation im Newsvendor-Modell* gilt aber: Die pro Saison verbleibenden Restmengen für jeden betroffenen Artikel i sind so begrenzt, dass diese Mengen *auf dem Sekundärmarkt zum Niedrigpreis* p_{ii} ohne Schwierigkeiten verkauft werden können. Würde also bei einem rein formalen Optimierungsansatz *eine möglicherweise sehr große Gesamtübermenge* $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma} - \sum x_{ij}$ sich auf nur einen Artikel konzentrieren, dann würde diese „stillschweigende“ Annahme (der Verkäuflichkeit der Restmengen) verletzt. Eine realistische Posterioroptimierung wird somit auch bei einer durch die Kapazitätsrestriktion *erzwungenen Übermengenplanung* größere Gesamtübermengen $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma} - \sum x_{ij}$ auf *mehrere Artikel verteilen*, auch wenn dies formal nicht zum (restringierten) Kostenminimum führt.

Eine *einfache ergänzende Annahme*, die diese unrealistische Annahme ersetzt, lautet: Aus Kapazitätsgründen (erzwungen) geplante *Übermengen* dürfen pro Artikel i den Posterior-Prognosewert μ_{ij} nicht *übersteigen*. Diese Festlegung hat den *Vorteil der Symmetrie* (d.h. die *maximal erlaubte Übermenge* für den Artikel i ist genauso groß wie die *maximal erlaubte Unterdeckungsmenge*). Darüber hinaus ist diese Festlegung aus pragmatischer

Sicht nicht unrealistisch. Zusammenfassend dürfen nur Produktionsmengen x_{1i} geplant werden, die im folgenden Zulässigkeitsbereich liegen:

$$0 \leq x_{1i} \leq 2\mu_{1i} \quad \text{für alle } i \quad \text{Gl. 147}$$

Aus Vereinfachungsgründen werden darüber hinaus für die *linken und rechten* (theoretisch unendlich ausgedehnten) „Ränder“ der Normalverteilungen folgende pragmatischen Grenzen eingeführt:

$$\Phi^{-1}(\omega) := -3,0902 \quad \text{für } \omega \leq 0,001 \quad \text{Gl. 148}$$

$$\Phi^{-1}(\omega) := +3,0902 \quad \text{für } \omega \geq 0,999 \quad \text{Gl. 149}$$

$$\Phi(x) := 0 \quad \text{für alle } x \leq -3,0902 \quad \text{Gl. 150}$$

$$\Phi(x) := 1 \quad \text{für alle } x \geq 3,0902 \quad \text{Gl. 151}$$

Für die Kostenerwartungswerte im Bereich $x_{1i} < \mu_{1i} - 3,0902\alpha_i\sigma_{0i}$ gilt dementsprechend:

$$E(K_i | \text{posterior}) = (\mu_{1i} - x_{1i}) c_{ii} \quad \text{Gl. 152}$$

Speziell für $x_{1i} = 0$ ergibt sich:

$$E(K_i | \text{posterior}) = \mu_{1i} \cdot c_{ii} \quad \text{Gl. 153}$$

D.h., in diesem Bereich ist die Wahrscheinlichkeit von Überdeckungskosten null.

Analog gilt für die Kostenerwartungswerte im Bereich $x_{1i} > \mu_{1i} + 3,0902\alpha_i\sigma_{0i}$

$$E(K_i | \text{posterior}) = (x_{1i} - \mu_{1i}) c_{ii} \quad \text{Gl. 154}$$

und speziell an der zulässigen Obergrenze $x_{1i} = 2\mu_{1i}$

$$E(K_i | \text{posterior}) = \mu_{1i} \cdot c_{ii} \quad \text{Gl. 155}$$

Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit von Unterdeckungskosten in diesem Bereich null ist.

Die hier festgelegten Grenzwerte gelten sowohl für das in diesem Abschn. 5.3 behandelte Szenario (*heterogene Nachfragedaten und homogene Kostendaten*) als auch für das Szenario in Abschn. 5.4 (*homogene Nachfragedaten und heterogene Kostendaten*).

(2) *Theoretischer Sonderfall: sichere Posterior-Bedarfsprognose für sämtliche Artikel ($\alpha_i = 0$ für alle i) bei heterogenen Absatzwerten und Prognosefehlern*

Bei homogenen c_u - und c_i -Werten kann die Simulation grundsätzlich stark vereinfacht werden, wenn der Erwartungswert $E(\bar{K} | \text{prior})$ als einziges Erfolgskriterium herangezogen wird. Für dessen Berechnung werden dann nicht die einzelnen Posterior-Erwartungswerte μ_{1i} benötigt. Es reicht vielmehr aus, die Summe der verbesserten Nachfragewerte $\sum \mu_{1i}$ heranzuziehen. Die Zufallsziehungen werden also nur für die Summenwerte $\sum_{i=1}^m \mu_{1i}$ und nicht für die Einzelwerte durchgeführt. Abb. 5.2 zeigt die Ziehung der Summenwerte für den allgemeinen Fall $\alpha_i > 0$.

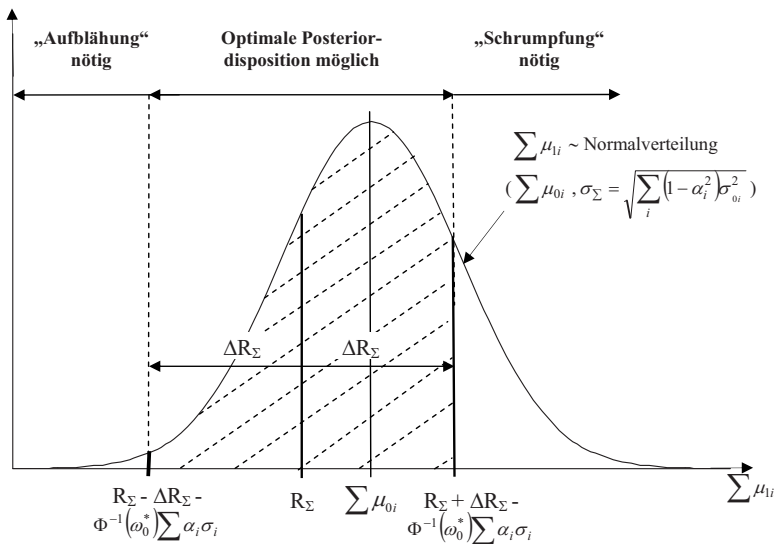


Abb. 5.2: Ergebnis der Zufallsziehung: Summe der verbesserten Nachfragewerte $\sum \mu_{1i}$

Für den theoretischen Sonderfall, bei dem *für sämtliche Artikel eine sichere Posterior-Bedarfsprognose* ($\alpha_i = 0$ für alle i) vorliegt, kann ein Verfahren angewendet werden, das sich in folgende Schritte untergliedert:

- (a) In der Ziehung j werden Stichprobenwerte für die *Summe* $\sum_{i=1}^m \mu_{1i}$ aus einer

Normalverteilung mit den Parametern $\mu_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \mu_{0i}$ und $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_{0i}^2}$ gezogen.

Diese Summenziehung genügt dann, wenn man nur an den Kostenerwartungswerten interessiert ist. Will man auch die Wirkungen auf die Posterioridispersion der einzelnen Artikel untersuchen, müssen die μ_{1i} -Werte einzeln aus den zugehörigen Normalverteilungen mit den Parametern μ_{0i} und σ_{0i} ($i = 1, \dots, m$) gezogen werden.

- (b) Es wird geprüft, ob der *prior disponierte Kapazitätsbereich* $\mu_{\Sigma} \pm \Delta R_{\Sigma}$ *ausreicht, um die Posterior-Optimalwerte zu disponieren*. Da alle $\alpha_i = 0$ sind, handelt es sich bei den gezogenen Posterior-Prognosewerten μ_{1i} um „sichere“ Prognosen, die ohne Zu- und Abschläge auch die optimalen Dispositionswerte $x_{1i} = \mu_{1i}$ darstellen. Es gilt also der Test:

$$R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma} \leq \sum_{i=1}^m \mu_{1i} \leq R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$$

- (c) Wenn $\sum_{i=1}^m \mu_{1i}$ *im zulässigen Bereich* liegt, können die „sicheren“ *Optimalwerte* realisiert werden. Für den Ziehungsfall j gilt dann die Risikokostenerwartung:

$$E_j(\bar{K} / \text{posterior}) = E(K^*) = 0$$

- (d) Wenn das Testergebnis $\sum_{i=1}^m \mu_{1i} > R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$ lautet, muss *optimal „geschrumpft“* werden, so dass gilt:

$$\sum_{i=1}^m x_{1i} = R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$$

Da im vorliegenden Fall *vollkommener Nachfragesicherheit* bei Schrumpfung keine Überdeckungskosten, sondern nur Unterdeckungskosten anfallen, können wir die erzwungenen Minderproduktionsmengen beliebig auf die m Artikel verteilen,

solange die Nichtnegativitätsbedingung $x'_{i_i} \geq 0$ (für alle i) eingehalten wird. Eine Möglichkeit besteht z.B. darin, die *Produktionsmenge bei allen Artikeln auf den gleichen Prozentsatz der Optimalmenge zu senken*:

$$x'_{i_i} = x^*_{i_i} \cdot \frac{R_\Sigma + \Delta R_\Sigma}{\sum_i \mu_{i_i}} = \mu_{i_i} \cdot \frac{R_\Sigma + \Delta R_\Sigma}{\sum_i \mu_{i_i}}$$

Als Posterior-Erwartungswert der Kosten pro Artikel ergibt sich für die Ziehung j folgender Wert:

$$E_j(\bar{K} / posterior) = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{i_i} - (R_\Sigma + \Delta R_\Sigma)}{m} \cdot c_u$$

- (e) Wenn das *Testergebnis* $\sum_{i=1}^m \mu_{i_i} < R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ lautet, müssen die *Werte* $x^*_{i_i} = \mu_{i_i}$ *optimal* „aufgebläht“ werden. Die erzwungene Überproduktion ist dispositiv völlig analog zur erzwungenen Unterproduktion zu behandeln.

$$x'_{i_i} = x^*_{i_i} \cdot \frac{R_\Sigma - \Delta R_\Sigma}{\sum_i \mu_{i_i}} = \mu_{i_i} \cdot \frac{R_\Sigma - \Delta R_\Sigma}{\sum_i \mu_{i_i}}$$

Als Kostenerwartung erhält man:

$$E_j(\bar{K} / posterior) = \frac{(R_\Sigma - \Delta R_\Sigma) - \sum_{i=1}^m \mu_{i_i}}{m} \cdot c_u$$

- (f) Nach k Ziehungen wird *der Schätzwert für* $E(\bar{K}_1 / prior)$ ermittelt:

$$E(\bar{K}_1 / prior) \approx \frac{\sum_{j=1}^k E_j(\bar{K} / posterior)}{k}$$

Zur Verdeutlichung des Simulationsablaufs wird in Beispiel 5.4 eine *Zufallsziehung j* und die dazugehörige *Posterioroptimierung* beispielhaft für das in Tab. 5.5 dargestellte *Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte* ($\bar{\sigma} = 2.000$ ME, $\bar{\mu} = 10.000$ ME, $m = 5$) durchgeführt. Um die Wirkungen auf die Posteriordisposition zu demonstrieren, wird mit Einzelziehungen der μ_{i_i} -Werte gearbeitet.

Beispiel 5.4

Die für sämtliche Artikel gleichen *Kosten- und Preisparameter* sowie die *Prognoseverbesserung* werden vorgegeben. Zudem werden die *mittlere Zielkapazität* R_Σ und das *Ausmaß an Mengenflexibilität* ΔR_Σ a priori festgelegt. Die gewählte mittlere Zielkapazität R_Σ entspricht der Summe der Erwartungswerte $\sum \mu_i$ (= *suboptimale Priorstrategie*).

$$\begin{array}{lll} p = 70 \text{ GE/ME} & c = 40 \text{ GE/ME} & p_{\bar{u}} = 20 \text{ GE/ME} \\ R_\Sigma = 50.000 \text{ ME} & \Delta R_\Sigma = 5.000 \text{ ME} & \alpha_i = \alpha = 0,0 \end{array}$$

Derivative Parameterwerte:

$$\begin{array}{lll} c_{\bar{u}} = 30 \text{ GE/ME} & c_{\bar{a}} = 20 \text{ GE/ME} & p_s = 50 \text{ GE/ME} \\ \omega_0^* = 0,6 & z_0^* = 0,2533 & \end{array}$$

In der *Stichprobenziehung j* werden die in Tab. 5.7 dargestellten *Erwartungswerte* μ_{ij} gezogen. Wegen der sicheren Prognose entsprechen die gezogenen Werte den *optimalen Posteriormengen* x_{ij}^* .

Das Testergebnis liegt unterhalb der unteren Flexibilitätsgrenze. Das bedeutet, dass die Optimalwerte $x_{ij}^* = \mu_{ij}$ aufgebläht werden müssen, und zwar (wenn man sich willkürlich für die „Proportionalitätsmethode“ entscheidet) jeweils mit folgendem Faktor:

$$\frac{R_\Sigma - \Delta R_\Sigma}{\sum_i \mu_{ij}} = \frac{45.000}{43.634} = 1,031$$

i	1	2	3	4	5	Σ
μ_{ij} [in ME]	23.523	11.385	5.765	2.272	689	43.634

Tab. 5.7 Erwartungswerte μ_{ij} einer Stichprobenziehung j

Die im Vergleich zu x_{ij}^* „proportional aufgeblähten“ optimalen Produktionsmengen \hat{x}_{ij} sind in Tab. 5.8 dargestellt.

i	1	2	3	4	5	Σ
x'_{1i} [in ME]	24.259	11.741	5.946	2.343	710	45.000

Tab. 5.8 „Aufgeblähte“ Produktionsmengen x'_{1i} einer Stichprobenziehung j

Als Posterior-Kostenerwartung $E_j(\bar{K} / \text{posterior})$ für die vorliegende *Stichprobenziehung j* ergibt sich:

$$E_j(\bar{K} / \text{posterior}) = \frac{45.000 - 43.634}{5} \cdot 20 = 5.464 \text{ GE}$$

In der *Stichprobenziehung j* verursacht der Zwang zur Einhaltung der Kapazitätsrestriktion eine Kostenerhöhung in Höhe von 5.464 GE, verglichen mit der Optimaldisposition, die wegen „sicherer“ Posterior-Werte keine Risikokosten nach sich ziehen würde.

(3) *Allgemeiner Fall einer begrenzten Prognoseverbesserung: Heterogene Absatzwerte und Prognosefehler bei homogenen Preis- und Kostendaten*

In diesem Fall sind die *Nachfragedaten* μ_{0i} , σ_{0i} , α_i ($i = 1, \dots, m$) der m Artikel des betrachteten Teilsortiments *heterogen*, wohingegen die *Kostendaten* wie in Kap. 4 bei allen m Artikeln (näherungsweise) *gleich* sind, also: $c_{ui} = c_u$ und $c_{ii} = c_u$ (für $i = 1, \dots, m$). Zudem ist mindestens ein Artikel darunter, bei dem der Prognoseverbesserungsfaktor $\alpha > 0$ ist. Der Ablauf²⁹⁹ zur Bestimmung der *optimalen Disposition* in einem beliebigen gewürfelten Posteriorfall μ_{11} , μ_{12} , ..., μ_{1m} (*Posterioroptimierung*) untergliedert sich in folgende Schritte:

- (a) In der Ziehung j werden die *Stichprobenwerte* μ_{1i} aus *Normalverteilungen* $\sim (\mu_{0i}, \sqrt{1 - \alpha_i^2} \sigma_{0i})$ gezogen. Darauf basierend werden die Posterior-Optimalwerte x_{1i}^* und die Summe aller optimalen Posteriorismengen Σx_{1i}^* berechnet.

²⁹⁹ Im vorhergehenden Sonderfall ($\alpha_i = 0$ für alle i) kann die nachfolgend beschriebene *Lagrange-Methode* für die *Posterioroptimierung* nicht angewendet werden, da nicht durch $\sum_i \alpha_i \sigma_{0i} = 0$ dividiert werden kann.

- (b) Es wird ein *Test* durchgeführt, ob die *Optimallösung zulässig ist*:

$$R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma} \leq \sum x_{li}^* \leq R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$$

- (c) Wenn die *Optimallösung zulässig* ist, haben sich bei der vorliegenden Ziehung die *optimalen Kostenwerte* realisiert.

$$E(K_i^*) = \alpha_i \sigma_{0i} (c_{ui} + c_{ii}) \phi(\Phi^{-1}(\omega_{0i}^*)) \quad \text{für } i = 1, \dots, m$$

Als durchschnittlicher Posterior-Erwartungswert pro Artikel ergibt sich für das vorliegende Ziehungsergebnis im zulässigen Bereich:

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = E(\bar{K}_i^*) = \frac{\sum E(K_i^*)}{m}$$

- (d) Wenn die *Summe* $\sum x_{li}^*$ bei einem bestimmten Ziehungsergebnis die *Obergrenze* $R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$ überschreitet, müssen die x_{li}^* -Werte „geschrumpft“ werden. Dabei muss die Obergrenze $R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$ eingehalten werden und die damit verbundene Gesamtkostenerhöhung möglichst gering bleiben. Dies wird in gewissen Grenzen mit dem *Lagrange-Ansatz* erreicht³⁰⁰. Wir stellen den Ansatz zunächst allgemein für heterogene c_{ii} - und c_{ui} -Werte dar:

$$\text{Min}_{x_i, \lambda} L(x_i, \lambda) = \sum_i \alpha_i \sigma_{0i} \left[c_{ii} \frac{x_{li} - \mu_{li}}{\alpha_i \sigma_{0i}} + (c_{ii} + c_{ui}) \Psi \left(\frac{x_{li} - \mu_{li}}{\alpha_i \sigma_{0i}} \right) \right] - \lambda \left[\sum_i x_{li} - (R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}) \right]$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{li}} = c_{ii} - (c_{ii} + c_{ui}) \Phi \left(-\frac{x_{li} - \mu_{li}}{\alpha_i \sigma_{0i}} \right) - \lambda = 0$$

$$\lambda = \frac{\partial L}{\partial x_{li}} = c_{ii} - (c_{ii} + c_{ui}) \Phi \left(-\frac{x_{li} - \mu_{li}}{\alpha_i \sigma_{0i}} \right)$$

Die im Vergleich zu x_{li}^* „geschrumpften“ optimalen Produktionsmengen x'_{li} betragen:

$$x'_{li} = \mu_{li} + \alpha_i \sigma_{0i} \Phi^{-1} \left(\omega_{0i}^* + \frac{\lambda}{c_{ii} + c_{ui}} \right) = \mu_{li} + \alpha_i \sigma_{0i} z'_i \quad \text{für } i = 1, \dots, m^{301}$$

³⁰⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 149.

³⁰¹ Der optimale λ -Wert wird in einem numerischen Suchprozess ermittelt. Im Fall der „Schrumpfung“ ist $\lambda < 0$. Bei heterogenen ω_{0i}^* -Werten kann die zulässige λ -Grenze bei einigen Artikeln unterschritten werden. In diesem Fall ist ein erweitertes Optimierungsverfahren anzuwenden, bei dem bestimmte Artikel aus dem Sortiment ausscheiden bzw. mit maximal zulässigen Übermengen produziert werden (vgl. Abschn. 5.4).

Als *Grenzen* für zulässige Werte ergeben sich für:

- den λ -Faktor: $-c_{ui} < \lambda < c_{ii}$ für alle i
- die x'_{ii} -Mengen: $x'_{ii} \geq 0$ für alle i

Die gegenüber $E(K_i^*)$ bzw. $\sum E(K_i^*)$ erhöhte Posterior-Kostenerwartung beträgt dann:

$$E(K'_i) = \alpha_i \sigma_0 (c_{ii} z'_i + (c_{ii} + c_{ui})) \Psi(z'_i)$$

$$\sum E(K'_i) = \sum \alpha_i \sigma_0 (c_{ii} z'_i + (c_{ii} + c_{ui})) \Psi(z'_i)$$

Als Posterior-Erwartungswert für das vorliegende Ziehungsergebnis, bei dem die Kapazitätsobergrenze $R_\Sigma + \Delta R_\Sigma$ überschritten wurde, ergibt sich:

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = E(\bar{K} | \text{Obergrenze}) = \frac{\sum E(K'_i)}{m}$$

Allgemein muss der korrekte λ -Wert und damit die geschrumpften Dispositionswerte x'_{ii} zur Einhaltung der Kapazitätsobergrenze $R_\Sigma + \Delta R_\Sigma$ mit Hilfe des numerischen Suchprozesses gefunden werden (vgl. Abschn. 5.4). Im vorliegenden Spezialfall homogener Kostenwerte $c_{ui} = \bar{c}_u$ und $c_{ii} = \bar{c}_i$ (für alle i) können aber, wie sich leicht zeigen lässt, der korrekte λ -Wert und die geschrumpften Dispositionswerte x'_{ii} wie folgt explizit berechnet werden:

$$\lambda = (c_{ii} + c_u) \cdot \Phi \left(\frac{R_\Sigma + \Delta R_\Sigma - \sum \mu_{ii}}{\sum \alpha_i \sigma_{0i}} \right) - c_u$$

$$x'_{ii} = \mu_{ii} + \alpha_i \sigma_{0i} \frac{R_\Sigma + \Delta R_\Sigma - \sum \mu_{ii}}{\sum \alpha_i \sigma_{0i}} \quad \text{für } i = 1, \dots, m$$

Wenn allerdings (bei zu klein bemessener Kapazitätsobergrenze) in nennenswertem Ausmaß sinnlose negative Dispositionswerte x'_{ii} erzeugt werden, stößt das gezeigte einfache Lagrange-Verfahren an seine Grenzen. Hier ist eine Ergänzung durch ein systematisches Artikelauswahlverfahren erforderlich (vgl. Abschn. 5.4). Im

theoretischen Grenzfall $\alpha_i = 0$ (für alle i) ist das Lagrange-Verfahren überhaupt nicht anwendbar (vgl. vorhergehenden Abschn. (2)).

- (e) Wenn die Zufallssumme $\sum x_{ii}^*$ bei einem bestimmten Ziehungsergebnis die Kapazitätsuntergrenze $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ unterschreitet, müssen die x_{ii}^* -Werte „aufgebläht“ werden. Es kann eine analoge Vorgehensweise zu (d) gewählt werden, wobei die Obergrenze $R_\Sigma + \Delta R_\Sigma$ durch die Untergrenze $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ ersetzt wird. Es gilt also wiederum³⁰²:

$$x'_{ii} = \mu_{ii} + \alpha_i \sigma_{0i} \Phi^{-1} \left(\omega_{0i}^* + \frac{\lambda}{c_{ii} + c_{ui}} \right) \quad \text{für } i = 1, \dots, m$$

$$E(K'_i) = \alpha_i \sigma_0 (c_{ii} z'_i + (c_{ii} + c_{ui}) \Psi(z'_i)) \quad \text{für } i = 1, \dots, m$$

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = E(\bar{K}_i | \text{Untergrenze}) = \frac{\sum E(K'_i)}{m}$$

In Analogie zur Obergrenze erhalten wir im vorliegenden Spezialfall homogener Kostenwerte die expliziten Berechnungsformeln:

$$\lambda = (c_{ii} + c_{ui}) \cdot \Phi \left(\frac{R_\Sigma - \Delta R_\Sigma - \sum \mu_{ii}}{\sum \alpha_i \sigma_{0i}} \right) - c_{ii}$$

$$x'_{ii} = \mu_{ii} + \alpha_i \sigma_{0i} \frac{R_\Sigma - \Delta R_\Sigma - \sum \mu_{ii}}{\sum \alpha_i \sigma_{0i}} \quad \text{für } i = 1, \dots, m$$

- (f) Nach k Zufallsrealisationen an m -Tupeln für einen bestimmten Prior-Datensatz R_Σ , ΔR_Σ , m , μ_{0i} , σ_{0i} , α_i , c_{ii} und c_{ui} ($i = 1, \dots, m$) ergibt sich der gesuchte Schätzwert für den Prior-Erwartungswert dann als *Mittelwert der gewürfelten Posterior-Erwartungswerte*:

$$E(\bar{K}_i | \text{Prior}) \approx \frac{\sum_{j=1}^k E_j(\bar{K} | \text{posterior})}{\text{Stichprobenzahl } k}$$

³⁰² Im Fall der „Aufblähung“ ist $\lambda > 0$.

Beispiel 5.5

Der Simulationsablauf bei begrenzter Prognoseverbesserung wird beispielhaft mit Hilfe des in Tab. 5.5 abgebildeten *Teilsortiments mit mittlerer Heterogenität der Nachfragerwerte* ($\bar{\sigma} = 2.000$ ME, $\bar{\mu} = 10.000$ ME, $m = 5$) veranschaulicht. Die Ausgangsdaten werden aus Beispiel 5.4 übernommen (vgl. S. 176). Einzig der Prognoseverbesserungsparameter α ändert sich: $\alpha_i = \alpha = 0,5$.

In der *Stichprobenziehung j* werden die in Tab. 5.9 dargestellten *Erwartungswerte* μ_{ji} gezogen, aus denen die in Zeile 2 dargestellten *optimalen Posteriormengen* x_{ji}^* resultieren.

i	1	2	3	4	5	Σ
μ_{ji} [in ME] aus <i>Simulation</i>	32.389	15.358	5.238	1.169	781	54.936
x_{ji}^* [in ME] mit μ_{ji} <i>berechnet</i>	33.043	15.685	5.402	1.251	822	56.203

Tab. 5.9 *Erwartungswerte* μ_{ji} und dazugehörige *optimale Posteriormengen* x_{ji}^* einer Stichprobenziehung j

Die Summenkostenerwartung beträgt

$$\sum E(K_i^*) = 96.586 \text{ GE.}$$

Da die Summe *aller optimalen Posteriormengen* $\sum_{i=1}^5 x_{ji}^* = 56.203$ ME die Kapazitätsobergrenze $R_\Sigma + \Delta R_\Sigma = 55.000$ ME überschreitet, können die Optimalwerte x_{ji}^* nicht realisiert werden. Es wird eine Schrumpfung der x_{ji}^* -Werte mit dem *Lagrange-Verfahren* durchgeführt, damit die *Obergrenze* mit *minimaler Kostenerhöhung* eingehalten werden kann.

In einem *numerischen Suchprozess* wird folgender *optimaler λ -Wert* ermittelt:

$$\lambda^* = - 4,74$$

Die im Vergleich zu x_{li}^* geschrumpften optimalen Produktionsmengen x'_{li} sind in Tab. 5.10 dargestellt. Die explizite Formel bringt dieselben Ergebnisse:

$$x'_{li} = \mu_{li} + 0,5 \cdot \sigma_{0i} \frac{55.000 - 54.936}{0,5 \cdot 10.000} = \mu_{li} + 0,0064 \cdot \sigma_{0i} \quad i = 1, 2, 3, 4$$

I	1	2	3	4	5	Σ
x'_{li} [in ME]	32.422	15.374	5.247	1.174	783	55.000

Tab. 5.10 „Geschrumpfte“ optimale Produktionsmengen x'_{li} einer Stichprobenziehung j

Die gegenüber $\sum E(K_i^*)$ erhöhte Posterior-Kostenerwartung für das vorliegende Ziehungsergebnis beträgt somit:

$$\sum E(K'_i) = 99.424 \text{ GE}$$

Gegenüber der Optimaldisposition tritt in der *Stichprobenziehung j* eine Kostenerhöhung in Höhe von 2.838 GE ein.

5.3.4 Simulationsergebnisse: Verminderung der Risk-Pooling-Effekte bei steigender Ungleichheit der Prognosefehler

Auf Basis der theoretischen Ausführungen zum *Varianzadditionsgesetz* in Abschn. 5.3.1 (4) lassen sich für die Wirkungen der Variantenflexibilität bei heterogenen Sortimenten folgende Hypothesen aufstellen:

- Je mehr die Einzel-Standardabweichungen σ_{0i} der Artikel i bei der Zufallsziehung der μ_{li} -Werte in der Größe voneinander abweichen, d.h. je näher der β_σ -Wert bei 100% liegt,
- desto schwächer sind die Risk-Pooling-Effekte und damit die Wirkungen der Variantenflexibilität m und

- desto mehr *nähert sich somit der durchschnittliche Kostenwert* $E(\overline{K_1})$ *jenem Wert, den man im Durchschnitt bei m Einzelartikeln* (mit jeweils den Daten μ_{0i} , σ_{0i} , α , c_u , c_a) erhalten hätte.

Zur Überprüfung dieser Vermutung wird im nachfolgenden zunächst der *Grenzfall einer sicheren Nachfrageprognose* ($\alpha = 0$) und anschließend der *allgemeine Fall einer begrenzten Prognoseverbesserung* ($\alpha > 0$) untersucht. In beiden Fällen werden die Auswirkungen unterschiedlicher Heterogenität der Nachfragedaten jeweils sowohl für die *suboptimale* als auch die *optimale* Priordisposition analysiert. Als Untersuchungsgegenstand dienen die in Abschn. 5.3.2 (3) entwickelten Mustersortimente:

- Teilsortiment mit *geringer Heterogenität der Nachfragewerte* ($\beta_\sigma = 3,8\%$)
- Teilsortiment mit *mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte* ($\beta_\sigma = 26,9\%$)
- Teilsortiment mit *hoher Heterogenität der Nachfragewerte* ($\beta_\sigma = 66,9\%$)

Als Vergleichsgrundlage dient jeweils die *Einzelartikel-Betrachtung* und das entsprechende *homogene* Teilsortiment. Zudem werden die in den *Beispielen 5.4* und *5.5* dargestellten *homogenen Artikeldaten* verwendet³⁰³.

(1) Simulationsergebnisse für den Grenzfall einer sicheren Posterior-Prognose

(a) Suboptimale Disposition der Zielkapazität

Wie in Abschn. 4.4.2 (5) dargestellt, wirkt die Variantenflexibilität im *Grenzfall* $\alpha = 0$ für *homogene Teilsortimente* so, als ob die *m* Artikel *einzel produziert* würden, aber einen niedrigeren Prognosefehler aufweisen würden. Statt σ_0 ergibt sich als Prognosefehler³⁰⁴:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}.$$

Für die durchschnittliche Kostenerwartung bedeutet dies:

³⁰³ $c_u = 30$ GE/ME, $c_a = 20$ GE/ME, $\omega_0^* = 0,6$

³⁰⁴ Vgl. Gl. 45, S. 103.

$$E\left(\overline{K}\middle|prior; Einzelartikel mit \frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}\right) = E\left(\overline{K}\middle|prior; Teilsortiment mit \sigma_0\right)$$

Für den Fall homogener Teilsortimente ist der *Ausschöpfungsanteil* γ_K des *Risiko-Ersparnispotenzials* K_{max} in Abhängigkeit von der Variantenflexibilität m und der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ in Tab. 4.2 dargestellt. Wie aber verhält sich der *Ausschöpfungsanteil* γ_K im Fall heterogener Sortimente?

Der *Ausschöpfungsanteil* γ_K ergibt sich aus dem Quotienten der *Prior-Kostenerwartung* $E\left(\overline{K}\middle|prior\right)$ und dem *Risikosenkungspotenzial* K_{max} . Wie in Abschn. 5.3.1 (4) gezeigt, ändert sich durch eine Heterogenisierung der σ_{0i} - und μ_{0i} -Werte die durchschnittliche Kostenerwartung $E\left(\overline{K}\middle|prior; m Einzelartikel\right)$ bei *Einzelartikel-Betrachtung* nicht. Das trifft auch für das durchschnittliche *maximale Brutto-Ersparnispotenzial der Flexibilität* K_{max} zu, das ebenfalls gleich bleibt. K_{max} berechnet sich im vorliegenden Fall folgendermaßen³⁰⁵:

$$K_{max} = (c_u + c_{\bar{u}}) \sigma_0 \Psi(0) = 50 \cdot 2.000 \cdot 0,3989 = 39.894,23 \text{ GE}$$

In Tab. 5.11 ist der *Ausschöpfungsanteil* γ_K für die drei *heterogenen Mustersortimente*, das entsprechende *homogene Sortiment* und die *Einzelartikel-Betrachtung* in Abhängigkeit von der *relativen Mengenflexibilität* γ_Δ bei *suboptimaler* Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ dargestellt.

Aus den Tabellenwerten erkennt man eine zunehmende Wirksamkeit der Risk-Pooling-Effekte vom *stark heterogenen* hin zum *homogenen Teilsortiment*. Je geringer das *Konzentrationsmaß* β_σ ist, umso größer sind der *Ausschöpfungsanteil* γ_K und somit die Einsparungen. Wenn die Flexibilitätspolitik darin besteht, einen bestimmten Anteil γ_K des Risikosenkungspotenzials K_{max} (z.B. $\gamma_K = 80\%$) auszuschöpfen, reicht beim *gering heterogenen* (ebenso wie beim *homogenen*) *Sortiment* bereits eine relativ geringe Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ aus, um mehr als 80% zu erreichen. Beim *mittel heterogenen Sortiment* wird $\gamma_\Delta = 0,6$ und beim *stark heterogenen Sortiment* bereits $\gamma_\Delta = 0,8$

³⁰⁵ Vgl. Gl. 29 und 31, S. 93f.

benötigt. Bei der vergleichbaren Einzelartikelproduktion muss dagegen eine relative Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 1,2$ eingeplant werden.

γ_{Δ} \ Sortiment	Einzel- artikel- produktion	stark heterogen ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)	mittel heterogen ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	gering heterogen ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	homogen ($\beta_{\sigma} = 0\%$)
0,0	0,0%	15,3%	39,2%	52,9%	55,3%
0,2	23,1%	40,0%	61,8%	73,8%	75,9%
0,4	42,2%	57,9%	76,9%	86,9%	88,6%
0,6	57,7%	72,3%	87,2%	94,1%	95,3%
0,8	69,9%	82,1%	93,7%	97,9%	98,4%
1,0	79,1%	88,9%	97,1%	99,3%	99,5%
1,2	85,9%	93,7%	98,8%	99,5%	99,9%
1,4	90,8%	96,4%	99,5%	99,9%	100,0%

Tab. 5.11 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5$, $\alpha = 0$, $\omega_0^* = 60\%$)

Bei Betrachtung des γ -Quotienten der drei *heterogenen* Sortimente und des *homogenen* Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} (vgl. Tab. 5.12) ergibt sich ebenfalls das Bild, dass die Risk-Pooling-Einsparungen $1 - \gamma_V$ beim homogenen Sortiment durchgängig am größten ausfallen. Mit zunehmender Heterogenität der Teilsortimente nehmen diese ab. Während das homogene Teilsortiment bei nicht vorhandener Mengenflexibilität ($\gamma_{\Delta} = 0,0$) bereits eine Risikokostensenkung $1 - \gamma_V$ von mehr als 55% erreicht, werden beim stark heterogenen Sortiment lediglich ca. 15% ausgeschöpft. Bei den gering gestreuten Sortimenten werden mit zunehmender Mengenflexibilität wesentlich früher hohe Ausschöpfungsgrade $1 - \gamma_V$ von mehr als 80% erreicht.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	<i>homogen</i> ($\beta_{\sigma} = 0\%$)	<i>gering heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	<i>mittel heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	<i>stark heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)
0,0	44,7%	47,1%	60,8%	84,7%
0,2	31,3%	34,1%	49,7%	78,0%
0,4	19,7%	22,6%	39,9%	73,0%
0,6	11,0%	14,0%	30,2%	65,5%
0,8	5,5%	7,1%	21,0%	59,4%
1,0	2,4%	4,3%	14,1%	53,0%
1,2	0,9%	3,6%	8,5%	44,9%
1,4	0,3%	0,6%	4,9%	39,5%

Tab. 5.12 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m = \mu_0$, $\alpha = 0$, $\omega_0^* = 60\%$)

Zusammenfassend können wir festhalten: Die Analyse der Risk-Pooling-Effekte der drei Mustersortimente und des entsprechenden homogenen Sortiments ergibt, dass das *Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte*, das eine Konzentration von $\beta_{\sigma} = 3,8\%$ aufweist, *starke Risk-Pooling-Einsparungen* $1 - \gamma_V$ erzielt, die nahe an denen des *homogenen Teilsortiments* liegen. Dahingegen fallen die *Risk-Pooling-Effekte* des *Teilsortiments mit starker Streuung der Nachfragewerte* ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$) wesentlich geringer aus. Die theoretischen Ausführungen zum *Varianzadditionsgesetz* in Abschn. 5.3.1 (4) für die Wirkungen der Variantenflexibilität werden in vollem Umfang bestätigt: Je näher der β_{σ} -Wert bei 100% liegt, desto schwächer sind die Risk-Pooling-Effekte und damit die Wirkungen der Variantenflexibilität m.

(b) Optimale Disposition der Zielkapazität

Um die *optimale Disposition einzelner Artikel mit der Disposition heterogener Teilsortimente* vergleichen zu können, wird folgende Vorgehensweise gewählt³⁰⁶: Zunächst wird der „mittlere“ Einzelartikel bei vorgegebener Mengenflexibilität ΔR optimiert. Dadurch erhält man den *Optimalwert* R_m^* , der mit der Artikelanzahl m multipliziert die *Zielkapazität* R_Σ für das Teilsortiment ergibt. Die *Mengenflexibilität* ΔR_Σ für das Teilsortiment ergibt sich als *Produkt aus der Artikelanzahl m und der Einzel-Mengenflexibilität ΔR* . Beispiel 5.6 veranschaulicht die Vorgehensweise.

Beispiel 5.6

Als Grundlage dienen die Modelldaten von Beispiel 5.2 ($c_u = 30$ GE/ME, $c_i = 20$ GE/ME, vgl. S. 158) mit dem in Tab. 5.3 dargestellten *Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragerwerte* ($\bar{\sigma} = 2.000$ ME, $\bar{\mu} = 10.000$ ME, $m = 5$). Abweichend davon wird von einer sicheren Bedarfsprognose ($\alpha = \alpha_i = 0$) ausgegangen. Bei einer Mengenflexibilität $\Delta R^* = 500$ ME bzw. $\gamma_\Delta^* = 0,25$ ergibt sich bei *optimaler Disposition für den „mittleren“ Einzelartikel* als Zielkapazität:

$$R_m^* = \frac{30 \cdot 104 + 12 \cdot 021 + 4 \cdot 798 + 1 \cdot 914 + 763}{5} = 9.920 \text{ ME}$$

Die mittlere Kostenerwartung bei Einzelartikelbetrachtung, die den *Nenner des Quotienten* γ_V bildet, beträgt

$$E(\bar{K} | \text{prior, Einzelartikel}) = \frac{71.732 + 35.866 + 17.933 + 8.966 + 4.483}{5} = 27.796 \text{ GE}$$

Dieselben fünf Artikel werden als *Teilsortiment* mit einer Zielkapazität von

$$R_\Sigma = \sum_{i=1}^m R_{mi} = 49.600 \text{ ME}$$

und einer Mengenflexibilität von

$$\Delta R_\Sigma = 500 \cdot 5 \text{ ME} = 2.500 \text{ ME}$$

³⁰⁶ Vgl. hierzu Abschn. 5.3.1 (4) *Messung der Heterogenitätswirkungen auf die Risk-Pooling-Effekte der Variantenflexibilität: Einzelartikelproduktion versus variantenflexible gemeinsame Produktion*

betrachtet.

Der durch Simulation ermittelte *Kostenerwartungswert bei Teilsortimentsbetrachtung* beträgt dann

$$E(\bar{K} | \text{prior}, \text{Teilsortiment}) = 13.913 \text{ GE}$$

Als *Quotient* γ_V für das *Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität der Nachfragewerte* ergibt sich

$$\gamma_V = \frac{13.913}{27.796} = 50,05\%.$$

Dies heißt, die *Variantenflexibilität* führt in diesem Fall zu *einer Risikokostensenkung von nahezu 50%* verglichen mit der Einzelartikelproduktion.

Bei Betrachtung des entsprechenden homogenen Teilsortimentes bleibt die mittlere Kostenerwartung des Einzelartikels $E(\bar{K} | \text{prior}, \text{Einzelartikel})$ gleich. Dabei fällt die *Kostenerwartung für das homogene Teilsortiment* geringer aus.

$$E(\bar{K} | \text{prior}, \text{Teilsortiment homogen}) = 8.483 \text{ GE}$$

$$\gamma_V = \frac{8.483}{27.796} = 30,52\%$$

Der *Quotient* γ_V ist beim homogenen Teilsortiment geringer als beim Teilsortiment mit mittlerer Heterogenität. Es wird eine um 20% höhere Kostensenkung erreicht.

Was die Ermittlung des *Ausschöpfungsanteils* γ_K bei optimaler Disposition angeht, ergibt sich ein niedrigerer maximaler Kostenwert K_{\max}^* (vgl. Tab. 5.13) gegenüber der *suboptimalen Disposition* (vgl. Tab. 4.5 in Abschn. 4.5.1). Da das Kostenverhältnis der Teilsortimente $\omega_0^* = 60\%$ beträgt, umfasst das maximale Ersparnispotenzial ΔK_{\max}^* nur ca. 97% des entsprechenden Ersparnispotenzials des suboptimalen Szenarios.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	<i>homogen</i> ($\beta_{\sigma} = 0\%$)	<i>gering heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	<i>mittel heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	<i>Stark heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)
0,0	45,1%	46,3%	58,3%	80,4%
0,2	33,7%	36,2%	50,3%	77,4%
0,4	21,8%	23,9%	41,1%	70,7%
0,6	12,5%	14,4%	30,4%	65,9%
0,8	6,4%	8,1%	21,1%	57,0%
1,0	2,8%	6,5%	13,7%	51,0%
1,2	1,1%	4,1%	8,6%	44,4%
1,4	0,5%	3,2%	4,9%	38,1%

Tab. 5.13 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m^* = \mu_0$, $\alpha = 0$, $\omega_0^* = 60\%$)

In Tab. 5.14 ist der *Ausschöpfungsanteil* γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5$, $\alpha = 0$, $\omega_0^* = 60\%$) dargestellt. Darin zeigt sich, dass sich die *Ausschöpfungsanteile* γ_K in diesem Fall im *optimalen Szenario* wie im *suboptimalen Szenarios* (vgl. Tab. 5.11, S. 186) verhalten.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	<i>Einzelartikelproduktion</i>	<i>stark heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)	<i>mittel heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	<i>gering heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	<i>homogen</i> ($\beta_{\sigma} = 0\%$)
0,0	0,0%	17,0%	39,8%	52,2%	53,5%
0,2	21,5%	38,5%	60,0%	71,2%	74,0%
0,4	40,1%	57,8%	75,5%	85,8%	87,4%
0,6	55,5%	71,2%	86,7%	93,7%	94,7%
0,8	67,9%	82,3%	93,4%	97,5%	98,1%
1,0	77,5%	89,0%	97,1%	98,6%	99,4%
1,2	82,7%	93,6%	98,8%	99,4%	99,8%
1,4	84,8%	96,4%	99,5%	99,7%	100,0%

Tab. 5.14 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5$, $\alpha = 0$, $\omega_0^* = 60\%$)

Hinsichtlich der Heterogenitätswirkungen liefert die Analyse des γ -Quotienten bei *optimaler Disposition* dieselben strukturellen Ergebnisse wie bei *suboptimaler Disposition*: Mit zunehmender Heterogenität der Teilsortimente verringern sich die Risk-Pooling-Effekte $1 - \gamma_V$. Die Höhe der *Risk-Pooling-Einsparungen* $1 - \gamma_V$ beim *Teilsortiment mit geringer Heterogenität der Nachfragewerte* entspricht nahezu der des *homogenen Teilsortiments*. Unabhängig von der Höhe der relativen Mengenflexibilität, kommt es im Gegensatz dazu beim *Teilsortiment mit starker Streuung der Nachfragewerte* zu wesentlich geringeren Ausschöpfungsgraden.

(2) *Simulationsergebnisse bei begrenzten Prognoseverbesserungen*(a) *Suboptimale Disposition der Zielkapazität*

Im Vergleich zur sicheren Posteriorprognose ($\alpha = 0$) verringert sich das *Risiko-Ersparnispotenzial der Flexibilität* ΔK_{\max} bei begrenzter Prognoseverbesserung³⁰⁷. Bei einer Prognoseverbesserung von $\alpha = 0,5$ ergibt sich im vorliegenden Fall *suboptimaler Disposition* folgendes Ersparnispotenzial:

$$\Delta K_{\max}(\alpha \geq 0,5) = (1 - 0,5 \cdot \sqrt{2\pi} \varphi(0,2533)) K_{\max} = 20.577 \text{ GE}$$

Das bedeutet, dass sich die Ausschöpfungsanteile γ_K auf nahezu ein *halb so großes Risiko-Ersparnispotenzial der Flexibilität* wie im Fall sicherer Priorprognose beziehen. Die Gegenüberstellung der *Ausschöpfungsanteile* γ_K der sicheren (Tab. 5.11) und unsicheren (Tab. 5.14) Prognose erbringt folgende Ergebnisse:

- Wie schon bei der Analyse homogener Sortimente (vgl. Abschn. 4.4.3 (5), S. 129) zeigt sich, dass die Ausschöpfungsanteile γ_K der begrenzten Prognoseverbesserung für $\Delta R > 0$ bei unsicherer Posteriorprognose nahezu *durchgängig höhere (schlechtestenfalls gleiche) Werte* verglichen mit der sicheren Prognose erreichen.
- In beiden Fällen gilt: Je geringer der Heterogenitätsgrad der Sortimente, umso höher ist der Ausschöpfungsgrad γ_K . Das bedeutet, dass bei „heterogeneren“ Sortimenten eine größere *Mengenflexibilität* nötig ist, um das gleiche Risikosenkungspotenzial ΔK_{\max} zu erlangen.
- Die größten Unterschiede des Ausschöpfungsgrads zeigen sich bei *fehlender Mengenflexibilität*. Mit *steigender Mengenflexibilität* nähern sich die Ausschöpfungsanteile γ_K beider Fälle an.

Für Berechnung des γ_V -*Quotienten* bei unsicherer Bedarfsprognose ergibt sich im Vergleich zur sicheren Bedarfsprognose folgende Abweichung: Sowohl die mittlere *Risikokostenerwartung pro Artikel bei Einzelartikel-Betrachtung* als auch die mittlere *Risikokostenerwartung bei Teilsortiment-Betrachtung* nähern sich mit steigender Mengenflexibilität nicht dem Nullwert, sondern der *minimalen Kostenerwartung* K_{\min} an.

³⁰⁷ Vgl. hierzu Abschn. 4.4.3 (5).

Für den γ_V -Faktor bedeutet dies, dass dieser mit zunehmender Mengenflexibilität bei unsicherer Prognose gegen 100% konvergiert.

γ_Δ \ Sortiment	Einzel- artikel- produktion	stark heterogen ($\beta_\sigma = 66,9\%$)	mittel heterogen ($\beta_\sigma = 26,9\%$)	gering heterogen ($\beta_\sigma = 3,8\%$)	homogen ($\beta_\sigma = 0\%$)
0,0	0,0%	25,4%	54,2%	68,2%	71,3%
0,2	29,2%	51,4%	72,7%	84,3%	87,4%
0,4	51,5%	69,4%	83,9%	91,9%	95,3%
0,6	67,9%	80,8%	89,7%	95,1%	98,5%
0,8	79,5%	87,8%	95,2%	98,7%	99,6%
1,0	87,4%	92,7%	98,0%	99,6%	99,9%
1,2	92,5%	95,1%	99,2%	99,8%	100,0%
1,4	95,8%	97,1%	99,6%	99,9%	100,0%

Tab. 5.15 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_Δ bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m^* = \mu_0$ ($m = 5$, $\alpha = 0,5$; $\omega_0^* = 60\%$)

In Abhängigkeit von α wird die minimale Kostenerwartung K_{\min} gemäß Gl. 83 (vgl. Abschn. 4.4.3 (2)) folgendermaßen berechnet:

$$K_{\min} = \alpha \sigma_0 (c_u + c_{\bar{u}}) \varphi(z_0^*)$$

Daraus ergibt sich im vorliegenden Fall folgender Minimalwert:

$$K_{\min} = 0,50 \cdot 2.000 \cdot (30 + 20) \cdot \varphi(0,2533) = 19.317,13 \text{ GE.}$$

Wie in Tab. 5.16 dargestellt, zeigen sich dieselben Erkenntnisse wie bei *suboptimaler Disposition*: Je heterogener die Einzel-Standardabweichungen σ_{0i} der Artikel i sind, d.h. je näher der β_σ -Wert bei 100% liegt, desto geringer sind die Risk-Pooling-Effekte und umso mehr gleicht der durchschnittliche Kostenwert $E(\overline{K}_1)$ jenem Wert, den man im Durchschnitt bei m Einzelartikeln erzielt hätte.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	<i>homogen</i> ($\beta_{\sigma} = 0\%$)	<i>gering heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	<i>mittel heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	<i>stark heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)
0,0	63,2%	64,8%	72,0%	86,9%
0,2	64,7%	66,6%	73,6%	86,6%
0,4	69,2%	71,6%	77,3%	87,4%
0,6	75,7%	78,4%	82,7%	89,8%
0,8	82,4%	83,3%	86,3%	92,7%
1,0	88,2%	88,5%	90,1%	94,8%
1,2	92,7%	92,8%	93,4%	96,7%
1,4	95,7%	95,7%	96,0%	97,8%

Tab. 5.16 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei suboptimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m = \mu_0$, $\alpha = 0,5$)

(b) *Optimale Disposition der Zielkapazität*

Die *Ausschöpfungsanteile* γ_K optimaler Disposition bei unsicherer Bedarfsprognose sind in Tab. 5.17 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Werte bei unsicherer Prognose ($\alpha = 0,5$) bei der Teilsortimentsbetrachtung durchwegs höher ausfallen.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	Einzel- artikel- produktion	stark heterogen ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)	mittel heterogen ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	gering heterogen ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	homogen ($\beta_{\sigma} = 0\%$)
0,0	0,0%	24,4%	55,3%	69,3%	72,2%
0,2	29,5%	52,5%	73,2%	84,4%	88,2%
0,4	51,9%	68,7%	84,4%	92,3%	95,8%
0,6	68,4%	81,3%	90,2%	96,3%	98,8%
0,8	79,9%	88,8%	95,8%	98,9%	99,7%
1,0	87,7%	92,9%	98,2%	99,4%	99,9%
1,2	92,8%	95,4%	99,5%	99,7%	100,0%
1,4	95,9%	97,3%	99,8%	99,9%	100,0%

Tab. 5.17 Ausschöpfungsanteil γ_K des Risiko-Ersparnispotenzials K_{\max} in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($m = 5$, $\alpha = 0,5$; $\omega_0^* = 60\%$)

Was das *Ausmaß der Variantenflexibilität* γ_V betrifft, zeigt sich das gleiche Bild (vgl. Tab. 5.18) wie bei suboptimaler Disposition mit dem einzigen Unterschied, dass Werte im „anspruchsvolleren“ Szenario der Optimaldisposition höher ausfallen.

γ_{Δ} \backslash Sortiment	<i>homogen</i> ($\beta_{\sigma} = 0\%$)	<i>gering heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 3,8\%$)	<i>mittel heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 26,9\%$)	<i>stark heterogen</i> ($\beta_{\sigma} = 66,9\%$)
0,0	63,9%	65,4%	72,4%	87,8%
0,2	65,6%	67,8%	74,4%	86,5%
0,4	70,4%	72,7%	78,1%	88,7%
0,6	76,9%	78,8%	83,4%	90,2%
0,8	83,5%	84,2%	86,8%	92,6%
1,0	89,1%	89,6%	90,7%	95,4%
1,2	93,3%	93,6%	93,8%	97,6%
1,4	96,1%	96,2%	96,3%	98,7%

Tab. 5.18 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Mustersortimente und des vergleichbaren homogenen Sortiments in Abhängigkeit von der relativen Mengenflexibilität γ_{Δ} bei optimaler Disposition der Zielkapazität ($R_m^* = \mu_0$, $\alpha = 0,5$)

Aus den vorangegangenen Untersuchungen ergibt sich für *Mustersortimente mit heterogenen Nachfragedaten* (μ_{0i} , σ_{0i} , α_i) und *homogenen Kostendaten* (c_{0i} , c_{1i}) die Erkenntnis, dass sich die aus dem Varianzadditionsgesetz abgeleiteten Vermutungen sowohl bei suboptimaler als auch bei optimaler Disposition bestätigen - und zwar gleichermaßen bei sicherer und bei unsicherer Posteriorprognose. Zusammengefasst bedeutet dies:

- Je stärker die Einzel-Standardabweichungen σ_{0i} der Artikel i variieren,
- desto schwächer sind die Risk-Pooling-Effekte,
- desto geringer sind somit die positiven Wirkungen der Variantenflexibilität m und
- desto mehr entspricht der durchschnittliche Kostenwert $E(\overline{K_1})$ dem Wert, der (ohne Risk-Pooling) im Mittel bei m Einzelartikeln entstanden wäre.

5.4 Heterogene Fehlmengen- und Überdeckungskosten der Produktvarianten eines Teilsortiments

5.4.1 Entwicklung geeigneter Modellsortimente

(1) Gleichbleibende positive Gewinnkomponente $E(\overline{G_{rf}})$ als Voraussetzung für den Vergleich: Begrenzung der Analyse auf homogene Nachfragedaten

Eine Untersuchung von Heterogenitätswirkungen auf Basis von Kostenvergleichen (hier: Vergleichen unterschiedlicher Absatzrisikokosten) ist nur dann sinnvoll, wenn die positive Gewinnkomponente $E(\overline{G_{rf}})$ ³⁰⁸ der verglichenen Datenszenarien gleich bleibt. Bisher wurden immer Datenszenarien

- mit heterogenen μ_{0i} -Werten bei konstantem Mittelwert $\overline{\mu_0} = \frac{1}{m} \sum \mu_{0i}$
- und mit einheitlichem c_u -Wert ($c_{ui} = c_u$ für alle i).

verglichen. Hier bleibt in der Tat die risikofreie Gewinnerwartung pro Artikel konstant, wie man sieht:

$$E(\overline{G_{rf}}) = \frac{1}{m} \sum_i E(G_{rfi}) = \frac{1}{m} \sum_i c_u \cdot \mu_{0i} = c_u \cdot \frac{1}{m} \sum_i \mu_{0i} = c_u \cdot \overline{\mu_{0i}} \quad \text{Gl. 157}$$

Die Konstanz von $E(\overline{G_{rf}})$ gilt auch, wenn man umgekehrt

- den μ_0 -Wert einheitlich hält ($\mu_0 = \mu_{0i}$ für alle i),
- aber die c_{ui} -Werte bei konstantem Mittelwert $\overline{c_u} = \frac{1}{m} \sum_i c_{ui}$ heterogenisiert.

Es folgt:

$$E(\overline{G_{rf}}) = \frac{1}{m} \sum_i E(G_{rfi}) = \frac{1}{m} \sum_i c_{ui} \cdot \mu_0 = \mu_0 \cdot \frac{1}{m} \sum_i c_{ui} = \overline{c_u} \cdot \mu_0 \quad \text{Gl. 158}$$

Wenn man allerdings beide Datengruppen (μ_{0i} und c_{ui}) bei jeweils konstanten Mittelwerten $\overline{c_u}$ und $\overline{\mu_{0i}}$ heterogenisiert, dann kann sich der risikofreie Durchschnittsgewinn pro Artikel deutlich verschieben, weil aus der Konstanz der Datenmittelwerte i.d.R. nicht die Konstanz der entsprechenden Produktsummen folgt. Das folgende Beispiel 5.7 verdeutlicht die fünf Möglichkeiten von Homogenität bzw. Heterogenität für den vorliegenden Fall.

³⁰⁸ Vgl. Gl. 10 zur risikofreien Gewinnerwartung $E(G_{rf})$ (Abschn. 4.3.3 (1), S. 79)).

Beispiel 5.7

Gegeben sind die beiden Mittelwerte und die Artikelanzahl eines Teilsortiments.

$$\bar{c}_u = 30 \text{ GE/ME} \quad \bar{\mu}_0 = 10.000 \text{ ME} \quad m = 4$$

1. Fall: *Homogene c_{ui} - und μ_{0i} -Werte*

$$E_1(\bar{G}_{rf}) = \frac{1}{m} \cdot m \cdot \bar{c}_u \cdot \bar{\mu}_0 = \frac{1}{4} \cdot 4 \cdot 30 \cdot 10.000 = 300.000 \text{ GE}$$

2. Fall: *Homogene c_{ui} -Werte und heterogene μ_{0i} -Werte*

$$c_{u1} = c_{u2} = c_{u3} = c_{u4} = 30 \text{ GE/ME} = \bar{c}_u$$

$$\mu_{01} = 25.000 \text{ ME}; \mu_{02} = 10.000 \text{ ME}; \mu_{03} = 4.000 \text{ ME}; \mu_{04} = 1.000 \text{ ME}; \bar{\mu}_0 = 10.000 \text{ ME}$$

$$E_2(\bar{G}_{rf}) = \frac{1}{m} \cdot \bar{c}_u \cdot \sum_{i=1}^4 \mu_{0i} = \frac{1}{4} \cdot 30 \cdot 40.000 = 300.000 \text{ GE} = E_1(\bar{G}_{rf})$$

3. Fall: *Heterogene c_{ui} -Werte und homogene μ_{0i} -Werte*

$$c_{u1} = 60 \text{ GE/ME}; c_{u2} = 30 \text{ GE/ME}; c_{u3} = 20 \text{ GE/ME}; c_{u4} = 10 \text{ GE/ME}; \bar{c}_u = 30 \text{ GE/ME}$$

$$\mu_{01} = \mu_{02} = \mu_{03} = \mu_{04} = 10.000 \text{ ME}$$

$$E_3(\bar{G}_{rf}) = \frac{1}{m} \cdot \bar{\mu}_0 \cdot \sum_{i=1}^4 c_{ui} = \frac{1}{4} \cdot 10.000 \cdot 120 = 300.000 \text{ GE} = E_1(\bar{G}_{rf})$$

4. Fall: *Heterogene c_{ui} - und μ_{0i} -Werte bei jeweils konstantem Mittelwert*

$$c_{u1} = 60 \text{ GE/ME}; c_{u2} = 30 \text{ GE/ME}; c_{u3} = 20 \text{ GE/ME}; c_{u4} = 10 \text{ GE/ME}; \bar{c}_u = 30 \text{ GE/ME}$$

$$\mu_{01} = 25.000 \text{ ME}; \mu_{02} = 10.000 \text{ ME}; \mu_{03} = 4.000 \text{ ME}; \mu_{04} = 1.000 \text{ ME}; \bar{\mu}_0 = 10.000 \text{ ME}$$

$$E_4(\bar{G}_{rf}) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^4 c_{ui} \cdot \mu_{0i} = \frac{1}{4} \cdot (25.000 \cdot 60 + 10.000 \cdot 30 + 4.000 \cdot 20 + 1.000 \cdot 10) = 472.500 \text{ GE}$$

$$E_4(\bar{G}_{rf}) > E_1(\bar{G}_{rf})$$

5. Fall: *Heterogene c_{ui} - und μ_{0i} -Werte wie im 4. Fall, jedoch die c_{ui} -Werte in umgekehrter Reihenfolge*

$$c_{u1} = 10 \text{ GE/ME}; c_{u2} = 20 \text{ GE/ME}; c_{u3} = 30 \text{ GE/ME}; c_{u4} = 60 \text{ GE/ME}; \bar{c}_u = 30 \text{ GE/ME}$$

$$\mu_{01} = 25.000 \text{ ME}; \mu_{02} = 10.000 \text{ ME}; \mu_{03} = 4.000 \text{ ME}; \mu_{04} = 1.000 \text{ ME}; \bar{\mu}_0 = 10.000 \text{ ME}$$

$$E_5(\overline{G_{rf}}) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^4 c_{ui} \cdot \mu_{0i} = \frac{1}{4} \cdot (25.000 \cdot 10 + 10.000 \cdot 20 + 4.000 \cdot 30 + 1.000 \cdot 60) = 147.500 \text{ GE}$$

$$E_5(\overline{G_{rf}}) < E_1(\overline{G_{rf}})$$

Aus dem Beispiel lässt sich das *Fazit* ziehen, dass sich die *positive Gewinnkomponente* $E(\overline{G_{rf}})$ trotz Konstanz der Mittelwerte $\overline{c_u}$ und $\overline{\mu_0}$ erheblich in Abhängigkeit von der Zuordnung der Einzelwerte c_{ui} und μ_{0i} verändert. Für die *Zusammenstellung der Muster-sortimente* ergeben sich folgende *Konsequenzen*:

- Ein reiner Kostenvergleich wird fragwürdig, wenn die positive Gewinnkomponente $E(\overline{G_{rf}})$ der verglichenen Fälle nicht konstant bleibt.
- Auch ein *Übergang zu Gewinnvergleichen* hilft nicht weiter, weil offensichtlich die Streuungen der c_{ui} - und μ_{0i} -Werte (bei jeweils konstanten Mittelwerten) *die Datenstrukturen zu ungenau beschreiben*. Vielmehr kommt es auch auf die *Zuordnung der c_{ui} - und μ_{0i} -Werte* an.
- Man könnte in diesem Sinn versuchen *Datenszenarien* zu konstruieren, die bei jeweils *konstanten Werten* $E(\overline{G_{rf}}) = \frac{1}{m} \sum_i c_{ui} \cdot \mu_{0i}$ unterschiedliche Heterogenitätsgrade der Produktwerte $c_{ui} \mu_{0i}$ aufweisen. Dies würde aber zu *unübersichtlich* werden.
- Um die *strukturellen Wirkungen heterogener Preis- und Kostendaten* auf die Erfolgspotenziale von Flexibilitätsstrategien zu untersuchen, sollte man somit bei *homogenen μ_{0i} -Daten* bleiben. Insgesamt erscheint es am zweckmäßigsten, bei den verglichenen Teilsortimenten *jeweils die Nachfragedaten μ_0 , σ_0 , α homogen zu halten* und nur die c_{ui} - und c_{ii} -Werte zu „heterogenisieren“. Auch hierbei können Datenstrukturen nach dem *Schema geometrischer Folgen angewendet werden*³⁰⁹.

³⁰⁹ Vgl. hierzu Abschn.5.3.2 (1).

(2) *Klassifizierung von idealtypischen Datenszenarien für heterogene c_{ui} - und c_{ii} -Werte mit Hilfe geometrischer Folgen*

Bei Beschreibung eines idealtypischen Datenszenarios mit Hilfe einer geometrischen Folge reicht es aus, den *kleinsten Wert*, z.B. $c_{u\min}$, und den *größten Wert*, z.B. $c_{u\max}$, festzulegen, um mit Hilfe der Artikelanzahl m und des Durchschnittswerts, z.B. \bar{c}_u , den q -Faktor und die übrigen Werte zu bestimmen. Für jedes *Datenszenario* werden daher folgende Werte vorgegeben:

- die Nachfragedaten μ_0 und σ_0
- der Prognoseverbesserungsfaktor α
- der Umfang m des Teilsortimentes
- der Mittelwert der Fehlmengenkosten $\bar{c}_u = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{ui}$
- der Mittelwert der Überdeckungskosten $\bar{c}_{ii} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{ii}$
- das Kostenverhältnis $\frac{c_{u\min}}{c_{u\max}}$
- das Kostenverhältnis $\frac{c_{ii\min}}{c_{ii\max}}$ (bzw. bei aufsteigender Ordnung der c_{ii} -Werte $\frac{c_{ii\max}}{c_{ii\min}}$) und
- die gewählte c_{ii} -Ordnung: absteigende oder aufsteigende c_{ii} -Werte verglichen mit den c_{ui} -Werten

Aus dem *Datensatz* ergeben sich folgende *Klassifizierungsfelder*, in denen jeweils mehrere *Heterogenitätsklassen* gebildet werden können:

- *Klassifizierung der wirksamen Variantenfähigkeit (Teilsortimentsumfänge)* z.B.:
 $m_1 = 2;$ $m_2 = 4;$ $m_3 = 8;$
- *Bildung von Heterogenitätsklassen für die Stückdeckungsbeiträge (spezifischen Unterdeckungskosten) c_{ui}* , z.B.:
 (a) *homogene c_{ui} -Werte*: $c_{ui} = \bar{c}_u$ für alle i

(b) *schwach heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i fallende*) c_{ui} -Werte:

$$c_{u1} = c_{u\max}; c_{um} = c_{u\min}, \frac{c_{u\min}}{c_{u\max}} = 0,5$$

(c) *stark heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i fallende*) c_{ui} -Werte:

$$c_{u1} = c_{u\max}; c_{um} = c_{u\min}, \frac{c_{u\min}}{c_{u\max}} = 0,1$$

- *Bildung von Heterogenitäts- und Ordnungsklassen für die spezifischen Überdeckungskosten $c_{üi}$, z.B.:*

(u) *homogene* $c_{üi}$ -Werte: $c_{üi} = \bar{c}_{\bar{ü}}$ für alle i

(v) *schwach heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i fallende*) $c_{üi}$ -Werte:

$$c_{ü1} = c_{ü\max}; c_{üm} = c_{ü\min}, \frac{c_{ü\min}}{c_{ü\max}} = 0,5$$

(w) *stark heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i fallende*) $c_{üi}$ -Werte:

$$c_{ü1} = c_{ü\max}; c_{üm} = c_{ü\min}, \frac{c_{ü\min}}{c_{ü\max}} = 0,1$$

(x) *schwach heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i zunehmende*) $c_{üi}$ -Werte:

$$c_{ü1} = c_{ü\min}; c_{üm} = c_{ü\max}, \frac{c_{ü\max}}{c_{ü\min}} = 2$$

(y) *stark heterogene* (und mit steigendem Artikelindex *i zunehmende*) $c_{üi}$ -Werte:

$$c_{ü1} = c_{ü\min}; c_{üm} = c_{ü\max}, \frac{c_{ü\max}}{c_{ü\min}} = 10$$

Es ist anzumerken, dass bei den c_{ui} -Werten nur fallende Strukturen benötigt werden, während bei den $c_{üi}$ -Werten sowohl fallende als auch steigende Strukturen erforderlich sind. Der Grund liegt darin, dass die Artikelnummern i per se keine tiefere Bedeutung haben und auch in umgekehrter Reihenfolge betrachtet werden können. D.h., man hat mit der fallenden Datenstruktur gleichzeitig die steigende Struktur erfasst. Wenn man die Artikel grundsätzlich nach fallenden c_{ui} -Werten ordnet, *liegt aus Sicht der $c_{üi}$ -Werte die Ordnung bereits fest*. Es geht dann bei Festlegung der $c_{üi}$ -Datenstrukturen nicht nur um den Grad der Heterogenisierung, sondern auch um die Art der Zuordnung zu den c_{ui} -Werten.

Allgemein betrachtet sind hier beliebig viele „chaotische“ c_{ii} -/ c_{ii} -Kombinationen möglich. Die einfachsten und zugleich systematisierbaren Strukturen bestehen aber darin, den fallenden oder homogenen c_{ii} -Werten

- einerseits fallende c_{ii} -Werte und
- andererseits steigende c_{ii} -Werte zuzuordnen.

Es zeigt sich, dass die beispielhaft vorgenommene Klassifizierung insgesamt 45 *kombinatorische Ausprägungen*³¹⁰ erbringt. Hinzu kommen noch unterschiedliche Ausprägungen bei den *Nachfragedaten* μ_0 , σ_0 und α . Um die Übersichtlichkeit bei der *Gewinnung der wesentlichen Strukturkenntnisse* zu wahren, wird folgende Vorgehensweise gewählt:

- Die „homogenen“ Szenarien $(a)/(u)/m_1$, $(a)/(u)/m_2$ und $(a)/(u)/m_3$ dienen als simulierte Vergleichsszenarien für die analytischen Modellergebnisse von Kap. 4 und für die „heterogenen“ Szenarien.
- Das umfangreiche „Kombinationsfeld“ wird rechnerisch nicht vollständig ausgeschöpft, sondern nur beispielhaft an unterschiedlichen Stellen simulativ untersucht.
- Es wird eine Unterscheidung zwischen dem Sonderfall einer *sicheren Prognose* ($\alpha = 0$) und dem Normalfall einer *unsicheren Prognose* (z.B. $\alpha = 0,5$) vorgenommen.

(3) *Beispielhafte Berechnung eines bestimmten Datenszenarios nach dem Schema "geometrische Folge"*

Beispiel 5.8

Für das *Datenszenario* $(b)/(v)/m_2$ erfolgt eine beispielhafte Berechnung der Daten:

- (b): c_{ii} -Werte mit steigendem Artikelindex i *fallend* und $\frac{C_{ii\min}}{C_{ii\max}} = 0,5$
- (v): c_{ii} -Werte mit steigendem Artikelindex i *fallend* und $\frac{C_{ii\min}}{C_{ii\max}} = 0,5$
- $m_2 = 4$

³¹⁰ (a), (b), (c) = 3 Ausprägungen; (u), (v), (w), (x), (y) = 5 Ausprägungen; $m_1, m_2, m_3 = 3$ Ausprägungen; $3 \cdot 5 \cdot 3 = 45$ kombinatorische Ausprägungen

Zudem unterstellen wir für den Durchschnittsartikel dieses Modeteilsortimentes folgende

Daten:

$$\bar{c}_u = 30; \quad \bar{c}_{ii} = 30;$$

Berechnung der c_{ui} -Daten³¹¹:

$$\frac{c_{u\min}}{c_{u\max}} = 0,5 = \frac{c_{u1} \cdot q_u^{m-1}}{c_{u1}} = q_u^{m-1}, \quad \text{daraus folgt:}$$

$$q_u^{m-1} = 0,5^{\frac{1}{m-1}}$$

$$q_u = 0,5^{\frac{1}{m-1}}, \quad \text{bei } m_2 = 4 \text{ gilt also:}$$

$$q_u = 0,5^{\frac{1}{4-1}} = 0,794$$

$$c_{u1} = c_{u\max} = \bar{c}_u \cdot m \cdot \frac{1 - q_u}{1 - q_u^m} = 30 \cdot 4 \cdot \frac{1 - 0,794}{1 - 0,794^4} = 41,04$$

$$c_{u2} = 0,794 \cdot 41,04 = 32,58$$

$$c_{u3} = 0,794 \cdot 32,58 = 25,86$$

$$c_{u4} = 0,794 \cdot 25,86 = 20,52$$

Da $\frac{c_{u\min}}{c_{u\max}} = \frac{c_{ii\min}}{c_{ii\max}} = 0,5$ ist, fallen die c_{ui} - und c_{ii} -Werte jeweils mit dem gleichen q -Faktor.

Die c_{ui} -Daten entsprechen somit den c_{ii} -Daten. Das Kostenverhältnis ω_0^i bleibt für jeden Artikel i konstant.

³¹¹ Vgl. zur Berechnung des Faktors q einer geometrischen Folge: Abschn. 5.3.2 (1), S.165ff

5.4.2 Simulationsablauf bei heterogenen Kostendaten

- (1) *Theoretischer Sonderfall: Sichere Posteriorprognose für sämtliche Artikel i ($\alpha_i = 0$ für alle i) bei heterogenen Preis- und Kostendaten c_{ii} und c_{ii}*

Das Verfahren zur Auffindung der Optimallösung unterteilt sich in folgende Schritte:

- (a) In der Stichprobenziehung Nr. j wird je ein Stichprobenwert μ_{1i} ($i = 1, \dots, m$) gezogen. Die Ziehung der μ_{1i} -Werte erfolgt mit Hilfe einer Normalverteilung $\sim (\mu_{0i}, \sigma_{0i})$. Daraus wird der Summenerwartungswert $\sum_{i=1}^m \mu_{1i}$ berechnet.

- (b) Es wird überprüft, ob der prior disponierte Kapazitätsbereich $R_\Sigma \pm \Delta R_\Sigma$ ausreicht, um die Posterior-Optimalwerte zu disponieren. Wenn die Summe der Erwartungswerte

$$\sum_{i=1}^m \mu_{1i} \text{ innerhalb des prior festgelegten Kapazitätsbereiches } R_\Sigma \pm \Delta R_\Sigma \text{ liegt, dann}$$

folgt (c). Bei einem Summenwert, der die Obergrenze des Flexibilitätsbereiches übersteigt, ist mit (d) weiter zu verfahren. (e) ist anzuwenden, wenn der Summenwert kleiner ist als die Untergrenze des Kapazitätsbereiches.

- (c) Wenn $R_\Sigma + \Delta R_\Sigma \leq \sum_{i=1}^m \mu_{1i} \leq R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ gilt, dann werden sämtliche Optimalwerte

realisiert. Im vorliegenden prognostischen Idealfall $\alpha = 0$ sind die zufällig gezogenen μ_{1i} -Werte als *sichere Nachfragewerte (ohne Absatzrisiko)* zu betrachten. Diese „sicheren“ μ_{1i} -Werte (ohne Zu- und Abschläge) sind auch die optimalen Dispositionswerte

$$x_{1i}^* = \mu_{1i} \quad \text{für alle } i.$$

Als *Kostenerwartungswert* für diesen Ziehungsfall j wird

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = E_j(\bar{K}^*) = 0$$

registriert.

- (d) Die *prior disponierte Kapazität reicht nicht aus*, um für alle Artikel den Optimalwert

$$x_{1i}^* \text{ zu realisieren: } \sum_{i=1}^m \mu_{1i} > R_\Sigma + \Delta R_\Sigma.$$

Das bedeutet, dass die Optimalwerte x_{1i}^* so weit gekürzt werden müssen, bis gilt:

$$\sum_{i=1}^m x_{1i}^* = R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$$

Zudem müssen die korrigierten Optimalwerte so gewählt werden, dass die zu *erwartenden Unterdeckungskosten* möglichst gering ausfallen.

Da *Überdeckungskosten* im vorliegenden Fall sicherer Prognosen nicht auftreten können, besteht das Optimierungsverfahren darin, so viele *Artikel mit den niedrigsten c_{ui} -Werten* aus dem Produktionsprogramm zu entfernen, bis die Fehlmenge durch die entsprechenden Artikelmengen abgedeckt ist.

$$\text{Fehlmenge}_j = \sum_{i=1}^m \mu_{1i} - (R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma})$$

Im Einzelnen kann wie folgt vorgegangen werden:

- (1) Ordne die Artikel i nach *steigenden c_{ui} -Werten* derart, dass gilt:

$$c_{u1} \leq c_{u2} \leq c_{u3} \leq \dots \leq c_{um}$$

Artikelnummer i bezeichnet im Folgenden *diese neue Ordnung*.

- (2) Bilde die *Partialsommen*

$$\Sigma_1 = \mu_{11}$$

$$\Sigma_2 = \sum_{i=1}^2 \mu_{1i}$$

$$\Sigma_3 = \sum_{i=1}^3 \mu_{1i}$$

...

$$\Sigma_m = \sum_{i=1}^m \mu_{1i}$$

- (3) *Überprüfe, ob die sukzessive immer stärker gekürzte Mengensumme die Kapazitätsrestriktion erfüllt. Der Index von Σ_i , bei dem die Kapazitätsrestriktion zum ersten Mal eingehalten wird, wird mit i^* bezeichnet.*

- Test, ob $\sum_{i=1}^m \mu_{1i} - \Sigma_1 \leq R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$

- Wenn ja ($i^* = 1$), weiter bei (4).

- Wenn nein, dann ist eine stärkere Kürzung nötig.
- Test, ob $\sum_{i=1}^m \mu_{li} - \Sigma_2 \leq R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}$
- Wenn ja ($i^* = 2$), weiter bei (4).
- Wenn nein, dann ist eine stärkere Kürzung nötig.
- usw.

Die Kürzung wird so lange fortgeführt, bis die Kapazitätsrestriktion erfüllt ist.

- (4) Die Artikel Nr. 1 bis ($i^* - 1$) werden im folgenden Zufallsprogramm *j* wegen zu geringer Kapazität nicht produziert (d.h. $x'_{ii} = 0$ für $i = 1$ bis ($i^* - 1$)). Aus der Nichtproduktion dieser ($i^* - 1$) Artikel resultieren *Unterdeckungskosten* in folgender Höhe:

$$K_{uj}(i^* - 1) = \sum_{i=1}^{i^*-1} \mu_{li} \cdot c_{ui}$$

- (5) Artikel i^* (neu) wird mit einer Teilmenge $x'_{ii} \leq \mu_{li}$ produziert:

$$x'_{ii^*} = (R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}) - (\Sigma_m - \Sigma_{i^*})$$

Die *zusätzlichen Unterdeckungskosten*, die aus dieser Teilproduktion stammen, betragen:

$$\Delta K_{uj}(i^*) = (\mu_{li^*} - x'_{ii^*}) c_{ui^*}$$

- (6) Für den *Ziehungsfall j*, bei dem die maximale Kapazität nicht ausgereicht hat, registriert man insgesamt als *Kostenerwartungswert*:

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = \frac{K_{uj}(i^* - 1) + \Delta K_{uj}(i^*)}{m}$$

- (e) Die Summe der bei Ziehung *j* gewürfelten μ_{li} -Werte ist so gering, dass für einige Artikel Übermengen geplant werden müssen, um die prior vereinbarte Mindestproduktionsmenge $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ zu erreichen. Mit den festgelegten Restriktionen

$$0 \leq x_{li} \leq 2\mu_{li} \quad \text{für alle } i$$

ist vorab zu überprüfen, ob insgesamt ein „unerfüllbarer“ Fall vorliegt. Das ist gegeben, wenn

$$2 \cdot \sum_{i=1}^m \mu_{1i} < R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$$

Ansonsten verläuft das Posterior-Optimierungsprogramm *völlig analog* zu (d):

- (1) Ordne die Artikel i nach *steigenden* $c_{\bar{u}i}$ -Werten derart, dass gilt:

$$c_{\bar{u}1} \leq c_{\bar{u}2} \leq c_{\bar{u}3} \leq \dots \leq c_{\bar{u}m}$$

Artikelnummer i bezeichnet im Folgenden die *neue* Ordnung.

- (2) Bilde die Partialsummen

$$\Sigma_1 = \mu_{11}$$

$$\Sigma_2 = \sum_{i=1}^2 \mu_{1i}$$

$$\Sigma_3 = \sum_{i=1}^3 \mu_{1i}$$

...

$$\Sigma_m = \sum_{i=1}^m \mu_{1i}$$

- (3) Überprüfe, ob die sukzessive immer stärker vergrößerte Mengensumme die erforderliche Mindestmenge $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ erreicht. Der Index von Σ_i , bei dem die Kapazitätsrestriktion zum ersten Mal eingehalten wird, wird mit i^* bezeichnet.

- Test, ob $\sum_{j=1}^m \mu_{1j} + \Sigma_1 \geq R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$

- Wenn ja ($i^* = 1$), weiter bei (4).
- Wenn nein, dann ist eine stärkere Übermengenproduktion nötig.

- Test, ob $\sum_{j=1}^m \mu_{1j} + \Sigma_2 \geq R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$

- Wenn ja ($i^* = 2$), weiter bei (4).
- Wenn nein, dann ist eine stärkere Übermengenproduktion nötig.

- usw.

Die Vergrößerung wird so lange fortgeführt, bis die Kapazitätsrestriktion erfüllt ist.

- (4) Die Artikel Nr. 1 bis ($i^* - 1$) werden im vorliegenden Zufallsprogramm j wegen der (mit den Optimalmengen $x_{1i}^* = \mu_{1i}$) nicht erreichten Mindestproduktionsmenge $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ mit maximal erlaubten Übermengen $x_{1i}^* + \mu_{1i}$ produziert (also $x_{1i} = x_{1i}^* + \mu_{1i} = \mu_{1i} + \mu_{1i} = 2\mu_{1i}$). Aus dieser Übermengenproduktion resultieren Überdeckungskosten in folgender Höhe:

$$K_{ij}(i^* - 1) = \sum_{i=1}^{i^*-1} \mu_{1i} \cdot c_{ii}$$

Sonderfall: Wenn $i^* = 1$ ist, werden alle Artikel außer Artikel 1 (neu) ohne Übermengen produziert.

- (5) Artikel i^* (neu) wird mit einer Übermenge $x_{1i^*} > \mu_{1i^*}$ produziert, die die erlaubte maximale Übermenge i. d. R. nicht voll ausschöpft:

$$\mu_{1i^*} < x_{1i^*} \leq 2\mu_{1i^*}$$

Die Produktionsmenge x_{1i^*} errechnet sich wie folgt:

$$x_{1i^*} = 2\mu_{1i^*} + (R_\Sigma + \Delta R_\Sigma) - (\sum_m + \sum_r)$$

Die zusätzlichen Überdeckungskosten, die aus der Überproduktionsmenge für Artikel i^* resultieren, betragen:

$$\Delta K_{ij}(i^*) = (x_{1i^*} - \mu_{1i^*}) \cdot c_{ii^*}$$

- (6) Für den Ziehungsfall j , bei dem die Optimalmengen $x_{1i} = \mu_{1i}$ zu klein sind, um die Mindestproduktionsmenge $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ zu erreichen, registriert man insgesamt als durchschnittlichen Kostenerwartungswert pro Artikel:

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = \frac{K_{ij}(i^* - 1) + \Delta K_{ij}(i^*)}{m}$$

- (f) Nach k Ziehungen ermittelt man den Schätzwert für $E_j(\bar{K} | \text{prior})$:

$$E_j(\bar{K} | \text{prior}) \approx \frac{\sum_{j=1}^k E_j(\bar{K} | \text{posterior})}{k}$$

Beispiel 5.9

Um den Simulationsablauf beispielhaft für den vorliegenden Fall ($\alpha_i = 0$ für alle i und heterogene Preis- und Kostendaten c_{ui} und c_{ii}) zu veranschaulichen, wird eine *Zufallsziehung* j und die dazugehörige *Posterioroptimierung* für das Szenario $(b)/(w)/m_2$ durchgeführt³¹². Zudem werden folgende Durchschnittskostenwerte unterstellt:

$$\bar{c}_u = 30; \quad \bar{c}_{ii} = 30;$$

Daraus ergeben sich das in Tab. 5.19 dargestellten spezifischen Unter- und Überdeckungskosten für das Beispielsortiment:

Artikel i \ Kostenwerte	1	2	3	4
c_{ui} [in GE/ME]	41,04	32,58	25,86	20,52
c_{ii} [in GE/ME]	67,43	31,30	14,53	6,74

Tab. 5.19 Spezifische Stückdeckungsbeiträge c_{ui} und Überdeckungskosten c_{ii} des Datenszenarios (b), (w), m_2

Die *homogenen* artikelspezifischen Daten betragen:

$$\mu_i = \mu = 10.000 \text{ ME} \quad \sigma_i = \sigma = 2.000 \text{ ME} \quad \alpha_i = \alpha = 0$$

Zudem werden die *mittlere Zielkapazität* R_Σ und das *Ausmaß an Mengenflexibilität* ΔR_Σ a priori festgelegt. Die gewählte mittlere Zielkapazität R_Σ entspricht der Summe der Erwartungswerte $\sum \mu_i$ (= *suboptimale Priorstrategie*).

$$R_\Sigma = 40.000 \text{ ME} \quad \Delta R_\Sigma = 4.000 \text{ ME}$$

In der *Stichprobenziehung* j eines Simulationslaufes werden die in Tab. 5.20 dargestellten *Erwartungswerte* μ_{ji} gezogen, die wegen der sicheren Prognose die *optimalen Posteriormengen* x_{ji}^* darstellen.

³¹² Datenszenario $(b)/(w)/m_2$ setzt sich zusammen aus: (b): schwach heterogene c_{ui} -Werte, $\frac{c_{u \min}}{c_{u \max}} = 0,5$;

(w): stark heterogene (und mit steigendem Artikelindex i fallende) c_{ii} -Werte, $\frac{c_{ii \min}}{c_{ii \max}} = 0,1$; $m_2 = 4$.

Artikel i	1	2	3	4	Σ
μ_{i1} [in ME] aus <i>Simulation</i>	8.553	10.108	7.301	7.213	33.175

Tab. 5.20 Erwartungswerte μ_{i1} einer Stichprobenziehung j

Es zeigt sich: Die Summenerwartung liegt unterhalb der *unteren Flexibilitätsgrenze* $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$. Die Artikel i sind somit nach steigenden c_{ui} -Werten zu ordnen. Durch die Umsortierung ergibt sich die in Tab. 5.21 dargestellte neu geordnete Artikelreihenfolge mit den zugehörigen Partialsummen Σ_i .

Artikel i \ Kostenwerte	1	2	3	4
c_{u1} [in GE/ME]	20,52	25,86	32,58	41,04
c_{u2} [in GE/ME]	6,74	14,53	31,30	67,43
μ_{i1} [in ME]	7.213	7.301	10.108	8.553
Σ_i	7.213	14.513	24.622	33.175

Tab. 5.21 Nach steigenden c_{ui} -Werten umsortierte Sortiment

Der Test, ob $\sum_{i=1}^m \mu_{i1} + \Sigma_1 \geq R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$, also $33.175 + 7.213 \geq 40.000 - 4.000$ ist, kann mit „ja“ beantwortet werden, so dass der Sonderfall $i^* = 1$ eingetreten ist. Alle Artikel außer Artikel 1 werden ohne Übermengen produziert. Bei Artikel 1 schöpft die erforderliche Übermenge die maximal erlaubte Übermenge μ_{11} nicht voll aus. Die neue Produktionsmenge von Artikel 1 beträgt

$$x'_{1i^*} = 2\mu_{1i^*} + (R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma}) - (\Sigma_m - \Sigma_{i^*}) = 2 \cdot 7.213 + 36.000 - (33.175 + 7.213) = 10.038 \text{ ME}$$

Die zusätzlichen Überdeckungskosten betragen

$$\Delta K_u(i^*) = (x'_{1i^*} - \mu_{1i^*}) \cdot c_{u1} = (10.038 - 7.213) \cdot 6,74 = 19.041 \text{ GE.}$$

Als *mittlerer Kostenerwartungswert pro Artikel* wird für den *Ziehungsfall j*

$$E_j(\bar{K} | \text{posterior}) = \frac{19.049}{4} = 4.762 \text{ GE}$$

festgehalten.

(2) *Allgemeiner Fall: Begrenzte Prognoseverbesserung $\alpha > 0$ für homogene Prior-Prognosewerte μ_0 und σ_0 und heterogene Kostenwerte*

Um auch für die Simulation dieses verallgemeinerten Falles ein Optimierungsverfahren zur dispositiven Bewältigung der „gewürfelten“ Posterior-Situationen zu erhalten, muss man im Prinzip das *Artikelselektionsverfahren für den Sonderfall $\alpha = 0$* ³¹³ und das *Lagrange-Verfahren*³¹⁴ der Szenarien mit homogenen Preis- und Kostendaten kombinieren. Auf eine detaillierte Verfahrensbeschreibung wird verzichtet, weil das dominante Ziel der vorliegenden Arbeit nicht in der Klärung von Verfahrensfragen, sondern in der simulationsgestützten Analyse von strukturellen Auswirkungen heterogener Kostendaten liegt.

5.4.3 Simulationsergebnisse: Auswirkungen der Kostenheterogenität

Bei Betrachtung der simulierten Posterior-Optimierung (gemäß Abschn. 5.4.2) lassen sich folgende *Hypothesen* zu den *vermutlichen Wirkungen* einer verstärkten Heterogenität der c_{ui} - und c_{ii} -Werte formulieren:

- Steigert man c.p. bei konstantem Mittelwert \bar{c}_u die Heterogenität der c_{ui} -Werte, dann ist ein *Absinken der Unterdeckungskosten* zu erwarten. Die Ursache liegt darin, dass aufgrund der optimalen Posterior-Disposition im Unterdeckungsfall *nur jene Artikel mit den geringsten c_{ui} -Werten betroffen sind*. Steigert man also die Heterogenität der c_{ui} -Werte bei konstantem Mittelwert \bar{c}_u , dann sinken die minimalen c_{ui} -Werte des Teilsortimentes noch weiter ab, während die hohen c_{ui} -Werte weiter zunehmen. Da

³¹³ Vgl. den vorhergehenden Abschn. 5.4.2 (1).

³¹⁴ Vgl. Abschn. 5.3.3

die hohen c_{ui} -Werte bei „vernünftiger“ Kapazitätsdisposition praktisch nie in Anspruch genommen werden, resultiert insgesamt eine Senkung der c_{ui} -Kosten.

- Dasselbe gilt analog für die c_{ii} -Kosten, wenn man bei konstantem Mittelwert \bar{c}_i die Heterogenität der c_{ii} -Werte erhöht und wenn man davon ausgeht, dass die Untergrenzen der Kapazitätsoption nicht „unvernünftig“ hoch sind.
- Achtet man nicht nur auf die Kostenwirkungen der c_{ui} - und c_{ii} -Heterogenisierung, sondern auch auf die *Wirkungen auf das Produktionsprogramm*, dann ist folgendes festzustellen:
 - Artikel, die im Verhältnis zu den übrigen Artikeln eines Teilsortiments relativ niedrige c_{ui} -Werte aufweisen, werden bei Kapazitätsknappheit aus dem Produktionsprogramm entfernt. Ist dies aus marktstrategischen Gründen nicht erwünscht, sollte man geeignete Zusatzrestriktionen (z.B. Mindestmengen) für die Posterior-Optimierung vorgeben. Höhere Erwartungswerte für die Unterdeckungskosten sind der Preis für eine solche Politik.
 - Artikel mit relativ niedrigen c_{ii} -Werten werden bei Nichterreichen der Mindestproduktionsmenge $R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$ mit hohen Übermengen belastet. Auch hier könnte aus marktstrategischen Gründen eine andere Politik erwünscht sein, z.B. eine breitere Streuung der Überdeckungsmengen auf das gesamte Teilsortiment, wiederum unter Inkaufnahme von höheren Kosten (in diesem Fall Überdeckungskosten).
 - Aus der *Gleichläufigkeit* bzw. *Gegenläufigkeit* der c_{ui} - und c_{ii} -Werte ergeben sich folgende *Auswirkungen auf das Produktionsprogramm*:
 - Bei Gleichläufigkeit, d.h., wenn sowohl die c_{ui} -Werte als auch die c_{ii} -Werte mit steigender Artikelnr. i abnehmen (Szenarien (b)/(v), (b)/(w), (c)/(v), (c)/(w)), sind sowohl bei *Kapazitätsknappheit* ($\sum \mu_i > R_\Sigma + \Delta R_\Sigma$) als auch bei *Kapazitätsüberschuss* ($\sum \mu_i < R_\Sigma - \Delta R_\Sigma$) dieselben Artikel betroffen. Dies bedeutet: Dieselben Artikel i (die zugleich die relativ geringsten c_{ui} -Werte und die relativ geringsten c_{ii} -Werte aufweisen) sind aus Priorsicht gleichzeitig vom Nichtproduktionsrisiko ($x'_{1i} = 0$) und vom höchsten Überdeckungsrisiko ($x'_{2i} = 2\mu_{1i}$) bedroht.

- Im entgegengesetzten Fall der Gegenläufigkeit der c_{ui} - und $c_{üi}$ -Werte ((b)/(x), (b)/(y), (c)/(x), (c)/(y)) gilt: Hier weisen die Artikel mit den kleinsten c_{ui} -Werten aus Priorsicht das höchste Nichtproduktionsrisiko auf, während eine andere Gruppe von Artikeln (jene mit den kleinsten $c_{üi}$ -Werten) vom höchsten Überdeckungsrisiko betroffen sind.

Um die Szenarien miteinander vergleichen zu können, wird der bereits im Fall *heterogener Absatzwerte und Prognosefehler* angewendete Quotient γ_v^{315} , der das Ausmaß der Risk-Pooling-Vorteile aufzeigt, eingesetzt:

$$\gamma_v = \gamma_{\text{Variantenflexibilität}} = \frac{E(\bar{K} | \text{prior}; \text{Teilsortiment } m)}{E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel})} \leq 1$$

Eine geeignete Vorgehensweise kann wie folgt beschrieben werden: Bei vorgegebener Zielkapazität R_{mi} und Mengenflexibilität ΔR_i werden die m homogenen oder heterogenen Artikel zunächst wie m Einzelartikel (d.h. ohne Variantenflexibilität und resultierende Risk-Pooling-Effekte) disponiert und bewertet. Die *Prior-Risikokostenerwartungen* werden einzeln ermittelt. Daraus ergeben sich die mittleren *Risikokostenerwartungen pro Artikel bei Einzelartikel-Betrachtung* $E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel})$. Dieselben m Artikel werden dann *als Teilsortiment* betrachtet und mit denselben Daten die mittleren Absatzrisikokosten pro Artikel berechnet (*mit Variantenflexibilität und den resultierenden verminderten Absatzrisikokosten*). Das Teilsortiment mit m Artikeln verfügt in der Teilsortiment-Betrachtung über die Zielkapazität $R_\Sigma = \sum_{i=1}^m R_{mi}$ und die Mengenflexibilität $\Delta R_\Sigma = \sum_{i=1}^m \Delta R_i$. Mit Hilfe dieser Vorgaben lassen sich die mittleren *Risikokostenerwartungen pro Artikel bei Teilsortiment-Betrachtung* $E(\bar{K} | \text{prior}; \text{Teilsortiment } m)$ berechnen.

Die Vergleichbarkeit von Einzelartikel- und Teilsortiment-Auswertungen wird dadurch gewährleistet, dass die Zuteilung der R_{mi} - und ΔR_i -Werte bei der Einzelartikel-Betrachtung

³¹⁵ Vgl. Gl. 127, S. 160.

nach den Vorgaben von Abschn. 5.3.1 (4) erfolgt. Dies bedeutet insbesondere μ_0 -Proportionalität der R_{mi} -Werte und σ_0 -Proportionalität der ΔR_i -Werte. Alle Artikel i eines Teilsortimentes haben somit dieselbe relative Mengenflexibilität $\gamma_{\Delta i} = \Delta R_i / \sigma_0$. Darüber hinaus sollten (insbesondere bei unterschiedlichen Artikelzahlen m) die mittleren Zielkapazitäten $\frac{1}{m} R_{\Sigma}$ und die Mittelwerte der Mengenflexibilitäten $\frac{1}{m} \Delta R_{\Sigma}$ für die verglichenen Teilsortimente übereinstimmen.

Bei der Ermittlung der γ_V -Werte ist zu beachten, dass die *durchschnittliche Kostenerwartung bei Einzelartikel-Betrachtung*

$$E(\bar{K} | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E(K_i | \text{prior}; m \text{ Einzelartikel})$$

bei Heterogenisierung der c_{ui} - und c_{ii} -Werte nur dann gleich bleibt, wenn das Kostenverhältnis $\omega_0^* = \frac{c_u}{c_u + c_{ii}}$ bei sämtlichen Artikeln identisch ist. Das bedeutet, dass die *mittleren Kosten bei Einzelartikel-Betrachtung* für Teilsortimente, bei denen die Artikel unterschiedliche Kostenverhältnisse ω_0^* haben, nicht gleich sind.

Zur simulationsgestützten Überprüfung der beschriebenen Hypothesen wird im Nachfolgenden zunächst der *Grenzfall einer sicheren Nachfrageprognose* ($\alpha = 0$) und anschließend der *allgemeine Fall einer begrenzten Prognoseverbesserung* ($\alpha > 0$) untersucht. In beiden Fällen werden die Auswirkungen unterschiedlicher Heterogenitätsgrade bei den Fehlmengen- und Überdeckungskosten analysiert. Es werden ausschließlich *suboptimale Strategien* ($R_m = \mu_0$) betrachtet. Als Untersuchungsgegenstand dienen die in Abschn. 5.4.1 entwickelten idealtypischen Mustersortimente und Szenarien. Folgende Artikeldaten liegen den Untersuchungen zugrunde:

$$\bar{c}_u = 30; \quad \bar{c}_{ii} = 20; \quad \mu_i = \mu = 10.000 \text{ ME}; \quad \sigma_i = \sigma = 2.000 \text{ ME}; \quad \alpha_i = \alpha = \text{konst.}$$

Als Vergleichsgrundlage für die heterogenen Szenarien dient jeweils das entsprechende *homogene Szenario* (a), (u).

(1) Simulationsergebnisse für den Grenzfall einer sicheren Posteriorprognose ($\alpha_i = \alpha = 0$)

In Tab. 5.22 ist der Fall dargestellt, bei dem die c_u -Werte zunehmend heterogenisiert (Heterogenitätsklassen (a), (b), (c)) werden, während die $c_{\bar{u}}$ -Werte konstant (Heterogenitätsklasse (u)) gehalten werden. Bei sämtlichen drei Szenarien entfaltet die Variantenflexibilität m die in Kap. 4 festgestellten Risk-Pooling-Wirkungen. D.h., c.p. wird pro Artikel bei gleicher Mengenflexibilität ΔR mit steigendem m die Häufigkeit größer, mit der posterior das Optimalprogramm (ohne „Aufblähung“ oder „Schrumpfung“) realisiert werden kann. Man kann festhalten: Je höher der Heterogenitätsgrad der c_u -Werte ist, umso höher fallen die Risk-Pooling-Einsparungen $1 - \gamma_V$ aus. So erreicht das stark heterogene Szenario (c)/(u) durchgängig die niedrigsten γ_V -Werte. Verglichen mit dem homogenen Szenario (a)/(u) sind die Einsparungen $1 - \gamma_V$ des Szenarios (c)/(u) nahezu doppelt so hoch.

Szenario m	(a)/(u) c_u homogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(b)/(u) c_u schwach heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(c)/(u) c_u stark heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen
2	63,0%	50,4%	31,9%
4	37,5%	30,4%	19,8%
8	20,5%	16,5%	11,3%

Tab. 5.22 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

Das gleiche Bild zeichnet sich ab, wenn man die Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,2$ auf $\gamma_{\Delta} = 0,4$ verdoppelt (vgl. Tab. 5.23).

Szenario m	(a)/(u) c_u homogen c_{ii} homogen	(b)/(u) c_u schwach heterogen c_{ii} homogen	(c)/(u) c_u stark heterogen c_{ii} homogen
2	54,7%	43,9%	28,0%
4	26,1%	20,6%	13,8%
8	9,9%	8,1%	5,5%

Tab. 5.23 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

Bei zunehmender Mengenflexibilität erhöhen sich die Risk-Pooling-Einsparungen. Das stark heterogene Szenario erreicht bereits bei einem Teilsortiment mit $m = 2$ Artikeln eine Risikokostensenkung $1 - \gamma_V$ von 72,0% verglichen mit einer Einzelartikelproduktion. Dies rührt daher, dass das Verhältnis $\frac{c_{u\min}}{c_{u\max}} = 0,1$ bei $m = 2$ zu einem sehr niedrigen c_u -Wert

desjenigen Artikels führt, dessen Produktion bei Kapazitätsknappheit zuerst geschrumpft oder eingestellt wird. Die Folge sind sehr niedrige Unterdeckungskosten und dadurch insgesamt eine Reduzierung der Absatzrisikokosten.

Im umgekehrten Fall *heterogener Überdeckungskosten unter Gleichhaltung der Unterdeckungskosten* (vgl. Tab. 5.24 und 5.25) zeigen sich analoge Ergebnisse: Wenn man bei konstantem Mittelwert \bar{c}_i die Heterogenität der c_{ii} -Werte erhöht, führt das *Szenario mit der stärksten c_{ii} -Heterogenität ((a)/(w))* sowohl bei einer Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ als auch von $\gamma_\Delta = 0,4$ jeweils zur größten Risikokostenabsenkung. So werden bei $m = 8$ und $\gamma_\Delta = 0,4$ ca. 93,3% gegenüber der Einzelartikelbetrachtung eingespart.

Szenario m	(a)/(u) c_u homogen c_{ii} homogen	(a)/(v) c_u homogen c_{ii} schwach heterogen	(a)/(w) c_u homogen c_{ii} stark heterogen
2	63,0%	54,9%	43,0%
4	37,5%	33,1%	26,4%
8	20,5%	17,6%	13,9%

Tab. 5.24 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

Insgesamt lässt sich bei den Kostenwirkungen der c_u - und c_{ii} -Heterogenität feststellen, dass die Risk-Pooling-Effekte mit zunehmender Mengen- und Variantenflexibilität zunehmen. Sowohl bei einer *Heterogenisierung der c_u -Werte unter Gleichhaltung der c_{ii} -Werte* als auch im *umgekehrten Fall* (c_u homogen, c_{ii} heterogen) fällt der γ_V -Quotient umso niedriger aus, je höher der Heterogenitätsgrad der Kostenwerte ist.

Szenario m	(a)/(u) c_u homogen c_{ii} homogen	(a)/(v) c_u homogen c_{ii} schwach heterogen	(a)/(w) c_u homogen c_{ii} stark heterogen
2	54,7%	47,6%	37,1%
4	26,1%	22,0%	17,2%
8	9,9%	8,3%	6,7%

Tab. 5.25 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

In den bisherigen Szenarien wurde immer nur eine Kostenart (entweder die c_u -Werte oder die c_{ii} -Werte) heterogenisiert („einfache“ Heterogenität). Die jeweils andere Kostenart wurde als homogen betrachtet. Es erhebt sich die Frage: Welche Wirkungen sind bei „doppelter“ Heterogenität zu beobachten,

- wenn sowohl die c_{ui} -Wertefolge als auch die c_{ii} -Wertefolge „gleichläufig“ fällt (oder steigt)
- oder wenn die c_{ui} -Wertefolge fällt und die c_{ii} -Wertefolge („gegenläufig“) steigt.

Tab. 5.26 zeigt im Vergleich zur „einfachen“ Heterogenität in Tab. 5.24 die Kostenwirkungen „doppelter“ Heterogenität in einem gleichläufigen c_u - c_{ii} -Szenario (ebenso wie Tab. 5.27 verglichen mit Tab. 5.25). Man erkennt, dass in der Tat die Risk-Pooling-Einsparungen $1 - \gamma_V$ bei „doppelter“ Heterogenität weitaus stärker zunehmen als bei „einfacher“ Heterogenität.

m \ Szenario	(a)/(u) <i>c_u homogen c_{ii} homogen</i>	(b)/(v) <i>c_u und c_{ii} schwach heterogen fallend</i>	(c)/(w) <i>c_u und c_{ii} stark heterogen fallend</i>
2	63,0%	42,2%	11,9%
4	37,5%	25,8%	8,6%
8	20,5%	14,0%	4,9%

Tab. 5.26 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

Am deutlichsten zeigt dies Spalte (c)/(w) in Tab. 5.26 im Vergleich zur Spalte (a)/(w) in Tab. 5.24. Für $m = 2$ gilt z.B. $1 - \gamma_V = 88,1\%$ Risk-Pooling-Ersparnis bei „doppelter“ Heterogenität gegenüber 57% bei „einfacher“ Heterogenität. Die Erklärung hierfür ist leicht zu finden: Wenn in der Posterior-Situation wegen zu hoher Mindestkapazitäten erzwungene Übermengen disponiert werden müssen, dann kann in beiden Vergleichs-

szenarien (von Tab. 5.24 und von Tab. 5.26) der Disponent die Übermengenkosten gering halten, weil er wegen c_u -Heterogenität nur die Artikel mit den geringsten c_u -Werten belastet. Anders bei erzwungenen Fehlmengen in Situationen von Kapazitätsknappheit: Hier kann nur der Disponent im Szenario mit „doppelter“ Heterogenität (Tab. 5.26) auf Artikel mit sehr kleinen c_u -Werten zugreifen, während im Szenario von Tab. 5.24 nur Artikel mit „gleichmäßig hohen“ Fehlmengenkosten für die Fehlmengendisposition zur Verfügung stehen.

m \ Szenario	(a)/(u) c_u homogen c_{ii} homogen	(b)/(v) c_u und c_{ii} schwach heterogen fallend	(c)/(w) c_u und c_{ii} stark heterogen fallend
2	54,7%	36,6%	10,3%
4	26,1%	17,4%	5,8%
8	9,9%	6,8%	2,4%

Tab. 5.27 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0$)

Wie wirkt sich die „Gleichläufigkeit“ bzw. „Gegenläufigkeit“ der c_{ui} - und c_{ii} -Wertefolgen aus, wenn man zwei *sonst gleiche Daten-Szenarien* mit jeweils „doppelter“ Heterogenität der Kostenwerte vergleicht? Es zeigt sich: Im Grenzfall einer sicheren Posteriorprognose ($\alpha = 0$) resultieren für *beide Vergleichsszenarien dieselben Risikokosten*. Die Datenkombination (b)/(v) erbringt also c.p. dieselben Kostenergebnisse wie das Szenario (b)/(x). Gleiches gilt für den Vergleich von (b)/(w) und (b)/(y), für (c)/(v) und (c)/(x) und schließlich für (c)/(w) und (c)/(x). Die Erklärung für diese Kostengleichheit lautet: Für die Posterioroptimierung ist bei Kapazitätsknappheit nur das Vorhandensein von Artikeln mit geringen c_u -Werten wichtig. Welche Artikel diese niedrigen c_u -Werte aufweisen, ist für die Kostenwirkungen irrelevant. Entsprechendes gilt bei erzwungener Überproduktion: Für die

Optimierung bedeutsam ist nur das Vorhandensein von Artikeln mit niedrigen c_{ii} -Werten. Auch hier ist es für die Kostenwirkungen irrelevant, welche Artikel die niedrigen c_{ii} -Werte zeigen.

Eine zusätzliche Betrachtung der *Wirkungen auf das Produktionsprogramm* bestätigt die eingangs des Abschnitts aufgestellten Hypothesen: Artikel, die im Verhältnis zu den übrigen Artikeln eines Teilsortiments relativ niedrige c_{ii} -Werte aufweisen, werden bei Kapazitätsknappheit aus dem Produktionsprogramm entfernt. Artikel mit relativ niedrigen c_{ii} -Werten werden bei Nichterreichen der Kapazitätsuntergrenze $R_{\Sigma} - \Delta R_{\Sigma}$ mit hohen Übermengen belastet. Die „Gleich- oder Gegenläufigkeit“ der c_{ui} - und c_{ii} -Werte hat somit zwar keine Auswirkungen auf die Kosten, jedoch sehr wohl auf das Produktionsprogramm: Bei „Gegenläufigkeit“ sind *dieselben Artikel* (mit niedrigen c_{ui} - und c_{ii} -Werten) gleichzeitig von den höchsten Nichtproduktionsrisiken und den höchsten Übermengenrisiken bedroht, bei „Gegenläufigkeit“ handelt es sich dagegen um *unterschiedliche Artikelgruppen*.

(2) Simulationsergebnisse bei begrenzten Prognoseverbesserungen

Wie schon im Fall heterogener Absatzwerte und homogener Kostenwerte (vgl. Abschn. 5.3) ergibt sich bei *unsicherer Bedarfsprognose* ($\alpha > 0$) folgende Änderung für die Berechnung der γ_V -Werte verglichen mit der sicheren Posterior-Prognose: Sowohl die mittlere *Risikokostenerwartung pro Artikel bei Einzelartikel-Betrachtung* als auch die mittlere *Risikokostenerwartung bei Teilsortiment-Betrachtung* nähert sich mit steigender Mengenflexibilität nicht dem Wert null (wie bei der sicheren Bedarfsprognose), sondern der *minimalen Kostenerwartung* K_{min} . Für den γ_V -Faktor bedeutet dies, dass dieser mit zunehmender Mengenflexibilität bei unsicherer Prognose ($\alpha > 0$) nicht gegen null, sondern gegen 100% konvergiert.

Die Werte des γ_V -Quotienten bei zunehmender Heterogenisierung der c_{ii} -Daten unter Konstanthaltung der c_{ui} -Werte sind in Tab. 5.28 für eine Prognoseverbesserung von $\alpha = 0,5$ dargestellt.

Szenario m	(a)/(u) c_u heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(b)/(u) c_u schwach heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(c)/(u) c_u stark heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen
2	78,8%	76,1%	62,5%
4	67,0%	65,2%	56,5%
8	61,2%	60,6%	54,2%

Tab. 5.28 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)

Wie im Grenzfall $\alpha = 0$ zeigt sich, dass bei jeder Sortimentsgröße die geringsten γ_V -Werte immer dann erzielt werden, wenn die c_u -Werte den stärksten Heterogenitätsgrad aufweisen, also am stärksten voneinander abweichen (Szenario (c), (u)). Zudem steigen die Risk-Pooling-Einsparungen $1 - \gamma_V$ mit zunehmender Variantenflexibilität. In Tab. 5.29 sind die γ_V -Werte für eine größere relative Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ dargestellt.

Szenario m	(a)/(u) c_u heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(b)/(u) c_u schwach heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen	(c)/(u) c_u stark heterogen $c_{\bar{u}}$ homogen
2	80,2%	78,4%	64,7%
4	70,8%	69,7%	62,4%
8	67,3%	66,7%	61,8%

Tab. 5.29 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(u) und (c)/(u) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)

Verglichen mit den Resultaten bei sicherer Posteriorprognose (vgl. Tab. 5.22) ergibt sich, dass die Ausschöpfungsgrade im unsicheren Fall wesentlich geringer sind, allerdings

dieselbe Tendenz aufweisen: Je heterogener die c_u -Werte des Teilsortimentes sind, umso höher sind die Risk-Pooling-Einsparungen.

Bei zunehmender Heterogenisierung der Überdeckungskosten unter Gleichhaltung der Unterdeckungskosten zeichnet sich das gleiche Bild ab (Tab. 5.30 und Tab. 5.31) wie im vorhergehenden Szenario (c_u -Werte heterogen, c_{ii} -Werte homogen).

m \ Szenario	(a)/(u) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} homogen</i>	(a)/(v) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} schwach heterogen</i>	(a)/(w) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} stark heterogen</i>
2	78,8%	77,3%	67,9%
4	67,0%	64,4%	61,1%
8	61,2%	60,7%	57,1%

Tab. 5.30 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)

m \ Szenario	(a), (u) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} homogen</i>	(a), (v) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} schwach heterogen</i>	(a), (w) <i>c_u homogen</i> <i>c_{ii} stark heterogen</i>
2	80,2%	79,3%	72,9%
4	70,8%	70,0%	65,6%
8	67,3%	66,6%	62,9%

Tab. 5.31 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (a)/(v) und (a)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_\Delta = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha = \alpha_i = 0,5$)

Auch im allgemeinen Fall unsicherer Prognosen (hier: $\alpha = 0,5$) erbringen die Szenarien mit „doppelter“ Heterogenität (hier: gleichläufig abnehmende c_u - und c_{ii} -Daten) bessere Werte als die Heterogenisierung nur eines Kostenwertes. So ergibt sich z.B. bei einer relativen

Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,2$ und einer Sortimentsgröße von $m = 4$ (Tab. 5.32) eine Risk-Pooling-Einsparung von 36,9% für das Szenario (b)/(v). Für das Szenario (b)/(u) mit „einfacher“ Heterogenität stellt sich lediglich eine Einsparung von 34,8% ein, während die Kombination (a)/(v) (ebenfalls mit „einfacher“ Heterogenität) 35,6% erreicht. Der doppelte Effekt hat somit bei weitem nicht mehr das Ausmaß wie bei sicherer Posteriorprognose (vgl. Tab. 5.27) oder bei Erhöhung der Mengenflexibilität (vgl. $\gamma_{\Delta} = 0,4$, Tab. 5.33).

M \ Szenario	(a)/ (u) <i>c_u homogen</i> <i>c_ü homogen</i>	(b)/(v) <i>c_u und c_ü</i> <i>schwach heterogen</i> <i>abnehmend</i>	(c)/ (w) <i>c_u und c_ü</i> <i>stark heterogen</i> <i>abnehmend</i>
2	78,8%	74,6%	62,5%
4	67,0%	63,1%	60,9%
8	61,2%	61,0%	59,1%

Tab. 5.32 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,2$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)

M \ Szenario	(a), (u) <i>c_u homogen</i> <i>c_ü homogen</i>	(b), (v) <i>c_u und c_ü</i> <i>schwach heterogen</i> <i>abnehmend</i>	(c), (w) <i>c_u und c_ü</i> <i>stark heterogen</i> <i>abnehmend</i>
2	80,2%	76,4%	69,4%
4	70,8%	70,4%	67,9%
8	67,3%	67,1%	66,8%

Tab. 5.33 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V der Szenarien (a)/(u), (b)/(v) und (c)/(w) bei einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 0,4$ und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha_i = \alpha = 0,5$)

Im Unterschied zu den Szenarien mit *sicherer* Posteriorprognose *stimmen die Risk-Pooling-Einsparungen* bei *unsicherer* Prognose für gleich- und gegenläufige Szenarien *nicht überein*. Im gegenläufigen Fall fallen die Risk-Pooling-Einsparungen für das Szenario (b)/(x) (vgl. Tab. 5.34) höher aus als im gleichläufigen Fall (vgl. aus Tab. 5.31 und Tab. 5.32) aus.

$m \backslash \gamma_{\Delta}$	0,2	0,4
2	67,1%	71,3%
4	62,9%	67,3%
8	59,6%	65,3%

Tab. 5.34 Werte des Risk-Pooling-Quotienten γ_V für das Szenario (b)/(x) bei unterschiedlicher relativer Mengenflexibilität und suboptimaler Disposition der Zielkapazität $R_m = \mu_0$ ($\alpha = 0,5$)

Zusammenfassend können wir für *idealtypische Mustersortimente* mit *homogenen Nachfragedaten* und *heterogenen Kostendaten* folgende Erkenntnisse festhalten:

- Je heterogener die c_{ui} -Werte c.p. bei konstantem Mittelwert $\overline{c_u}$ sind, umso geringer fallen die *Unterdeckungskosten* (Fehlmengenkosten) und somit die *gesamten Absatzrisikokosten* aus. Als Ursache dieses Effekts werden steigende Möglichkeiten für die Posterioroptimierung identifiziert, die Variantenflexibilität des Sortiments bei fehlender Kapazität zur Senkung der Fehlmengenkosten zu nutzen: Für die erzwungene Fehlmengendisposition stehen zunehmend Artikel mit kleiner werdenden c_u -Werten zur Verfügung.
- Analog gilt: Mit zunehmender Heterogenität der $c_{üi}$ -Werte bei konstantem Mittelwert $\overline{c_{\bar{u}}}$ sinken die *Überdeckungskosten*. Analog liegt die Ursache dieses Effekts in steigenden Möglichkeiten für die Posterioroptimierung, die Variantenflexibilität des Sortiments bei Überkapazität zur Senkung der Überdeckungskosten heranzuziehen:

- Für die erzwungene Übermengendisposition stehend zunehmend Artikel mit kleiner werdenden c_{ii} -Werten zur Verfügung
- Im Fall „gleichläufig“ oder „gegenläufig“ abnehmender Über- und Unterdeckungskosten ergibt sich ein *doppelter Risk-Pooling- und Optimierungseffekt*. Sowohl die geringsten c_{ii} -Werte (beim Überschreiten der Kapazitätsobergrenze) als auch die geringsten c_{ii} -Werte (beim Unterschreiten der Kapazitätsuntergrenze) werden *gleichermaßen vorrangig* beansprucht.
 - Die Risikokosten können deshalb bei „doppelter“ Heterogenität im Vergleich zur „einfachen“ Heterogenität noch weiter abgesenkt werden.
 - Im Grenzfall *sicherer Posteriorprognosen* ($\alpha = 0$) führen „gegenläufig“ abnehmende Über-/ Unterdeckungskosten c.p. zu den gleichen Resultaten wie „gleichläufig“ abnehmende Kostenwerte.
 - Bei *unsicheren Posteriorprognosen* dagegen liefern die Simulationsläufe für gegen- und gleichläufige Kostenszenarien *unterschiedliche* Ergebnisse. Bei *gegenläufig abnehmenden* Über-/Unterdeckungskosten fallen die Risk-Pooling-Einsparungen höher aus.
 - Die c_{ii}/c_{iii} -Heterogenisierung wirkt sich nur auf die Risikokosten, sondern auch auf das Posterior-Produktionsprogramm aus:
 - Artikel mit vergleichsweise *geringen* c_{ii} -Werten werden bei Kapazitätsknappheit *posterior aus dem Produktionsprogramm gestrichen*. Die Fertigung konzentriert sich auf solche Artikel, deren Nichtproduktion höhere Fehlmengenkosten nach sich ziehen würde.
 - Artikel mit *niedrigen* c_{iii} -Werten dagegen werden gegebenenfalls *über den prognostizierten Bedarf hinaus* (mit Übermengen) gefertigt, falls sonst die Mindestproduktionsmenge für die Gesamtheit aller Artikel nicht erreicht werden könnte.
 - Auch die Gleich- bzw. Gegenläufigkeit von Über-/Unterdeckungskosten zeigt Auswirkungen auf die Posterior-Produktionsmengen der einzelnen Artikel:

- *Gleichlaufende c_{ui} - und $c_{üi}$ -Wertereihen* haben zur Folge, dass aus Priorsicht dieselben Artikel von Minderproduktion und von Überproduktion bedroht sind. Welche der beiden Bedrohungsarten sich realisiert, offenbart sich allerdings erst zum Posteriorzeitpunkt.
- Bei *gegenläufigen c_{ui} - und $c_{üi}$ -Werten* dagegen gilt: Artikel mit geringen c_{ui} - und hohen $c_{üi}$ -Werten sind tendenziell von Minderproduktion bedroht, Artikel mit geringen $c_{üi}$ - und hohen c_{ui} -Werten von Überproduktion. Bei gegenläufigen c_{ui} - und $c_{üi}$ -Folgen handelt es sich also in Abhängigkeit von der Art der Bedrohung um *unterschiedliche Artikelgruppen*.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit strategischen Konzepten und Erfolgspotenzialen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken. In den nicht-quantitativen Teilen der Untersuchung (Kapitel zwei und drei) werden vorhandene *strategische Konzepte zur Supply-Chain-Optimierung* und der *Stand der Forschung zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität* systematisch aufgegriffen und beleuchtet. Die quantitativen Teile (Kapitel vier und fünf) beschränken sich auf theoretische Analysen zum *Flexibilitätsnutzen in speziellen Entscheidungssituationen*: operative Kapazitäts-, Flexibilitäts- und Produktionsmengenplanung bei riskanten Langfristprognosen (*Priorprognosen*) und (später verfügbaren) deutlich verbesserten Kurzfristprognosen (*Posteriorprognosen*) der Nachfragemengen. Unterschiedliche *Dimensionen der Produktionsflexibilität (schnelle Reaktivität, Mengenflexibilität und Variantenflexibilität)* können in derartigen Entscheidungsszenarien mit hohen Absatzrisiken (insbesondere bei saisonalen Modeartikeln) dazu genutzt werden, die *Absatzrisikokosten (Wertverluste durch Übermengen und Opportunitätskosten durch Fehlmengen)* zu senken.

Als Basis für die quantitativen Analysen wird ein *m-Artikel-Kapazitätsoptionsmodell von Diruf* eingesetzt, das zur Beantwortung der speziellen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit in begrenztem Ausmaß *modifiziert und neu interpretiert wird*. Als Modellierungsgrundlage dienen folgende Daten und Strukturen:

- *Ein Teilsortiment von m produktionstechnisch verwandten Modeartikeln i*
 - die näherungsweise dieselben Priordaten aufweisen (*homogenes Teilsortiment*)
 - die mit einer kostengünstigen *Normalkapazität* oder mit einer „teueren“ variantenflexiblen *Reaktivkapazität* produziert werden können
- *Relativ ungenaue Nachfrageprognosen zum Priorzeitpunkt t_0*
m stochastisch unabhängige μ_0, σ_0 -Normalverteilungen
- *Verbesserte Nachfrageprognosen zum Posteriorzeitpunkt t_1*
m stochastisch unabhängige $\mu_{1i}, \alpha\sigma_0$ -Normalverteilungen
 - mit dem prior abschätzbaren Prognoseverbesserungsfaktor α ($0 < \alpha < 1$, Grenzfall $\alpha = 0$ bedeutet sichere Posteriorprognose)

- und den verbesserten Prognosewerten μ_{1i} für die m Artikel des Teilsortiments ($i = 1, \dots, m$)
 - Formale Erzeugung der μ_{1i} -Werte: m Stichprobenwerte aus einer $\mu_0, \sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0$ -Normalverteilung
- *Schätzdaten für die Preise und Kosten vor, in und nach der Verkaufssaison*
- Regulärer Verkaufspreis p [GE/ME]
 - Reduzierter Verkaufspreis $p_{\bar{a}}$ [GE/ME]
 - Variable Produktionskosten c [GE/ME] bei Herstellung der Produkte mit der Normalkapazität (lange Durchlaufzeit)
 - Höhere variable Produktionskosten $c + \Delta c$ [GE/ME] bei Herstellung der Produkte mit der Reaktivkapazität (kurze Durchlaufzeit)
- *Angebot einer Kapazitätsoption durch den „Produzenten“ der Supply Chain*
- *unflexibler Teil der Kapazitätsdisposition*
eine zum Priorzeitpunkt t_0 verpflichtend festzulegende minimale Gesamtproduktionsmenge für das betrachtete Teilsortiment mit m Artikeln
 - *mengenflexibler Teil der Kapazitätsoption*
eine zum Priorzeitpunkt t_0 festzulegende *Kapazitätsreservierung* für Produktionsmengen, die möglicherweise zusätzlich zur Mindestmenge benötigt werden (Reservierungspreis c_R [GE/ME])
 - *variantenflexibler Teil der Kapazitätsoption*
Entscheidungen über die *Einzelmengen* x_{1i} der Produktvarianten i (*Produkt-Mix-Entscheidungen*) müssen erst getroffen werden, wenn die verbesserten Prognosewerte μ_{1i} vorliegen; Begrenzung der Produktmix-Entscheidung durch die prior disponierten minimalen und maximalen Gesamtmengen

Um den *Einsatz der produktionswirtschaftlichen Flexibilität zur Senkung von Absatzrisiken* besonders zu beleuchten, werden (abweichend vom Diruf-Modell) folgende Definitionen und Interpretationen verwendet:

- *Prior-Entscheidungsvariable Zielkapazität R_m* : Welche Zielkapazität (mittlere Gesamtkapazität) R_m [ME pro Artikel] sollte zum Posteriorzeitpunkt t_1 (wenn die Produktionsmengen für die Einzelartikel endgültig fixiert werden müssen) verfügbar

sein? Untersucht werden in dieser Arbeit insbesondere zwei alternative Strategien: (1) Zielkapazität $R_m =$ Nachfrageprognosewert μ_0 (suboptimale Strategie) und (2) $R_m =$ optimale Zielkapazität R_m^*

- *Prior-Entscheidungsvariable Mengenflexibilität ΔR* : Wie breit soll der *durchschnittliche Mengenflexibilitätsbereich* der Kapazität $R_m \pm \Delta R$ [ME pro Artikel] zum Zeitpunkt der endgültigen Produktionsmengenfestlegung (zum Posteriorzeitpunkt) sein?
- *Variantenflexibilität m* : Steigt die Variantenzahl m , die ohne prohibitive Umrüstkosten mit denselben Reaktivkapazitäten produziert werden kann, dann sinkt (bei stochastischer Unabhängigkeit der Einzelprognosefehler) das relative Prognoserisiko für die Gesamtmenge eines Teilsortiments erheblich ab (*Risk-Pooling-Effekt*).
- *Reaktionsschnelligkeit der Posterior-Kapazitäten und Prognoseverbesserungsparameter α* : Kürzere Reaktionszeiten (als bedeutsame Flexibilitätsdimension) sind i.d.R. mit kleineren α -Werten (d.h. sinkenden Posterior-Prognosefehlern $\alpha\sigma_0$) verbunden. Die Modellgröße α (eigentlich ein modellexogener Parameter) kann also „hilfsweise“ als Flexibilitätsvariable „Reaktivität“ interpretiert werden. Im Grenzfall kann es sogar gelingen, ein extrem reaktionsschnelles (und i.d.R. auch sehr teures) Produktionssystem zu aktivieren, das sehr kurzfristig die benötigten Zusatzmengen liefert. Das Absatzrisiko ist in diesem Fall sehr gering, d.h. α hat einen Wert nahe null. Dieser theoretisch interessante Grenzfall wird in der Arbeit ausführlich untersucht (*sichere Posteriorprognose*).
- *Partielle Außerachtlassung der Flexibilitätsmehrkosten*: Die Struktur der Nutzenpotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien wird dann besonders deutlich, wenn man den ungeschmälernten *Bruttonutzen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität* analysiert. Die im Modell von Diruf definierten Mehrkosten einer Flexibilitäts-erhöhung Δc und c_R werden somit partiell außer acht gelassen.

Wichtige Fragen, die modellgestützt beantwortet werden sollen, lauten:

- Welches *Ausmaß an Mengenflexibilität ΔR* muss prior geplant werden,

- wenn als *Zielkapazität* R_m der (i.d.R. suboptimale) Wert μ_0 (der *Nachfrageprognosewert*) gewählt wird
 - und wenn das Risikosenkungspotenzial zu *einem bestimmten Anteil* γ_K [%] *ausgeschöpft* werden soll?
- Wie wirkt sich eine *steigende Variantenflexibilität* m auf die Absatzrisikokosten aus?
 - In welchem Ausmaß kann man *Mengenflexibilitätsanforderungen* ΔR im *Produktionsprozess* einsparen, wenn die Variantenflexibilität des Prozesses steigt?
 - Welche *Zielkapazität* R_m^* sollte man prior planen,
 - wenn bei *vorgegebener Breite* $2\Delta R$ des *Mengenflexibilitätsbereiches* $R_m^* \pm \Delta R$
 - die *Risikokostensparnisse* maximiert werden sollen?
 - Welche Auswirkungen auf die Flexibilitätsstrategien und Risikokosten sind zu erwarten, wenn man (im Gegensatz zu den Annahmen des Modells von Diruf) *starke Streuungen bei den Daten der Einzelartikel* i (*heterogene Teilsortimente*) unterstellt, insbesondere
 - heterogene Nachfrageprognosewerte μ_{0i} , σ_{0i} oder
 - heterogene Unter- und Überdeckungskosten c_{ui} und $c_{üi}$ (mit $c_{ui} = p_i - c_i$ und $c_{üi} = c_i - p_{üi}$)

Als Antworten auf diese Fragen liefern Modellanalysen u.a. folgende Erkenntnisse:

(1) *Maximales Risikosenkungspotenzial der Produktionsflexibilität:*

- Allgemein entspricht das *Risikosenkungspotenzial der Flexibilität* (ohne Mehrkosten der Flexibilitätsbereitstellung) der Differenz ΔK_{\max} der Risikokostenerwartung K_{\max} bei völliger Unflexibilität und der Risikokostenerwartung K_{\min} bei nicht-begrenzter Mengen- und Variantenflexibilität, also: $\Delta K_{\max} = K_{\max} - K_{\min}$.
- Da bei „sicherer“ Posterior-Prognose ($\alpha = 0$) und „sehr großer“ Mengenflexibilität die Absatzrisikokosten verschwinden ($K_{\min} = 0$), erreicht in diesem Szenario das Ersparnispotenzial der Flexibilität seinen *maximalen Wert* $\Delta K_{\max} = K_{\max}$. Es zeigt sich: Das maximale Ersparnispotenzial der Produktionsflexibilität steigt

- proportional zum Prior-Nachfrageprognosefehler σ_0 und
 - proportional zur Preisreduzierungsspanne für die Restmengen eines Modeartikels $p - p_{ii}$.
- Wählt man als Zielkapazität R_m den Nachfrage-Prognosewert μ_0 (*suboptimale Strategie*), dann ergibt sich der einfache Zusammenhang:

$$\Delta K_{\max} = K_{\max} \approx 0,40 (p - p_{ii}) \sigma_0$$

- Entscheidet man sich dagegen bei der Zielkapazität R_m für den *optimalen Newsboy-Wert* R_m^* , dann hängt ΔK_{\max} zusätzlich vom relativen Deckungsbeitrag $(p - c) / (p - p_{ii})$ eines Modeartikels ab:

$$\Delta K_{\max} = K_{\max}^* = \varphi(z_0^*) (p - p_{ii}) \sigma_0$$

$$\text{mit } z_0^* = \Phi^{-1}\left(\frac{p - c}{p - p_{ii}}\right) \text{ und } \varphi(z_0^*) \leq 0,40$$

- *Generelle Kostenschränke für den Einsatz von Flexibilitätsstrategien:* Wenn in einem konkreten Entscheidungsfall die Mehrkosten der Flexibilitätsbereitstellung das maximale Ersparnispotenzial K_{\max} (bzw. K_{\max}^*) erreichen oder übertreffen, sind Flexibilitätsstrategien generell nicht lohnend.

(2) *Risikoabsenkung durch Reaktionsschnelligkeit: sinkender Prognoseverbesserungsfaktor α*

- Je kürzer die *Reaktionszeiten von Posterior-Produktionssystemen* sind, desto zeitnäher und i.d.R. auch genauer kann die Nachfrage (oder die Restnachfrage) eines Modeartikels abgeschätzt werden, desto näher liegt also auch der *Prognoseverbesserungsfaktor α* beim „sicheren“ Wert null. Umgekehrt erzwingen lange Reaktionszeiten auch lange Prognosehorizonte, so dass nur geringe Vorhersageverbesserungen (α -Werte nahe 1) möglich sind.
- Auch bei Einsatz einer hohen Mengenflexibilität ΔR können die Risikokosten nicht unter den Grenzwert K_{\min} sinken. Es gilt:

$$K_{\min} = \alpha K_{\max}^*$$

Der Prognoseverbesserungsfaktor

$$\alpha = \frac{K_{\min}}{K_{\max}^*} [\%]$$

bestimmt somit *das verbleibende Restrisiko* (in Prozent der maximalen Absatzrisikokosten bei völliger Unflexibilität), das auch bei hoher Mengen- und Variantenflexibilität nicht unterschritten werden kann.

(3) *Risikoabsenkung durch Mengenflexibilität ΔR*

- Das durch die Reaktionsschnelligkeit der Reaktivkapazitäten (d.h. durch α -Werte kleiner 1) eröffnete Risikosenkungspotenzial

$$\Delta K_{\max} = K_{\max}^* - K_{\min} = (1 - \alpha) K_{\max}^* [\%]$$

kann durch *steigende Werte der Mengenflexibilität ΔR* teilweise oder zur Gänze ausgeschöpft werden.

- Maßgebend für den *erreichbaren Ausschöpfungsgrad γ_K [%]* ist
 - einerseits die *Bedarfsunsicherheit* für die erforderlichen Reaktivkapazitäten³¹⁹:

$$\sigma_{\mu_i} = \sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0$$

- andererseits die *bereitgestellte Mengenflexibilität ΔR der Reaktivkapazitäten*

- *Relative Mengenflexibilität γ_Δ :*

- Steigt die *Bedarfsunsicherheit für die Reaktivkapazitäten $\sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0$* , dann muss auch die Mengenflexibilität ΔR der Reaktivkapazitäten steigen, wenn der Ausschöpfungsgrad γ_K des Risikosenkungspotenzials nicht absinken soll.

- Letztlich bestimmt also die relative Mengenflexibilität

$$\gamma_\Delta = \frac{\Delta R}{\sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0}$$

den erreichbaren γ_K -Wert.

- Die vorliegende Arbeit beschränkt sich (aus Vereinfachungsgründen) auf die γ_Δ -Definition für den Grenzfall $\alpha = 0$:

³¹⁹ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S.184.

$$\gamma_{\Delta} = \frac{\Delta R}{\sigma_0}$$

- *Steigende α -Werte bedeuten c.p.*
 - geringere prozentuale Prognoseverbesserungen $(1 - \alpha)$
 - abnehmende Risikosenkungspotenziale $(1 - \alpha) K_{\max}^*$
 - *sinkende Mengenflexibilitätsbedarfe*

$$\Delta R = \sqrt{1 - \alpha^2} \sigma_0 \gamma_{\Delta}$$
wenn ein bestimmter Ausschöpfungsanteil γ_K des Potenzials angestrebt wird.
- *Stark abnehmender Grenznutzen bei steigender (relativer) Mengenflexibilität ΔR (bzw. γ_{Δ})*
 - Sehr hohe Ausschöpfungsgrade (γ_K -Werte nahe 100%) sind i.d.R. nicht lohnend, weil sie wegen *rasch sinkender Grenzersparnisse bei den Risikokosten* eine unverhältnismäßig hohe Mengenflexibilität ΔR der Reaktivkapazitäten erfordern.
 - Bereits mit einer relativen Mengenflexibilität von $\gamma_{\Delta} = 1$ wird eine hohe Potenzialausschöpfung γ_K von ca. 80% erreicht.

(4) *Risikoabsenkung durch Variantenflexibilität m*

- Kritische Voraussetzungen für die *Nutzung von Risk-Pooling-Effekten* bei der Planung von *Teilsortimenten* vom Umfang m sind
 - einerseits *stochastisch voneinander unabhängige* (oder auch negativ korrelierte) Nachfrageprognosefehler bei den Einzelartikeln ($i = 1, \dots, m$) und
 - andererseits *variantenflexible Produktionsprozesse*, die zum Posteriorzeitpunkt t_1 eine freie Disposition der Einzelartikelmengen x_{1i} innerhalb von prior disponierten *Gesamt mengen oder Gesamtkapazitätsgrenzen* $m\mu_0 \pm m\Delta R$ für das Teilsortiment erlauben.
- Sind die kritischen Voraussetzungen näherungsweise erfüllt, bewirkt eine *Steigerung der Variantenflexibilität* vom Wert $m = 1$ (keine Variantenflexibilität) auf den Wert $m > 1$ c.p. dieselbe Risikoabsenkung, wie wenn bei m

Einzelartikeln (ohne Variantenflexibilität) der *Prior-Prognosefehler* von σ_0 auf den Wert $\frac{\sigma_0}{\sqrt{m}}$ vermindert worden wäre (Risk-Pooling-Effekt).

- Eine *zunehmende Variantenflexibilität* m kann dazu genutzt werden
 - bei gleich bleibender durchschnittlicher Mengenflexibilität ΔR pro Artikel die Absatzrisikokosten weiter zu senken (*höhere Ausschöpfung des vorhandenen Flexibilitätpotenzials*) oder
 - bei gleich bleibender Ausschöpfung des Flexibilitätpotenzials den Einsatz ΔR an Mengenflexibilität pro Artikel zu verringern (*Substitution von Mengenflexibilität durch Variantenflexibilität*).
- Besteht die Flexibilitätspolitik darin, einen *bestimmten Anteil* γ_K (z.B. 80%) des *Risikosenkungspotenzials* ΔK_{\max} auszuschöpfen, dann ist hierzu eine *immer geringere Mengenflexibilität* ΔR erforderlich, je höher die Variantenflexibilität m ansteigt. Für den Grenzfall $\alpha = 0$ gilt: Bei Erreichen oder Überschreiten des *Schwellwertes* $m \geq \left[\frac{1}{1-\gamma_K} \right]^2$ sind die stochastischen Mengenausgleichseffekte zwischen den m Varianten des betrachteten Teilsortiments (*Risk-Pooling-Effekte*) so stark angewachsen, dass *ohne Gesamtmengenflexibilität* der Zielwert γ_K erfüllt oder übererfüllt wird (100%ige Substitution von Mengenflexibilität durch Variantenflexibilität, d.h. $\Delta R = 0$).

(5) *Heterogene Nachfragedaten (Absatzwerte und Prognosefehler) der Artikel eines Teilsortiments*

- Stark streuende (heterogene) Daten der Einzelartikel von Teilsortimenten *sprengen den mathematisch-analytischen Rahmen* des bisher verwendeten Modellansatzes von Diruf; Modellanalysen erfordern hier den Einsatz von *Monte-Carlo-Methoden*.
- Untersucht wurden zunächst *vergleichbare Teilsortimente mit unterschiedlichem Heterogenitätsgrad*
 - der Nachfrageprognosewerte μ_{0i} und

- der Prognosefehler σ_{0i}

bei gleichem Verbesserungsfaktor α und homogenen Unter- und Überdeckungskosten c_u und $c_{\bar{u}}$

- *Keine Risikokostenauswirkungen bei steigendem Heterogenitätsgrad der Prognosewerte μ_{0i}*

Bei der Untersuchung unterschiedlicher μ_{0i} -Werte zeigt bereits die mathematische Analyse, dass ihr Heterogenitätsgrad die Summe der *Absatzrisikokosten eines Teilsortiments nicht beeinflusst*, solange der Absatzsummenwert $\sum \mu_{0i}$ (bzw. der Mittelwert $\frac{1}{m} \sum \mu_{0i}$) gleich bleibt (was bei vergleichbaren Sortimenten vorausgesetzt werden muss).

- *Zunehmende Schwächung der risikosenkenden Wirkungen der Variantenflexibilität bei steigendem Heterogenitätsgrad der Einzelprognosefehler σ_{0i}*

Monte-Carlo-Analysen zeigen:

- Steigert man bei vergleichbaren Teilsortimenten (mit gleichen σ_{0i} -Summen oder σ_{0i} -Mittelwerten) den *Heterogenitätsgrad β_σ der Einzelprognosefehler σ_{0i}*
- dann nehmen c.p. wegen *schwächer werdender Variantenflexibilität* die Risikokosten zu und
- nähern sich (im theoretischen Grenzfall $\beta_\sigma = 100\%$) jenem höheren Gesamtkostenniveau, das man bei Ausschaltung der Variantenflexibilität (*d.h. bei Einzelartikelproduktion der m Artikel*) erhalten würde.

- *Ursache der sinkenden Variantenflexibilitätersparnisse: abnehmende Risk-Pooling-Effekte*

- Bei *homogenen Kostendaten c_u und $c_{\bar{u}}$ und variantenflexibler Produktion* entscheiden nicht die m Einzelprognosewerte μ_{1i} über die gesamten Risikokosten zum Posteriorzeitpunkt, sondern die *Prognosesumme $\sum \mu_{1i}$* .
- Die *Variantenflexibilität der Reaktivkapazitäten* kann ihre kostensenkenden Wirkungen aber nur entfalten, wenn (aus Priorsicht) die Prognosesumme $\sum \mu_{1i}$

eine Unsicherheit σ_Σ aufweist, die deutlich unter der Summe der Einzel-
Unsicherheiten $\sigma_\Sigma = \sqrt{1 - \alpha^2} \sum_i \sigma_{0i}$ liegt (*Risk-Pooling-Effekt*).

- Nun lässt sich aber leicht zeigen: Bei vergleichbaren Teilsortimenten erhält man die *stärkste Risk-Pooling-Absenkung* der Summen-Streuung σ_Σ und damit auch die höchste Kostenabsenkung für *homogene* σ_{0i} -Werte (Heterogenitätsgrad $\beta_\sigma = 0\%$).
- Mit *steigendem Heterogenitätsgrad* $\beta_\sigma > 0$ der σ_{0i} -Werte werden die Risk-Pooling-Absenkungen von σ_Σ und damit die Variantenersparnisse des Sortiments geringer, bis sie schließlich (beim theoretischen Grenzfall $\beta_\sigma = 100\%$) ganz verschwinden.

(6) *Heterogene Fehlmengen- und Überdeckungskosten der Produktvarianten eines Teilsortiments*

- Auch wenn man (wie in der vorliegenden Arbeit) *homogene Nachfragedaten* μ_0 , σ_0 und α unterstellt, müssen zur Analyse der Kostenwirkungen von *heterogenen Über- und Unterdeckungskosten* (c_{ui} und c_{ui}) *Monte-Carlo-Simulationen* eingesetzt werden.
- *Die Monte-Carlo-Ergebnisse zeigen:*
Bei vergleichbaren Teilsortimenten (mit gleichen c_{ui} - und c_{ui} -Mittelwerten) und bei optimaler Nutzung der Flexibilitätspotenziale zum Posteriorzeitpunkt *sinken die Risikokostenerwartungen monoton*
 - mit steigendem Heterogenitätsgrad der c_{ui} -Werte und
 - mit steigendem Heterogenitätsgrad der c_{ui} -Werte.
- Vergleichbare Teilsortimente mit *homogenen* c_{ui} - und c_{ui} -Werten haben somit bei optimaler Flexibilitätspolitik die *höchsten Risikokosten*, Teilsortimente mit *stark streuenden* c_{ui} - und c_{ui} -Werten die *niedrigsten*.
- *Ursache der steigenden Variantenflexibilitätersparnisse: zunehmende Wirksamkeit der Posterior-Optimierung*
 - Wenn sich in der Posterior-Situation zeigt, dass die prior geplanten *Reaktivkapazitäten nicht ausreichen*, um das (gemäß verbesserter

Nachfrageprognose) *optimale Produktionsprogramm* für ein Teilsortiment zu realisieren, müssen notgedrungen *Fehlmengen* disponiert werden. Sind die spezifischen Fehlmengenkosten c_{ui} der Artikel sehr unterschiedlich, dann hat die Posterior-Optimierung wegen der Variantenflexibilität der Kapazitäten *steigende Möglichkeiten*, nur Artikel mit sehr kleinen c_{ui} -Werten zu belasten und auf diese Weise *die gesamten Fehlmengenkosten gering* zu halten. Bei homogenen c_{ui} -Werten besteht diese Optimierungsmöglichkeit nicht, so dass die Unterdeckungskosten insgesamt deutlich höher ausfallen.

- Dasselbe gilt analog in Posterior-Situationen, in denen das Optimalprogramm die *prior vereinbarte Minimalmenge nicht erreicht*. Hier müssen notgedrungen *Übermengen geplant* werden. Bei *stark unterschiedlichen (heterogenen) c_{ui} -Werten* steigen die Optimierungsmöglichkeiten: Nur Artikel mit sehr kleinen c_{ui} -Werten werden mit Übermengen belastet, wodurch die *gesamten Überdeckungskosten gering bleiben*.
- Die beschriebenen *Kostenunterschiede zwischen homogenen und heterogenen Teilsortimenten* sind offensichtlich dann relativ hoch, wenn aus Priorsicht mit hoher Wahrscheinlichkeit Fehlmengen- oder Übermengensituationen zu erwarten sind, d.h. wenn die Bedarfsunsicherheiten für die Reaktivkapazitäten nur durch eine relativ geringe Mengenflexibilität abgepuffert werden. Artikel mit geringen spezifischen Unter- oder Überdeckungskosten (c_{ui} bzw. $c_{üi}$) können hier als *kostengünstiger Zusatzpuffer* eingesetzt werden.

Fasst man die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit aus *theoretischer Sicht* zusammen, dann sind zwei Schwerpunkte hervorzuheben:

- (1) Auf der Basis einer quantitativen Modelltheorie von Diruf werden die *risikosenkenden Wirkungen* der drei wichtigsten Dimensionen *produktionswirtschaftlicher Flexibilität* besonders beleuchtet:
 - *schnelle Reaktivität*
 - *Mengenflexibilität*
 - *Variantenflexibilität*

- (2) Eine *wichtige Begrenzung des Modells von Diruf*³²⁰ wird aufgehoben: die stark vereinfachende Unterstellung von Teilsortimenten mit *homogenen Nachfrage- und Kostendaten*. Mit Hilfe von Monte-Carlo-Analysen können interessante Erkenntnisse zu den *Wirkungen der Variantenflexibilität bei heterogenen Nachfrage- und Kostendaten* gewonnen werden.

Zu den *Einsatzmöglichkeiten der Modellerkenntnisse in der Praxis* ist anzumerken: Bei *Grundsatzentscheidungen* zum Einsatz von Flexibilitätsstrategien kann die Modelltheorie wichtiges *strukturelles Hintergrundwissen* liefern. Für einen Einsatz im operativen Betrieb sind die Modelle derzeit nicht geeignet, weil hierzu das *empirische Basiswissen* fehlt.

Dieses Defizit zeigt auch die *Forschungsrichtung*, die im Bereich produktionswirtschaftlicher Flexibilität den deutlichsten Fortschritt erbringen könnte: *empirische Feldstudien* mit dem Ziel, praktikable Methoden für die *Schätzung der Modelldaten* und für die *Modellverifizierung* zu entwickeln.

³²⁰ Vgl. Diruf, G., Mode-Supply-Chains, 2007, S. 192f.

Literaturverzeichnis**Adam, D. (Flexible Fertigungssysteme, 1993)**

Flexible Fertigungssysteme (FFS) im Spannungsfeld zwischen Rationalisierung, Flexibilisierung und veränderten Fertigungsstrukturen,
in: Adam, D. (Hrsg.): Flexible Fertigungssysteme. Schriften zur Unternehmensführung 46, München 1993, S. 5-28

Adam, D. (Planung und Entscheidung, 1996)

Planung und Entscheidung: Modelle, Ziele, Methoden, Wiesbaden 1996

Alderson, W. (Postponement, 1950)

Marketing Efficiency and the Principle of Postponement,
in: Cost and Profit Outlook 9, 1950, S. 15-18

Amend, F. (Flexibilität, 2000)

Flexibilität und Hedging: Realloptionen in der Elektrizitätswirtschaft, Bern 2000

Ansoff, H. J. (Management-Strategien, 1966)

Managementstrategie, München 1966

Ansoff, H. J., Brandenburg, R.G. (Organisation, 1971)

A Language for Organization Design,
in: Management Science 17, 12, 1971, S. 705ff

Baker, J. (Agilität und Flexibilität, 1996)

Agility and flexibility: What's the difference?, Cranfield University School of Management Working Paper Series, SWP 5/96

Baldwin, C. Y., Clark, K. B. (Modularität, 1997)

Managing in an age of modularity,
in: Harvard Business Review 9, 1997, S. 84-93

Baumgarten, H., Darkow, I. (Supply-Chain-Management, 2002)

Konzepte im Supply Chain Management,
in: Busch, A., Dangelmeier, W. (Hrsg.), Integriertes Supply Chain Management, 2000, S. 89-108

Beach, R., Muhlemann, A. P., Price, D. H. R., Paterson, A., Sharp, J. A. (Produktionsflexibilität, 2000)

A review of manufacturing flexibility
in: European Journal of Operational Research 122, 1, 2000, S. 41-57

Becker, T. (Supply-Chain-Management, 2002)

Supply Chain Prozesse: Gestaltung und Optimierung,

in: Busch, A., Dangelmeier, W. (Hrsg.), Integriertes Supply Chain Management, 2000, S. 63-88

Billington, C., Johnson, B. and Triantis, A.J (Supply-Chain-Management, 2003)

A Real Options Perspective on Supply Chain Management in High Technology,

in: Journal of Applied Corporate Finance, 15 (2), Winter 2003, S. 32-43

Bowersox, D. J. (Supply-Chain-Management, 1997)

Lessons Learned from the World Class Leaders,

in: Supply Chain Management Review 1, 1, 1997, S. 61-67

Bowersox, D. J., Closs, D. J. (Supply-Chain-Management, 1996)

Logistical management: the integrated supply chain process, New York 1996

Bowersox, D.J., Closs, D. J., Cooper, M. B. (Supply-Chain-Management, 2002)

Supply Chain Logistics Management, Boston 2002

Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P., Stecke, K. E. (Flexible Manufacturing Systems, 1984)

Classification of flexible manufacturing systems.

In: The FMS Magazine 2, 1984, S. 114-117

Bucklin, L. (Postponement, 1965)

Postponement, Speculation, and the Structure of Distribution Channels,

in: Journal of Marketing Research 2, 2, 1965, S. 26-31

Bullock, P. J. (Postponement, 2002)

Knowing When to Use Postponement, Working Paper, 2002

Burmann, C. (Strategische Flexibilität, 2002)

Strategische Flexibilität und Strategiewechsel als Determinanten des Unternehmenswertes, Wiesbaden 2002

Buzacott, J. A. (Produktionsflexibilität, 1982)

The Fundamental Principles of Flexibility in Manufacturing Systems,

in: Proceedings of the First International Conference on Flexible Manufacturing Systems, North Holland, Amsterdam 1982, S. 13-22

Buzacott, J. A., Yao, D. D. (Produktionsflexibilität, 1986)

Flexible manufacturing systems: a review of analytical models,

in: Management Science 32, 7, 1986, S. 890-905

- Cachon, G., Fisher, M. (Supply-Chain-Management, 2002)**
Supply Chain Inventory Management and the Value of Shared Information,
in: Management Science 46(8), 2002, S. 1032-1048
- Carlsson, B. (Flexibilität, 1989)**
Flexibility and the theory of the firm,
in: International Journal of Industrial Organisation, 7, 1989, S.179-203
- Childerhouse, P. (Supply-Chain-Management, 2001)**
Enabling Seamless Market-Oriented Supply Chains, Cardiff University, 2001
- Chopra, S. (Supply-Chain-Management, 2003)**
Designing the distribution network in a supply chain,
in: Transportation Research Transportation Research 39E, 2, 2003, S.123 -140
- Chopra, S., Meindl, P., (Supply-Chain-Management, 2001)**
Supply chain management-strategy, planning, and operation, Upper Saddle River,
New Jersey 2001
- Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 1992)**
Logistics and supply chain management: Strategies for reducing costs and
improving services, London 1992
- Christopher, M. (Marketing Logistics, 1997)**
Marketing Logistics, Butterworth Heinemann, 1997
- Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2000)**
Supply chain migration from lean and functional to agile and customised,
in: Supply Chain Management 5, 4, 2000, S. 206-213
- Christopher, M., Towill, D., Aitken, J. (Supply-Chain-Management, 2002a)**
Understanding, Implementing and Exploiting Agility and Leanness,
in: International Journal of Logistics: Research and Application 5, 1, 2002
- Christopher, M., Towill, D. (Supply-Chain-Management, 2002b)**
Developing Market Specific Supply Chain Strategies,
in: International Journal of Logistics Management 13, 1, S. 1-14, 2000
- Clark, K.B., Hayes, R.H., Wheelwright, S.C. (Organisation und Produktion, 1988)**
Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization, New York 1988
- Cooper, M. C., Lambert, Douglas, M., Pagh, Janus, D. (Supply-Chain-Management,
1997)**
Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics,
in: The International Journal of Logistics Management 8, 1, 1997, S. 1-14

Corsten, H. (Betriebswirtschaftliches Lexikon, 2000)

Lexikon der Betriebswirtschaftslehre, München 2000

Corsten, H. (Produktionswirtschaft, 2004)

Produktionswirtschaft-Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, München 2004

Corsten, H., Gössinger, R. (Supply-Chain-Management, 2001)

Einführung in das Supply Chain Management, München, 2001

Corsten, H., Gabriel, C. (Supply-Chain-Management, 2004)

Supply Chain Management erfolgreich umsetzen - Grundlagen, Realisierung und Fallstudien, 2., verbesserte Auflage, Berlin [u.a.] 2004

Cusumano, M. A. (Flexibilität, 1992)

Shifting economies: From craft production to flexible systems and software factories,

in: Research Policy, 21, 1992, S. 453-480

D' Souza, D. E., Williams, F. P. (Produktionsflexibilität, 2000)

Toward a Taxonomy of Manufacturing Flexibility Dimensions,

in: Journal of Operations Management 18, 5, 2000, S. 577-593

De Groote, X. (Produktionsflexibilität, 1994)

The flexibility of production processes: a general framework.

In: Management Science 40, 7, 1994, S. 933-945

De Toni, A., Tonchia, S. (Produktionsflexibilität, 1998)

Manufacturing flexibility: a literature review

in: International Journal of Production Research 36, 6, 1998, S. 1587-1617

Delfmann, W. (Postponement, 2004)

Postponement,

In: Klaus P., Krieger, W. (Hrsg.) Gabler-Lexikon Logistik-Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden 2004, S. 412-413

Delfmann, W. (Pull- und Push-Prinzip, 2004)

Pull- und Push-Prinzip,

in: Klaus P., Krieger, W. (Hrsg.) Gabler-Lexikon Logistik-Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden 2004, S. 425-427

Dell, M. (Dell, 1999)

Direct from Dell, New York 1999

Diruf, G. (Logistische Langfristplanung, 1980)

Logistische Langfristplanung mit dem Prinzip robuster nächster Schritte,
in: HIS Journal, Volume 4, 1980, S. 1-14, Wien

Diruf, G. (Produktionspostponement, 2001)

Senkung der Absatzrisiken für Modeprodukte durch selektives
Produktionspostponement: Entwicklung eines Optimierungsmodells zur
Unterstützung von Postponemententscheidungen, Bamberg 2001

Diruf, G. (Risk-Pooling-Strategien, 2005)

Risk-Pooling-Strategien in der Modedistribution, Bamberg 2005

Diruf, G. (Mode-Supply-Chains, 2007)

Nutzung agiler Produktionsprozesse in Supply Chains für Modeprodukte:
Strategien und Optimierungsmodelle zur Reduzierung von Absatzrisiken,
Frankfurt 2007

Diruf, G. (Risk-Pooling-Kooperationen, 2007)

Risk-Pooling-Kooperationen im Modehandel: Erfolgsfaktoren und Verbesserung-
potenziale, in Vahrenkamp, R./ Siepermann, Ch. (Hrsg.), Risikomanagement in
Supply Chains, Berlin 2007, S. 235 - 252

Diruf, G., Schönbauer, J. (Operations Research, 1993)

Operations-Research-Verfahren, 3. Auflage, München 1993

Disney, S. M., Towill D. R. (Vendor Managed Inventory, 2003)

The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect
in supply chains,
in: International Journal of Production Economics 85, 2003, S. 199-215

Dixon, J. R. (Messung der Produktionsflexibilität, 1992)

Measuring Manufacturing Flexibility: An Empirical Investigation,
in: European Journal of Operational Research 60, 2, 1992, S. 131-143

Domschke, W., Drexl, A. (Operations Research, 2005)

Einführung in Operations Research, Berlin 1995

Dornier, P. (Global Operations, 1998)

Global operations and logistics: text and cases, New York 1998

Eppink, D. J. (Flexibilität, 1978)

Planning for Strategic Flexibility,
in: Long Range Planning, 11, 1998, S. 9-15

Feng, D.-Z., Yamashiro, M. (Produktionsflexibilität, 2005)

Optimal production policy for a manufacturing system with volume flexibility in a supply chain under lumpy demand
in: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25, 7/8, April 2005

Fetzinger, E., Lee, H. (Postponement, 1997)

Mass Customization at Hewlett Packard: The Power of Postponement,
in: Harvard Business Review 1/2, 1997, S. 116-121

Fiegenbaum, A., Karkani, A. (Output Flexibilität, 1991)

Output Flexibility: A Competitive Advantage for Small Firms
In: Strategic Management Journal, 12, 1991, S. 101-114

Fine, C. H. (Supply Chain Management, 1998)

Clockspeed: Winning industry control in the age of temporary advantage, Reading 1998

Fisher, M. L., Raman, A. (Nachfrageunsicherheit, 1996)

Reducing the Cost of Demand Uncertainty through Accurate Response to Early Sales, in: Operations Research, Vol. 44, No. 4, 1996, S. 87 - 99

Fisher, M. L. (Supply-Chain-Management, 1997)

What Is the Right Supply Chain for Your Product?,
in: Harvard Business Review 2, 1997, S. 105-116

Fisher, M. L., Hammond J. H., Obermeyer W. R., Raman, A. (Supply-Chain-Management, 1994)

Making Supply Meet Demand in an Uncertain World,
in: Harvard Business Review 2, 1994, S. 83-92

Forrester, J.W. (Bullwhip Effekt, 1961)

Industrial Dynamics, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1961

Fleisch, E., Österle, H. (Business Networking, 2000)

Business Networking: A Process-oriented Framework,
in: Österle, H., Fleisch, E., Alt, R. (Eds.), Business Networking-Shaping Enterprise Relationships on the Internet, 1. Auflage, Berlin 2000, S. 55-91

Galbraith, C.S., Schendel, D.E. (Unternehmensstrategie, 1983)

An Empirical Analysis of Strategic Types,
in: Strategic Management Journal 4, 1983, S.153-173

Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1987)

An agenda for research on the flexibility of manufacturing process
in: International Journal of Operation and Production Management 7, 1, 1987, S.
38-49

Gerwin, D. (Produktionsflexibilität, 1993)

Manufacturing flexibility: a strategic perspective,
in: Management Science 39, 4, 1993, S. 395-410

Gleißner, H. (Logistikkooperationen, 2000)

Logistikkooperationen zwischen Industrie und Handel: theoretische Konzepte und
Stand der Realisierung, Göttingen 2000

Gong, Z., Hu, S. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 2008)

An economic evaluation model of product mix flexibility
in: Omega, 36, 5, Oktober 2008, Seiten 852-864

Graves, S. C., Jordan, W. C. (Produktionsflexibilität, 1991)

Principles of the Benefits of Manufacturing Process Flexibility,
in: General Motors Laboratories Research Publication, 1991

Gudehus, T. (Logistik, 2000a)

Logistik 1: Grundlagen, Verfahren und Strategien, Berlin 2005

Gudehus, T. (Logistik, 2000b)

Logistik 2: Netzwerke, Systeme und Lieferketten, Berlin 2005

Gupta, D. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1993)

On measurement and valuation of manufacturing flexibility.
in: International Journal of Production Research 31, 12, 1993, S. 2947-2958

Gupta, D., Buzacott, J. (Flexibilität, 1989)

A Framework for Understanding Flexibility of Manufacturing Systems,
in: Journal of Manufacturing Systems 8, 2, 1989, S. 89-97

Gupta, Y. P., Goyal, S. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1989)

Flexibility of Manufacturing Systems: Concepts and Measurements
in: European Journal of Operations Research 43, 2, 1989, S. 119-135

Gupta, Y.P., Somers, T.M. (Produktionsflexibilität, 1996)

Business strategy, manufacturing flexibility, and organizational performances relationships: a path analysis approach

in: Production and Operations Management 5, 3, 1996, S.204-233

Gutenberg, E. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1951)

Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Berlin 1951

Hambrick, D.C., MacMillan, I.C., Day D.L. (Unternehmensstrategie, 1982)

Strategic Attributes and Performance in the Four Cells of the BCG Matrix -- A PIMS-based Empirical Analysis

in: Academy of Management Journal, 9, 1982

Hammersley, J. M., Handscomb, D. C. (Monte-Carlo-Methode, 1979)

Monte Carlo methods, London 1979

Harrigan, K. R. (Strategische Flexibilität, 1985)

Strategic flexibility: a management guide for changing times, 2. Auflage, Lexington 1985

Härtel, F. (Zufallszahlen, 1994)

Zufallszahlen für Simulationsmodelle, Vergleich und Bewertung verschiedener Zufallszahlengeneratoren, Diss., Bamberg 1994

Hartung, J., Elpelt, B. (Statistik, 1986)

Multivariate Statistik, 2., überarbeitete und ergänzte Auflage, München 1986

Hengartner, W., Theodorescu, R. (Monte-Carlo-Methode, 1979)

Einführung in die Monte-Carlo-Methode, 1. Auflage, München 1978

Henkel, S. (Electronic Data Interchange, 1996)

Gestaltung elektronischer Datenkommunikationssysteme in Logistiknetzen, Bamberg 1996

Heskett, J. L., Signorelli, S. (Benetton-Postponement, 1989)

Benetton (A), Harvard Business School case 9-685-014, Harvard University, Cambridge 1989

Heusler, K. (Supply-Chain-Management, 2004)

Implementierung von Supply Chain Management: Kompetenzorientierte Analyse aus der Perspektive eines Netzwerkakteurs, 2004

Hill, T. (Manufacturing Strategy, 1993)

Manufacturing Strategy: Text and Cases, 2. Auflage, London 1993

Hirschmann, R. G. (Flexibilität, 1985)

Größere Flexibilität als Konzept eines mittelständischen Unternehmens

in: Zfbf 1985, S. 144-153

Hitt, M.A., Keats, B.W., DeMarie, S.M. (Flexibilität, 1998)

Navigating in the new competitive landscape: building strategic flexibility and competitive advantage in the 21st century,

in: Academy of Management Executive (12 : 4), 1998, S.22-42

Hoekstra, S., Argelo, S. M., Romme, J. (Logistik, 1992)

Integral logistic structures: developing customer-oriented goods flow, New York 1992

Horváth, P., Mayer, R. (Flexibilität, 1986)

Produktionswirtschaftliche Flexibilität, in:

Wirtschaftswissenschaftliches Studium 15, 2, 1986, S. 69-76

Hyun L. H., Ahn B. N. (Flexibilität, 1992)

A Unifying Framework for Manufacturing Flexibility,

In: Manufacturing Review 5, 1992, S. 251-260

Jacob, H. (Flexibilität, 1990)

Flexibilität und ihre Bedeutung für die Betriebspolitik,

in: Adam, D., Backhaus, K., Meffert, H., Wagener, H., (Hrsg.), Integration und Flexibilität, Wiesbaden 1990, S. 15-60

Jaikumar, R. (Produktion, 1986)

Postindustrial Manufacturing,

in: Harvard Business Review 6, 1986, S. 69-76

Johansson, H. J. (Business Process Reengineering, 1993)

Business process reengineering: Breakpoint strategies for market dominance, Chichester 1993

Kaluza, B. (Flexibilität, 1993)

Betriebliche Flexibilität,

in: Wittmann, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre. 5. Auflage, Stuttgart 1993, S. 1173-1184

Kaluza, B., Blecker, Th. (Flexibilität, 2005)

Flexibilität-State of the Art und Entwicklungstendenzen,
in: Kaluza, B./Blecker, Th. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und
Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2005,
S. 1-25

Kaluza, B., Blecker, Th. (Wettbewerbsstrategien, 2000)

Wettbewerbsstrategien-Markt- und ressourcenorientierte Sicht der strategischen
Führung. Konzepte-Gestaltungsfelder-Umsetzungen, München 2000

Kara, S., Kayis, B. (Produktionsflexibilität, 2004)

Manufacturing flexibility and variability: an overview
in: Journal of Manufacturing Technology Management 15, 6, 2004, S. 466-478

Kickert, W.J. (Flexibilität, 1985)

The magic world of flexibility
in: International Studies of Management and Organization. 14, 4, 1985, S. 6-31

Klaus, P. (Supply-Chain-Management, 2004)

Supply Chain Management,
in: Klaus P., Krieger, W. (Hrsg.) Gabler-Lexikon Logistik-Management
logistischer Netzwerke und Flüsse, 2., vollständig überarbeitet und erweiterte
Auflage Wiesbaden 2000, S. 507-513

Klimecki, R., Gmür, M. (Strategie und Flexibilität, 1997)

Strategie und Flexibilität. Wenn Erfolgspotentiale zu Risikopotentialen werden,
in: Zeitschrift Führung und Organisation 66, 4, 1997, S. 206-212

Knuth, D. E. (Programmierung, 1981)

The art of computer programming/2, 2. Auflage, London Don Mills 1981

Kohlas, J. (Monte-Carlo-Methode, 1972)

Monte-Carlo-Simulation im Operations-Research, Berlin 1972

Koste L J., Malhorta M. K. (Produktionsflexibilität, 1999)

A Theoretical Framework for Analysing the Dimensions of Manufacturing
Flexibility,
in: Journal of Operation Management 18, 1999, S. 75-93

Kotzab, H. (Supply-Chain-Management, 2000)

Zum Wesen von Supply Chain Management vor dem Hintergrund der
betriebswirtschaftlichen Logistikkonzepte-erweiterte Überlegungen,
in: Wildemann H. (Hrsg.): Supply Chain Management, München 2000, S. 21- 47

Kumar, V. (Produktionsflexibilität, 1996)

On Measurements of Flexibility in Flexible Manufacturing Systems: An Information-Theoretic Approach.

in: Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications, Elsevier, Amsterdam 1986, S. 131-143

Kutscher, J. (Flexibilität, 2000)

(Hg.), Praxishandbuch Flexible Arbeitszeit, Hamburg 2000

Lee, H. (Supply-Chain-Management, 1993)

Design for supply chain management: Concepts and examples,

in: Sarin, R. (Hrsg.) Perspectives in Operations Management-essays in honor of Elwood S. Buffa, Boston 1993

Little, A.D. (Supply-Chain-Management, 2001)

Einkauf - Produktion - Logistik, Wie erfolgreiche Unternehmen ihre Wertschöpfung internationalisieren, 2001

Lowson, B., King, R., Hunter, A. (Quick Response, 1999)

Quick response: managing the supply chain to meet consumer demand, Chichester 1999

Lucke, C. (Realoptionstheorie, 2001)

Investitionsprojekte mit mehreren Realoptionen-Bewertung und Analyse, Karlsruhe 2001

Majima, I. (JIT, 1995)

JIT-Kostensenkung durch just-in-time production [das Erfolgsgeheimnis der japanischen Wirtschaft], Frankfurt 1995

Mandelbaum, M., Buzacott, J. A. (Flexibilität, 1990)

Flexibility and Decision Making,

In: European Journal of Operational Research. 44, 1990, S. 17-27

Mascarenhas, B. (Flexibilität, 1984)

Flexibility: Its Relationship to Environmental Dynamism and Complexity,

in: International Studies of Management and Organization 5, 4, 1984, S.107-124

Mason-Jones, R., Naylor, J.B., Towill, D.R. (Supply-Chain-Management, 2000)

Engineering the leagile supply chain,

in: International Journal of Agile Management Systems 2, 1, 2000, S. 54-61

Mason-Jones, R., Towill D. R. (Supply-Chain-Management, 1999)

Using the Information Decoupling Point to Improve Supply Chain Performance,
in: The International Journal of Logistics Management 10, 2, 1999, S. 13-26

Matthyssens, P., Van den Bulte C. (Supply-Chain-Partnerschaften, 1994)

Getting Closer and Nicer: Partnerships in the Supply Chain,
in: Long Range Planning 27, 1, S. 72-83

Mayer, A. (Strategische Flexibilität, 2001)

Strategische Flexibilität: ein integrativer Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Realoptionen, Gießen 2001

Meffert, H. (Flexibilität, 1985)

Größere Flexibilität als Unternehmenskonzept,
in: Zfbf 1985, S. 121-137

Middendorf, S., Singer, R., Heid, J. (JAVA, 2003)

Java Programmierhandbuch und Referenz für die Java-2-Plattform, Standard-Edition 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Heidelberg 2003

Mikkola, J. H., Sjøtt-Larsen, T. (Postponement, 2004)

Mass customization, postponement, and modularization strategies in shaping supply chains,
in: Production Planning & Control 15, 4, 2004, S. 352-361

Milling, P., Thun J.-H. (Produktionsflexibilität, 2004)

Steigerung der Flexibilität in Produktionsprozessen durch integrative Fertigung,
in: Kaluza, B., Blecker, T. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2004, S. 251-267.

Mössner, G. U. (Flexible Unternehmensstrategien, 1982)

Planung flexibler Unternehmensstrategien, München 1982

Myers, S. C. (Realoptionen, 1977)

Determinants of Corporate Borrowing.
In: Journal of Financial Economics, 5, 1977, S. 147 -175

Nagel, M. (Flexibilitätsmanagement, 2003)

Flexibilitätsmanagement: ein systemdynamischer Ansatz zur quantitativen Bewertung von Produktionsflexibilität, Wiesbaden 2003

Nagel, R. N., Dove, R. (Agile Supply Chain, 1991)

Twenty-First Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry-Led View,
Technical report, Iacocca Institute, Lehigh Univ. 1991

Naylor, J.B., Naim, M.M., Berry, D. (Lean and Agile, 1999)

Leagility: interfacing the lean and agile manufacturing paradigm in the total supply
chain,

in: International Journal of Production Economics 62, 1999, S. 107-118

Ohno, T. (Toyota Production System, 1988)

Toyota production system-beyond large-scale production, Cambridge 1988

Pagh, J. D., Cooper, M. C. (Supply-Chain-Postponement, 1998)

Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right
strategy,

in: Journal of Business Logistics 11, 2/3, 1998, S. 93-105

Pfohl, H.-C., Pfohl, P. A. (Postponement, 2000)

Postponement in der Supply Chain,

in: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik 2000. Düsseldorf 2000, S. 40-45.

Pibernik, R. (Flexibilität, 2001)

Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken, Wiesbaden, 2001.

Pine, J. B. (Mass Customization, 1993)

Mass customization: the new frontier in business competition, Boston 1993

Pooch, U. W., Wall, J. A. (Simulation, 1993)

Discrete event simulation-A practical approach, Boca Raton 1993

Porter, M.E. (Wettbewerbsvorteil, 1985)

Competitive advantage: creating and sustaining superior performance, New York
1985

Reichwald, R., Behrbohm, P. (Flexibilität, 1983)

Flexibilität als Eigenschaft betriebswirtschaftlicher Systeme,

in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 53, 9, 1983, S. 831-853

Sanchez, R. (Strategische Flexibilität, 1995)

Strategic Flexibility in Product Competition

in: Strategic Management Journal 16 (Special Issue), S. 135-159

Schary, P. B., Skjøtt-Larsen, T. (Global Supply Chain, 2002)

Managing the global supply chain, 2. Auflage, Kopenhagen 2002

Scheer, A.W. (CIM, 1990)

Computer Integrated Manufacturing - Der computergesteuerte Industriebetrieb,
Berlin 1990

Schmitz, M. (Flexibilität, 1994)

Flexibel automatisierte Fertigungssysteme: Bewertungsprobleme und
Lösungsansätze, Wiesbaden 1994

Schneeweiss, C., Kühn, M. (Flexibilität, 1990)

Zur Definition und gegenseitigen Abgrenzung der Begriffe Flexibilität, Elastizität
und Robustheit,

in: Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre 42, 5, 1990, S. 378-395

**Schnetzler, M., Nölle, A., Hasenfuss, K., Iliev, N., Ziegenbein, A. (Supply-Chain-
Management, 2006)**

Supply Chain Management und Unternehmenserfolg, Trends und Heraus-
forderungen, Zürich 2006

Sethi, A. K., Sethi, S. P. (Manufacturing Flexibility, 1990)

Flexibility in Manufacturing: A Survey,

in: International Journal of Flexible Manufacturing Systems 2, 4, 1990, S. 289-328

Shewchuk, J.P., Moodie C.L. (Manufacturing Flexibility, 1998)

Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures,

in: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 10, 1998, S. 325-
349

Silver, E., Pyke, D., Peterson, R. (Inventory Management, 1998)

Inventory management and production planning and scheduling, 3. Auflage, New
York 1998

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (Supply-Chain-Management, 2000)

Designing and managing the supply chain, Boston 2000

Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1983)

Flexibility as a manufacturing objective,

in: International Journal of Production Management 3, 3, 1983, S. 4-13

Slack, N. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1987)

The flexibility of manufacturing systems

in: International Journal of Operations and Production Management 7, 4, 1987,
S.35-45

Steinhausen, D. (Simulation, 1994)

Simulationstechniken, München 1994

Spring, M. and Dalrymple, J. F. (Produktionsstrategien, 2000)

Product customisation and manufacturing strategy.

in: International Journal of Operations and Production Management 20,4, 2000,
S. 441-467

Steyer, R. (Java, 2001)

JAVA Das Programmier-Handbuch, München 2001

Stigler, G. (Produktion und Distribution, 1939)

Production and distribution in the short run,

in: Journal of Political Economy 47, 3, 1939, S. 305-327

Stölzle, W. (Kooperationen, 1999)

Industrial Relationships, München 1999

Stratton, R., Warburton, R. (Lean and agile supply, 2003)

The systematic and strategic integration of lean and agile supply,

in: International Journal of Production Economics 85, 2003, S. 183-198

Suarez, F., Cusumano, M., Fine, C. (Produktionsflexibilität, 1995)

An Empirical Study of Flexibility in Manufacturing,

in: Sloan Management Review 37, 1, 1995, S. 25-32

Swamidass, P. M. (Produktionsflexibilität, 1988)

Manufacturing Flexibility

in: Monograph No. 2, Operations Management Association, Norman & Schneider
Group, Waco TX 1988

Swamidass, P. M. (Produktionsflexibilität, 2000)

Manufacturing Flexibility

in: Encyclopedia of production and manufacturing management/ Swamidass P. M.,
Boston 2000, S. 399-412

Struck, O. (Flexibilität, 2006)

Flexibilität und Sicherheit: Empirische Befunde, theoretische Konzepte und
institutionelle Gestaltung von Beschäftigungsstabilität, 2006

Tang, C., Tomlin, B. (Supply-Chain-Flexibilität, 2008)

How Much Flexibility Does It Take to Mitigate Supply Chain Risks?

in: Zsidisin, G., Ritchie, B. (Hrsg.) Supply Chain Risk - A Handbook of
Assessment, Management, and Performance, 2008

Taylor, D., Brunt, D. (Lean Approach, 2001)

Manufacturing operations and supply chain management-the lean approach,
London 2001

Thaler, K. (Supply-Chain-Management, 2001)

Supply Chain Management-Prozessoptimierung in der logistischen Kette, 3.,
aktualisierte und erweiterte Auflage, Köln 2001

Thielen, C. (Flexibilität, 1993)

Management der Flexibilität, St. Gallen 1998

Thonemann, U. W. (Supply-Chain-Management, 2003)

Supply Chain Champions: was sie tun und wie Sie einer werden, Wiesbaden 2003

Towill, D., Christopher, M. (Supply-Chain-Management, 2002)

The Supply Chain Strategy Conundrum: To be Lean or Agile or to be Lean and
Agile,

in: International Journal of Logistics: Research & Application 5, 3, 2002, S. 30-45

Trigeorgis, L. (Realloptionen, 2000)

Real options-managerial flexibility and strategy in resource allocation, Cambridge
2000

Tsay, A. (Produktionsflexibilität, 1999)

The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives,

in: Management Science, 45, 10, S.1339 - 1358, Oktober 1999

Upton, D. M. (Flexibilität, 1994)

The management of manufacturing flexibility,

in: California Management Review 4, 1994, S. 72-89

Upton, D. M. (Produktionswirtschaftliche Flexibilität, 1995)

What really makes factories flexible?

in: Harvard Business Review 73, 3/4, 1995, S.74-84

Volberda, H. W. (Flexibilität, 1998)

Building the flexible firm: how to remain competitive, Oxford 1998

Vokurka, R. J., O'Leary-Kelly, S. (Produktionsflexibilität, 2000)

A Review of Empirical Research on Manufacturing Flexibility

in: Journal of Operations Management 18, 4, 2000, S. 16-24

Walther, J. (Supply-Chain-Management, 2001)

Supply Chain Management-Neue Instrumente zur kundenorientierten Gestaltung
integrierter Lieferketten, 1.Auflage, Frankfurt 2001

Warburton, R., Stratton, R. (Supply-Chain-Management, 2002)

Questioning the relentless shift to offshore manufacturing,
in: Supply Chain Management 7, 2, 2002, S. 101-108

Will, T. (Flexibilität, 2000)

Flexibilität,
in: Corsten, H. (Betriebswirtschaftliches Lexikon, 2000) Lexikon der Betriebswirtschaftslehre, München 2000, S. 261-264

Wolf, C. (Flexibilität, 2005)

Stabilität und Flexibilität von Kooperationen: Entwicklung einer wettbewerbsorientierten Flexibilitätstheorie am Beispiel der Automobilbranche, Wiesbaden 2005

Wolf, J. (Flexibilisierung, 1989)

Investitionsplanung zur Flexibilisierung der Produktion, Wiesbaden 1989

Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. (Lean Production, 1990)

The machine that changed the world, New York 1990

Womack, J. P., Jones, D. T. (Lean Thinking, 1996)

Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation New York 1996

Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., Gunasekaran, A. (Agile manufacturing, 1999)

Agile manufacturing. The drivers, concepts and attributes,
in: International Journal of Production Economics 62, 1999, S. 33-43

Zhang, Q., Vonderembse, M.A. & Lim, J.-S. (Produktionsflexibilität, 2003)

Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability and customer satisfaction.
in: Journal of Operations Management 21, 2003, S. 173-191

Ziegenbein, A. (Supply-Chain-Management, 2007)

Supply Chain Risiken: Identifikation, Bewertung und Steuerung, Zürich 2007

Zinn, W., Bowersox, D. J. (Postponement, 1998)

Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement,
in: Journal of Business Logistics 9, 2, 1988, S. 117-136



Supply Chains mit hohen Absatzrisiken sind gekennzeichnet durch kurze Verkaufszyklen, einen hohen Anteil an Impulskäufen, eine schwer prognostizierbare Nachfrage, eine hohe zeitliche und räumliche Verfügbarkeit der Produkte, lange Durchlaufzeiten und eine hohe Variantenanzahl. Insbesondere Mode-Supply-Chains stellen idealtypische Beispiele für Supply Chains mit hohen Absatzrisiken dar.

Aufbauend auf den Arbeiten von DIRUF, der sich mit den Verbesserungspotenzialen von hybriden Beschaffungsstrategien beschäftigt (insbesondere Diruf, G., 2007: Nutzung agiler Produktionsprozesse in Supply Chains für Modeprodukte, Strategien und Optimierungsmodelle zur Reduzierung von Absatzrisiken, Frankfurt am Main u. a.), werden alternative Flexibilitätsstrategien in Supply Chains für Modeprodukte analysiert. Hybride Beschaffungsstrategien sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der gesamten Produktionsmenge in einem Niedriglohnland erzeugt wird, wohingegen der andere Teil unter Nutzung einer Quick-Response-Kapazität in räumlicher Nähe zum Absatzmarkt gefertigt wird.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung liegt darin, die Struktur der Nutzenpotenziale alternativer Flexibilitätsstrategien in vertiefter Form zu untersuchen. Als operative Flexibilitätsindikatoren des Produktionsprozesses dienen dabei die Gesamtmengenflexibilität (in Form einer Kapazitätsoption), die Reaktionszeiten (als Resultat der Prognoseverbesserung) und die Variantenflexibilität, die sich durch die Anzahl technisch verwandter Produkte bestimmt, die mit demselben System produziert werden können.

ISBN 978-3-923507-88-7

ISSN 2191-2424

14,50 Euro