



Die kostenoptimale Bestellpolitik für die Beschaffung von legiertem Halbzeug aus Stahl

Ein praktikables Verfahren für mehrfache, diskrete Preisänderungen und restriktiver Bestellmengenauswahl unter Einbezug von Servicegraderwartungen

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Peter Michael Krobath

am

Lehrstuhl für Industrielogistik

der Montanuniversität Leoben

Mürzzuschlag, im November 2010

Eidesstattliche Erklärung - Affidavit

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Datum, Ort

Unterschrift

Kurzfassung

Legiertes Halbzeug aus Stahl kann aufgrund der Zugabe von Legierungselementen, wie z. B. Molybdän, Chrom oder Nickel, sehr kostenintensiv sein. Dadurch stellt es für die Stahl umformende Industrie einen erheblichen Kostenfaktor dar, ein Anteil von mehr als 60% an den Selbstkosten ist dabei keine Seltenheit. Durch die Verwendung einer optimalen Bestellpolitik, welche festlegt, wann und wie viel zu bestellen ist, können im operativ-taktischen Bereich die Beschaffungskosten einer signifikanten Reduktion unterzogen und gleichzeitig die logistische Leistungsfähigkeit erhöht werden. Dennoch wurde für die Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ bis zum jetzigen Zeitpunkt kein adäquates Verfahren publiziert, mit dessen Hilfe sich in der industriellen Praxis – auf praktikable Weise – eine optimale Bestellpolitik ableiten lässt. Die vorliegende Dissertationsschrift schließt diese Forschungslücke und trägt damit zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der umformenden Industrie bei. Bei der Verfahrensentwicklung wurde ein Fokus auf eine möglichst geringe Anwendungskomplexität gelegt, wodurch die Akzeptanz im betrieblichen Umfeld verbessert und der Einbezug des oft nur implizit vorhandenen Erfahrungswissens der Dispositionsverantwortlichen erleichtert wird. Das Verfahren sieht die Erstellung einer Initiallösung vor, an welcher bei einem fallenden oder gleichbleibenden Preisniveau der Legierungselemente festzuhalten ist. Es ist immer die Mindestmenge zu bestellen, welche der technisch und wirtschaftlich determinierten Chargengröße des Stahlerzeugers entspricht. Wird eine steigende Preistendenz erwartet, dann sind zumindest Teile der Initiallösung zu überdenken, wobei das Verfahren in diesem Fall prüft, ob mehrere Chargengrößen zu bestellen sind. Dazu wird der durch die größere Bestellmenge erzielbare Spekulationserfolg den zusätzlich hervorgerufenen Lagerhaltungskosten gegenübergestellt. Im Anschluss an die Entwicklung des Verfahrens ist dieses einer Validierung unterzogen worden. Dabei wurde gezeigt, dass es für die Beschaffungsobjektgruppe als geeignet angesehen werden kann und den anderen bis jetzt publizierten Verfahren diesbezüglich überlegen ist. Im Sinne der wissenschaftstheoretischen Orientierung von Popper wurde die bereits rational durchgeführte Verifikation auf Basis von empirisch gewonnenen Daten einer zusätzlichen Bekräftigung unterzogen. Dazu erfolgte ein Vergleich der Beschaffungskosten, welche sich aus der Verfahrensanwendung und 642 alternativen Dispositionsvarianten ergeben.

Abstract

Alloyed steel raw material is very cost intensive due to the necessary addition of high price alloy elements, e.g. molybdenum, chrome or nickel. By this it is a considerable cost factor for the metalworking industry and a fraction amounting about 60 percent of the total costs is nothing unusual. Using an optimal purchasing policy that defines which quantities to order at which points in time the acquisition costs in the operational-tactical area can be reduced significantly while improving the logistical efficiency simultaneously. Still no adequate procedure dealing with the purchasing object group "alloyed steel raw material" that allows to derive an optimal purchasing policy in practice in a feasible way has been published so far. This dissertation closes the mentioned gap in research work and supports the competitiveness of the metalworking industry. The process development was focused on a low level of complexity in exercise aiming at an improved acceptance in business environment and a facilitated consideration of the implicitly existing know-how of the persons in charge of disposition. The described procedure intends the installment of an initial solution strategy which shall be followed in case of decreasing or stable prices of alloy elements where the minimum order quantity shall be equivalent to the technically and economically determined lot size of the steel producer. In case of an expected price increase the initial solution strategy shall be reviewed at least partly: the procedure shall also check the reasonability of purchasing more than one lot size. Hereby the speculative gain induced by a larger order quantity is compared with additionally generated storage costs. After the development of the strategy it was subject to validation. The result showed that the described procedure is an appropriate strategy for the area of the investigated purchasing object group and superior to other yet published solutions. According to Popper's philosophy of science the rational verification of this strategy was furthermore supported by subsequently adding empirical data by using a comparison of the described procedure with 642 alternative variants of disposition.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Formelzeichen	X
1. Einleitung und Problemstellung	1
1.1. <i>Problemstellung und Bedeutung für Theorie und Praxis</i>	1
1.2. <i>Ziele und Forschungsfragen</i>	3
1.3. <i>Erkenntnistheoretische Position und Vorgehensweise</i>	4
1.4. <i>Aufbau der Arbeit</i>	7
2. Grundlagen der Beschaffung von legiertem Halbzeug aus Stahl	9
2.1. <i>Definition und Zielsetzung der Beschaffung</i>	9
2.2. <i>Abgrenzung der Beschaffungsobjektgruppe</i>	12
2.2.1. <i>Definition der Beschaffungsobjektgruppe</i>	12
2.2.2. <i>Überblick über die Herstellung der Beschaffungsobjektgruppe</i>	15
2.3. <i>Der Legierungszuschlag</i>	20
3. Grundlagen einer kostenoptimalen Bestellpolitik	28
3.1. <i>Grundlegende Bestellpolitiken</i>	28
3.2. <i>Die Bestellpolitik determinierende Kostenkomponenten</i>	36
3.2.1. <i>Bestellfixkosten</i>	37
3.2.2. <i>Variable Bestellkosten</i>	41
3.2.3. <i>Lagerhaltungskosten</i>	47
3.2.4. <i>Fehlmengenkosten</i>	54
3.3. <i>Der Sicherheitsbestand und seine Berechnung</i>	55
3.3.1. <i>Servicegrad</i>	58
3.3.2. <i>Sicherheitsbestand</i>	64
3.4. <i>Interdependenzen</i>	70

4. Evaluierung von Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik	78
4.1. <i>Ableitung der Evaluierungskriterien</i>	79
4.2. <i>Beschreibung und Evaluierung von Verfahren zur Ableitung einer Bestellpolitik</i>	83
4.2.1. Harris/Andler	85
4.2.2. Part-Period-Verfahren	91
4.2.3. Verfahren nach Schulte	96
5. Halbzeug-spezifisches Verfahren.....	104
5.1. <i>HS-Verfahren.....</i>	104
5.1.1. Hypothesen und Beweise.....	105
5.1.2. Verfahrensableitung und -beschreibung	113
5.1.3. Anwendungsbeispiel für das HS-Verfahren.....	117
5.1.4. Evaluierung des Verfahrens mit Hilfe der festgelegten Kriterien	120
5.2. <i>Adaption und Erweiterung des HS-Verfahrens</i>	123
5.2.1. Dynamische Adaption	123
5.2.2. Stochastische Erweiterung.....	131
5.2.3. Einbeziehung von Bestellfixkosten.....	142
5.3. <i>Vergleich der evaluierten Verfahren – Verfahrensvalidierung.....</i>	146
5.4. <i>Übertragung auf andere Beschaffungsobjektgruppen</i>	148
5.5. <i>Bekräftigung der rationalen Verifikation.....</i>	152
5.6. <i>Sensibilitätsanalyse</i>	159
6. Conclusio und weiteres Forschungspotenzial.....	161
7. Literaturverzeichnis.....	164
8. Anhang	A
8.1. <i>Berechnungshilfe.....</i>	A
8.2. <i>Evaluierte Verfahren.....</i>	C
8.3. <i>Versuchsordnung.....</i>	D

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erkenntnistheoretische Vorgehensweise dieser Arbeit	6
Abbildung 2: Verschiedene Formen von Halbzeug nach DIN EN 10079:1993	13
Abbildung 3: Vom Erz zum Stahl.....	16
Abbildung 4: Geschäftsbeziehung zwischen integriertem Hüttenwerk und Umformer	20
Abbildung 5: Einkaufspreises von legiertem Halbzeug aus Stahl.....	21
Abbildung 6: Bezugszeitraum für die Berechnung des Legierungszuschlags	24
Abbildung 7: Verlauf des Legierungszuschlags von ThyssenKrupp Nirosta	26
Abbildung 8: T, Q-Regel.....	30
Abbildung 9: T, S-Regel	31
Abbildung 10: s, Q-Regel	33
Abbildung 11: S, s-Regel	34
Abbildung 12: Auswirkung der Lagerabgangslosgröße auf den Bestand zum Bestellzeitpunkt.....	35
Abbildung 13: Grenzkostenverlauf von Bestellfixkosten.....	38
Abbildung 14: Degressionseffekt der Bestellfixkosten.....	40
Abbildung 15: Summenverlauf des durchschnittlichen Einkaufspreises pro Einheit, mit und ohne Mengenrabatt	42
Abbildung 16: Einkaufspreis pro Einheit bei steigenden Einkaufspreisen	43
Abbildung 17: Verschiedene Bestellmengen vor einer Erhöhung der variablen Bestellkosten.....	44
Abbildung 18: \emptyset Lagerstand bei einer Bestellhäufigkeit von zwei	49
Abbildung 19: \emptyset Lagerstand bei einer Bestellhäufigkeit von vier	50
Abbildung 20: Verlauf des Lagerstands bei schwankendem Verbrauch	51
Abbildung 21: Stochastische Einflüsse auf das Bestellpunktverfahren	57
Abbildung 22: Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten in Abhängigkeit von der Bestellmenge	70
Abbildung 23: Abhängigkeit zwischen Servicegrad und Sicherheitsbestand	71
Abbildung 24: Risikozeiten bei verschiedenen Bestellmengen	72

Abbildung 25: Abhängigkeiten des Servicegrades von der Bestellmenge	74
Abbildung 26: Sicherheitsbestand bei Veränderung der Bestellhäufigkeit	76
Abbildung 27: Publikationsübersicht	84
Abbildung 28: Auswirkungen der Bestellmengenwahl	98
Abbildung 29: Beispielhafte Initiallösung des deterministischen	114
Abbildung 30: Beispielhafte Initiallösung beim dynamisierten deterministischen HS-Verfahren	124
Abbildung 31: Geometrische Überlegungen zur Ermittlung von $\alpha Z y k b \rightarrow i$	135
Abbildung 32: Beschaffungskosten der Dispositionsvarianten und des HS- Verfahrens	158
Abbildung 33: Auswirkungen von Prognosefehlern auf die optimale Bestellpolitik	160

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ziele der Beschaffung.....	11
Tabelle 2: Einteilung der Stähle nach DIN 10020:2000.....	14
Tabelle 3: Notwendige Produktionsstufen und zuordenbare Fertigungsverfahren	17
Tabelle 4: Relevante Verfahrenswege aus quantitativer Sicht.....	19
Tabelle 5: Multiplikationsfaktoren.....	22
Tabelle 6: Legierungszuschlag von ThyssenKrupp Nirosta.....	25
Tabelle 7: Grundlegende, parameterneutrale Bestellpolitiken.....	29
Tabelle 8: Auswahl der Zufallsvariable Z.....	67
Tabelle 9: Initiallösung des HS-Verfahrens.....	118
Tabelle 10: Erwartete Preisentwicklung des Legierungszuschlages.....	118
Tabelle 11: Vollenumeration.....	120
Tabelle 12: Bedarfsrate für jede Charge.....	128
Tabelle 13: Reichweite für jede Charge.....	129
Tabelle 14: Erwartete Preisentwicklung des Legierungszuschlages.....	129
Tabelle 15: Verfahrensvergleich mit Hilfe der Evaluierungskriterien.....	147
Tabelle 16: Lagerhaltungskosten – variable Bestellkosten.....	149
Tabelle 17: Zeitbezogen – mengenbezogen.....	150
Tabelle 18: Anzahl Preisänderungen – Änderungsverlauf.....	151
Tabelle 19: Legierungszuschlag der ThyssenKrupp Nirosta 2009.....	154
Tabelle 20: Umformer-spezifische Daten.....	155
Tabelle 21: Fakturierungsmonat der Beschaffung.....	155
Tabelle 22: Zur Verifikation verwendetes Rechenschema.....	157
Tabelle 23: Sensibilitätsanalyse.....	159
Tabelle 24: Berechnungshilfe für das deterministische HS-Verfahren.....	A
Tabelle 25: Teilweise ausgefüllte Berechnungshilfe für das deterministische HS- Verfahren.....	B
Tabelle 26: Weitere Evaluierungen.....	C
Tabelle 27: Versuchsanordnung.....	V

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
μ	-	Arithmetischer Mittelwert, Erwartungswert
b	-	Periode der Bestellung
Bf	GE	Bestellfixkosten für eine einzelne Bestellung
BfR	GE	Summe der Bestellfixkosten des Referenzzeitraums
Bh	-	Bestellhäufigkeit innerhalb des Referenzzeitraums
Bh_{alt}	-	Bei der Berechnung des Sicherheitsbestandes unterstellte Bestellhäufigkeit
Bh_{neu}	-	Abgeänderte Bestellhäufigkeit
$b_{\rightarrow i}$	-	Anzahl der Perioden, für welche der niedrigere α Zyk $_{b \rightarrow i}$ Gültigkeit hat
Bm	GE	Bestellmenge
Bm_i	ME	Bestellmenge, welche zum Zeitpunkt i geordert wird
Bp	ME	Bestellpunkt
Bv_b	GE	Variable Bestellkosten, gültig für die bevorstehende Bestellung b
Bv_{b+1}	GE	Variable Bestellkosten, gültig für die Bestellung, welche der bevorstehenden Bestellung nachfolgt
Bv_{Rz}	GE	Summe der variablen Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraums
Bz	ZE	\emptyset Dauer Bestellzyklus
C	ME	Anzahl der Einheiten, aus welchen die Chargengröße des Stahlerzeugers besteht
C_{vor}	-	Anzahl der Chargen, deren geplante interne Verfügbarkeit auf den Zeitpunkt b vorverlegt werden
$E\{Bv\}_b$	GE	Erwartungswert der variablen Bestellkosten, zu welchen die zu wählende Bestellmenge geordert wird
$E\{Bv\}_{b+1}$	GE	Erwartungswert der variablen Bestellkosten nach der Preisänderung
$E\{Bv\}_i$	GE	Erwartete variable Bestellkosten pro Einheit zum Zeitpunkt i
$E\{VpT\}$	ME	Erwarteter Verbrauch pro Tag
$E\{VR\}$	ME	Erwartungswert des Verbrauchs für den gesamten Referenzzeitraum
$E\{Vt\}$	ME	Erwartungswert des Verbrauchs für die Periode t

$E\{VWbz\}$	ME	Erwarteter Verbrauch in der Wiederbeschaffungszeit
$E\{VZe\}$	ME	Erwartungswert des Verbrauchs pro Zeiteinheit
$G_{i+x \rightarrow i}$	GE	Monetärer Vorteil, wenn eine Charge, anstatt zum Zeitpunkt $i + x$, zu i beschaffen wird
G	GE	Gewinn
$G_{i+x \rightarrow b}$	GE	Monetärer Vorteil, wenn eine Charge, anstatt zum Zeitpunkt $i + x$, zu b beschaffen wird
$G_{i \rightarrow b}$	GE	Monetärer Vorteil, welcher sich aus der Entscheidung, i bereits zu b zu beschaffen, ergibt
$i_{\leftarrow b}$	-	Anzahl der Perioden, für welche der höhere α Zyklus $i_{\leftarrow b}$ Gültigkeit hatte
i_{max}	-	Höhe der letzten Periodennummer des Referenzzeitraums
$Kfix_{Lager}$	GE	Fixkosten des Lagers
L	GE	Lagerhaltungskosten pro Einheit und Lagerperiode
Lb_n	ME	Lagerstand der Periode n
Ld_z	ZE	Lagerungsdauer, welche – aufgrund der vorgezogenen Beschaffung einer Charge – zusätzlich entsteht
Lhk	GE	Lagerhaltungskosten
Lhs	-	Lagerhaltungssatz
Lhs_{Rw}	-	Lagerhaltungssatz, bezogen auf die Reichweite einer Bestellmenge
Ls	-	Lagersatz
Luk	GE	Lagerungskosten
Lus	-	Lagerungssatz
Lz	ZE	Lieferzeit
m	ME	Abgangslosgröße
n	-	Anzahl der Perioden
$\emptyset Bv$	GE	Durchschnittliche variable Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraums
$\emptyset Bv$	GE	Durchschnittliche variable Kosten pro Einheit
$\emptyset Kb$	GE	Durchschnittliche Kapitalbindung
$\emptyset Lb$	ME	Durchschnittlicher Lagerstand
P	-	Wahrscheinlichkeit
Rz	ZE	Reichweite der Bestellmenge

Se	GE	<i>Gesamter Spekulationserfolg</i>
SeE	GE	<i>Spekulationserfolg pro Einheit</i>
SI	ME	<i>Sicherheitsbestand</i>
t	-	<i>Periode</i>
t^*	-	<i>Periode, bis zu welcher die Bedarfe zusammengefasst werden</i>
VpT	ME	<i>Verbrauch pro Tag</i>
Wbz	ZE	<i>Wiederbeschaffungszeit</i>
Wbz	ZE	<i>Ø Dauer der Wiederbeschaffungszeit</i>
x		<i>Ganzzahlige Variable</i>
x	-	<i>Zufallsgröße</i>
$\alpha Zykt_{t \leftarrow b}$	-	<i>Zyklische Alpha Servicegrad, gültig im Zeitraum vor Veränderung der Bestellhäufigkeit</i>
$\alpha Zykb_{b \rightarrow i}$	-	<i>Zyklische Alpha Servicegrad, gültig im Zeitraum nach Veränderung der Bestellhäufigkeit</i>
σ_{VpT}	ME	<i>Standardabweichung des erwarteten Tagesverbrauchs</i>
σ_{Wbz}	ZE	<i>Standardabweichung der Wiederbeschaffungszeit</i>
σ	-	<i>Standardabweichung der Grundgesamtheit</i>

1. Einleitung und Problemstellung

Der im Stahlwerk zu Halbzeug vergossene Stahl besitzt für den Anwender weder eine verwertbare Form noch hat er die notwendigen technologischen Eigenschaften. Aus diesem Grund wird das Halbzeug von der umformenden Industrie zusätzlichen Fertigungs- und Behandlungsschritten unterzogen, durch welche Endprodukte mit den verschiedensten physikalischen Eigenschaften, Abmessungen und Formen entstehen. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Teilaspekten der operativen-taktischen Beschaffung dieser Halbzeuge, wobei ein Fokus auf die monetäre Sichtweise gelegt wird.

1.1. Problemstellung und Bedeutung für Theorie und Praxis

Insbesondere legiertes Halbzeug kann aufgrund der Zugabe von Legierungselementen, wie z. B. Molybdän, Chrom oder Nickel, sehr kostenintensiv sein und stellt dadurch für die stahlumformende Industrie einen tendenziell großen Kostenfaktor dar. Nicht zuletzt aus diesem Grund ist der kosteneffizienten Beschaffung dieser Materialien höchste Aufmerksamkeit zu widmen. Eine Reduktion der Beschaffungskosten¹ kann im taktisch-operativen Bereich durch die Verwendung einer geeigneten Bestellpolitik² erreicht werden, welche festlegt, wann ein Materialbedarf zu decken ist und wie viel pro Bestellung geordert werden soll. Obwohl in der Literatur eine Vielzahl von Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik existiert, können diese von Disponenten für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ im Allgemeinen nicht angewendet werden. Dies kann einerseits mit den oft unzureichenden Einbeziehungsmöglichkeiten der in diesem Kontext relevanten Faktoren begründet werden, bei welchen es sich insbesondere um zeitdiskrete variable Bestellkosten sowie diskrete Bestellmengen handelt. Andererseits gibt es auch Verfahren, welche gleichzeitig mannigfaltige Faktoren und Zusammenhänge berücksichtigen können. Der daraus resultierende generische Aufbau hat jedoch eine hohe Komplexität zur Folge, welche von Disponenten weitreichende Fähigkeiten und die zur Anwendung erforderliche Zeit verlangen. Zusätzlich ergibt sich die Notwendigkeit einer IT-Unterstützung, welche

¹ Der Fokus wird bewusst auf Kosten bzw. Opportunitätskosten gelegt, da sich auch Leistungskriterien wie z. B. der Servicegrad in dieser Form manifestieren.

² Bestellpolitiken werden auch als Dispositionsregeln oder Lagerhaltungspolitik bezeichnet [vgl. dazu: Bea et al. (2006), S. 173; Kiener et al. (2006), S. 92].

i.d.R. über die einfache Anwendung eines Programms für Tabellenkalkulation hinausgeht. Denkbar wäre es, dass den Disponenten eine spezifische Software zur Verfügung gestellt wird, mit deren Hilfe das Verfahren im Hintergrund automationsunterstützt durchgeführt wird – es müssen dann nur noch die dazu notwendigen Daten eingegeben werden. Bezüglich der einzelnen Beschaffungsobjekte verfügen Disponenten jedoch oft über spezifisches, implizites Wissen, welches sie teilweise über Jahrzehnte aufgebaut haben – Wissen, welches nicht immer in ein Verfahren einbezogen werden kann. Des Weiteren ist die Programmierung und Wartung mit Kosten verbunden, welche durch ein Verfahren mit geringerer Komplexität vermeidbar wären. Grundsätzlich muss noch angemerkt werden, dass in der industriellen Praxis tendenziell einfach konzipierte Verfahren bevorzugt eingesetzt werden, da diese schneller erlernbar sind und das Zustandekommen des Ergebnisses von den Verantwortlichen leichter nachvollzogen werden kann. Durch eine höhere Akzeptanz und ein grundlegendes Verständnis des Lösungsweges wird den Disponenten die Kombination zwischen der systematisierten und vielfach wissenschaftlich fundierten Vorgehensweise eines Verfahrens mit dem implizit vorhandenen Erfahrungswissen erleichtert. Denn das Zurückgreifen auf Erfahrung und Intuition ist bei Unsicherheit und unvollständigen Informationen selbst bei rationaler Vorgehensweise notwendig.³

Bei einer Literaturrecherche⁴ konnte kein Verfahren gefunden werden, welches den Anforderungen der Beschaffungsobjektgruppe genügt. Die Folgen für die umformende Industrie sind Beschaffungskosten in einer Höhe, welche durch ein adäquates Verfahren reduziert werden könnten, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit der Umformer verbessert würde. Für die Wissenschaft bedeutet dies im Allgemeinen, dass der Fokus bis jetzt zu wenig auf die Entwicklung von Beschaffungsobjektgruppen-spezifische Verfahren, welche mehrfache, diskrete Preisänderungen sowie Bestellmengenrestriktionen und Servicegraderwartungen berücksichtigen können, gelegt wurde.

³ Vgl. Grünig et al. (2006), S. 10f.

⁴ Siehe dazu: Kapitel 4.

1.2. Ziele und Forschungsfragen

Zielsetzung der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit ist es, Disponenten aus der stahlumformenden Industrie mit tendenziell geringem Bildungsniveau sowie der Wissenschaft ein geeignetes Verfahren für die Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ zur Verfügung zu stellen. Durch das Verfahren soll den Disponenten, unter Berücksichtigung ihres implizit vorhandenen Erfahrungswissens, die Ermittlung einer geeigneten Bestellpolitik ermöglicht werden. Es wird eine möglichst geringe Verfahrenskomplexität angestrebt, da dadurch die Akzeptanz im betrieblichen Umfeld i.d.R. verbessert und somit die Wahrscheinlichkeit der Anwendung erhöht wird.

Um die Zielsetzung dieser Arbeit zu erreichen, werden folgende Schwerpunkte betrachtet und die zugeordneten Forschungsfragen beantwortet:

1. Grundlegende Zusammenhänge, welche die Kostenoptimalität einer Bestellpolitik determinieren (Kapitel 3).
 - Welche Beschaffungskosten haben Einfluss auf die kostenoptimale Bestellpolitik?
 - Welche Interdependenzen bestehen zwischen den verschiedenen Komponenten der Beschaffungskosten?
2. Literaturanalyse, Beschreibung und Evaluierung von Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik im Hinblick auf die Beschaffung von legiertem Halbzeug aus Stahl (Kapitel 4).
 - Welche Kriterien muss ein Verfahren zur Bestimmung einer Bestellpolitik erfüllen, damit dieses in der industriellen Praxis der stahlumformenden Industrie eingesetzt werden kann?
 - Wie weit sind in der Literatur beschriebene Verfahren für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe geeignet?
3. Deduktive Ableitung eines spezifischen Verfahrens für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe (Kapitel 5).
 - Wie muss ein Verfahren aufgebaut sein, das die Kriterien der Stahlumformenden Industrie zumindest besser als die bis jetzt publizierten erfüllt?

Durch die Beantwortung der Forschungsfragen leistet die vorliegende Dissertation einen wissenschaftlichen Beitrag zur – möglichst komplexitätsarmen – Bestimmung einer Bestellpolitik für Beschaffungsobjektgruppen, bei denen Bestellfixkosten keinen signifikanten Anteil an den Beschaffungskosten aufweisen, deren Bestellung nur in vorgegebenen Mengen getätigt werden kann und periodischen Preisänderungen unterworfen sind. Darüber hinaus wird ein wissenschaftlicher Beitrag zur Diskussion der verschiedenen Servicegraddefinitionen geleistet, indem eine die Disponenten in der Praxis besser unterstützende Modifikation des Alpha-Servicegrades vorgestellt und die Konvertierung zu dessen klassischer Definition aufgezeigt wird. Diese Konvertierbarkeit ist vorteilhaft, da viele Verfahren, insbesondere jene der Sicherheitsbestandsberechnung, auf den klassischen Alpha-Servicegrad zurückgreifen.

1.3. Erkenntnistheoretische Position und Vorgehensweise

Nachfolgend wird auf die erkenntnistheoretische Vorgehensweise dieser Arbeit eingegangen. Dazu werden vorab drei als grundlegend zu bezeichnende Positionen der Erkenntnistheorie skizziert und dann auf die sich daran anlehrende wissenschaftliche Vorgehensweise dieser Arbeit eingegangen.

Bei dem *Rationalismus* setzt man auf den Erkenntnisgewinn durch Deduktion, also auf einen Schluss vom Allgemeinen auf das Besondere.⁵ Mit Hilfe von vorhandenen Erkenntnissen werden durch logische Folgerungen und Vernunft neue abgeleitet, unabhängig von Beobachtungen in der Realität. Einen anderen Zugang bietet der *Empirismus*, für welche die sinnliche Wahrnehmung die wichtigste Quelle der menschlichen Erkenntnis darstellt.⁶ Durch Beobachtung von einzelnen Fällen wird auf ein zugrunde liegendes Gesetz geschlossen – diese Vorgehensweise wird Induktion genannt.⁷ Beide Ansätze gelten in ihrer reinen Form laut *Schmid* und *Kornmeier* in der Erkenntnistheorie als überwunden.⁸ Die Deduktion, da menschliche Logik und Vernunft fehlbar sind und damit rationalistische Begründungen nicht unumstößlich sein können, und die Induktion, weil aus ihr keine generalisierbaren Aussagen oder Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden können.

⁵ Vgl. Kornmeier (2007), S. 35.

⁶ Vgl. Chalmers (2001), S. 35ff.

⁷ Vgl. Kornmeier (2007), S. 36f.

⁸ Vgl. Schmid (1996), S. 83; Kornmeier (2007), S. 38.

Wenn bis jetzt nur weiße Schwäne gesichtet wurden, kann daraus nicht die Aussage, „alle Schwäne sind weiß“, abgeleitet werden – so die bildhafte Begründung von Popper.⁹ Somit kann eine Aussage weder mit Deduktion noch mit Induktion mit Sicherheit bestätigt, also verifiziert werden. Aufgrund der Unmöglichkeit, allgemein gültige Aussagen einer Verifikation zu unterziehen, schlägt Popper eine andere Vorgehensweise, den *kritischen Rationalismus*, vor.¹⁰ Hier tritt an Stelle der Verifikation das Prinzip der Falsifizierung, weswegen Aussagen sich zwar bewähren, nicht jedoch abschließend bestätigen lassen.¹¹ Mit Hilfe der Induktion wird versucht, eine deduktiv abgeleitete Aussage an der Realität scheitern zu lassen – gelingt der Versuch nicht, so gilt diese vorübergehend als bewährt.

⁹ Vgl. dazu: Popper (1994).

¹⁰ Vgl. dazu: Popper (1994).

¹¹ Vgl. Kornmeier (2007), S. 41.

In Anlehnung an die drei erkenntnistheoretischen Positionen wird in dieser Arbeit wie folgt vorgegangen:

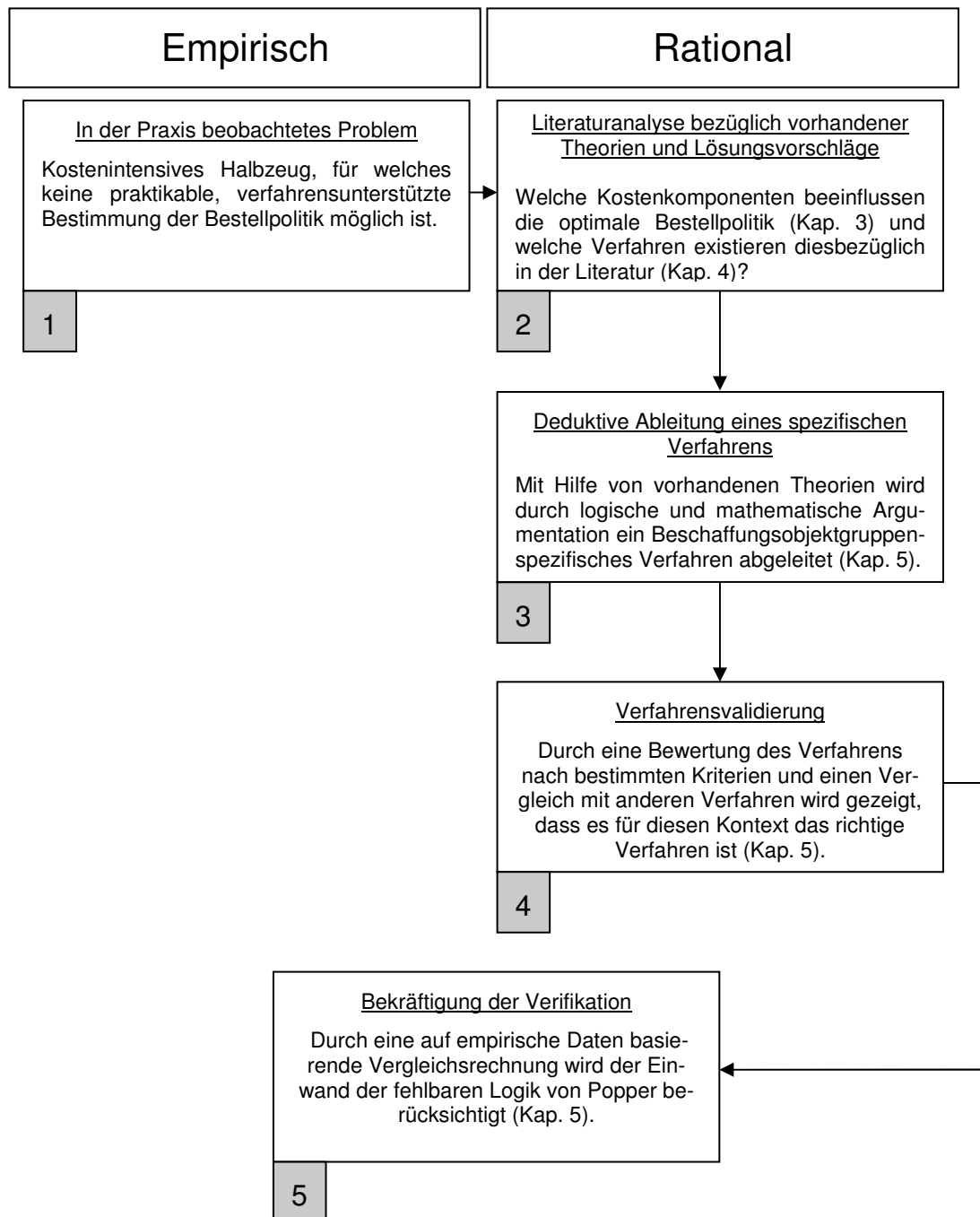


Abbildung 1: Erkenntnistheoretische Vorgehensweise dieser Arbeit
(Quelle: Eigene Darstellung)

1. Das Problem der fehlenden Möglichkeit, eine kostenoptimale Bestellpolitik für legiertes Halbzeug aus Stahl verfahrensunterstützt festzulegen, wurde in der Praxis der stahlumformenden Unternehmen und somit empirisch beobachtet.

2. Ausgehend von dieser Problemstellung erfolgt eine Literaturanalyse bezüglich vorhandener Theorien und Lösungsvorschläge.
3. Auf Basis der vorhandenen Theorien wird durch Deduktion ein für die Beschaffungsobjektgruppe geeignetes Verfahren abgeleitet.
4. Im Anschluss wird das entwickelte Verfahren auf die Eignung für den Einsatz bei „legiertem Halbzeug aus Stahl“ untersucht und mit vorhandenen Verfahren verglichen. Dieser als Validierung bezeichnete Schritt stellt sicher, dass es in diesem Kontext das richtige Verfahren ist.¹²
5. Auch wenn das Verfahren im Sinne der Deduktion bereits durch logische und mathematische Argumentation verifiziert wurde, wird der Einwand von Popper – menschliche Logik kann fehlerhaft sein – berücksichtigt. Deswegen erfolgt abschließend eine auf empirischen Daten basierende Bekräftigung der rational durchgeführten Verifikation.

1.4. Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit umfasst die folgenden Teilbereiche:

Kapitel 2: Hier werden die Grundlagen für den weiteren Verlauf der Arbeit gelegt, wozu vorab der Begriff „Beschaffung“ definiert und deren Ziele dargelegt werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Eingrenzung der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“. Diese wird durch eine Begriffsdefinition, welche sich an die DIN-Norm anlehnt, sowie durch eine Skizzierung des Herstellungsprozesses durchgeführt. Der Legierungszuschlag stellt bei der Beschaffung von legiertem Halbzeug einen erheblich Kostenfaktor dar und hat somit einen signifikanten Einfluss auf die kostenoptimale Bestellpolitik. Deswegen, und da dieser bis jetzt in der Literatur nur wenig Beachtung gefunden hat, wird dieser abschließend beschrieben und auf das dahinter liegende Berechnungsschema eingegangen.

Kapitel 3: In diesem Kapitel werden die Einflüsse auf die Festlegung einer kostenminimalen Bestellpolitik im Allgemeinen beschrieben. Dazu werden vorab grundlegende Politiken aufgezeigt, ohne dabei auf deren Parametrisierung einzugehen. Sodann werden die Kostenkomponenten beschrieben, welche von einer

¹² Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 33.

Bestellpolitik beeinflusst werden können, und auf die Verwendung einer Servicegraddefinition eingegangen. Abschließend werden vorhandene Interdependenzen aufgezeigt, welche es bei der Festlegung einer Bestellpolitik zu beachten gilt.

Kapitel 4: Auf Basis der mehrjährigen Erfahrung des Autors in der stahlumformenden Industrie und der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Zusammenhänge werden Kriterien festgelegt, nach welchen Verfahren bezüglich der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe evaluiert werden kann. Anschließend erfolgt eine Auflistung aller seit 1913 für diesen Kontext relevanten Publikationen sowie eine Beschreibung und Evaluation von grundlegenden und die anderen maßgeblich beeinflussenden Verfahren.

Kapitel 5: Im letzten Teil wird ein spezielles Verfahren inklusive einer Adaption und Erweiterung für legiertes Halbzeug aus Stahl mittels Deduktion aus den allgemeinen Zusammenhängen des dritten Kapitels abgeleitet und entsprechend den zuvor festgelegten Kriterien evaluiert. Anschließend wird geprüft, ob es für die Beschaffungsobjektgruppe ein besseres Verfahren als die bis jetzt in der Literatur vorhandenen ist. Eine abschließende, auf empirischen Daten basierende Vergleichsrechnung soll die durch Deduktion erfolgte Verifikation zusätzlich bekräftigen, wodurch die bereits erörterten Einwände des kritischen Rationalismus berücksichtigt werden. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer Sensibilitätsanalyse, welche aufzeigt, wie das Ergebnis des Verfahrens auf fehlerhafte Inputgrößen reagiert.

2. Grundlagen der Beschaffung von legiertem Halbzeug aus Stahl

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für den weiteren Verlauf der Arbeit gelegt. Beginnend mit der Definition und den Zielen der Beschaffung erfolgt im Anschluss eine Abgrenzung der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“. Dazu wird mit Hilfe der DIN-Norm eine Definition gebildet und anschließend der Herstellungsprozess skizziert. Abschließend erfolgt eine Erörterung des Legierungszuschlags, welcher einen erheblichen Kostenfaktor darstellt und bis jetzt in der Literatur nur wenig Beachtung gefunden hat.

2.1. Definition und Zielsetzung der Beschaffung

In der Literatur sowie in der Unternehmenspraxis finden sich mannigfaltige Auffassungen zum Begriff Beschaffung.¹³ Vielfach erfolgt eine synonyme Begriffsverwendung von Beschaffung, Einkauf, Logistik und Materialwirtschaft,¹⁴ welche zu entsprechenden Schwierigkeiten bei der Verständigung geführt hat.¹⁵ Aus diesem Grund ist es notwendig, den Beschaffungsbegriff nachfolgend einer Definition zu unterziehen.

Nach *Arnold* versteht man unter der Beschaffung im weitesten Sinn „sämtliche unternehmens- und/oder marktbezogenen Tätigkeiten, die darauf gerichtet sind, einem Unternehmen die benötigten, aber nicht selbst hergestellten Objekte verfügbar zu machen“.¹⁶ Der generische Begriff Objekt verdeutlicht, dass zur definitiven Präzisierung auf das Beschaffungsobjekt eingegangen werden muss.¹⁷ Innerhalb des betrieblichen Leistungserstellungsprozesses können laut *Wirtz* Material, Anlagen, Energie, Rechte, Dienstleistungen, Arbeitskräfte, Informationen und Kapital als Beschaffungsobjekt identifiziert werden.¹⁸ Aufgrund der Inhomogenität der Objekte und der daraus resultierenden Anforderungen wird die Bereitstellung einiger dieser Produktionsfaktoren gewöhnlich anderen Unternehmensbereichen als der Beschaffung zugeordnet.¹⁹ So werden z. B. vielfach die Arbeitskräfte vom

¹³ Vgl. Wirtz (2001), S. 300.

¹⁴ Vgl. Roland (1993), S. 3.

¹⁵ Vgl. Wirtz (2001), S. 300.

¹⁶ Arnold (1995), S. 3.

¹⁷ Vgl. Arnold (1995), S. 3.

¹⁸ Vgl. Wirtz (2001), S. 300.

¹⁹ Vgl. Treis (1986), S. 133.

Personalwesen, das Kapital vom Finanzbereich und strategisch wichtige Objekte von der Unternehmensleitung beschaffen.

Aus diesem Grund wird der Beschaffungsbegriff im Kontext dieser Arbeit auf Objekte mit Charaktereigenschaften begrenzt, welche eine eigenständige organisatorische Einheit rechtfertigen. Laut *Schulte* sind dies Betriebsmittel, Rohstoffe, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Zuliefer- und Bauteile, Dienstleistungen und Handelswaren.²⁰ Unter Beschaffung im engeren Sinn sind dementsprechend sämtliche unternehmens- und/oder marktbezogenen Tätigkeiten zu verstehen, die darauf gerichtet sind, einem Unternehmen die benötigten, aber nicht selbst hergestellten Betriebsmittel, Rohstoffe, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Zuliefer- und Bauteile, Dienstleistungen und Handelswaren verfügbar zu machen. Wird von einer Beschaffungsobjektgruppe gesprochen, so sind darunter mindestens zwei Beschaffungsobjekte zu verstehen, welche in einer bestimmten Hinsicht homogene Eigenschaften aufweisen.

Nach erfolgter Definition des Beschaffungsbegriffes wird nachfolgend auf die Ziele eines Unternehmens im Allgemeinen und jene der Beschaffung im Speziellen eingegangen. Die Unternehmensziele lassen sich u. a. in Formalziele und Sachziele unterteilen. Formalziele sind Ziele, in denen der Erfolg des unternehmerischen Handelns ausgedrückt wird, sie könnten z. B. Gewinn- oder Umsatzmaximierung lauten.²¹ Im Gegensatz dazu ist ein Sachziel ein Ziel, welches sich auf das konkrete Handeln bei der Leistungserstellung bezieht, es könnte z. B. die Fertigung bestimmter Mengen sein. Vor diesem Hintergrund sieht *Wirtz* das oberste Sachziel der Beschaffung in der Sicherstellung der Versorgung.²² Als Formalziele nennt *Roland* die folgenden Ziele:²³

- Kostenreduktion
- Qualitäts- und Leistungsverbesserung
- Autonomieerhalt

²⁰ Vgl. *Schulte* (2001), S. 7.

²¹ Vgl. *Treis* (1986), S. 133.

²² Vgl. *Wirtz* (2001), S. 301.

²³ Vgl. *Roland* (1993), S. 7.

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung der Beschaffungsziele besteht in einer Bezugnahme auf den zeitlichen Horizont. In diesem Fall kann von strategischen und taktisch-operativen Beschaffungszielen gesprochen werden.²⁴ Die strategischen Ziele sind langfristig orientiert und können z. B. die Sicherung der Beschaffungsmarktposition, die Versorgungssicherheit oder die Wahrung der Flexibilität darstellen.²⁵ Daraus kann eine Ableitung der operativen Ziele erfolgen, wobei *Wirtz* für diese die Erreichung des materialwirtschaftlichen Optimums angibt.²⁶ Dieses stellt für *Grochla* die ideale Ausgestaltung verschiedener, interdependenter Teilprobleme unter Berücksichtigung der betrieblichen Ressourcenausstattung dar.²⁷ Die nachfolgende Tabelle zeigt zusammenfassend die strategischen und taktisch-operativen Beschaffungsziele nach *Piontek*:

Beschaffungsziele	
Strategische Beschaffungsziele	Taktisch-operative Beschaffungsziele
<p><i>I. Sicherstellung der Materialversorgung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>a. Wahrung der Flexibilität</i> <i>b. Risikostreuung</i> <i>c. Steigerung der vertikalen Integration</i> <i>d. Wahrung der Unabhängigkeit</i> <i>e. Sicherung der langfristigen Wachstumsrate</i> <i>f. Beschaffungsseitige Diversifikation</i> <p><i>II. Sicherstellung der Qualität</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>a. Sicherung der Qualitätsstandards des Materials</i> <i>b. Sicherung des Technologiestandards des Materials</i> <p><i>III. Sicherung der Beschaffungsmarktposition</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>a. Sicherung der Nachfragemacht</i> <i>b. Wahrung des Ansehens der Unternehmung</i> <p><i>IV. Sicherung der Preisstabilität</i></p> <p><i>V. Sicherung der Personalqualität</i></p>	<p><i>I. Optimierung der Beschaffungskosten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>a. Optimierung der Einkaufspreise</i> <i>b. Optimierung der Bezugs-, Bereitstellungs- und Beschaffungsverwaltungskosten</i> <p><i>II. Sicherung der Materialqualität</i></p> <p><i>III. Sicherung der Liquidität</i></p> <p><i>IV. Sicherung der Lieferbereitschaft</i></p>

Tabelle 1: Ziele der Beschaffung

(Quelle: *Piontek (2004), S. 32.*)²⁴ Vgl. *Friedl (1990), S. 103* und *Piontek (2004), S. 31.*²⁵ Vgl. *Wirtz (2001), S. 302.*²⁶ Vgl. *Wirtz (2001), S. 302.*²⁷ Vgl. *Grochla (1978), S. 23.*

Die taktisch-operative Zielsetzung nach *Wirtz*, die Erreichung des materialwirtschaftlichen Optimums, wird von *Piontek* in mehrere Teilziele, wie z. B. Optimierung der Beschaffungskosten oder Liquiditätssicherung, untergliedert.

2.2. Abgrenzung der Beschaffungsobjektgruppe

Um ein einheitliches Verständnis der Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ sicherzustellen, erfolgt in Kapitel 2.2.1 eine Begriffsdefinition, durch welche eine Fokussierung der weiteren Ausführungen ermöglicht wird. Um zusätzlich das Verständnis für die Beschaffungsobjektgruppe zu vertiefen, wird in Kapitel 2.2.2 eine Skizzierung des Herstellungsprozesses vorgenommen.

2.2.1. Definition der Beschaffungsobjektgruppe

Da diese Arbeit auf interdisziplinäres Wissen zurückgreift und dieses erweitert, werden nachfolgend die jeweiligen Begriffe unter Zuhilfenahme der DIN EN-Normen²⁸ definiert, welche u. a. die Aufgabe haben, die Verständigung zwischen den einzelnen Fachbereichen zu erleichtern.²⁹

Die DIN EN 10079:1993 enthält Begriffsbestimmungen für verschiedene Stahlerzeugnisse und definiert Halbzeuge als *„Erzeugnisse, die durch Stranggießen, Druckgießen, durch Walzen oder Schmieden oder Längsteilen zu Blöcken oder Brammen entstanden sind. Sie sind im Allgemeinen für die Umformung zu Flach- oder Langerzeugnissen bestimmt“*.³⁰ Halbzeuge werden entsprechend ihrer Querschnittsformen, Querschnittsmaße und Verwendung unterschieden. Von den Umformern wird die Form oft so gewählt, dass sie dem herzustellenden Produkt möglichst ähnlich ist, wodurch es zu einer Reduktion der Herstellungskosten kommen kann.

²⁸ DIN: Deutsches Institut für Normung; der Zusatz EN besagt, dass diese Norm ohne Veränderungen aus einer Europäischen Norm übernommen worden ist.

²⁹ Vgl. Goethe (2008), S. 14.

³⁰ Goethe (2008), S. 108.

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt, in welchen verschiedenen Formen Halbzeug – laut DIN EN 10079:1993 – vorliegen kann:³¹

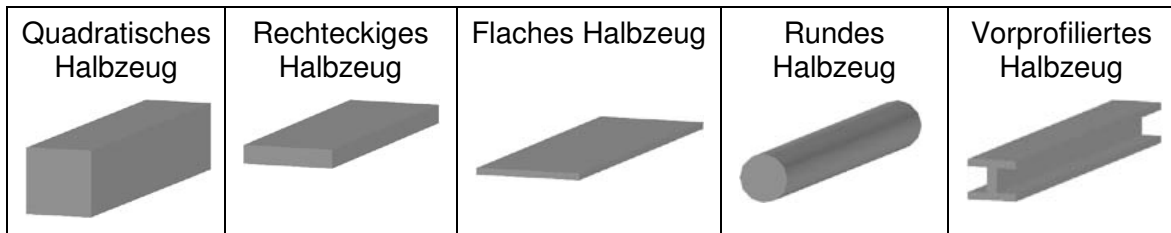


Abbildung 2: Verschiedene Formen von Halbzeug nach DIN EN 10079:1993
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Degner et al. (2007), S. 99)

Die DIN EN 10020:2000 enthält Begriffsbestimmungen für die Einteilung von Stählen und definiert Stahl als einen „Werkstoff, dessen Masseanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes und dessen Kohlenstoffgehalt C im Allgemeinen kleiner als 2% ist und der andere Elemente enthält“.³²

Stähle werden entsprechend dieser Norm in drei Hauptkategorien unterteilt, welche sich in weitere Unterkategorien aufgliedern und in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt werden:

Stähle			
Hauptkategorie	Beschreibung	Unterkategorie	Beschreibung
Andere legierte Stähle	Alle, die nicht der Definition für nichtrostende Stähle entsprechen und den Grenzgehalt für einzelne Elemente übersteigen.	Legierte Qualitätsstähle	Stahlsorten, für die Anforderungen bestehen, wie z. B. Zähigkeit oder Korngröße.
		Legierte Edelstähle	Stähle, außer nichtrostende, welchen durch ihre chemische Zusammensetzung und besondere Herstellungs- und Prüfungsbedingungen verbesserte Eigenschaften verliehen werden.
Nichtrostende Stähle	Stähle mit einem Masseanteil Cr von mindestens 10,3% und höchstens 1,2% Kohlenstoff.	Unterteilung nach dem Chromgehalt oder nach den Haupteigenschaften in korrosionsbeständig, hitzebeständig und warmfest.	

³¹ Die genauen Maße und Verwendungszwecke können u. a. der Stahlfibel [siehe dazu: Degner et al. (2007), S. 97f] entnommen werden.

³² Goethe (2008), S. 107.

Unlegierte Stähle	Als unlegiert gilt ein Stahl, wenn eine bestimmte Menge an einzelnen Elementen nicht überschritten wird.	Unlegierte Qualitätsstähle	Stahlsorten, für die festgelegte Anforderungen, wie z. B. Zähigkeit, bestehen.
		Unlegierte Edelstähle	Stähle mit höherem Reinheitsgrad bezüglich nichtmetallischer Einschlüsse. Gleichmäßiges Ansprechen auf eine Wärmebehandlung.

Tabelle 2: Einteilung der Stähle nach DIN 10020:2000
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Goethe (2008), S. 107)

Da sich diese Arbeit mit der Beschaffung von legiertem Halbzeug beschäftigt, wird die Hauptkategorie der unlegierten Stähle nicht näher betrachtet. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, spricht man von legiertem Stahl, wenn dieser eine Mindestmenge an einzelnen Legierungselementen enthält – die genaue Menge kann der DIN-10020-Norm entnommen werden.³³ Liegt der Masseanteil von mindestens einem Legierungselement über 5%, dann wird von einem hochlegierten Stahl gesprochen.³⁴ Aufgrund dieser Definition gehören auch nichtrostende Stähle wegen ihres hohen Chromgehaltes zu den hochlegierten. Die anderen legierten Stähle werden in zwei Unterkategorien, Qualitätsstähle und Edelstähle, gegliedert. Letztere haben u. a. einen höheren Reinheitsgrad bezüglich nichtmetallischer Einschlüsse und erfordern deswegen bessere Herstellungs- und Prüfbedingungen.

Nachdem die einzelnen Begriffe – entsprechend den DIN-Normen – definiert wurden, kann geklärt werden, was unter legiertem Halbzeug aus Stahl im vorhandenen Kontext zu verstehen ist:

Legierte Halbzeuge aus Stahl sind Erzeugnisse, die durch Stranggießen, Druckgießen, durch Walzen oder Schmieden oder Längsteilen – zu Blöcken oder Brammen – entstehen und im Allgemeinen für die Umformung zu Flach- oder Langerzeugnissen bestimmt sind. Die Erzeugnisse bestehen aus einem Werkstoff, dessen Masseanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes. Des Weiteren ist dessen Kohlenstoffgehalt C im Allgemeinen kleiner als 2%. Dieser Werkstoff enthält Legierungselemente, welche wenigstens einzeln einen in der DIN EN 10020 festgelegten Masseanteil überschreiten.

³³ Vgl. Goethe (2008), S. 108.

³⁴ Vgl. Goethe (2008), S. 107.

2.2.2. Überblick über die Herstellung der Beschaffungsobjektgruppe

Um das Verständnis für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe zusätzlich zu erhöhen und dadurch eine fundierte Basis für die weitere Vorgehensweise zu schaffen, wird ein kurzer Überblick über dessen Herstellungsprozess gegeben. Dazu wird mit Hilfe der vom Stahlinstitut VDEh³⁵ veröffentlichten Abbildung 3 gezeigt, über welche Verfahrenswege Halbzeug hergestellt werden kann und welche Produktionsstufen dabei durchlaufen werden. Ersichtlich ist auch der Materialfluss zwischen den einzelnen Stufen sowie dessen Aggregatzustand. Die Betrachtung der Wertschöpfungskette beginnt bei den fertigen Einsatzstoffen, wie z. B. Erz, Stahlschrott, Koks oder Öl, und endet bei den Urformern, welche die letzte Produktionsstufe darstellen und die Umformer mit Halbzeug versorgen.

³⁵ Das Stahlinstitut VDEh ist ein Verein, welcher die Förderung der technischen, technisch-wissenschaftlichen und wissenschaftlichen Zusammenarbeit von Ingenieuren bei der Weiterentwicklung der Stahltechnologie und des Werkstoffs Stahl zum Ziel hat.

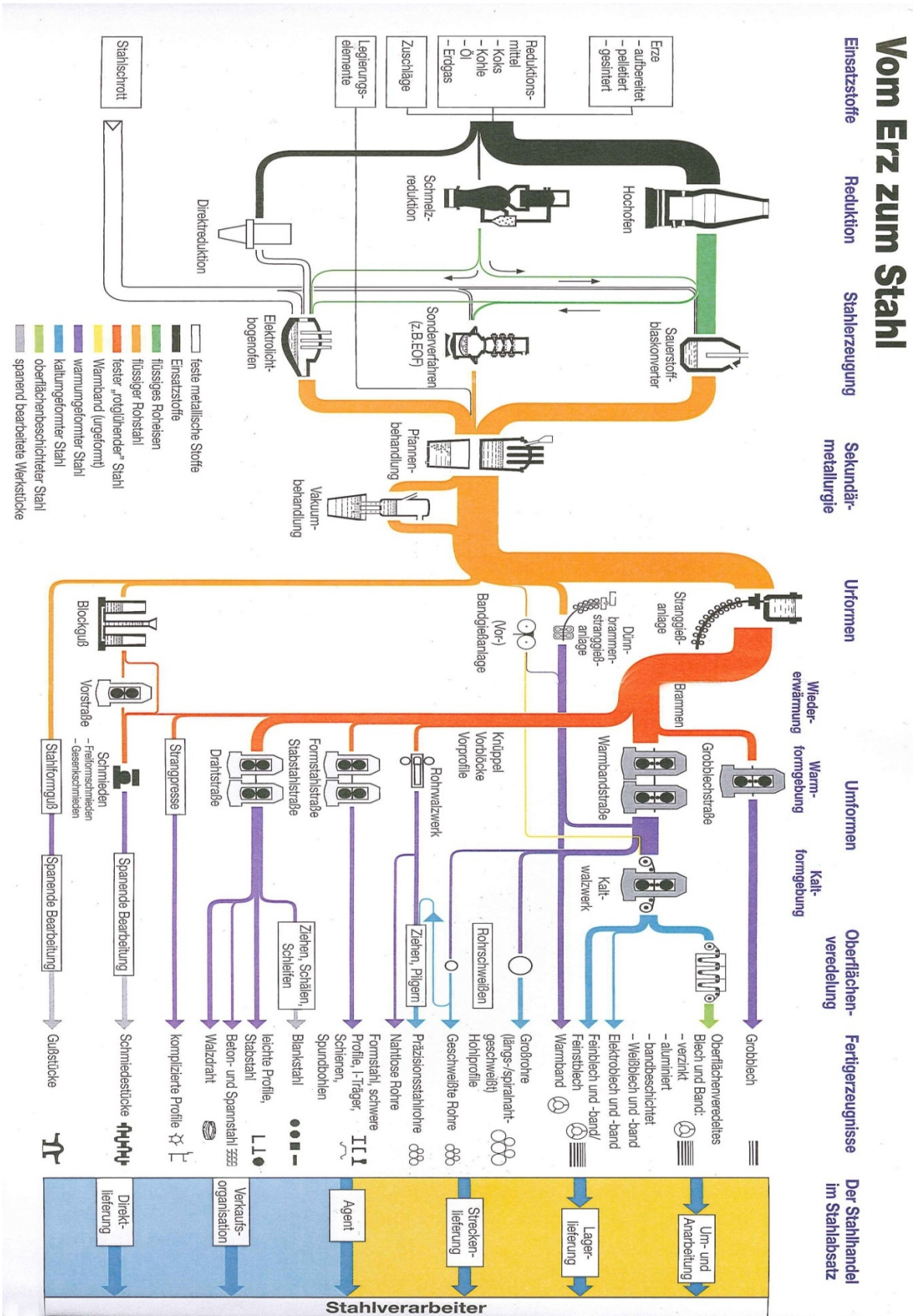


Abbildung 3: Vom Erz zum Stahl
(Quelle: Degner et al. (2007), S. 185)

Werden die in Abbildung 3 grafisch dargestellten Fertigungsverfahren sowie deren Zugehörigkeit zu den einzelnen Produktionsstufen in tabellarischer Form zusammengefasst, ergibt sich nachfolgende Tabelle:

Produktionsstufen			
Reduktion	Stahlerzeugung	Sekundärmetallurgie	Urformen
Fertigungsverfahren			
Hochofen	Sauerstoffblas- konverter	Pfannenbehandlung	Strangguss
			Dünnbrammen- strangguss
			(Vor-) Bandgießan- lage
Schmelz- reduktion	Sonderverfahren	Vakuumbehandlung	Blockguss
Direkt- reduktion	Elektrolichtbogenofen		Stahlformguss

Tabelle 3: Notwendige Produktionsstufen und zuordenbare Fertigungsverfahren
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Degner et al. (2007), S. 185)

Es wird ersichtlich, dass Halbzeug auf verschiedene Arten hergestellt werden kann, jedoch sind nicht alle aufgelisteten Verfahrenswege von derselben praktischen Bedeutung. Von der Reduktion bis zum fertigen Stahl, im flüssigen Aggregatzustand, können aus quantitativer Sicht nur zwei Verfahrenswege als wesentlich angesehen werden.³⁶ Der erste Weg beginnt mit der Reduktion von Erz im Hochofen zu Eisen, welches definitionsgemäß einen Kohlenstoffgehalt von über 2% aufweist.³⁷ Damit daraus Stahl entsteht, muss der Kohlenstoffanteil entsprechend gesenkt werden, was durch den Einsatz eines Sauerstoffblaskonverters er-

³⁶ Vgl. Grote et al. (2007), S. 32; die Bedeutung der einzelnen Verfahrenswege lässt sich auch aus der Materialflussintensität in Abbildung 3, welche aus dem vertikalen Abstand der Verbindungen zwischen den einzelnen Produktionsstufen hervorgeht, ableiten.

³⁷ Vgl. Gobrecht (2006), S. 105f.

reicht wird.³⁸ Der auch als Frischen bezeichnete Prozess vollzieht sich diskontinuierlich, es handelt sich dabei um einen Chargenprozess, wobei eine Charge³⁹ aus Sicht des Stahlwerkes die theoretisch minimale Produktionslosgröße⁴⁰ darstellt.⁴¹ Der zweite Verfahrensweg ist das direkte Einschmelzen von Eisenschwamm, kommend aus der Direktreduktion,⁴² und Stahlschrott in einem Elektrolichtbogenofen. Auch hierbei handelt es sich um einen Chargenprozess.⁴³ Der flüssige Stahl wird, bevor er in einen festen Aggregatzustand gebracht wird, oft noch einer sekundärmetallurgischen Behandlung unterzogen, durch welche eine qualitative Verbesserung herbeigeführt werden kann.⁴⁴ Durch die Behandlung in der Sekundärmetallurgie können, annähernd unabhängig vom vorangegangenen Schmelzprozess, die verschiedensten und höchsten Qualitätsanforderungen erfüllt werden.⁴⁵ Mit Hilfe der Pfannenbehandlung⁴⁶ kann beispielsweise eine Feineinstellung der chemischen Zusammensetzung vorgenommen werden.⁴⁷ Zusätzlich werden einige Stähle einer Vakuumbehandlung unterzogen, bei welcher eine Verringerung des Gehaltes an Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff erreicht wird.⁴⁸ Durch diese Maßnahme ist es möglich, eine weitere Qualitätssteigerung zu erzielen.

³⁸ Vgl. Gobrecht (2006), S. 109.

³⁹ Eine Charge ist eine durch das Fassungsvermögen eines Produktionsgefäßes begrenzte Werkstoffmenge, welche als Ganzes dem Arbeitssystem zugeführt wird und dieses als Ganzes wieder verlässt [vgl. Günther et al. (2005), S. 20].

⁴⁰ In diesem Kontext sei unter einem Los die Teilmenge eines über mehrere Perioden bekannten Gesamtbedarfs zu verstehen [vgl. Schneider et al. (2005), S. 47].

⁴¹ Vgl. Rehkopf (2006), S. 21.

⁴² Vgl. Hasse (2000), S. 242.

⁴³ Vgl. Ruge et al. (2007), S. 206.

⁴⁴ Vgl. Ruge et al. (2007), S. 207.

⁴⁵ Vgl. Cho (1992), S. 111.

⁴⁶ Darunter werden alle Maßnahmen subsummiert, welche in stehenden oder transportablen Pfannen ohne Vakuum und außerhalb des eigentlichen Roheisen- und Stahlerstellungsprozesses ablaufen [vgl. Ruge et al. (2007), S. 207].

⁴⁷ Vgl. Flackser et al. (2004), S. 39.

⁴⁸ Vgl. Ruge et al. (2007), S. 207.

Um den flüssigen Stahl in einen festen Aggregatzustand zu bringen, wird dieser urgeformt, wobei Stranggießen mit einem Anteil von ca. 90% das weltweit führende Urformverfahren ist.⁴⁹ Bis 1980 war Blockguss das meist verwendete Fertigungsverfahren, dieses hat aber stark an quantitativer Bedeutung verloren und wird nur noch eingesetzt, wenn Halbzeug mit großer Masse benötigt wird. Eine weitere Möglichkeit, um Stahl in einen festen Aggregatzustand zu bringen, ist der Stahlguss. Dieser ist definitionsgemäß ein in Formen vergossener Stahl, welcher keinen weiteren Umformungsschritten unterzogen wird.⁵⁰ Somit ist dieser nicht zum Einsatz in der umformenden Industrie bestimmt und damit nicht als Halbzeug zu bezeichnen. Fertigungsverfahren wie die Schmelzreduktion, Sonderverfahren der Stahlerzeugung oder (Vor-)Bandgießen weisen eine geringe Verbreitung auf.⁵¹ Nachfolgend wird zusammenfassend gezeigt, welche Verfahrenswege für die Herstellung von Halbzeug von praktischer Bedeutung sind:

Reduktion	Stahlerzeugung	Sekundärmetallurgie	Urformen
Hochofen	Sauerstoffblasverfahren	Pfannen- und/oder	Strangguss
Direktreduktion	Elektrolichtbogenofen	Vakuumbehandlung	Blockguss

Tabelle 4: Relevante Verfahrenswege aus quantitativer Sicht
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Pfeile in Tabelle 4 kennzeichnen die Kombinationsmöglichkeiten der am meisten verbreiteten Fertigungsverfahren und stellen damit die aus quantitativer Sicht relevanten Verfahrenswege zusammenfassend dar, welche bis zum fertigen Halbzeug durchlaufen werden können.

Die beschriebenen Produktionsstufen werden häufig an einem Standort zusammengefasst, wobei es sich dann um ein integriertes Hüttenwerk handelt.⁵² In diesem Fall findet die Geschäftsbeziehung zwischen diesem und dem umformenden Unternehmen statt.

⁴⁹ Vgl. Degner et al. (2007), S. 78.

⁵⁰ Vgl. Degner et al. (2007), S. 90.

⁵¹ Dies lässt sich aus der geringen Materialflussintensität in Abbildung 3 ableiten.

⁵² Vgl. Werani et al. (2006), S. 43.

Die nachfolgende Abbildung stellt diese mit Hilfe des Geld- und Materialflusses grafisch dar:

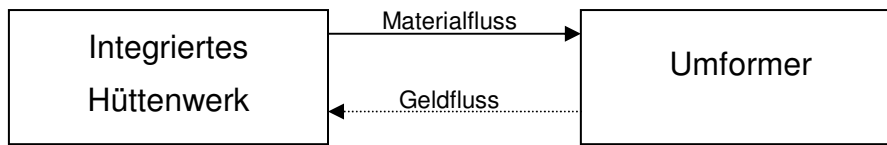


Abbildung 4: Geschäftsbeziehung zwischen integriertem Hüttenwerk und Umformer
(Quelle: Eigene Darstellung)

Abhängig vom Integrationsgrad kann das integrierte Hüttenwerk auch die Umformungsschritte selber durchführen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass verschiedene Produktionsstufe in wirtschaftlich autarken Unternehmen stattfinden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Beschaffung von Halbzeug für umformende Unternehmen, welche wirtschaftliche Autarkie gegenüber dem Halbzeuglieferanten⁵³ aufweisen. Wenn gemeinsame wirtschaftliche Interessen vorliegen, z. B. weil die Unternehmen demselben Konzern angehören, sind die nachfolgenden Ausführungen nicht zielführend, da diese ausschließlich das umformende Unternehmen betrachten. Sollte die Perspektive auf den gemeinsamen wirtschaftlichen Erfolg beider Unternehmen gelegt werden, wird auf die Methoden des Supply Chain Management verwiesen.⁵⁴

2.3. Der Legierungszuschlag

Durch den Legierungszuschlag wird die Kostenvolatilität bestimmter Legierungselemente berücksichtigt und das damit verbundene Risiko von den Stahlerzeugern auf die nachgelagerte Wirtschaftsstufe, die Umformer, übertragen.⁵⁵ Er wird dem Basispreis – auch als Grundpreis bezeichnet – aufgeschlagen und bildet mit diesem den Einkaufspreis⁵⁶ von legiertem Halbzeug.⁵⁷

⁵³ Nachfolgend wird nicht zwischen Stahlerzeuger und Halbzeuglieferant unterschieden, da davon ausgegangen wird, dass der Stahlerzeuger gleichzeitig das Halbzeug fertigt.

⁵⁴ Siehe dazu z. B.: Melzer-Ridinger (2007).

⁵⁵ Vgl. Piebalgs (2006), S. 11.

⁵⁶ Unter dem Einkaufspreis wird ausschließlich der direkt für das Halbzeug zu zahlende Preis verstanden.

⁵⁷ Vgl. WKW (2008), S. 23.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Zusammensetzung des Einkaufspreises für legiertes Halbzeug aus Stahl grafisch dar:

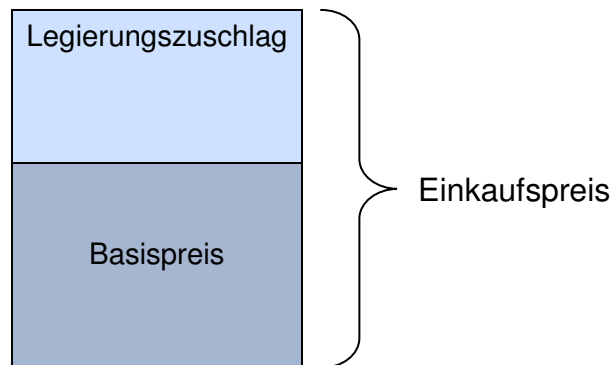


Abbildung 5: Einkaufspreis von legiertem Halbzeug aus Stahl
(Quelle: In Anlehnung an WKW (2008), S. 23)

Der Basispreis bildet den konstanten Bestandteil des Einkaufspreises, welcher von den Umformern mit den Stahlerzeugern verhandelt und oft in einem Rahmenvertrag fixiert wird. Er orientiert sich u. a. an der geometrischen Form, den Abmessungen und der vereinbarten Abnahmemenge und kann durch Verhandlungsgeschick und Einkaufsmacht⁵⁸ positiv beeinflusst werden. Beim Legierungszuschlag handelt es sich um einen variablen Preis, der u. a. von den Marktgegebenheiten⁵⁹ sowie dem vom jeweiligen Stahlerzeuger verwendeten Kalkulationsschema abhängig ist.⁶⁰ Der Legierungszuschlag wird mit dem Datum der Fakturierung dem Basispreis zugeschlagen und ist innerhalb eines Monats konstant.⁶¹ Vielfach übernehmen Stahlerzeuger den Legierungszuschlag direkt von dem Marktführer, weswegen nachfolgend zu dessen Erläuterung der größte deutsche Stahlerzeuger, ThyssenKrupp Nirosta,⁶² herangezogen wird. Dieser hat betreffend den Legierungszuschlag folgende Informationen veröffentlicht:

„In den Legierungszuschlag fließen die Kosten für die metallischen Einsatzstoffe ein, soweit diese eine untere Preisgrenze überschreiten. Der Legierungszuschlag wird zum Basispreis hinzugerechnet ... Bismalng bezog sich der veröffentlichte Legierungszuschlag auf die Mittelwerte der zwei und drei Monate zurückliegende

⁵⁸ Zu diversen Aspekten der Einkaufsmacht siehe z. B. Broda (2005), S. 64f.

⁵⁹ Unter Markt ist in diesem Zusammenhang das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage zu verstehen.

⁶⁰ Vgl. Piebalgs (2006), S. 11.

⁶¹ Vgl. ThyssenKruppNirosta (2009).

⁶² Vgl. Faber et al. (2007), S. 126.

*Rohstoffpreise. Von jetzt an werden die Preisentwicklungen der letzten 30 Tage bis zum 20. Kalendertag des Vormonats berücksichtigt“.*⁶³

Aus dieser Beschreibung gehen folgende drei Faktoren, welche für die Ermittlung des Legierungszuschlags relevant sind, explizit hervor:

1. Kosten der metallischen Einsatzstoffe
2. Preisuntergrenze (auch Stopp-Preis genannt)
3. Bezugszeitraum

Die *Kosten der metallischen Einsatzstoffe* werden durch den Wert und die Masse der verwendeten Elemente determiniert. Wobei sich Letztere direkt aus der chemischen Zusammensetzung sowie der Gesamtmasse des geordneten Halbzeugs ergibt. Die Art und der prozentuelle Anteil der Elemente, und somit die chemische Zusammensetzung, gehen u. a. aus der Stahlbezeichnung hervor, welche in Europa einheitlich nach EN 10027 geregelt ist.⁶⁴ Diese Norm unterscheidet bei legierten Stählen zwischen legiert, hochlegiert und Schnellarbeitsstählen.⁶⁵

Die Kennzeichnung der legierten Stähle beginnt mit einer Zahl, welche den hundertfachen Kohlenstoffgehalt wiedergibt, gefolgt von den enthaltenen Legierungselementen. Abschließend werden Werte angeführt, welche mit Hilfe von Multiplikationsfaktoren in den prozentuellen Anteil der enthaltenen Elemente überführt werden können. Diese können der nachfolgenden Tabelle 5 entnommen werden:

Legierungselemente	Faktor
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Pb, Ta,	10
C, N, P, S	100
B	1000

Tabelle 5: Multiplikationsfaktoren

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Dobler et al. (2003), S. 251)

⁶³ Walner (2007).

⁶⁴ Vgl. Dobler et al. (2003), S. 250.

⁶⁵ Vgl. Dobler et al. (2003), S. 251.

Zum Beispiel würde ein Stahl mit der Bezeichnung „16MnCu5-10“ 0,16% (16/100) Kohlenstoff, 1,25% (5/4) Mangan und 1% (10/10) Kupfer enthalten.

Schnellarbeitsstähle werden durch die Kennbuchstaben „HS“ gekennzeichnet, auf welche der Gehalt von vier Legierungselementen (W, Mo, V, Co) in Prozent folgt. So enthält z. B. der Stahl mit der Bezeichnung „HS6-5-2-5“ 6% Wolfram, 5% Molybdän, 2% Vanadium und 5% Cobalt.

Die Bezeichnung von hochlegierten Stählen beginnt mit einem X gefolgt von einer Zahl, welche dem hundertfachen Wert des enthaltenen Kohlenstoffs entspricht. Dann werden die charakteristischen Legierungselemente, nach abnehmendem Gehalt geordnet, aufgelistet. Die in Masseprozent⁶⁶ angeführten Zahlen sind in der Reihenfolge der Legierungselemente aufgelistet und auf die nächste ganze Zahl gerundet. Beispielsweise enthält Stahl mit der Bezeichnung „X10CrNi 18-9“ 0,1% Kohlenstoff, 18% Chrom und 9% Nickel.

Für welche Elemente der Legierungszuschlag verrechnet wird, geht aus der Beschreibung von ThyssenKrupp Nirosta nicht hervor, jedoch handelt es sich i.d.R. insbesondere um die Elemente Nickel, Chrom und Molybdän.⁶⁷

Um die Masse der relevanten Legierungselemente zu erhalten, muss deren prozentueller Anteil mit der Gesamtmasse des Halbzeugs multipliziert werden. So enthält beispielsweise ein Halbzeug mit 100 kg und der Bezeichnung „X5CrNi 20-10“ 20 kg Chrom und 10 kg Nickel. Die restlichen 70 kg bestehen aus Stahl und anderen Elementen, welche aber für die Berechnung nicht von Relevanz sind.

Um den Legierungszuschlag zu ermitteln, muss die Masse der einzelnen Elemente mit deren Marktwert multipliziert werden, dessen Höhe sich nicht auf den aktuellen Tageswert, sondern einen *Bezugszeitraum* bezieht. Früher wurden von ThyssenKrupp Nirosta die mittleren Werte, welche zwei (M-2) und drei (M-3) Monate zurückliegen, herangezogen.⁶⁸

⁶⁶ In diesem Zusammenhang wird darunter die relative Masse eines Elementes an der Gesamtmasse des Stahls verstanden.

⁶⁷ Vgl. Piebalgs (2006), S. 11.

⁶⁸ Vgl. Piebalgs (2006), S. 12.

Seit 01.10.2007 erfolgt eine Berücksichtigung der Preisentwicklungen der letzten 30 Tage bis zum 20. Kalendertag des Vormonats.⁶⁹

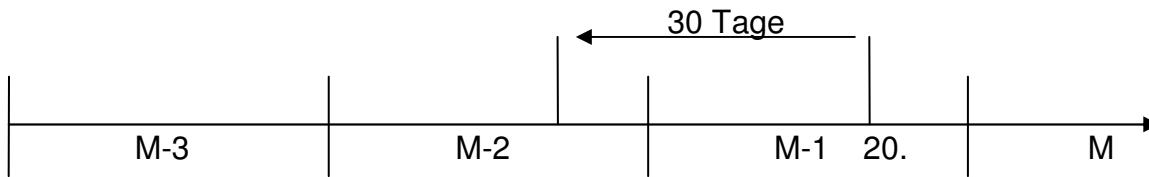


Abbildung 6: Bezugszeitraum für die Berechnung des Legierungszuschlags
(Quelle: Eigene Darstellung)

Um die Tageswerte der einzelnen Elemente festzulegen, wird Bezug auf eine externe Instanz genommen. Eine solche ist die London Metal Exchange (LME), an welcher ausschließlich Metalle gehandelt werden. Der Handel begrenzt sich jedoch zurzeit auf Aluminium, Kupfer, Nickel, Zinn, Zink, Blei und Molybdän.⁷⁰ Die Preise entstehen durch Parketthandel, bei welchem sich die Marktteilnehmer persönlich zu vorgegebenen Zeiten an einem bestimmten Ort treffen, um dort zu handeln. Ein weiteres Beispiel einer externen Instanz ist das Metal Bulletin, welches wirtschaftliche Informationen über Stahl und sonstige Metalle liefert.⁷¹ Da die externen Instanzen den Wert der Metalle teilweise in verschiedenen Währungen angeben, ist auch der Wechselkurs zur Währung, in welcher fakturiert wird, zu beachten. So wird z. B. der Referenzwert für Kupfer an der London Metal Exchange in US-Dollar gehandelt. Würde in Euro fakturiert werden, dann müsste ein Wechselkurs zwischen diesen beiden Währungen zur Umrechnung herangezogen werden. Dieser bildet sich an den Devisenbörsen durch das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage und kann z. B. bei der Österreichischen Nationalbank in Erfahrung gebracht werden.⁷²

Der Legierungszuschlag kommt aber nur dann zu tragen, wenn eine bestimmte *Preisuntergrenze* (auch als *Auslösewert* bezeichnet) überschritten wird. Sollten bestimmte Legierungselemente unter dieser Grenze liegen, dann werden ihre Kosten vollständig vom Basispreis getragen. Der Legierungszuschlag für dieses

⁶⁹ Vgl. Walner (2007).

⁷⁰ Vgl. LME (2009).

⁷¹ Vgl. MetalBulletin (2009).

⁷² Vgl. ÖNB (2009).

eine Element ist dann immer null, da ein Negativwert nicht vorgesehen ist.⁷³ Ansonsten ergibt sich der Legierungszuschlag jedes Elementes durch eine Multiplikation von dessen bezogener Masse mit der Differenz zwischen dem im Bezugszeitraum ermittelten Wert und der Preisuntergrenze.⁷⁴

Da das genaue Rechenschema der Stahlerzeuger normalerweise nicht offengelegt wird, kann der Umformer oft nur versuchen, die exakte Rechenlogik durch empirische Versuche in Erfahrung zu bringen.⁷⁵

Nachfolgend werden exemplarisch die Werte des Legierungszuschlags einiger Monate gezeigt, welche von ThyssenKrupp Nirosta für ein bestimmtes Material (Werkstoffnummer 4539) veröffentlicht wurden:⁷⁶

Legierungszuschlag	
Mai 2009	1.789 €/t
Juni 2009	2.066 €/t
Juli 2009	2.436 €/t
August 2009	2.751 €/t
September 2009	3.645 €/t

Tabelle 6: Legierungszuschlag von ThyssenKrupp Nirosta
(Quelle: Eigene Darstellung)

⁷³ Vgl. Piebalgs (2006), S. 12.

⁷⁴ Vgl. Piebalgs (2006), S. 12.

⁷⁵ Für weitere Anhaltspunkte zur Rechenlogik siehe: Piebalgs (2006), S. 11f.

⁷⁶ Vgl. ThyssenKruppNirosta (2009).

Werden die einzelnen Werte aus Tabelle 6 grafisch dargestellt, so ergibt sich nachfolgender Verlauf:

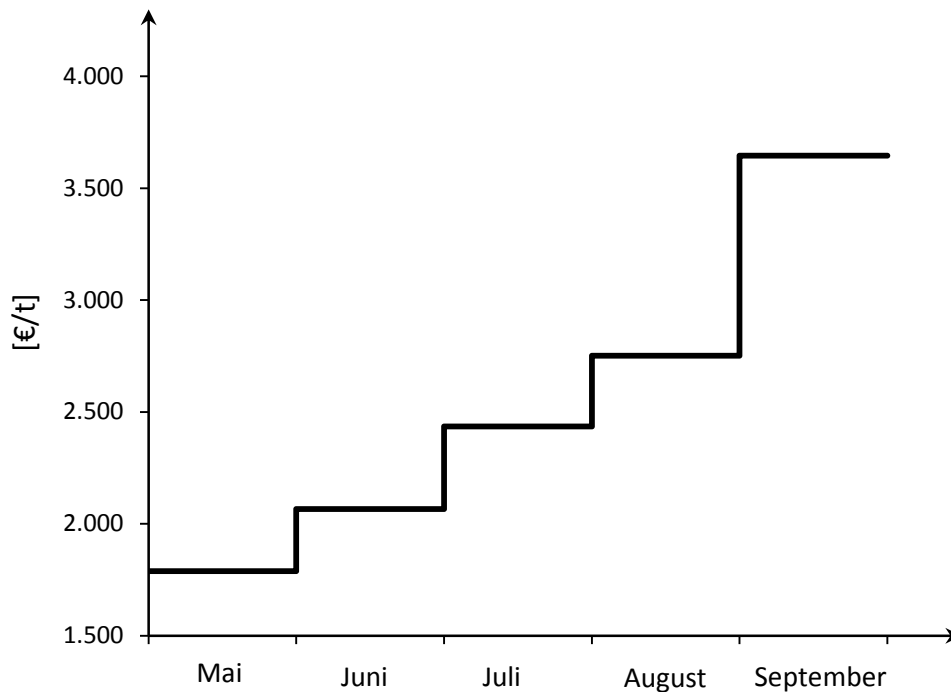


Abbildung 7: Verlauf des Legierungszuschlags von ThyssenKrupp Nirosta
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es wird der diskrete Änderungsverlauf des veröffentlichten Legierungszuschlags ersichtlich, welcher innerhalb des aufgezeigten Zeitraums Schwankungen von bis zu 32% unterworfen war.

Abschließend sei noch angemerkt, dass die Verwendung des Legierungszuschlages eine vertragliche Vereinbarung zwischen Stahlerzeuger und Umformer darstellt, welche auch durch ein Fixpreisgeschäft ersetzt werden kann. Bei diesem wird bei Vertragsabschluss ein Preis vereinbart, welcher unabhängig von der tatsächlichen Entwicklung der metallischen Einsatzstoffe fakturiert wird. Ob ein Legierungszuschlag oder ein Fixpreisgeschäft Anwendung findet, hängt auch von der geografischen Region des Vertragsabschlusses ab, da unterschiedliche Handelsbräuche vorherrschen können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es aufgrund der Nichtoffenlegung und der teilweise differierenden Rechenschemata der Stahlerzeuger nicht möglich ist, eine generisch gültige Vorgehensweise der Ermittlung des Legierungszuschlags anzuführen. Jedoch konnten die grundsätzlichen Überlegungen

beschrieben werden, wodurch eine individuelle Nachvollziehbarkeit für die umformenden Unternehmen leichter möglich ist. Weiterhin wurde durch einen exemplarischen Auszug des Legierungszuschlags von ThyssenKrupp Nirosta gezeigt, dass dieser stark volatil sein kann. Dadurch kann er die Beschaffungskosten signifikant beeinflussen, weswegen eine Einbeziehung in die weiteren Überlegungen zu erfolgen hat.

3. Grundlagen einer kostenoptimalen Bestellpolitik

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Festlegung einer für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe kostenoptimalen Bestellpolitik gelegt. Dabei werden bewusst nur Kosten fokussiert, da sich auch Leistungen, wie z. B. der Servicegrad, in dieser Form manifestieren. Der daraus resultierende Erkenntnisgewinn wird im nachfolgenden Kapitel 4 als Grundlage für die Evaluierung von publizierten Verfahren zur Festlegung von Bestellpolitiken herangezogen, welche in der Literatur Beachtung finden. Des Weiteren wird die Basis für ein Verfahren gelegt, welches speziell für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe entwickelt wird. Kapitel 3.1 geht auf die Ziele einer Bestellpolitik ein und gibt einen allgemeinen Überblick über deren Gestaltungsmöglichkeiten, ohne dabei auf die Parametrisierung einzugehen. Die verschiedenen Kostenkomponenten, welche einen Einfluss auf die optimale Bestellpolitik und deren Parameter haben, werden in Kapitel 3.2 beschrieben. Anschließend wird in Kapitel 3.3 gezeigt, wie sich die Problematik der schweren Quantifizierbarkeit von Fehlmengenkosten mit Hilfe eines Servicegrades umgehen lässt. Des Weiteren wird erörtert, wie sich stochastische Schwankungen, welche in der industriellen Praxis häufig auftreten, durch die Festlegung eines geeigneten Sicherheitsbestandes berücksichtigen lassen. In Kapitel 3.4 wird abschließend auf die Interdependenzen zwischen den beschriebenen Größen eingegangen und gezeigt, auf welche Zusammenhänge bei einer Optimierung der Bestellpolitik zu achten ist.

3.1. Grundlegende Bestellpolitiken

Durch eine Bestellpolitik wird festgelegt, wann und in welchem Umfang ein Beschaffungsvorgang zur Bestandsauffüllung ausgelöst werden soll.⁷⁷ Somit bestimmt diese die Menge pro Bestellung und das die Bestellung auslösende Ereignis. Um die Wirtschaftlichkeit der Beschaffung sicherzustellen, sind diese beiden Parameter im Hinblick auf Kostenoptimalität zu wählen, wobei unter einem Optimum das beste erreichbare Resultat im Sinne eines Kompromisses zwischen verschiedenen Eigenschaften zu verstehen ist.⁷⁸ Zusätzlich sind vorhandene Restriktionen wie z. B. begrenzte Liquidität oder beschränkte Lagerkapazitäten zu beachten. Die Bestellpolitik soll somit zur idealen Ausgestaltung der interdependenten

⁷⁷ Vgl. Schieck (2008), S. 358.

⁷⁸ Vgl. Seiffert et al. (2008), S. 249.

Teilprobleme⁷⁹ „wann“ und „wie viel“ beitragen und dabei vorhandene Restriktionen berücksichtigen. Damit trägt sie zur Erreichung des materialwirtschaftlichen Optimums bei und unterstützt dadurch die Verwirklichung der taktisch-operativen Beschaffungsziele.⁸⁰ Wie es später noch zu zeigen gilt, kann die Bestellpolitik auf alle taktisch-operativen Beschaffungsziele Einfluss nehmen,⁸¹ die einzige Ausnahme stellt die Sicherung der Materialqualität dar, welche durch diese i.d.R. nicht beeinflusst werden kann.

Nachfolgend werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Zusammenspiel von Bestellmenge und dem die Bestellung auslösenden Ereignis generisch und somit parameterneutral geregelt werden kann. *Schieck* sowie *Gleissner et al.* geben dabei Folgendes an:⁸²

		Bestellzeitpunkt	
		fix	variabel
Bestellmenge	fix	T, Q	s, Q
	variabel	T, S	S, s

Tabelle 7: Grundlegende, parameterneutrale Bestellpolitiken
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an *Schieck (2008)*, S. 358)

Die vier verschiedenen Bestellpolitiken in Tabelle 7 ergeben sich aus einer Kombination von Bestellmenge und Bestellzeitpunkt, wobei beide entweder fix oder variabel sein können. Die Regeln, welche einen fixen Bestellzeitpunkt aufweisen (T, Q und T, S), werden auch als Bestellrhythmusverfahren bezeichnet.⁸³ Ist der Zeitpunkt der Bestellung hingegen variabel (s, Q und S, s), dann wird auch von einem Bestellpunktverfahren gesprochen.⁸⁴ Nachfolgend erfolgt eine nähere Beschreibung dieser Verfahrensarten.

⁷⁹ Die Interdependenzen werden in Kapitel 3.4 ausführlich erörtert.

⁸⁰ Vgl. dazu: Kapitel 2.1.

⁸¹ Vgl. *Piontek (2004)*, S. 32.

⁸² Vgl. *Schieck (2008)*, S. 358; *Gleissner et al. (2008)*, S. 143ff.

⁸³ Vgl. *Jung (2006)*, S. 384.

⁸⁴ Vgl. *Dyckhoff (1994)*, S. 349.

Bestellrhythmusverfahren

Bei den Bestellrhythmusverfahren erfolgt in gleichmäßigen Zeitabständen T eine Bestellung von Einheiten.⁸⁵ Dabei kann entweder eine konstante Menge Q bestellt werden oder aber eine Menge, durch welche das Lager auf den Lagerstand S aufgefüllt wird.

Wird erstere Option gewählt, dann ergibt sich die T, Q -Regel, welche eine konstante Bestellmenge aufweist⁸⁶ und grafisch mit Hilfe des Lagerstandes folgendermaßen dargestellt werden kann:

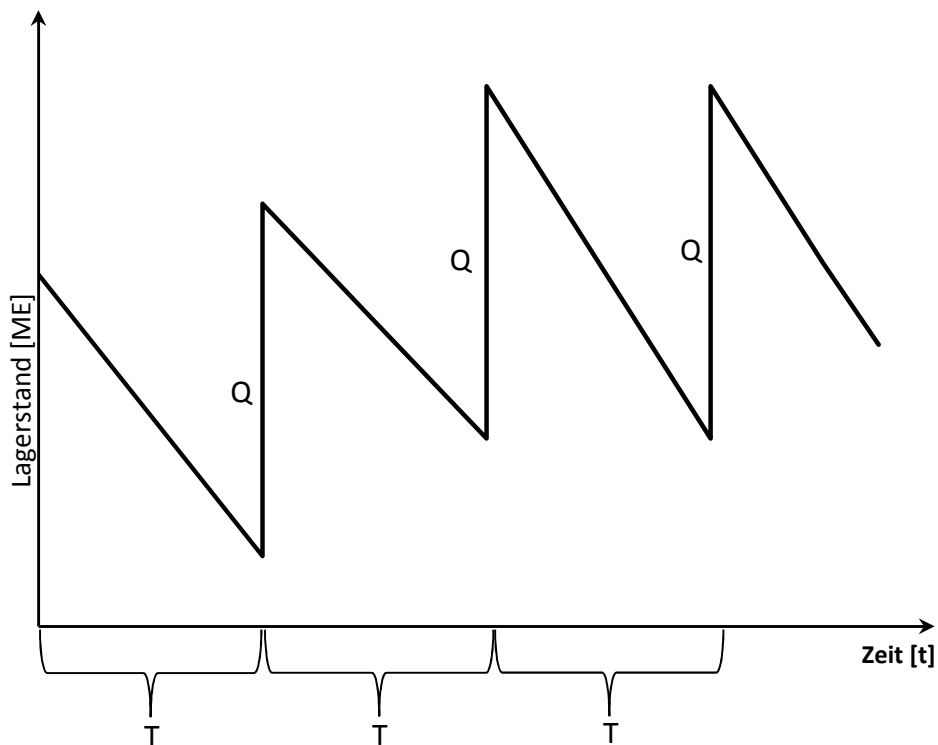


Abbildung 8: T, Q-Regel

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wannewetsch (2009), S. 50)

Eine konstante Bestellmenge Q wird in konstanten Zeitintervallen T bestellt, ohne Rücksicht auf den aktuellen Lagerstand zu nehmen, weswegen *Schick* diese Regel als problematisch bezeichnet.⁸⁷ Aber auch die fehlende Reaktionsfähigkeit auf einen unerwartet hohen Verbrauch kann durchaus kritisch betrachtet werden. Wei-

⁸⁵ Vgl. Plümer (2003), S. 117.

⁸⁶ Vgl. Schulte (2001), S. 201.

⁸⁷ Vgl. Schieck (2008), S. 359.

terhin kann die Anzahl der bestellten Einheit nicht variiert werden, weswegen Restriktionen der Lagerkapazität keine Berücksichtigung finden.

Wird die Bestellmenge so gewählt, dass diese zu einer Lagerfüllung bis zum Niveau S führt, dann wird von der T, S -Regel gesprochen.⁸⁸ Mit Hilfe des Lagerstands lässt sich diese Regel grafisch wie folgt darstellen:

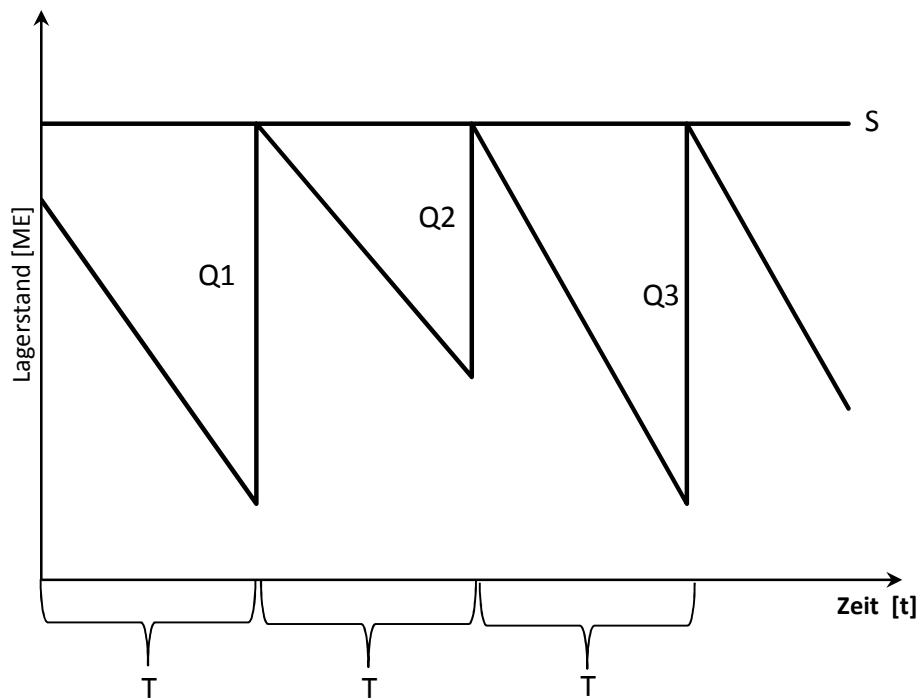


Abbildung 9: T, S -Regel

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Jung (2006), S. 384)

Es wird eine variable Bestellmenge Q in konstanten Zeitintervallen T bestellt, mit welcher der Lagerstand auf ein gewisses Niveau angefüllt werden kann. Dieses Niveau könnte dem maximal zur Verfügung stehenden Lagerplatz entsprechen, aber auch begrenzte liquide Mittel berücksichtigen. Da der Verbrauch innerhalb der einzelnen Zeitintervalle Schwankungen unterworfen sein kann, ergeben sich verschiedene Bestellmengen (Q_1, Q_2, Q_3, \dots). Laut *Schulte* ist diese Regel oft im Großhandel anzutreffen, wo für die Besuche von Vertretern feste Rhythmen ein-

⁸⁸ Vgl. Schieck (2008), S. 359.

geplant sind und dann eine Menge gekauft wird, welche den vorgesehenen Lagerplatz für ein bestimmtes Produkt auffüllt.⁸⁹

Der Vorteil der Bestellrhythmusverfahren ist speziell in der einfachen Abwicklung zu sehen. So besteht z. B. eine verminderte Notwendigkeit einer permanenten Bestandskontrolle,⁹⁰ da der Bestand ohnehin keinen Einfluss auf die Auslösung einer Bestellung hat. Bei der T, Q-Regel muss der Disponent nicht einmal die notwendige Bestellmenge bestimmen, wodurch insgesamt eine deutliche Arbeitserleichterung besteht. Des Weiteren kann, wenn mit dem Lieferanten bestimmte Lieferrhythmen vereinbart wurden, eine Synchronisation der Anlieferung von mehreren Varianten und eine eventuell daraus resultierende Reduktion der Bestellfixkosten erreicht werden.⁹¹ Bei ungleichmäßigem Verbrauch kann es aber bei der T, Q-Regel zu stark schwankenden Lagerständen kommen.⁹² Dies kann speziell bei einer festen Lagerplatzordnung zu Problemen führen, da in diesem Fall der zu disponierenden Art von Einheiten eine genau definierte Anzahl an Stellplätzen zur Verfügung steht. Ein Nachteil der Bestellrhythmusverfahren im Allgemeinen ist die fehlende Fähigkeit, auf eine Veränderung des Verbrauches durch eine frühere Bestellauslösung zu reagieren, was sich auf die Fehlmengenkosten negativ auswirken kann.

Bestellpunktverfahren

Bei den Bestellpunktverfahren wird eine Bestellung ausgelöst, sobald ein bestimmter Meldebestand erreicht wird.⁹³ Es wird dann entweder eine vorgegebene Menge Q bestellt oder aber so viele Einheiten, dass dadurch das Lager bis zum Soll-Bestand S aufgefüllt wird.

⁸⁹ Vgl. Schulte (2001), S. 202.

⁹⁰ Vgl. Jung (2006), S. 384.

⁹¹ Vgl. Lödding (2008), S. 153.

⁹² Vgl. Plümer (2003), S. 117.

⁹³ Vgl. Hertel et al. (2005), S. 134.

Wählt man die erste Option, ergibt sich die s, Q -Regel, welche mit Hilfe des Lagerstandverlaufes wie folgt dargestellt werden kann:

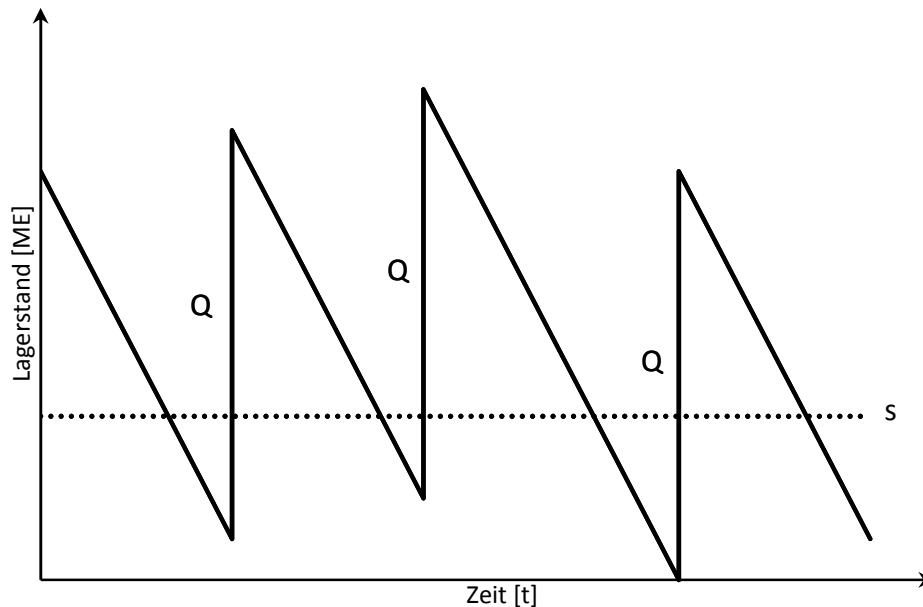


Abbildung 10: s, Q -Regel

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wannewetsch (2009), S. 50)

Bei dieser Regel wird eine Bestellung mit konstanter Menge Q ausgelöst, wenn ein bestimmter Meldebestand s erreicht wird. Als Parameter müssen die Bestellmenge Q und der Meldebestand s festgelegt werden. Da die Bestellmenge konstant ist, kann es bei schwankendem Verbrauch zwischen Bestellung und Eintreffen der Einheiten zu verschiedenen hohen Lagerständen kommen. Dies kann speziell bei einer festen Lagerplatzzuordnung, bei welcher jeder Variante ein bestimmter und meist begrenzter Platz zugewiesen wird, zu einer Überschreitung der Kapazität führen.

Um dies zu vermeiden, kann zusätzlich ein bestimmter Soll-Bestand festgelegt werden. In diesem Fall spricht man von der S, s-Regel, welche sich grafisch wie folgt darstellen lässt:

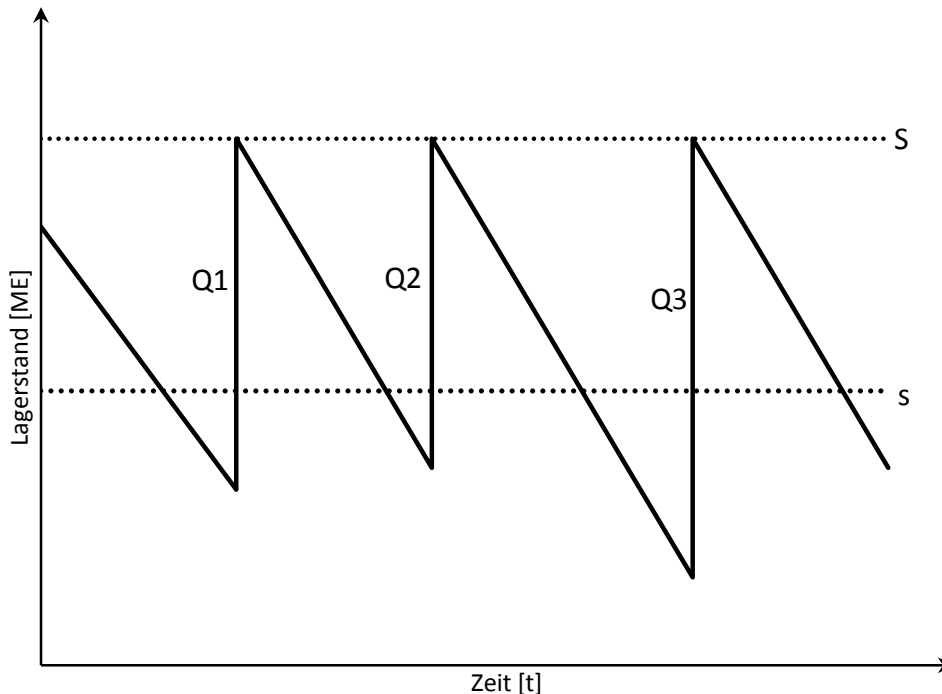


Abbildung 11: S, s-Regel

(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hüttner et al. (2004), S. 123)

Bei dieser Regel muss sowohl eine Parametrisierung des Meldebestandes s als auch des Soll-Bestandes S erfolgen. Die Bestellmenge (Q_1, Q_2, Q_3, \dots) und der Bestellzeitpunkt variieren in Abhängigkeit vom Verbrauch. Ein steigender Verbrauch führt dazu, dass eine Nachbestellung schneller getätigt und die Bestellmenge so angehoben wird, dass bei interner Verfügbarkeit der Einheiten planmäßig der Soll-Bestand erreicht wird.

Ein bei der Auslegung des Bestellzeitpunktes zu beachtender Faktor ist die durchschnittliche Lagerabgangslosgröße. Nachfolgende Abbildung zeigt das Bestellpunktverfahren mit einer tendenziell kleinen und großen Lagerabgangslosgröße:

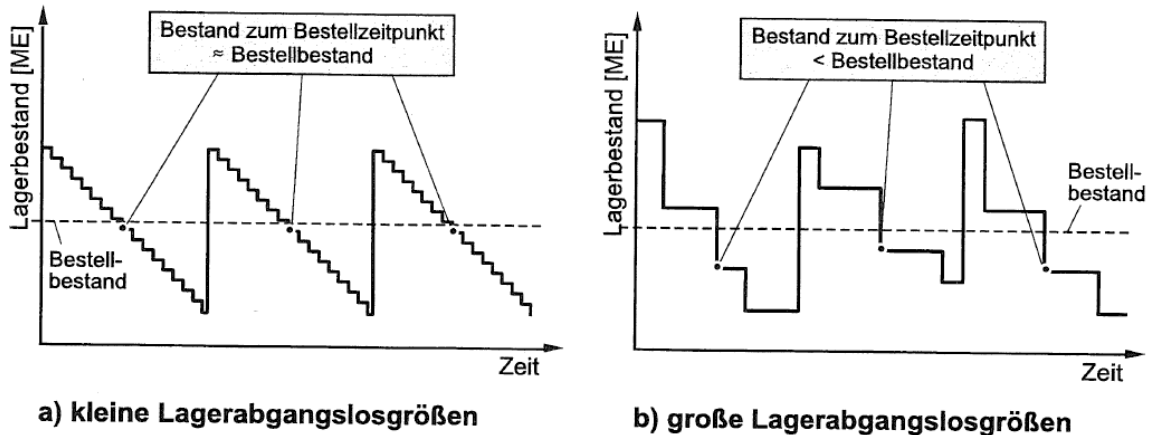


Abbildung 12: Auswirkung der Lagerabgangslosgröße auf den Bestand zum Bestellzeitpunkt

(Quelle: Lödding (2008), S. 166)

Werden kleine Lose aus dem Lager entnommen, dann entspricht der tatsächliche Bestand zum Bestellzeitpunkt in etwa dem Meldebestand. Eine genaue Entsprechung ist nur dann gegeben, wenn der Lagerabgang einen stetigen Verlauf aufweist. Bei einer großen Lagerabgangslosgröße kann es vorkommen, dass der tatsächliche Lagerstand bei der Bestellauslösung signifikant kleiner ist als der vorgehene Meldebestand, was bei dessen Auslegung berücksichtigt werden muss.

Es kann konstatiert werden, dass der Vorteil der Bestellpunktverfahren in ihrer Reaktionsfähigkeit auf einen sich verändernden Verbrauch zu sehen ist, weswegen es sich insbesondere für Einheiten mit einem schwankenden Verbrauch eignet.⁹⁴ Ein Nachteil ist der größere Kontrollaufwand,⁹⁵ welcher jedoch beim Vorhandensein einer Lagerbuchführung deutlich vermindert werden kann. Weiterhin sei die Notwendigkeit der Anpassung des Bestellpunktes bei einer großen Lagerabgangslosgröße erwähnt.

In der Literatur werden auch Mischverfahren beschrieben, bei welchen eine Bestellung ausgelöst wird, wenn entweder ein gewisser Lagerstand oder ein be-

⁹⁴ Vgl. Hutzschenreuter (2009), S. 221.

⁹⁵ Vgl. Mathar et al. (2009), S. 110.

stimmter Zeitpunkt erreicht wird.⁹⁶ Dabei kann entweder eine fixe Menge Q bestellt oder aber das Lager bis zum Soll-Bestand S aufgefüllt werden.⁹⁷

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zur Bestimmung einer Bestellpolitik die Parameter Bestellmenge, Bestellauslöser und beim Vorhandensein von Restriktionen auch der Maximalbestand festzulegen sind. Wobei das die Bestellung auslösende Ereignis die Erreichung eines vorgegebenen Lagerstandes oder eines bestimmten Zeitpunktes sein kann. Aber auch mehrere auslösende Ereignisse sowie solche, die sich nicht auf den Lagerstand oder einen Zeitpunkt beziehen, sind möglich.⁹⁸ Im weiteren Verlauf wird davon ausgegangen, dass der Umformer über eine geeignete Lagerbuchführung verfügt und somit der aktuelle Lagerstand weitgehend bekannt ist. Dadurch kann der Kontrollaufwand bei den Bestellpunktverfahren reduziert werden. Zusammen mit der Reaktionsfähigkeit auf einen sich zwischen den Perioden ändernden Verbrauch und den häufigen Einsatz in der Praxis⁹⁹ beziehen sich nachfolgende Ausführungen auf diese Verfahrensgruppe. Somit ist im weiteren Verlauf zu erörtern, welche Menge bestellt und ab welchem Lagerstand die Bestellung ausgelöst werden soll.

3.2. Die Bestellpolitik determinierende Kostenkomponenten

Um die Bestellpolitik für eine beliebige Beschaffungsobjektgruppe festlegen zu können, müssen vorab die Kostenkomponenten sowie deren Verläufe bekannt sein, welche sich durch die Wahl und Parametrisierung der Politik beeinflussen lassen. Die Kenntnisse über die allgemeinen Kostenverläufe werden im nächsten Kapitel für die Ableitung von Evaluierungskriterien sowie die Erörterung von in der Literatur bis jetzt vorhandenen Verfahren herangezogen. Des Weiteren dienen sie als Grundlage für die im weiteren Verlauf durchgeführte deduktive Ableitung der spezifischen Verfahren.

Bevor eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Kostenkomponenten erfolgen kann, müssen die für die Bestellpolitik relevanten Beschaffungskosten festgelegt

⁹⁶ Siehe dazu z. B.: Zäpfel (2001), S. 156; Melzer-Ridinger (2008), S. 193.

⁹⁷ Vgl. Zäpfel (2001), S. 156.

⁹⁸ Als Beispiele können ein bevorstehender Preisanstieg oder ein erwarteter Versorgungsengpass angeführt werden.

⁹⁹ Vgl. Jung (2006), S. 383; Barth et al. (2007), S. 346; Lödding (2008), S. 155.

werden. Laut *Hutzschenreuter* sowie *Corsten et al.* setzen sich diese folgendermaßen zusammen:¹⁰⁰

- Mittelbare Beschaffungskosten (Bestellfixkosten)
- Unmittelbare Beschaffungskosten (variable Bestellkosten)
- Lagerhaltungskosten
- Fehlmengenkosten

Die von *Hutzschenreuter* und *Corsten et al.* aufgezählten Beschaffungskosten werden auch von *Vossebein* sowie *Hering et al.* angeführt, wobei diese Autoren die mittelbaren und unmittelbaren Beschaffungskosten unter dem Begriff der Beschaffungskosten im engeren Sinn subsumieren.¹⁰¹ Die aufgezählten Beschaffungskosten werden für den weiteren Verlauf übernommen und einer detaillierten Betrachtung unterzogen. Die Beschaffungskosten im engeren Sinn werden dabei für eine bessere Übersicht und wie von *Hutzschenreuter* und *Corsten et al.* vorgeschlagen in Bestellfixkosten und variable Bestellkosten untergliedert.

3.2.1. Bestellfixkosten

Unter dem Begriff der Bestellfixkosten werden sämtliche Beschaffungskosten subsumiert, welche nur vom Ereignis „Bestellung“ abhängig sind und deren Höhe unabhängig von der Bestellmenge ist, weswegen die Grenzkosten¹⁰² null sind.

¹⁰⁰ Vgl. *Hutzschenreuter* (2009), S. 215; *Corsten et al.* (2008), S. 413.

¹⁰¹ Vgl. *Vossebein* (2001), S. 24; *Hering et al.* (2000), S. 324.

¹⁰² Unter Grenzkosten wird der Zuwachs der gesamten Periodenkosten verstanden, welcher durch die jeweils letzte Einflussgrößeneinheit verursacht wird [vgl. *Hoitsch et al.* (2004), S. 45]. Im Kontext sind Grenzkosten jene Kosten, welche bei der Bestellmengerweiterung um eine Mengeneinheit entstehen.

Abbildung 13 zeigt grafisch den Kostenverlauf der Bestellfixkosten in Abhängigkeit zur bestellten Menge:

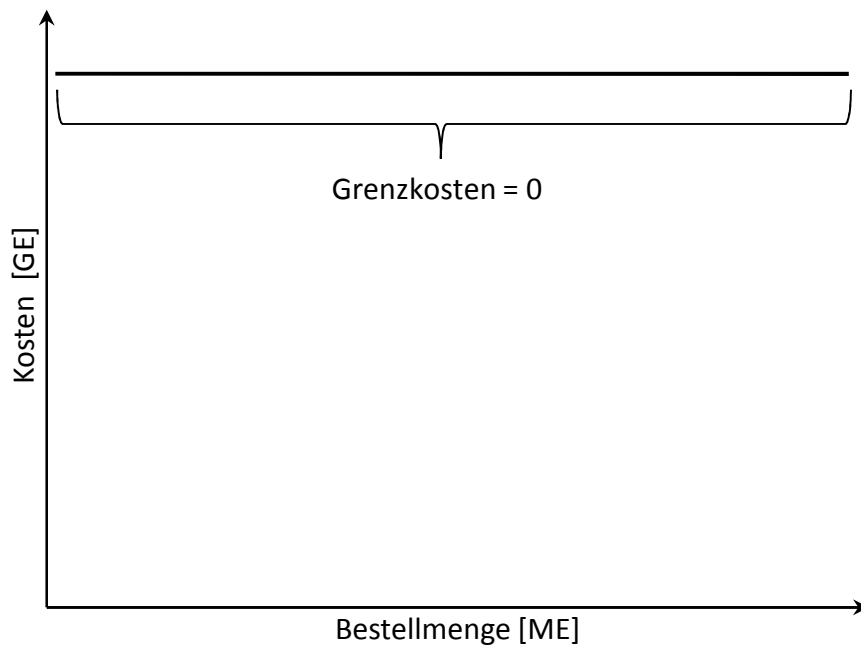


Abbildung 13: Grenzkostenverlauf von Bestellfixkosten
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass diese Kostenkomponente einen konstanten Wert aufweist, unabhängig davon, ob eine Einheit oder unendlich viele bestellt werden. Einzige Voraussetzung für die Entstehung, und somit der Kostentreiber¹⁰³, ist die Tätigkeit einer Bestellung. Diese Kostenart darf allerdings nicht mit dem Begriff der Fixkosten aus der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre verwechselt werden, da diese definitionsgemäß von der produzierten Menge, und nicht der Bestellmenge, unabhängig sind.¹⁰⁴

Die Bestellfixkosten können in einen externen und internen Teil untergliedert werden. Ersterer wird z. B. vom Lieferanten oder einer Spedition bestimmt und ist daher in vielen Fällen verhandelbar. Es handelt sich dabei um Kosten, welche beispielsweise für den Transport der Einheiten oder den Verwaltungsaufwand des

¹⁰³ Der Kostentreiber ist jener Faktor, welcher die Gesamtkosten beeinflusst. Eine Veränderung im Niveau des Kostentreibers führt immer auch zu einer Veränderung der Gesamtkosten beim betrachteten Kostenobjekt [vgl. Horngren et al. (2004), S. 29].

¹⁰⁴ Vgl. Jung (2006), S. 1114.

Lieferanten aufgeschlagen werden. Mit Hilfe der Prozesskostenrechnung¹⁰⁵ ist es möglich, auch interne Bestellfixkosten weitgehend zu quantifizieren. Diese setzen sich z. B. aus Kosten für die Tätigung einer Bestellung, der Warenannahme oder der Zahlungsabwicklung zusammen. Welche Bestellfixkosten bei der Bestellpolitik berucktigt werden sollen, divergiert zwischen den verschiedenen Entscheidungssituationen. Es ist darauf zu achten, dass nur jene Bestellfixkosten einbezogen werden, welche durch die Bestellpolitik auch beeinflussbar sind.¹⁰⁶ So wird es bei der Bestellmengenwahl für einen einmaligen Bestellvorgang nicht möglich sein, entsprechende Kapazitäten, wie z. B. Personal, freizusetzen. Somit haben diese keine Entscheidungsrelevanz und sind nicht anzusetzen. Auf Dauer lassen sich freie Kapazitäten aber anders nutzen oder sogar abbauen,¹⁰⁷ weswegen bei einer langfristigen Planung der Bestellpolitik Kosten für z. B. den Personaleinsatz durchaus zu beruckichtigen sind. Unabhängig davon, was letztendlich Beruckichtigung findet, verhalten sich die Bestellfixkosten proportional zur Bestellhäufigkeit. Dieser Zusammenhang lässt sich mathematisch folgendermaßen formulieren:

$$BfR = Bf * Bh = Bf * \frac{E\{VR\}}{Bm} \quad (1)$$

Dabei bedeutet:

BfR	Summe der Bestellfixkosten des Referenzzeitraums ¹⁰⁸ [GE]
Bf	Bestellfixkosten für eine einzelne Bestellung [GE]
Bh	Bestellhäufigkeit innerhalb des Referenzzeitraums [-]
$E\{VR\}$	Erwartungswert ¹⁰⁹ des Verbrauchs für den gesamten Referenzzeitraum [ME]
Bm	Bestellmenge [ME]

¹⁰⁵ Zur Prozesskostenrechnung siehe z. B. Jung (2006).

¹⁰⁶ Vgl. Adam (1998), S. 218.

¹⁰⁷ Vgl. Dyckhoff (2006), S. 317.

¹⁰⁸ Unter dem Referenzzeitraum ist jener Zeitraum zu verstehen, über welchen sich die Betrachtung erstreckt.

¹⁰⁹ In diesem Kontext ist unter Erwartungswert das wahrscheinlichste Ereignis, die durchschnittliche Ereignisgröße, zu verstehen [vgl. Stark (2005), S. 80].

Aus Formel (1) lässt sich ableiten, dass eine zunehmende Anzahl an Bestellungen zu einer steigenden Summe der Bestellfixkosten innerhalb des Referenzzeitraums führt. Somit kann aus dieser Sicht konstatiert werden, dass es vorteilhaft ist, den Gesamtbedarf der Referenzperiode mit einer Bestellung abzudecken.

Anders verhalten sich die Bestellfixkosten bezogen auf eine Einheit, welche mit zunehmender Bestellmenge unterproportional fallen. So ist der Einstandspreis¹¹⁰ einer Einheit von der Bestellmenge abhängig, auch ohne dass eventuelle Mengenrabatte berücksichtigt werden. Verantwortlich dafür ist der Fixkostendegressions-effekt, durch welchen es mit zunehmender Menge zu geringeren Fixkosten pro Einheit kommt.¹¹¹ Nachfolgende Abbildung 14 stellt den Verlauf der anteiligen Bestellfixkosten pro Einheit in Abhängigkeit von der Bestellmenge grafisch dar:

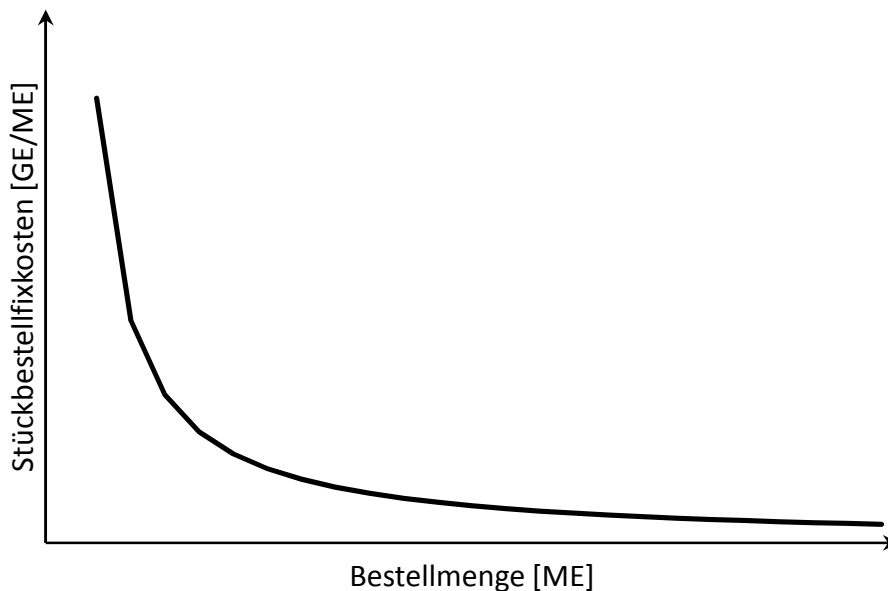


Abbildung 14: Degressionseffekt der Bestellfixkosten
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es geht hervor, dass bei steigender Menge die Bestellfixkosten pro Einheit – und somit der Einstandspreis – abnehmen, da die Fixkosten von einer zunehmenden Anzahl an Einheiten getragen werden. Dieser Verlauf ist jedoch nicht immer zutreffend, so werden externe Bestellfixkosten, wie z. B. Transportkosten, nicht von allen Lieferanten unabhängig von der bestellten Menge in Rechnung gestellt. Es

¹¹⁰ Unter Einstandspreis ist in diesem Zusammenhang der Preis je Einheit inkl. Zoll plus den anteiligen Transport- und Versicherungskosten zu verstehen.

¹¹¹ Vgl. Hungenberg (2004), S. 189.

kann beispielsweise zu sprungfixen Bestellkosten kommen, wenn der Lieferant oder Spediteur die Transportkosten von der Anzahl der notwendigen Transporteinheiten oder deren benötigten Kapazität abhängig macht. Sprungfixe Kosten sind dadurch charakterisiert, dass ihre Grenzkosten innerhalb bestimmter Intervalle null sind und dazwischen einen positiven Wert annehmen. Weiterhin ist auch die Absenz von Bestellfixkosten bzw. eine nicht signifikante Höhe möglich. Wurde beispielsweise der Incoterm DDP¹¹² vereinbart, werden die Transportkosten zur Gänze vom Lieferanten getragen. Des Weiteren ist es möglich, dass Transportkosten für jede zusätzlich geordnete Einheit verrechnet werden. In diesem Fall, in welchem eine Korrelation zwischen Menge und Kosten besteht, hat eine Zurechnung zu den nachfolgend erörterten variablen Bestellkosten zu erfolgen.

3.2.2. Variable Bestellkosten

Die variablen Bestellkosten sind abhängig von der bei einer Bestellung geordneten Menge, der Bestellmenge.¹¹³ Wird die Menge um eine Einheit erhöht, dann kommt es zu einem Kostenanstieg. Deswegen sind die Grenzkosten ungleich null und vom Kostentreiber „Bestellmenge“ abhängig. Den tendenziell wichtigsten Bestandteil an den variablen Kosten hat der Einkaufspreis,¹¹⁴ welcher aus Sicht des Lieferanten den Nettoverkaufspreis darstellt. Dieser setzt sich aus den Selbstkosten des Lieferanten plus einen Aufschlag für Gewinn, Skonto sowie Rabatte zusammen und enthält keine Umsatzsteuer.¹¹⁵ Diese wird dem Nettoverkaufspreis aufgeschlagen und stellt lediglich einen Durchlaufposten dar,¹¹⁶ weswegen die Umsatzsteuer dem Einkaufspreis nicht aufzuschlagen ist. Eine Ausnahme sind Unternehmen, welche nicht zum Vorsteuerabzug berechtigt sind.¹¹⁷ Neben dem Einkaufspreis können noch weitere variable Bestellkosten, wie z. B. Steuern oder Versicherungen, anfallen.

¹¹² Delivery duty unpaid.

¹¹³ Vgl. Landgraf et al. (2008), S. 106.

¹¹⁴ Vgl. Bea et al. (2006), S. 158.

¹¹⁵ Vgl. Sturm (2005), S. 25.

¹¹⁶ Vgl. Littkemann et al. (2007), S. 75.

¹¹⁷ So sind beispielsweise in Österreich Unternehmen auf Wunsch bis zu einem bestimmten Jahresumsatz und Gewinn unecht umsatzsteuerbefreit. Dies bedeutet, dass keine USt gezahlt werden muss, diese aber auch nicht als Vorsteuer abgezogen werden kann.

Bezüglich der Grenzkosten kann noch festgehalten werden, dass deren Verlauf keine Linearität aufweisen muss. So werden z. B. von Lieferanten vielfach Preisnachlässe gewährt, deren Höhe von der Menge pro Bestellung abhängig ist (Mengenrabatt) und die oft eine progressive Strukturierung aufweisen.¹¹⁸ In diesem Fall würde der Einkaufspreis unterproportional zur Bestellmenge ansteigen. Wenn sich der Preisnachlass auf die in einer Periode, z. B. in einem Jahr, geordnete Menge bezieht und erst nach Abschluss dieser gewährt wird, dann spricht man von einem Bonus.¹¹⁹ So wie eine große Bestellmenge den Einkaufspreis tendenziell reduziert, so kann eine geringe Menge diesen erhöhen,¹²⁰ was als Mindermengenaufschlag bezeichnet wird. Abbildung 15 zeigt den unterschiedlichen Verlauf der durchschnittlichen variablen Kosten, in Abhängigkeit von der Menge, mit und ohne Mengenrabatt.

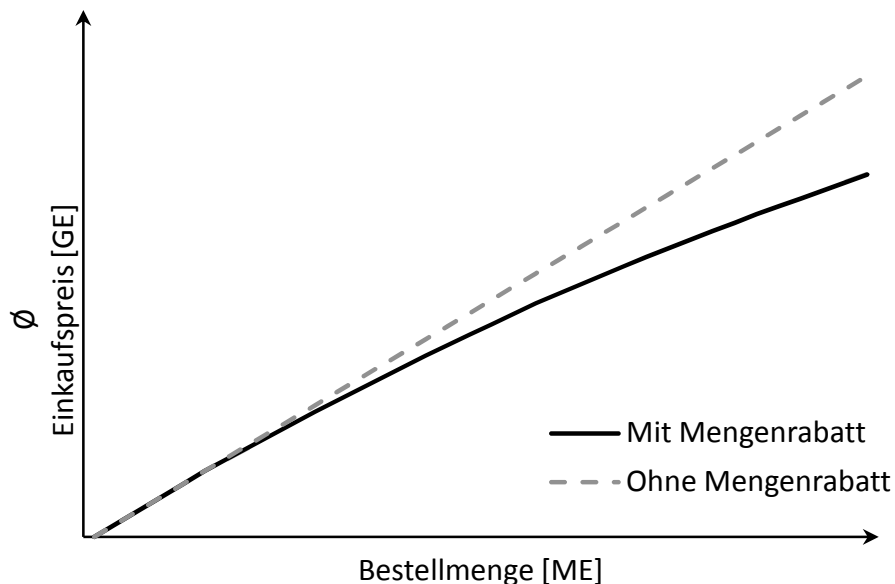


Abbildung 15: Summenverlauf des durchschnittlichen Einkaufspreises¹²¹ pro Einheit, mit und ohne Mengenrabatt
(Quelle: Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 15 geht hervor, dass ohne Mengenrabatt und Mindermengenaufschlag eine positive, lineare Korrelation zwischen der bestellten Menge und dem dafür zu zahlenden Einkaufspreis besteht. In diesem Fall hat die Bestellmenge

¹¹⁸ Vgl. Meffert et al. (2008), S. 545.

¹¹⁹ Vgl. Meffert et al. (2008), S. 545.

¹²⁰ Vgl. Biedermann (2008), S. 39.

¹²¹ Unter Durchschnittspreisen wird in diesem Zusammenhang der Quotient aus den Gesamtkosten und der Bestellmenge verstanden.

keine Auswirkung auf die durchschnittlichen variablen Kosten und ist somit nicht entscheidungsrelevant. Gibt es jedoch in Abhängigkeit von der Bestellmenge verschiedene Rabatte und Zuschläge, dann besteht zwischen den beiden Größen kein linearer Zusammenhang mehr. Beispielsweise steigt bei Mengenrabatten der durchschnittliche Einkaufspreis je Einheit unterproportional zur Bestellmenge an. Hier sind die variablen Bestellkosten entscheidungsrelevant, da diese von der Bestellmenge beeinflusst werden.

Wenn die variablen Bestellkosten Bv von Einheiten, welche zukünftig – nach der bevorstehenden Bestellung b – geordert werden, entweder höher oder niedriger sind, dann besteht ebenfalls eine Abhängigkeit der Durchschnittskosten von der Bestellmenge. Die Veränderungen der variablen Kosten können dabei entweder diskret oder stetig erfolgen, wie dies in Abbildung 16 am Beispiel von steigenden Kosten gezeigt wird.

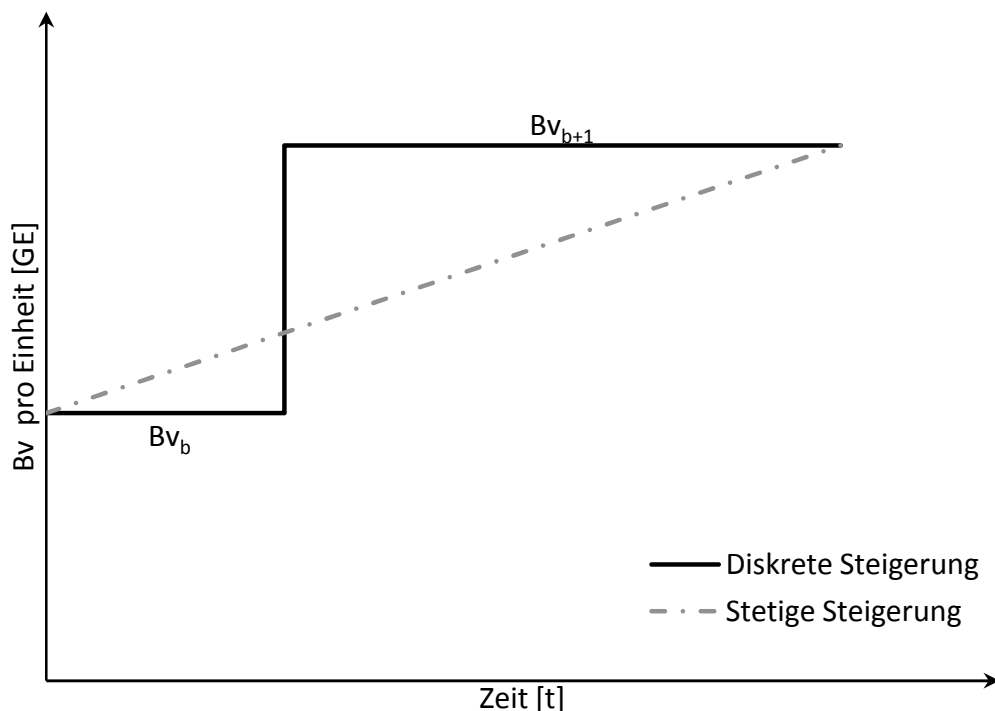


Abbildung 16: Einkaufspreis pro Einheit bei steigenden Einkaufspreisen
(Quelle: Eigene Darstellung)

Dabei bedeutet:

- Bv_b Variable Bestellkosten, gültig für die bevorstehende Bestellung b [GE]
- Bv_{b+1} Variable Bestellkosten, gültig für die Bestellung, welche der bevorstehenden Bestellung nachfolgt [GE]

Bei einem diskreten Verlauf sind die variablen Bestellkosten pro Einheit über einen bestimmten Zeitraum konstant, bis diese sich sprunghaft erhöhen. Im Gegensatz dazu erfolgt die Kostenerhöhung bei einem stetigen Verlauf kontinuierlich. Die zukünftigen variablen Bestellkosten müssen aber nicht immer höher sein, sondern können auch einen geringeren Wert annehmen oder zeitabhängigen Schwankungen unterworfen sein. Ist von einer Erhöhung auszugehen, dann erfolgt durch jede zusätzlich bestellte Einheit eine Reduktion der Summe der variablen Beschaffungskosten. Aus dieser Betrachtung folgt, dass eine möglichst große Menge vor der Preiserhöhung zu bestellen ist.¹²² Diese wird aber nur dann ersichtlich, wenn die Betrachtung von einer Einzelbestellung auf einen bestimmten Referenzzeitraum ausgedehnt wird. Nachfolgende Abbildung 17 zeigt zwei Varianten von Bestellungen, nach welchen es zu einer Erhöhung der variablen Kosten kommt.

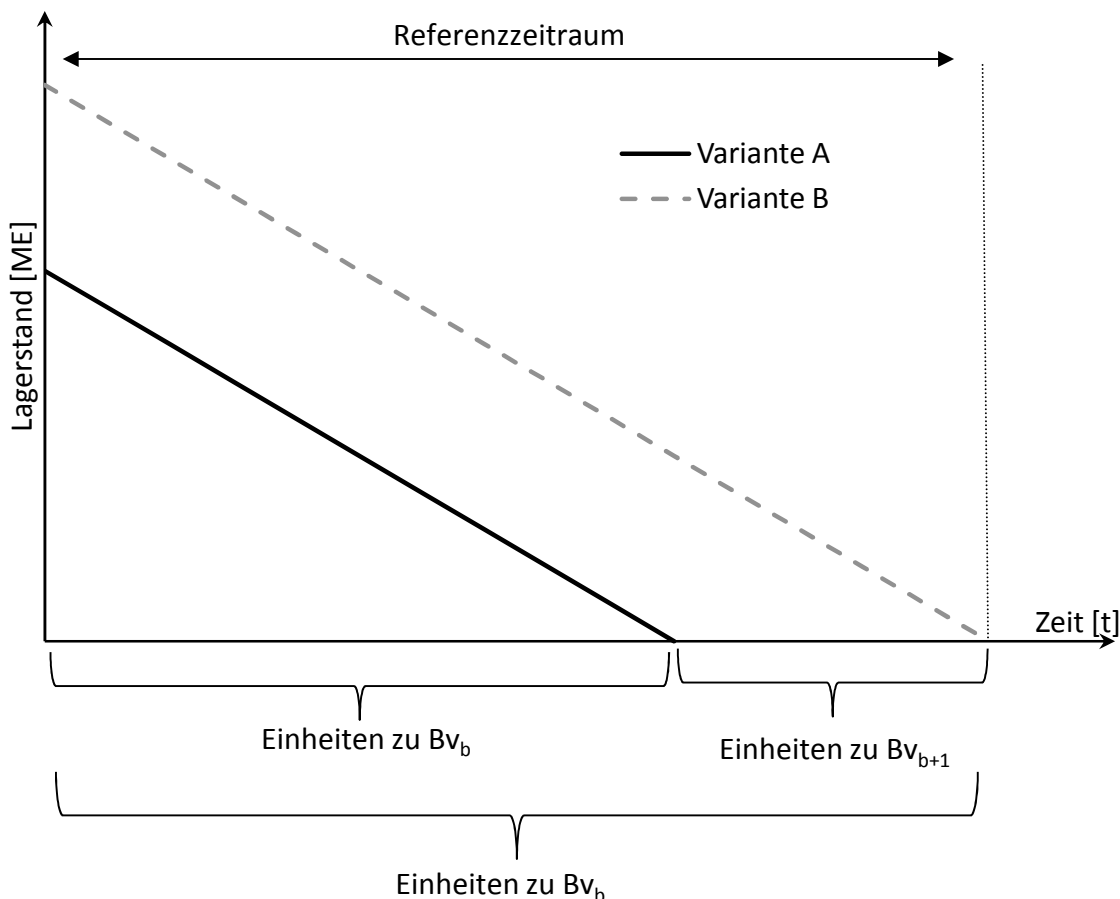


Abbildung 17: Verschiedene Bestellmengen vor einer Erhöhung der variablen Bestellkosten

(Quelle: Eigene Darstellung)

¹²² Vgl. Schulte (2001), S. 193.

Bei Variante A ist die Menge, welche vor der Kostenerhöhung bestellt wird, schneller verbraucht als bei Variante B. Deswegen müssen, um den Bedarf innerhalb des Referenzzeitraums zu decken, zusätzlich Einheiten zu den neuen, höheren Kosten bestellt werden. Bei Variante B kann mit der bestellten Menge der Bedarf im gesamten Referenzzeitraum gedeckt werden. Somit ergibt sich der Zusammenhang, dass bei steigenden Preisen und mit zunehmender Bestellmenge, welche zu Bv_b geordert wird, höhere Ersparnisse erzielt werden, da der Verbrauch vermehrt mit den günstigeren Einheiten gedeckt werden kann. Die gesamten im Referenzzeitraum anfallenden variablen Bestellkosten ergeben sich, indem jede geordnete Einheit mit deren Kosten multipliziert wird.

$$Bv_{RZ} = \sum_{i=1}^n E\{Bv_i\} * Bm_i \quad (2)$$

Dabei bedeutet:

Bv_{RZ}	Summe der variablen Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraums [GE]
$E\{Bvi\}$	Erwartete variable Bestellkosten pro Einheit zum Zeitpunkt i [GE]
Bm_i	Bestellmenge, welche zum Zeitpunkt i geordert wird [ME]

Die durchschnittlichen variablen Bestellkosten ergeben sich, wenn Bv_{RZ} durch die Gesamtmenge der im Referenzzeitraum bezogenen Einheiten dividiert wird, was der Bildung des gewichteten Mittelwertes entspricht.

$$\emptyset Bv = \frac{\sum_{i=1}^n E\{Bv_i\} * Bm_i}{\sum_{i=1}^n Bm_i} \quad (3)$$

Dabei bedeutet:

$\emptyset Bv$	Durchschnittliche variable Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraums [GE]
----------------	---

Neben der Auswirkung von sich ändernden variablen Bestellkosten auf deren Summe bzw. Durchschnittskosten im Referenzzeitraum lässt sich ermitteln, wel-

chen monetären Spekulationserfolg¹²³ eine Veränderung der Bestellmenge erzielt. Bei einer einmaligen Änderung der variablen Bestellkosten und unter der Voraussetzung, dass es danach innerhalb des Referenzzeitraums zu keiner diesbezüglichen Veränderung mehr kommt, lässt sich dieser wie folgt quantifizieren:

$$SeE = E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b \quad (4)$$

Dabei bedeutet:

SeE	Spekulationserfolg pro Einheit [GE]
$E\{Bv\}_{b+1}$	Erwartungswert der variablen Bestellkosten nach der Preisänderung [GE]
$E\{Bv\}_b$	Erwartungswert der variablen Bestellkosten, zu welchen die zu wählende Bestellmenge geordert wird [GE]

Durch Formel (4) wird gezeigt, dass der Spekulationserfolg pro Einheit mit zunehmendem Wert der Differenz größer wird und somit vom Änderungsgrad der Kosten abhängig ist. Der Erfolg ist bei steigenden Kosten positiv, im Sinne einer Ersparnis, und bei fallenden negativ zu bewerten. Um den Erfolg einer bestimmten Bestellmenge berechnen zu können, ist der Erfolg pro Einheit mit der Bestellmenge zu multiplizieren und kann durch folgende Formel quantifiziert werden:¹²⁴

$$Se = (E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b) * Bm \quad (5)$$

Dabei bedeutet:

Se	Gesamter Spekulationserfolg [GE]
------	----------------------------------

Je größer die gewählte Bestellmenge ist, desto stärker ist der Einfluss von Kostenänderungen auf den Erfolg und somit auch auf die Summe der Beschaffungskosten. Dieser Zusammenhang hat sowohl bei steigenden als auch bei fallenden

¹²³ In diesem Kontext ist unter einem Spekulationserfolg jene monetäre Auswirkung zu verstehen, welche durch die Einbeziehung von zukünftigen Preisentwicklungen entsteht. Ob diese durch gesicherte Informationen oder aufgrund einer Markteinschätzung entstehen, ist dabei nicht von Bedeutung.

¹²⁴ Vgl. Schulte (2001), S. 194.

variablen Bestellkosten Gültigkeit. Aus der Formel (5) lässt sich ableiten, dass vor einer Preiserhöhung – wenn ausschließlich die variablen Kosten betrachtet werden – eine möglichst große Bestellmenge zu wählen ist.¹²⁵

3.2.3. Lagerhaltungskosten

Lagerhaltungskosten umfassen alle Kosten, welche durch die Lagerung von Material verursacht werden.¹²⁶ Sie setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- *Lagerkosten*: Diese sind von kurzfristigen Schwankungen der eingelagerten Menge unabhängig und somit fixe Kosten. Hierbei kann es sich z. B. um Löhne der Lagerarbeiter, Strom für die Hallenbeleuchtung oder die Miete der Lagerräume handeln.¹²⁷ Abhängig sind die Kosten allerdings von der Lagerkapazität¹²⁸, bei deren Veränderung es zu einem sprunghaften Anstieg der Lagerkosten und somit zu sprunghaften Kosten kommen kann.¹²⁹
- *Lagerungskosten*: Es handelt sich dabei um Kosten, welche von der eingelagerten Menge abhängig sind und damit um variable Kosten. Die Lagerungskosten bestehen hauptsächlich aus den Kapitalbindungskosten¹³⁰, den mengenabhängigen Versicherungskosten sowie Kosten der Wertminderung (Schwund und Alterung). Es sind aber auch weitere Kosten wie z. B. Stromkosten für die Ein- und Auslagerung einer Einheit hinzuzurechnen.

Werden die fixen Lagerkosten und die variablen Lagerungskosten addiert, so ergeben sich die Lagerhaltungskosten. Welche Kosten in die Entscheidung einbezogen werden, ist vom zeitlichen Horizont der Bestellpolitik abhängig. Handelt es sich um eine einmalig durchzuführende Bestellung, sind ausschließlich die Lage-

¹²⁵ Vgl. Schulte (2001), S. 193.

¹²⁶ Vgl. Biedermann (2008), S. 40.

¹²⁷ Vgl. Dyckhoff (2006), S. 316.

¹²⁸ Unter Lagerkapazität wird die maximale Anzahl an Einheiten verstanden, welche im Lager gleichzeitig untergebracht werden kann [vgl. Arnold et al. (2005), S. 176].

¹²⁹ Vgl. Biedermann (2008), S. 41.

¹³⁰ Dies sind Kosten, welche durch die Bindung von Kapital entstehen bzw. Ertrag, der dadurch nicht realisiert werden kann (Opportunitätskosten). Eine detailliertere Beschreibung erfolgt im weiteren Verlauf dieses Unterkapitels.

rungskosten zu berücksichtigen, da nur diese durch die Entscheidung beeinflussbar sind.

Die Lagerungskosten korrelieren mit dem durchschnittlichen Bestand, welcher im einfachsten Fall den Mittelwert aus Höchst- und Mindestbestand innerhalb des Referenzzeitraums errechnet. Dabei werden jedoch eine konstante Materialentnahme und eine sprunghafte Lagerfüllung nach dessen vollständiger Entleerung vorausgesetzt. Unter Einhaltung dieser beiden Prämissen lässt sich der Durchschnittsbestand, bei einer diskreten Betrachtung, wie folgt formulieren:¹³¹

$$\bar{\varnothing}Lb = \frac{Bm - m}{2} \quad (6)$$

Dabei bedeutet:

$\bar{\varnothing}Lb$ Durchschnittlicher Lagerstand [ME]

m Abgangslosgröße [ME]

Durch diese Formel erfolgt eine Mittelwertbildung des minimalen und maximalen Lagerstandes. Da die Prämisse unterstellt wird, dass sich das Lager erst nach vollständiger Leerung wieder füllt, ist der Mindeststand immer null. Der maximale Lagerbestand ergibt sich aus der Bestellmenge abzüglich der Abgangslosgröße, da auch in der Periode der Lagerfüllung Einheiten entnommen werde.

Aus Formel (6) lässt sich ableiten, dass eine zunehmende Bestellmenge einen steigenden Lagerstand zur Folge hat, wodurch eine Korrelation zwischen diesen beiden Größen gegeben ist.

¹³¹ Bei einer stetigen Betrachtungsweise entfällt der Parameter m , da die Abgangslosgröße unendlich klein wird [vgl. dazu: Peters et al. (2005), S. 116].

Abbildung 18 zeigt den Verlauf des Lagerstands sowie den durchschnittlichen Lagerstand, wenn ein Bedarf innerhalb eines bestimmten Zeitraums mit zwei Bestellungen abgedeckt wird.¹³²

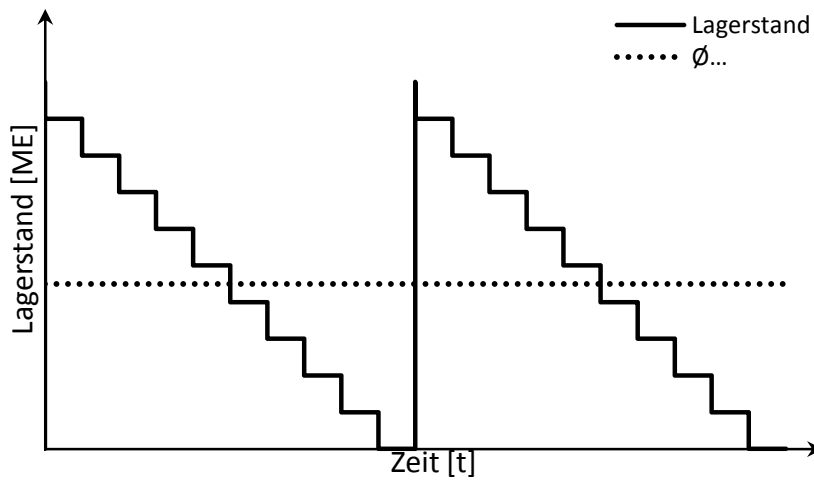


Abbildung 18: Ø Lagerstand bei einer Bestellhäufigkeit von zwei
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass sich der maximale Lagerstand aus der Bestellmenge abzüglich der konstanten Abgangslosgröße ergibt. Wird nun häufiger bestellt und somit der maximale Lagerstand reduziert, so verringert sich auch die durchschnittliche Anzahl an Einheiten, welche im Lager liegen.

¹³² Vgl. dazu: Rushton et al. (2008), S. 210; die Autoren greifen jedoch im Gegensatz zu der an dieser Stelle aufgezeigten auf eine diskrete Darstellungsweise zurück.

Nachfolgende Abbildung 19 zeigt den Lagerstand, wenn der Bedarf durch vier Bestellungen, anstatt durch zwei, abgedeckt wird:

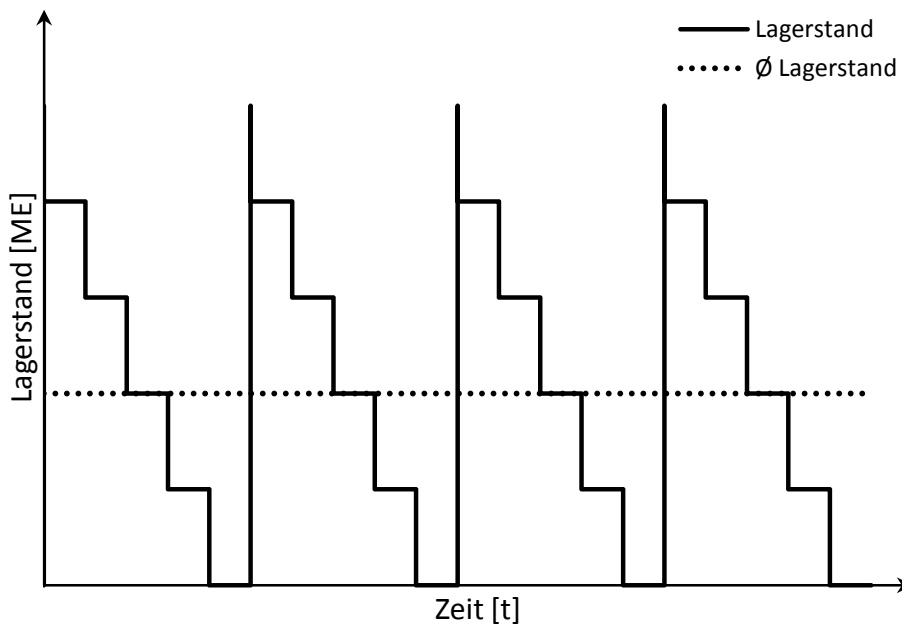


Abbildung 19: Ø Lagerstand bei einer Bestellhäufigkeit von vier
(Quelle: Eigene Darstellung)

Allgemein kann konstatiert werden, dass mit abnehmender Bestellmenge und der daraus resultierenden Zunahme der Bestellhäufigkeit ein immer geringer werdender durchschnittlicher Lagerstand erreicht wird.

Wenn die Abgänge nicht konstant bzw. das Lager beim Eintreffen der Bestellmenge nicht zur Gänze geleert ist, kann der durchschnittliche Lagerstand mit der Formel (6) nicht ermittelt werden.

Nachfolgende Abbildung 20 stellt einen solchen Verlauf grafisch dar:

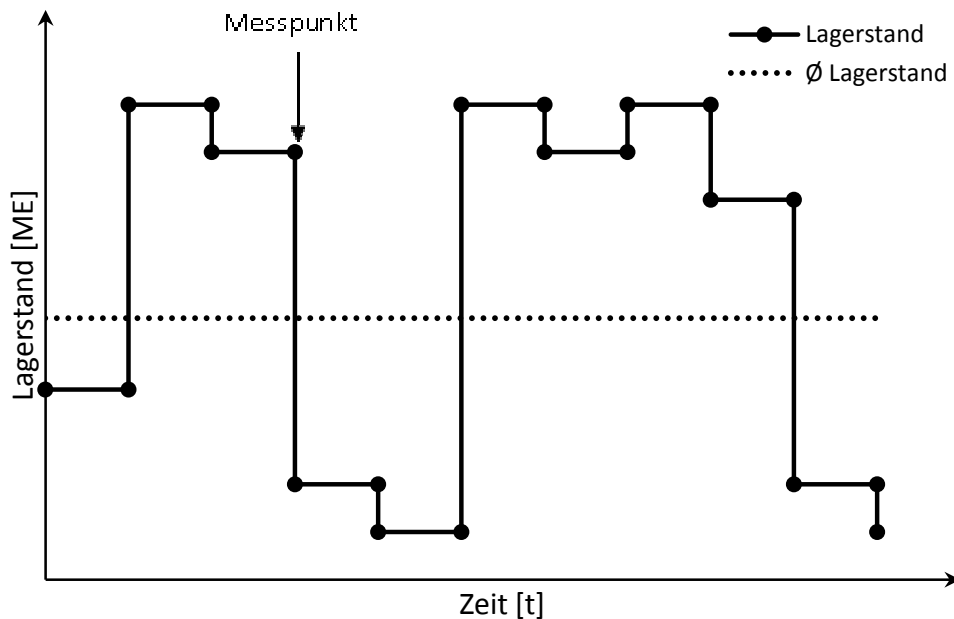


Abbildung 20: Verlauf des Lagerstands bei schwankendem Verbrauch
(Quelle: Eigene Darstellung)

Ein schwankender Verlauf, so wie dieser in obiger Grafik gezeigt wird, kann durch die periodische Erfassung des Lagerstandes festgestellt werden. Um den mittleren Lagerstand zu erhalten, muss die Summe der einzeln erfassten Lagerstände durch deren Anzahl dividiert werden. Mathematisch lässt sich der Zusammenhang folgendermaßen darstellen:

$$\emptyset Lb = \frac{\sum_{i=1}^n Lb_n}{n} \quad (7)$$

Dabei ist

n Anzahl der Perioden [-]

Lb_n Lagerstand der Periode n [ME]

Angemerkt sei, dass die Genauigkeit des berechneten durchschnittlichen Lagerstandes mit der Anzahl der Messpunkte zunimmt. Mit Hilfe einer exakten Lagerbuchführung lassen sich jedoch auch genaue Werte ermitteln. Wenn der mittlere Lagerstand mit den durchschnittlichen variablen Bestellkosten pro Einheit multipliziert wird, ergibt sich das im Lager im Durchschnitt gebundene Kapital.

Dieses wird auch als Kapitalbindung bezeichnet und lässt sich mathematisch mit nachfolgender Formel (8) darstellen:

$$\emptyset Kb = \emptyset Lb * \emptyset Bv \quad (8)$$

Dabei bedeutet:

$\emptyset Kb$ Durchschnittliche Kapitalbindung [GE]

$\emptyset Bv$ Durchschnittliche variable Kosten pro Einheit [GE]

Das gebundene Kapital verursacht Kosten, welche je nach Herkunft – Eigen- oder Fremdkapital – der Höhe und dem Charakter nach divergieren können. Stehen dem Unternehmen nur begrenzte liquide Mittel zur Verfügung, so sind auch Opportunitätskosten zu beachten, da potenziell gewinnbringende Investitionen nicht getätigt werden können. Die Kosten für die Kapitalbindung ergeben zusammen mit anderen Durchschnittssätzen, wie z. B. für Schwund, Alterung oder andere Risiken, den Lagerungssatz, wobei immer eine Korrelation zu dem gebundenen Kapital bestehen muss. Mathematisch kann eine Berechnung wie folgt durchgeführt werden:

$$Luk = \emptyset Kb * Lus \quad (9)$$

Dabei bedeutet:

Luk Lagerungskosten [GE]

Lus Lagerungssatz [-]

Handelt es sich um eine längerfristige Planung der Bestellpolitik, durch welche auch die Lagerkosten beeinflusst werden können und die damit entscheidungsrelevant sind, ist zusätzlich zum Lagerungssatz ein Lagersatz zu addieren. Um diesen zu erhalten, müssen alle bei der Lagerung anfallenden Kosten durch das im Durchschnitt gebundene Kapital dividiert werden.

$$Ls = \frac{Kfix_{Lager}}{\emptyset Kb} \quad (10)$$

Dabei bedeutet:

Ls Lagersatz [-]

$Kfix_{Lager}$ Fixkosten des Lagers [GE]

Zur Ermittlung des Lagerhaltungssatzes müssen der Lagerungssatz und der Lagersatz addiert werden.

$$Lhs = Ls + Lus \quad (11)$$

Dabei bedeutet:

Lhs Lagerhaltungssatz [-]

Um die Lagerhaltungskosten des durchschnittlichen Bestandes zu erhalten, kann das durchschnittlich gebundene Kapital mit dem Kostensatz für die Lagerhaltung multipliziert werden:

$$Lhk = \emptyset Kb * Lhs \quad (12)$$

Dabei bedeutet:

Lhk Lagerhaltungskosten [GE]

Problematisch bei der Einbeziehung der Lagerkosten ist, dass Einheiten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften differierende Kosten verursachen können. Weiterhin unterstellt der Lagersatz eine Korrelation zwischen dem Wert einer Einheit und den von dieser verursachten Lagerkosten, welche nicht gegeben sein muss. So werden beispielsweise die Lagerkosten von Einheiten mit gleichem Wert, aber unterschiedlichen Volumen äquivalent bewertet, obwohl sich der benötigte Lagerplatz unterscheidet. Außerdem werden bei Reduzierung der Lagerkapazität die fixen Kosten nicht proportional und aufgrund der Fixkostenremanenz zeitverzögert zurückgehen.¹³³ Insbesondere die Unproportionalität kann im beschriebenen Lagersatz nicht berücksichtigt werden, wodurch die Gefahr einer zu positiven Bewertung von kleineren Bestellmengen gegeben ist. Auch die Bewertung der Verzinsung des eingesetzten Kapitals ist als schwierig zu bezeichnen, da nicht immer geklärt werden kann, wie die Einheiten genau finanziert werden bzw. welche anderen Investitionen eventuell deswegen nicht getätigt werden können.¹³⁴

¹³³ Vgl. Pepels (2006), S. 784.

¹³⁴ Einen möglicher Bewertungsansatz stellt der WACC dar [vgl. Spremann (2004), S. 201].

Des Weiteren muss der Risikounterschied der alternativen Veranlagungsformen zur Lagerung der Einheiten bekannt und entsprechend berücksichtigt werden. Weiterhin als problematisch anzusehen ist die zur Berechnung des Lagersatzes erforderliche durchschnittliche Kapitalbindung. Diese ergibt sich für eine zukünftige Planungsperiode aus der Bestellmengenwahl, welche jedoch wiederum vom Lagersatz beeinflusst wird.

3.2.4. Fehlmengenkosten

Wenn ein Lagersystem in einer beliebigen Wertschöpfungsstufe die erwartete Verfügbarkeit nicht herstellen kann, dann entstehen Fehlmengenkosten.¹³⁵ Durch diese können die potenziellen Auswirkungen von Lagerfehlbeständen monetär bewertet werden.¹³⁶ Die durch fehlende Mengen verursachten Kosten lassen sich nach *Schulte* und *Holderied* in drei Kategorien untergliedern:¹³⁷

- Zusätzliche Kosten
- Erlösschmälerungen
- Entgangener Deckungsbeitrag

Zusätzliche Kosten können beim Versuch, die Fehlmengensituation zu beheben, entstehen. Im Beschaffungsbereich könnten diese z. B. notwendige Expresslieferungen sein, welche gegenüber dem Standardversand erhöhte Kosten verursachen. Wurden die Einheiten, trotz aller Maßnahmen, nicht rechtzeitig an den Kunden ausgeliefert, dann können weitere Kosten wie beispielsweise zu bezahlende Konventionalstrafen entstehen. Wenn es sich beim Abnehmer um die eigene Produktion handelt, kann eine notwendig werdende Ablaufänderung ebenfalls zusätzliche Kosten verursachen. Wird dem Kunden wegen einer verspäteten Lieferung ein Preisnachlass gewährt, dann handelt es sich um eine *Erlösschmälerung*. Diese entsteht auch, wenn der Kunde wegen Lieferverzug vom Kaufvertrag zurücktritt und die, vielleicht sogar speziell für ihn gefertigten, Einheiten nur noch zu einem geringeren Preis oder überhaupt nicht mehr verkauft werden können. Wenn die fehlende Menge eine direkte Auswirkung auf das nachgelagerte Unternehmen

¹³⁵ Vgl. Schieck (2008), S. 357.

¹³⁶ Vgl. Pfohl (2004), S. 102.

¹³⁷ Vgl. Schulte (2001), S. 32; Holderied (2005), S. 269.

bzw. den Endabnehmer hat, kann es auch zu Reputationsverlusten kommen. Diese können dazu führen, dass bestehende Abnehmer zukünftig zu einem anderen Lieferanten wechseln und die schlechte logistische Leistung an weitere Kunden kommunizieren. Die Folgen können Auftragsverluste und somit *entgangener Deckungsbeitrag* sein. Dieser entsteht auch, wenn Kunden wegen mangelnder Lieferfähigkeit den Auftrag an einen Mitbewerber vergeben.

Die vollständige Bewertung von Fehlmengenkosten ist jedoch sehr schwierig.¹³⁸ Kosten, welche durch Konventionalstrafen oder notwendig gewordene Expresslieferungen entstehen, sind zwar i.d.R. problemlos quantifizierbar, die häufig gravierenderen Vertrauensschäden können in der Praxis laut *Lödding* nicht exakt bestimmt werden.¹³⁹ Generell können Opportunitätskosten, welche durch Reputationsverluste entstehen, oft nicht einmal einer groben Schätzung unterzogen werden.¹⁴⁰ Laut *Pfohl* haben die meisten Unternehmen keine Vorstellung davon, was der Verlust eines Kunden tatsächlich kostet, wobei die monetären Nachteile mit zunehmender Dauer der Zusammenarbeit tendenziell zunehmen.¹⁴¹ Es kann somit konstatiert werden, dass eine Quantifizierung der Fehlmengenkosten i.d.R. mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Das Ergebnis eines Verfahrens ist immer nur so genau wie die zur Verfügung stehenden Inputdaten, weswegen die Arbeit mit Fehlmengenkosten als kritisch betrachtet werden kann.

3.3. Der Sicherheitsbestand und seine Berechnung

Die in der betrieblichen Praxis tendenziell oft auftretenden stochastischen Schwankungen von diversen Parametern können durch das Vorrätighalten eines Sicherheitsbestandes berücksichtigt werden. Darunter wird eine Mindestmenge an Einheiten verstanden, welche nicht für den normalen Verbrauch bestimmt ist.¹⁴² Der Sicherheitsbestand stellt einen Puffer dar, durch welchen stochastische Schwankungen ausgeglichen werden.

¹³⁸ Vgl. Pfohl (2004), S. 102.

¹³⁹ Vgl. Lödding (2008), S. 37.

¹⁴⁰ Vgl. Fleischmann (2008), S. 8.

¹⁴¹ Vgl. Pfohl (2004), S. 102f.

¹⁴² Vgl. Biedermann (1995), S. 104.

Für ein Bestellpunktverfahren sei er definiert als die Differenz zwischen Bestellpunkt und Erwartungswert der Nachfrage innerhalb der Wiederbeschaffungszeit^{143, 144}.

$$SI = Bp - E\{VWbz\}$$

Dabei ist:

Bp	Bestellpunkt [ME]
$E\{VWbz\}$	Erwarteter Verbrauch in der Wiederbeschaffungszeit [ME]
SI	Sicherheitsbestand [ME]

Schwankungen können kundenseitig auftreten, sodass der tatsächliche Verbrauch nicht dem erwarteten entspricht. So kann es z. B. zu einer unerwartet hohen Nachfrage kommen, welche bei der Planung mangels Informationen nicht berücksichtigt werden konnte. Aber auch bei den Zugängen kann es aufgrund von variierenden Lieferzeiten oder -mengen zu Planabweichungen kommen. Des Weiteren sind Divergenzen zwischen dem vermuteten Soll-Bestand und dem tatsächlich vorhandenen Ist-Bestand denkbar.

¹⁴³ Die Wiederbeschaffungszeit beinhaltet die Lieferzeit des Lieferanten und ist jene Zeit, welche zwischen der Bestellung und der internen Verfügbarkeit der Einheiten vergeht, siehe dazu: Kapitel 3.3.1.

¹⁴⁴ Vgl. Bretzke (2008), S. 148.

Die nachfolgende Abbildung 21 stellt ein Bestellpunktverfahren (s, Q-Regel) mit den möglichen stochastischen Schwankungen grafisch dar:

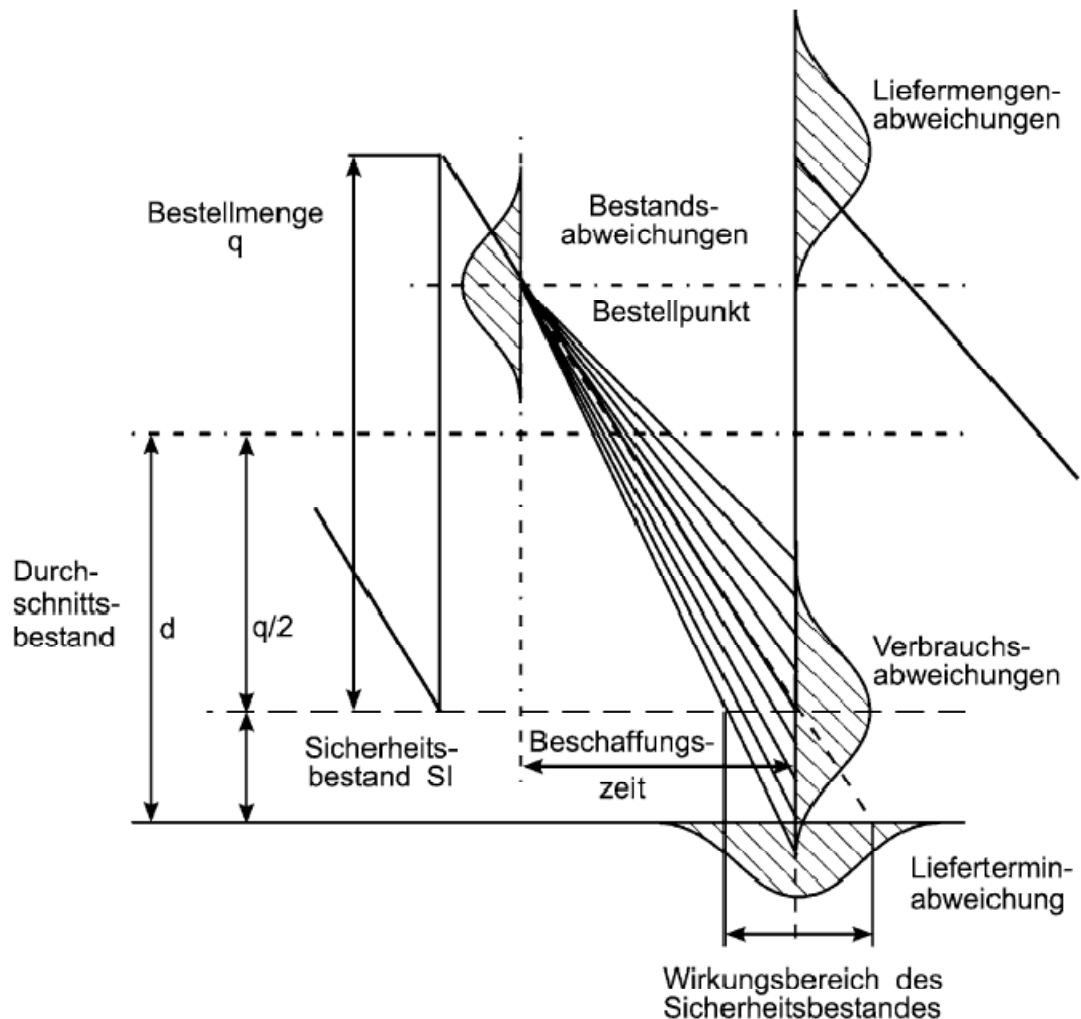


Abbildung 21: Stochastische Einflüsse auf das Bestellpunktverfahren
(Quelle: Biedermann (2008), S. 44)

Nach Eintreffen der bestellten Menge wird nach einer gewissen Zeit der Bestellpunkt erreicht, durch welchen ein Bestellvorgang ausgelöst wird. Erfolgt hier eine Orientierung nach dem Soll-Bestand, kann es zu einer ersten Abweichung kommen – dies gilt auch bei einer variablen Entnahmelosgröße.¹⁴⁵ Es kann eine andere Anzahl von Einheiten im Lager sein, als dies die Lagerbuchführung vermuten lässt. Wenn während der Wiederbeschaffungszeit (in Abbildung 21 als Beschaffungszeit bezeichnet) mehr verbraucht wird, als angenommen wurde, dann werden Einheiten aus dem Sicherheitsbestand benötigt. Ursachen können Lieferter-

¹⁴⁵ Vgl. dazu: Kapitel 3.1.

min- sowie Verbrauchsabweichungen sein. Auch bei der Liefermenge kann es zu Abweichungen kommen, so können z. B. nicht alle Einheiten den notwendigen Qualitätsanforderungen entsprechen, wodurch die verwendbare Anzahl der gelieferten Einheiten abnimmt. Fehlmengen entstehen erst dann, wenn der Sicherheitsbestand die stochastischen Schwankungen nicht mehr kompensieren kann.

Auch wenn durch den Sicherheitsbestand Fehlmengenkosten reduziert werden, führt dieser zu höheren Lagerhaltungskosten, weswegen es hier einen Kompromiss zu erzielen gilt. Sind tendenziell hohe Fehlmengenkosten zu erwarten, dann kann ein umfangreich dimensionierter Sicherheitsbestand durchaus angebracht sein.¹⁴⁶ Sind jedoch die durch den Sicherheitsbestand verursachten Lagerhaltungskosten im Vergleich zu den erwarteten Fehlmengenkosten hoch, so ist es von Vorteil, wenn gelegentliche Fehlmengen akzeptiert werden.

In der Praxis ist eine genaue Quantifizierbarkeit von Fehlmengenkosten oft nicht möglich.¹⁴⁷ Eine Alternative bietet die Arbeit mit einem Servicegrad, dessen Höhe im Rahmen der strategischen Zielplanung festgelegt werden kann.¹⁴⁸ Deswegen wird nachfolgend, in Kapitel 3.3.1, auf die verschiedenen Möglichkeiten, einen Servicegrad zu definieren, eingegangen. Im Anschluss wird gezeigt, wie mit dessen Hilfe auf den notwendigen Sicherheitsbestand geschlossen werden kann.

3.3.1. Servicegrad

Ein Servicegrad ist eine Kennziffer, welche zur Beurteilung der Lieferfähigkeit dient.¹⁴⁹ Mit dem Servicegrad kann einem Lager bzw. einem Produkt eine bestimmte logistische Leistung vorgegeben werden, wodurch Fehlmengenkosten implizit berücksichtigt werden können. In der Literatur finden sich verschiedene Servicegraddefinitionen wieder, *Alicke* führt beispielsweise folgende Varianten an:¹⁵⁰

- α – Servicegrad
- β – Servicegrad
- γ – Servicegrad

¹⁴⁶ Vgl. Biedermann (1995), S. 104.

¹⁴⁷ Vgl. dazu: Kapitel 3.2.4.

¹⁴⁸ Vgl. Fleischmann (2008), S. 8.

¹⁴⁹ Vgl. Alicke (2005), S. 57.

¹⁵⁰ Vgl. Alicke (2005), S. 57f.

Nachfolgend werden alle drei von *Alick* aufgelisteten Arten detailliert beschrieben und anschließend geschildert, wie sich der α – *Servicegrad* praxisnäher gestalten lässt.

α -Servicegrad

Der α – *Servicegrad* gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass der zu Beginn der Wiederbeschaffungszeit vorhandene Bestand ausreicht, damit die gesamte Nachfrage, welche während dieser Zeit auftritt, befriedigt werden kann.¹⁵¹

$$\alpha - \text{Servicegrad} = P \left\{ \begin{array}{l} \text{Nachfragemenge in der Wbz} \\ \leq \text{verfügbarer Bestand zu Beginn der Wbz} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Dabei ist:

P	Wahrscheinlichkeit [-]
Wbz	Wiederbeschaffungszeit [ZE]

Es handelt sich um einen ereignisorientierten Servicegrad, da lediglich die Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann, dass kein Fehlmengenereignis eintritt. Diese Definition bezieht sich auf den gesamten betrachteten Referenzzeitraum und nicht auf einzelne Bestellzyklen^{152,153} und ist – zumindest – auf Lehrbuchebe-
ne sehr populär.¹⁵⁴ Der α – *Servicegrad* kann sich aber auch explizit auf die Wiederbeschaffungszeit eines einzelnen Bestellzyklus beziehen und wird in diesem Fall nachfolgend als α *Zyk – Servicegrad* bezeichnet.

Günther et al. setzen die Wiederbeschaffungszeit mit der Lieferzeit des Lieferanten gleich.¹⁵⁵ Die interne Verfügbarkeit ist aber, z. B. wegen noch nicht erfolgter Freigabe durch die Qualitätskontrolle, nicht immer mit dem Eintreffen der Einhei-

¹⁵¹ Vgl. Günther et al. (2005), S. 255.

¹⁵² Unter Bestellzyklus ist die wiederkehrende Phase zwischen dem Eintreffen von zwei aufeinanderfolgenden Bestellung zu verstehen [vgl. Sucky (2004), S. 53].

¹⁵³ Vgl. Tempelmeier (1983), S. 142.

¹⁵⁴ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

¹⁵⁵ Vgl. Günther et al. (2005), S. 249.

ten gegeben. Deswegen muss der Auffassung, dass die Wiederbeschaffungszeit bei externen Bestellungen¹⁵⁶ gleich der Lieferzeit des Lieferanten ist, widersprochen werden. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$Wbz \geq Lz$$

Dabei ist:

Lz Lieferzeit [ZE]

Die Wiederbeschaffungszeit beinhaltet die Lieferzeit des Lieferanten und ist jene Zeit, welche zwischen der Bestellung und der internen Verfügbarkeit der Einheiten vergeht. Der α – *Servicegrad* berücksichtigt ausschließlich diesen Zeitraum, welcher besonders bei langen Bestellzyklen nur einen kleinen Teil der Dauer zwischen zwei Bestellungen ausmacht.¹⁵⁷ Diese Einschränkung ist insofern fragwürdig, da Kunden ein Fehlmengenergebnis auch dann in die Betrachtung einbeziehen, wenn es außerhalb der Wiederbeschaffungszeit stattfindet.¹⁵⁸ Der vom Kunden wahrgenommene Servicegrad entspricht somit i.d.R. nicht dem α – *Servicegrad*. Wenn von einem angemessen dimensionierten Sicherheitsbestand ausgegangen wird, kann angenommen werden, dass es außerhalb der Wiederbeschaffungszeit zu keiner Fehlmenge kommt.¹⁵⁹ Der Servicegrad gegenüber den Kunden ist somit immer höher, als dies der α – *Servicegrad* vermuten lässt. Da dieser Zusammenhang von Verantwortlichen nicht in jedem Fall verstanden wird, kann die unreflektierte Verwendung des α – *Servicegrad* zu unnötig hohen Beständen führen.¹⁶⁰

¹⁵⁶ Es gibt auch interne Bestellungen, welche einen Produktionsauftrag darstellen und somit für den Kontext dieser Arbeit irrelevant sind. Wird im weiteren Verlauf von Bestellungen gesprochen, dann sind darunter externe zu verstehen.

¹⁵⁷ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

¹⁵⁸ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

¹⁵⁹ Vgl. Bretzke (2008), S. 148.

¹⁶⁰ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

β -Servicegrad

Der β – *Servicegrad*, im englischsprachigen Raum auch als Fill-Rate bezeichnet,¹⁶¹ gibt den Anteil der sofort belieferten Nachfragemenge an der Gesamtnachfragemenge innerhalb eines Referenzzeitraums an.¹⁶²

$$\beta - \text{Servicegrad} = \frac{\text{Termingerecht gelieferte Menge}}{\text{gesamte Bestellmenge}} \quad (14)$$

Es handelt sich hierbei um eine mengenorientierte Kennzahl, welche im Gegensatz zum α – *Servicegrad* nicht nur die Tatsache erfasst, dass ein Fehlmengeneignis auftritt, sondern auch die Anzahl der fehlenden Einheiten berücksichtigt.¹⁶³ Die *Servicegrad*definition bezieht sich auf einen bestimmten Referenzzeitraum und damit nicht notwendigerweise auf den einzelnen Bestellzyklus.¹⁶⁴ Wenn der Referenzzeitraum jedoch genau dem Bestellzyklus entspricht, dann kann die Nomenklatur auf β_{Zyk} – *Servicegrad* verändert werden. Der β – *Servicegrad* bezieht auch den Zeitraum außerhalb der Wiederbeschaffungszeit in die Betrachtung mit ein, was ein weiteres Differenzierungsmerkmal zum α – *Servicegrad* darstellt. Denn dieser fokussiert ausschließlich den Zeitraum zwischen dem Auslösen einer Bestellung und der internen Einheitenverfügbarkeit, also die Wiederbeschaffungszeit.

γ -Servicegrad

Der γ – *Servicegrad* berücksichtigt den kumulierten Rückstand und ist somit eine zeit- und mengenorientierte Kennzahl.¹⁶⁵ Während für die Berechnung des β – *Servicegrades* die Gesamtfehlmenge am Ende des Referenzzeitraums von Relevanz ist, erfasst der γ – *Servicegrad* die Fehlbestandsentwicklung über den Zeitverlauf.

¹⁶¹ Vgl. Alicke (2005), S. 57.

¹⁶² Vgl. Bäck et al. (2007), S. 174.

¹⁶³ Vgl. Lasch et al. (2007), S. 54.

¹⁶⁴ Vgl. Tempelmeier (1983), S. 142.

¹⁶⁵ Vgl. Alicke (2005), S. 58.

$$1 - \frac{\gamma - \text{Servicegrad} = \text{Mittlere kumulierte nicht befriedigte Nachfrage pro Periode}}{\text{Mittlere Nachfrage pro Periode}} \quad (15)$$

Somit wird auch die Dauer der fehlenden Einheiten in die Berechnung mit einbezogen, nicht nur deren absolute Höhe am Periodenende. Bei Äquivalenz zwischen Referenzzeitraum und Bestellzyklus kann eine entsprechende Adaption der Nomenklatur, auf $\gamma_{\text{Zyk}} - \text{Servicegrad}$, vorgenommen werden. Es wird, genau wie beim $\beta - \text{Servicegrad}$, auch der Zeitraum außerhalb der Wiederbeschaffungszeit in die Betrachtung mit einbezogen.

α_{II} -Servicegrad

Der $\alpha_{II} - \text{Servicegrad}$ ist eine ereignisorientierte Kennzahl, welche sich auf die Zeit außerhalb und innerhalb der Wiederbeschaffungszeit bezieht und eine modifizierte Variante des $\alpha - \text{Servicegrads}$ darstellt. Er sei definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass es im gesamten Referenzzeitraum (z. B. in einem Jahr) zu keinem Fehlmengenereignis kommt.

$$\alpha_{II} - \text{Servicegrad} = P \{ \text{Kein Fehlmengenereignis innerhalb des Referenzzeitraums} \} \quad (16)$$

Anstatt auf den gesamten Referenzzeitraum kann sich der $\alpha_{II} - \text{Servicegrad}$ auch auf einen Bestellzyklus beziehen.

$$\alpha_{II} \text{Zyk} - \text{Servicegrad} = P \{ \text{Kein Fehlmengenereignis innerhalb eines Bestellzyklus} \} \quad (17)$$

Der $\alpha_{II} - \text{Servicegrad}$ lässt sich direkt in den $\alpha - \text{Servicegrad}$ überführen. Unter der Prämisse, dass es außerhalb der Wiederbeschaffungszeiten zu keiner Fehlmenge kommen kann,¹⁶⁶ errechnet sich dieser wie folgt:

¹⁶⁶ Theoretisch betrachtet ist diese nicht möglich, da es statistisch gesehen immer, unabhängig von der Bestandshöhe, zu Fehlmengenereignissen kommen kann. Aber sowohl aus praktischer Sicht als auch für den Zweck der Beschreibung der Zusammenhänge kann die immer vorhandene, sehr

$$\alpha_{II} - \text{Servicegrad} = \frac{Wbz * \alpha - \text{Servicegrad} + (Bz - Wbz)}{Bz} \quad (18)$$

Dabei ist:

Bz Ø Dauer Bestellzyklus [ZE]

Wbz Ø Dauer der Wiederbeschaffungszeit [ZE]

Die Formel entspricht der Bildung des gewichteten Mittelwertes aus der Servicewahrscheinlichkeit innerhalb und außerhalb der Wiederbeschaffungszeit. Wird außerhalb der Wiederbeschaffungszeit eine Servicewahrscheinlichkeit von unter 100% unterstellt, dann ist der Term $(Bz - Wbz)$ mit dieser zu multiplizieren.

Durch die Erweiterung der Betrachtung auf den gesamten Bestellzyklus kann der Kundensichtweise besser, als dies durch den $\alpha - \text{Servicegrad}$ möglich ist,¹⁶⁷ entsprochen werden. Zusätzlich werden einer unreflektierten Anwendung, welche aufgrund der Fokussierung des $\alpha - \text{Servicegrads}$ auf die Wiederbeschaffungszeit problematisch ist, entgegengewirkt und dadurch ungewollte hohe Sicherheitsbestände verhindert.¹⁶⁸

Sowohl der α also auch der $\alpha_{II} - \text{Servicegrad}$ beschreiben die Wahrscheinlichkeit, dass es zu keinem Fehlmengenereignis kommt, weswegen beide als ereignisorientiert bezeichnet werden können. Jedoch wird deswegen speziell der $\alpha - \text{Servicegrad}$ von einigen Autoren kritisch betrachtet und dabei z. B. von Bretzke folgende Punkte angeführt:¹⁶⁹

- Es wird nur die Wiederbeschaffungszeit und nicht der gesamte Bestellzyklus betrachtet.
- Es wird mit abstrakten Fehlmengewahrscheinlichkeiten anstatt mit einer konkreten Fehlmenge gearbeitet.

geringe Restwahrscheinlichkeit vernachlässigt werden. Dazu muss allerdings der Sicherheitsbestand angemessen dimensioniert sein [vgl. Bretzke (2008), S. 148; Gudehus (2005), S. 387].

¹⁶⁷ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

¹⁶⁸ Vgl. Bretzke (2006), S. 125.

¹⁶⁹ Vgl. Bretzke (2008), S. 148.

Der erste Kritikpunkt wird durch die Verwendung des α_{II} – *Servicegrads* entkräftet, da dieser den gesamten Bestellzyklus in die Betrachtung mit einbezieht, also auch die Phasen außerhalb der Wiederbeschaffungszeit. Keiner der beiden ereignisorientierten Servicegrade kann allerdings die Anzahl der fehlenden Einheiten in die Betrachtung mit einbeziehen. Dieser von *Bretze* angeführte Kritikpunkt wird auch von *Rühl et al.* geäußert und aus diesem Grunde die Verwendung des mengenorientierten β – *Servicegrads* empfohlen.¹⁷⁰ Dieser Empfehlung kann man sich uneingeschränkt anschließen, wenn der Servicegrad als Vorgabe der logistischen Leistung von externen Stellen, wie z. B. Lieferanten, verwendet wird oder aber auch bei Ex-post-Leistungsbeurteilungen. Denn die entstehenden Nachteile können zwischen dem Auftreten einer und mehrerer Fehlmengeneinheiten durchaus eine signifikante Divergenz aufweisen. Stellt der Servicegrad eine strategieunterstützende interne Größe dar, kann für den Kontext keine der angeführten Definitionen präferiert werden. Der gewählte Servicegrad soll nämlich den Entscheidungsträger bestmöglich bei der Strategieumsetzung unterstützen, weswegen die Wahl der Servicegraddefinition vom subjektiven Empfinden und den Gewohnheiten des jeweiligen Anwenders abhängig ist. In der Praxis kann jedoch nicht immer davon ausgegangen werden, dass der Hintergrund der verschiedenen Servicegraddefinitionen verstanden wird. Deswegen wird der α – *Servicegrad*, der zu unnötig hohen Sicherheitsbeständen führen kann, nicht weiter betrachtet. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, beziehen sich alle nachfolgenden Aussagen ausschließlich auf den α_{II} bzw. α_{II} Zyk – *Servicegrad*, was jedoch keine Präferenzierung gegenüber dem β oder γ – *Servicegrad* darstellt.

3.3.2. Sicherheitsbestand

Durch die Berechnung und Vorhaltung des Sicherheitsbestandes soll sichergestellt werden, dass der i.d.R. aus strategischen Überlegungen entstandene Servicegrad tatsächlich erreicht wird. Für dessen Berechnung sieht *Biedermann* drei praktikable Lösungen vor:¹⁷¹

- Sicherheitszuschläge
- Heuristische Funktionen
- Mathematische Methoden

¹⁷⁰ Vgl. *Rühl et al.* (2003), S. 431.

¹⁷¹ Vgl. *Biedermann* (2008), S. 43.

In der Praxis wird oft mit einem fixen *Sicherheitszuschlag* gearbeitet, welcher z. B. einem bestimmten Prozentsatz entsprechen kann, womit eine einfache Ermittlung des Sicherheitsbestandes durchführbar ist. Diese vereinfachte Festlegung des Sicherheitsbestandes kann jedoch zu vermeidbaren Lagerhaltungskosten führen.¹⁷² Des Weiteren kann die geforderte Höhe des Servicegrades dabei höchstens tendenziell berücksichtigt werden, weswegen eine Sicherheitsbestandsermittlung mit Zuschlägen nicht näher betrachtet wird.

Bei den *heuristischen Funktionen* wird der Sicherheitsbestand als Funktion relevanter Einflussgrößen ermittelt.¹⁷³ Dabei werden mit Hilfe von Erfahrungs- und Vergangenheitswerten Funktionen formuliert, auf deren Basis der Sicherheitsbestand festgelegt werden kann. Eine entsprechende Funktionsableitung ist damit generisch nicht möglich und wird deswegen keiner weiteren Betrachtung unterzogen.

Mit Hilfe von *mathematischen Verfahren* ist es möglich, den Sicherheitsbestand entsprechend des Servicegrades auszulegen. Bevor jedoch eine Berechnung erfolgen kann, muss dem Verbrauch sowie der Wiederbeschaffungszeit der Einheiten ein passender Verteilungstyp zugrunde gelegt werden.¹⁷⁴ Neben einer subjektiven Einschätzung kann bei bestehenden Beschaffungsobjektgruppen eine Analyse von Vergangenheitsdaten erfolgen und daraus mit Hilfe von Anpassungstests¹⁷⁵ auf einen geeigneten theoretischen Verteilungstyp geschlossen werden. Für die weiteren Ausführungen wird unterstellt, dass sowohl der Verbrauch als auch die Wiederbeschaffungszeit einer Normalverteilung genügen. Auch wenn diese Annahme in der Praxis nicht immer zutreffen muss, ist diese jedoch – zumindest den Verbrauch betreffend – sehr häufig gültig.¹⁷⁶

¹⁷² Vgl. Biedermann (2008), S. 45.

¹⁷³ Vgl. Hahn et al. (1999), S. 481.

¹⁷⁴ Vgl. Biedermann (2008), S. 45.

¹⁷⁵ Zur Durchführung von Anpassungstests siehe z. B. Hartung (2005), S. 181.

¹⁷⁶ Vgl. Biedermann (2008), S. 68.

Die Dichtefunktion¹⁷⁷ der Normalverteilung ist folgendermaßen definiert:¹⁷⁸

$$f(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (19)$$

Dabei ist:

σ	Standardabweichung der Grundgesamtheit [-]
μ	Arithmetischer Mittelwert, Erwartungswert [-]
x	Zufallsgröße [-]

Da die Normalverteilung N durch die beiden Parameter σ und μ determiniert wird,¹⁷⁹ kann folgende Kurzschreibweise verwendet werden:

$$f(x) \sim N(\mu, \sigma)$$

Um daraus eine bestimmte Wahrscheinlichkeit ermitteln zu können, muss die Fläche unterhalb der Dichtefunktion berechnet werden,¹⁸⁰ was zwar mit Hilfe der Integralrechnung möglich ist,¹⁸¹ aber im praktischen Umfeld oft zu zeitintensiv ist. Um die mathematische Behandlung zu erleichtern, kann mit der Standardnormalverteilung gearbeitet werden,¹⁸² wozu zuerst die Zufallsvariable Z errechnet werden muss.¹⁸³

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (20)$$

¹⁷⁷ Eine Dichtefunktion beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Zufallsvariable eine bestimmte Merkmalsausprägung annimmt.

¹⁷⁸ Vgl. Teschl et al. (2007), S. 309.

¹⁷⁹ Vgl. Kleppmann (2008), S. 64.

¹⁸⁰ Vgl. Müller-Benedict (2007), S. 123.

¹⁸¹ Siehe dazu: Behnke (2006), S. 259.

¹⁸² Durch eine Z-Standardisierung kann die Normalverteilung in die Standardnormalverteilung überführt werden. Zur genauen Vorgehensweise siehe: Bücken (2003), S. 156f.

¹⁸³ Vgl. Bosch (2007), S. 144.

Mit der Zufallsvariable Z kann die gewünschte Höhe des Servicegrades berücksichtigt werden. Der Rückschluss ist über eine Tabelle für die Standardnormalverteilung möglich und wird nachfolgend für einige Werte exemplarisch aufgelistet.¹⁸⁴

α Zyk	Z
85 %	1,04
90 %	1,29
95 %	1,65
99 %	2,33

Tabelle 8: Auswahl der Zufallsvariable Z
(Quelle: Eigene Darstellung)

Betrachtet man die Definition des Servicegrades α , so muss jener Sicherheitsbestand gesucht werden, durch welchen mit der Wahrscheinlichkeit α innerhalb einer Wiederbeschaffungszeit kein Fehlmengenereignis auftritt. Dieser kann durch Faltung¹⁸⁵ der Normalverteilung ermittelt werden, wenn unterstellt wird, dass die Nachfragemenge der einzelnen Perioden unabhängig sind.¹⁸⁶ Wenn weiter davon ausgegangen wird, dass der Erwartungswert sowie die Standardabweichung in jeder Periode gleich sind, dann ergibt sich unter Berücksichtigung der Additionsgesetze für Erwartungswerte und Standardabweichungen folgender Zusammenhang:¹⁸⁷

$$N(\mu + \mu + \dots + \mu, \sqrt{\sigma^2 + \sigma^2 + \dots + \sigma^2}) = N(\mu * Wbz, \sqrt{\sigma^2 * Wbz}) = N(\mu * WBZ, \sigma * \sqrt{Wbz}) \quad (21)$$

¹⁸⁴ Für eine ausführliche Auflistung siehe: Toutenburg (2003), S. 322ff.

¹⁸⁵ Die Normalverteilung ist invariant gegenüber der Faltung, das heißt, die Summe unabhängiger normalverteilter Zufallsgrößen ist wieder normal verteilt.

¹⁸⁶ Vgl. Henze (2008), S. 290ff.

¹⁸⁷ Vgl. Alicke (2005), S. 62.

Wird die Nomenklatur von Formel (20) angepasst, umgeformt und die gefaltete Normalverteilung, Formel (21), eingesetzt, dann erhält man:¹⁸⁸

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{Bp - E\{VpT\}}{\sigma_{VpT}} \leftrightarrow Bp = E\{VpT\} * Wbz + Z * \sigma_{VpT} * \sqrt{Wbz} \quad (22)$$

Dabei ist:

$E\{VpT\}$ Erwarteter Verbrauch pro Tag [ME]

σ_{VpT} Standardabweichung des erwarteten Tagesverbrauchs [ME]

Die Standardabweichung σ kann durch folgende Formel berechnet¹⁸⁹ werden:¹⁹⁰

$$\sigma_{VpT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VpT_i - E\{VpT\})^2}{n}} \quad (23)$$

Dabei ist:

VpT Verbrauch pro Tag [ME]

Wobei sich der Erwartungswert mit nachfolgender Formel berechnen lässt:¹⁹¹

$$E\{VpT\} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n VpT_i \quad (24)$$

Zu beachten ist noch, dass sich Tabelle 8 auf den $\alpha - Servicegrad$ bezieht. Da von dessen Verwendung aus praktischen Gründen abgeraten wird¹⁹² und deswegen der $\alpha_{II} - Servicegrad$ benutzt werden sollte, muss zwischen diesen beiden zuerst eine Umrechnung erfolgen. Wird die Formel (18) entsprechend umgeformt,

¹⁸⁸ Vgl. Alicke (2005), S. 62.

¹⁸⁹ Wenn nur eine Stichprobe verwendet werden soll, dann muss eine Division durch n-1 anstatt durch n erfolgen.

¹⁹⁰ Vgl. Bücken (2003), S. 63; eine einfache Approximation ist mit der MAD-Methode möglich. Siehe dazu: Biedermann (2008), S. 71f.

¹⁹¹ Vgl. Lehn et al. (2006), S. 51.

¹⁹² Vgl. dazu: Kapitel 3.2.1.

kann vom zu erreichenden α_{II} – Servicegrad auf den α – Servicegrad geschlossen und mit diesem dann die Zufallsvariable Z bestimmt werden.

$$\alpha - \text{Servicegrad} = \frac{\alpha_{II} - \text{Servicegrad} * BZ - (Bz - Wbz)}{Wbz} \quad (25)$$

Die Formel (22), welche zur Berechnung des Bestellpunktes herangezogen werden kann, ist nur bei konstanter Wiederbeschaffungszeit gültig.¹⁹³ Für den Fall, dass auch die Wiederbeschaffungszeit stochastischen Schwankungen unterworfen ist, wird z. B. von *Biedermann* oder *Alicke* die Verwendung einer anderen Formel vorgeschlagen.¹⁹⁴

$$Bp = (E\{WBZ\} * E\{VpT\}) + Z * \sqrt{E\{Wbz\} * \sigma_{VpT}^2 + (E\{VpT\} * \sigma_{Wbz})^2}$$

Dabei ist:

σ_{Wbz} Standardabweichung der Wiederbeschaffungszeit [ZE]

Die Ableitung der Formel wird ausführlich von *Alicke* erörtert.¹⁹⁵ Generell kann noch festgehalten werden, dass die Normalverteilung der Wiederbeschaffungszeit und des Periodenbedarfes eine notwendige Voraussetzung zur Anwendung der beschriebenen Formeln darstellt. *Alicke* merkt jedoch an, dass die Wahrscheinlichkeit einer verspäteten Lieferung deutlich höher ist als die einer zu frühen, und empfiehlt deswegen die Verwendung einer diskreten Verteilung.¹⁹⁶ Auch *Schulte* zweifelt die Normalverteilung der Wiederbeschaffung an.¹⁹⁷ Wie weit die Prämisse der Normalverteilung zutrifft, ist jedenfalls situativ zu überprüfen. Abschließend sei noch angemerkt, dass die beschriebene Auslegung des Bestellpunktes strenggenommen nur bei einer stetigen Entnahme Gültigkeit hat. Ist die durchschnittliche Abgangslosgröße tendenziell groß, dann sollte dies bei der Festlegung berücksichtigt werden.¹⁹⁸ Um den vorgegebenen Servicegrad nicht zu unterschreiten,

¹⁹³ Vgl. Biedermann (2008), S. 67ff.

¹⁹⁴ Vgl. Biedermann (2008), S. 74f; Alicke (2005), S. 64.

¹⁹⁵ Vgl. Alicke (2005), S. 75ff.

¹⁹⁶ Vgl. Alicke (2005), S. 64f.

¹⁹⁷ Vgl. Schulte (2001), S. 378.

¹⁹⁸ Siehe dazu: Kapitel 3.1.

muss der Bestellpunkt um die maximal zu erwartende Abgangslosgröße angehoben werden.¹⁹⁹

3.4. Interdependenzen

Zwischen den erörterten Kostenkomponenten, dem Servicegrad und dem daraus resultierenden Sicherheitsbestand bestehen gegenseitige Abhängigkeiten. Um die kostenoptimale Bestellpolitik ermitteln zu können, muss deswegen eine gemeinsame Betrachtung erfolgen. Erste Interdependenzen zeigen sich bereits, wenn ausschließlich die Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten betrachtet werden. Die beiden gegenläufigen Kostenkomponenten werden in nachfolgender Abbildung 22 dargestellt:

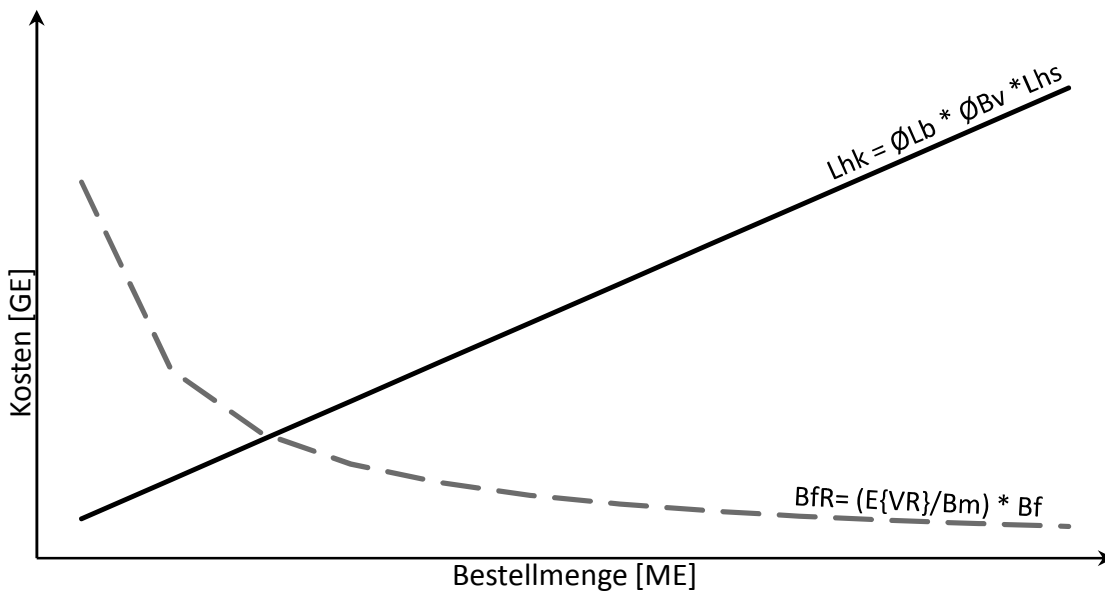


Abbildung 22: Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten in Abhängigkeit von der Bestellmenge

(Quelle: In Anlehnung an Peters et al. (2005), S. 117)

Mit zunehmender Bestellmenge müssen zur Deckung des Bedarfs im Referenzzeitraum weniger Bestellungen getätigt werden, wodurch die Summe der Bestellfixkosten abnimmt. Im Gegensatz dazu steigen jedoch das durchschnittlich gebundene Kapital und somit die Lagerhaltungskosten an. Hier zeigt sich das erste Optimierungsproblem, welches es zu lösen gilt.

¹⁹⁹ Vgl. Lödding (2008), S. 166.

Eine weitere Abhängigkeit ergibt sich zwischen Servicegrad und der daraus resultierenden Höhe des Sicherheitsbestandes, welche durch nachfolgende Abbildung 23 dargestellt wird:

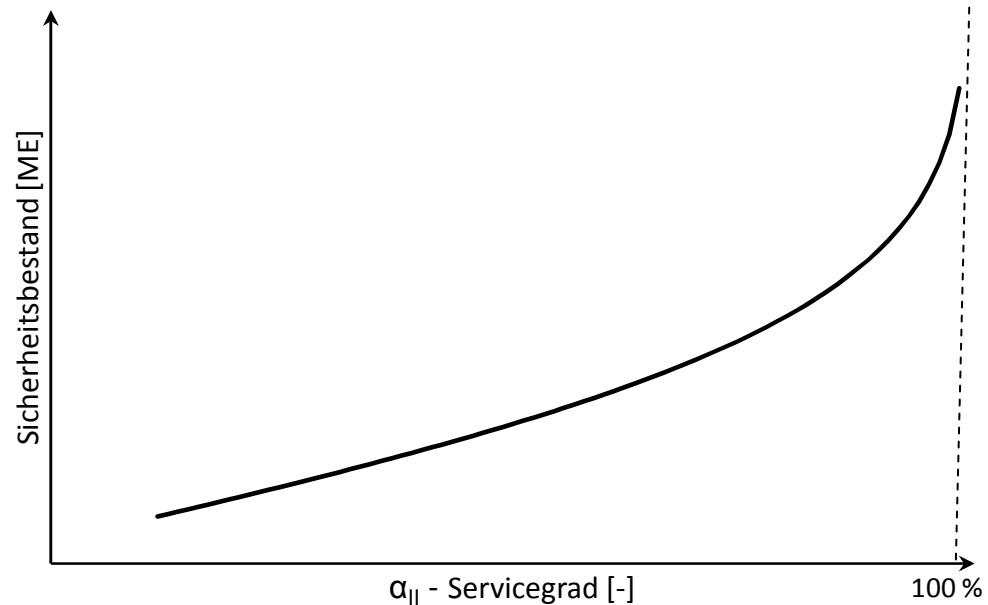


Abbildung 23: Abhängigkeit zwischen Servicegrad und Sicherheitsbestand
(Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Gudehus (2005), S. 391)

Es wird gezeigt, dass der Sicherheitsbestand mit dem geforderten Servicegrad zuerst schwach und dann immer stärker ansteigt.²⁰⁰ Somit führt im nichtlinearen Bereich jeder zusätzliche Servicegradprozent zu einem stärkeren Anstieg des Sicherheitsbestandes. Wie hoch dieser letztendlich dimensioniert sein muss, ist jedoch nicht nur vom α_{II} – Servicegrad abhängig, sondern auch von der Bestellhäufigkeit innerhalb des Referenzzeitraums. Unter der Prämisse, dass der Sicherheitsbestand angemessen dimensioniert ist, kommt es zwischen der Wiederauffüllung des Lagers und dem erneuten Erreichen des Bestellpunktes zu keiner Fehlmenge. Damit kann ausschließlich die Wiederbeschaffungszeit als Risikozeitraum²⁰¹ bezeichnet werden.²⁰²

²⁰⁰ Vgl. Gudehus (2005), S. 390f.

²⁰¹ Unter Risikozeitraum ist jener Zeitraum zu verstehen, wo es, aus praktischer Sicht, zu einem Fehlmengenergebnis kommen kann.

Die Fehlmengenwahrscheinlichkeit ist somit, bei einem ausreichenden Sicherheitsbestand, folgendermaßen verteilt:

$$\text{Wbz: } P\{\text{Fehlmenge}\} < 100 \%$$

$$\text{Außerhalb Wbz: } P\{\text{Fehlmenge}\} = 100 \%$$

Mit zunehmender Bestellhäufigkeit wird die risikoreiche Wiederbeschaffungszeit vermehrt durchlaufen. Dieser Zusammenhang wird durch die untenstehende Abbildung dargestellt:

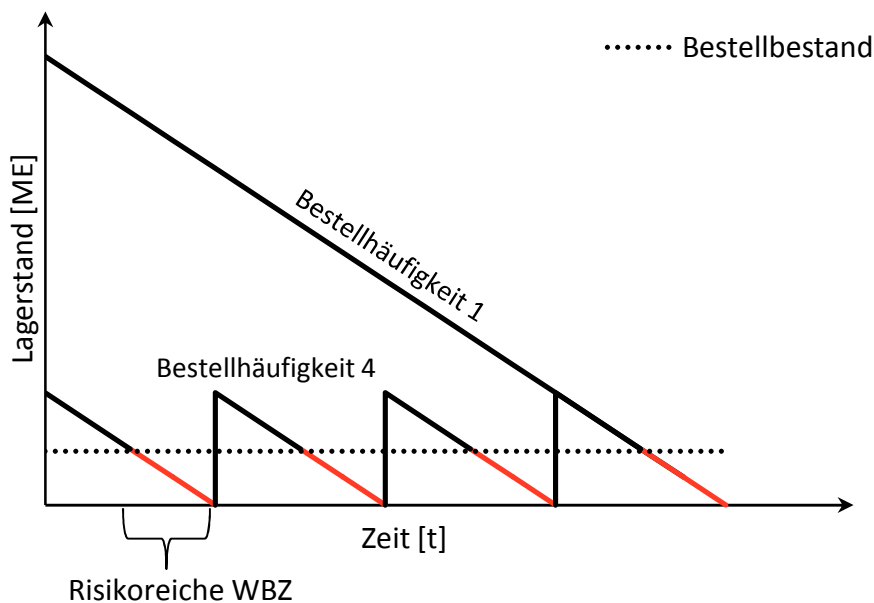


Abbildung 24: Risikozeiten bei verschiedenen Bestellmengen
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass wenn innerhalb des Referenzzeitraums nur einmal bestellt wird, die risikoreiche Wiederbeschaffungszeit nur ein einziges Mal durchlaufen werden muss. Mit abnehmender Bestellmenge und der daraus resultierenden Zunahme der Bestellhäufigkeit wird der Zeitraum mit potenziellem Fehlmengenrisiko häufiger durchlaufen, was die Fehlmengenwahrscheinlichkeit erhöht. Unterstellt man den einzelnen Bestellzyklen stochastische Unabhängigkeit, dann kann eine Beziehung zwischen dem zu erreichenden α_{II} – Servicegrad und der Bestellmenge mit Hilfe des Multiplikationssatzes für unabhängige Ereignisse hergestellt wer-

den. Der Satz besagt, dass der gemeinsame Eintritt von mehreren unabhängigen Ereignissen sich aus dem Produkt der unbedingten Wahrscheinlichkeiten ergibt.²⁰³

$$\begin{aligned}\alpha_{II} - \textit{Servicegrad} &= \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad} * \dots * \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad} \\ &= \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}^{Bh} = \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}^{\frac{E\{VR\}}{Bm}}\end{aligned}\quad (26)$$

Mit Hilfe dieses mathematischen Zusammenhanges kann die Divergenz zwischen $\alpha_{II} - \textit{Servicegrad}$ und $\alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}$ quantifiziert und gezeigt werden, dass diese mit zunehmender Bestellmenge und der daraus resultierenden Reduktion der Bestellhäufigkeit abnimmt. Entsprechend Formel (26) gilt:

$$Bm = E\{VR\} \Rightarrow \alpha_{II} = \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}$$

$$Bm < E\{VR\} \Rightarrow \alpha_{II} < \alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}$$

Durch das Umformen von Formel (26) ergibt sich die nachfolgend angeführte Formel (27). Diese kann herangezogen werden, um die Höhe des $\alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}$ s zu berechnen, welche zur Erreichung des festgelegten $\alpha_{II} - \textit{Servicegrad}$ s, unabhängig von der Bestellmenge, notwendig ist.

$$\alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad} = \frac{E\{VR\}}{Bm} \sqrt{\alpha_{II} - \textit{Servicegrad}} = \sqrt[Bh]{\alpha_{II} - \textit{Servicegrad}}\quad (27)$$

Zur Bestimmung der notwendigen Höhe des $\alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad}$ s über einen festgelegten $\alpha - \textit{Servicegrad}$ kann durch Einsetzen von (25) in (27) eine geeignete Formel abgeleitet werden.

$$\alpha_{II} \textit{Zyk} - \textit{Servicegrad} = \frac{E\{VR\}}{Bm} \sqrt{\frac{Wbz * \alpha - \textit{Servicegrad} + (Bz - Wbz)}{Bz}}\quad (28)$$

²⁰³ Vgl. Freidank et al. (2004), S. 235.

Abbildung 25 zeigt den Zusammenhang zwischen der zum Erreichen eines bestimmten α_{II} – *Servicegrades* notwendigen Höhe des $\alpha_{II,Zyk}$ – *Servicegrades* und den Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten:

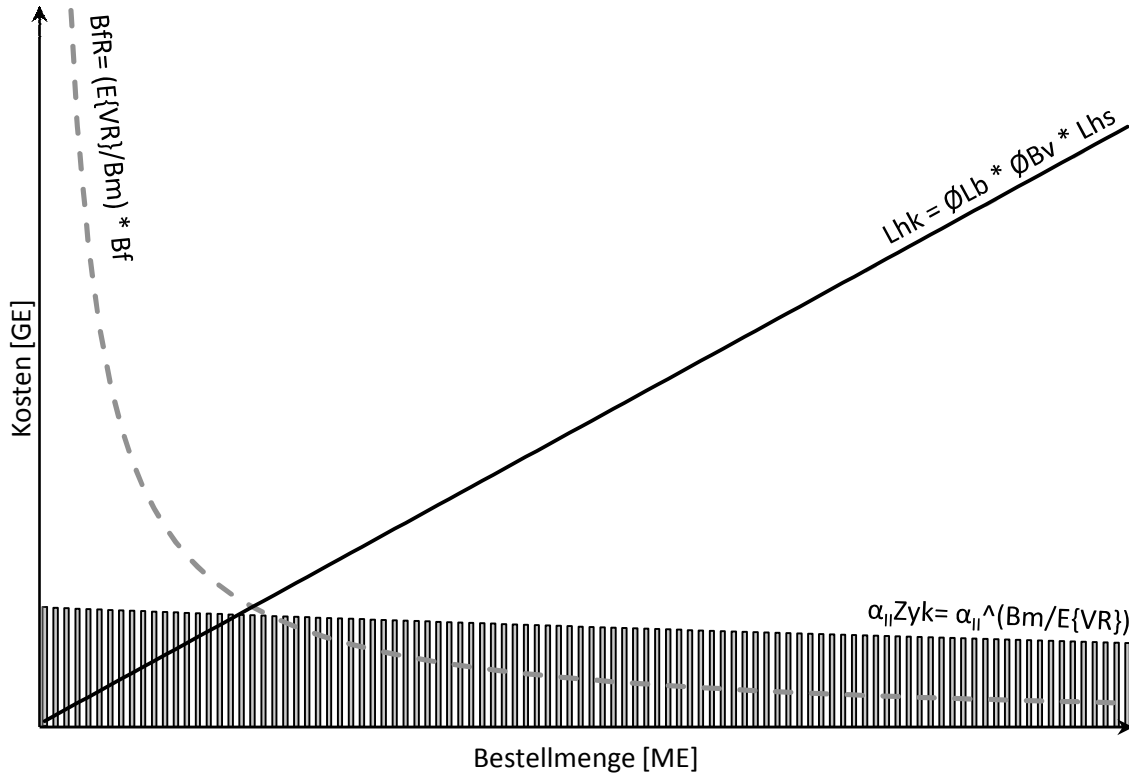


Abbildung 25: Abhängigkeiten des Servicegrades von der Bestellmenge
(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit zunehmender Bestellmenge kommt es zu höheren Lagerhaltungskosten, da sich der maximale und dadurch der durchschnittliche Lagerstand erhöht. Andererseits muss innerhalb des Referenzzeitraums weniger oft bestellt werden, was zu einer abnehmenden Summe von Bestellfixkosten führt. Zusätzlich wird eine Reduktion des für die Erreichung eines gegebenen α_{II} – *Servicegrades* notwendigen $\alpha_{II,Zyk}$ – *Servicegrades* erzielt, welche zu einem geringeren Sicherheitsbestand und dadurch zu niedrigeren Lagerhaltungskosten führt. Eine direkte Einbeziehung der Fehlmengenkosten kann aufgrund der i.d.R. schweren Quantifizierungsmöglichkeiten nur selten erfolgen. Deswegen können oft nur die monetär bewertbaren Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten einer gemeinsamen mathematischen Betrachtung unterzogen werden. Wenn innerhalb des Referenzzeitraumes von der geplanten Bestellhäufigkeit abgegangen wird, z. B. wegen Spekulation auf steigende

Preise, dann hat eine entsprechende Anpassung des Sicherheitsbestandes zu erfolgen.

Wenn alle anderen Parameter, außer der aus der Bestellhäufigkeit resultierenden Bestellmenge, konstant bleiben, dann gilt allgemein:

$$\begin{aligned} Bh_{neu} > Bh_{alt} &\rightarrow SI \uparrow \\ Bh_{neu} < Bh_{alt} &\rightarrow SI \downarrow \end{aligned} \quad (29)$$

Dabei bedeutet:

Bh_{alt} Bei der Berechnung des Sicherheitsbestandes unterstellte Bestellhäufigkeit [-]

Bh_{neu} Abgeänderte Bestellhäufigkeit [-]

Wenn innerhalb des Referenzzeitraums weniger oft als ursprünglich geplant bestellt wird, kann der Sicherheitsbestand entsprechend reduziert und dadurch unnötige Lagerhaltungskosten vermieden werden. Ist die neue Bestellhäufigkeit jedoch größer, dann muss eine Anhebung des Sicherheitsbestandes erfolgen, da ansonsten der für die gesamte Referenzperiode festgelegte α_{II} – *Servicegrad* nicht eingehalten werden kann.

Unter Verwendung der Formeln (22) und (27) ergibt sich nachfolgender Zusammenhang:²⁰⁴

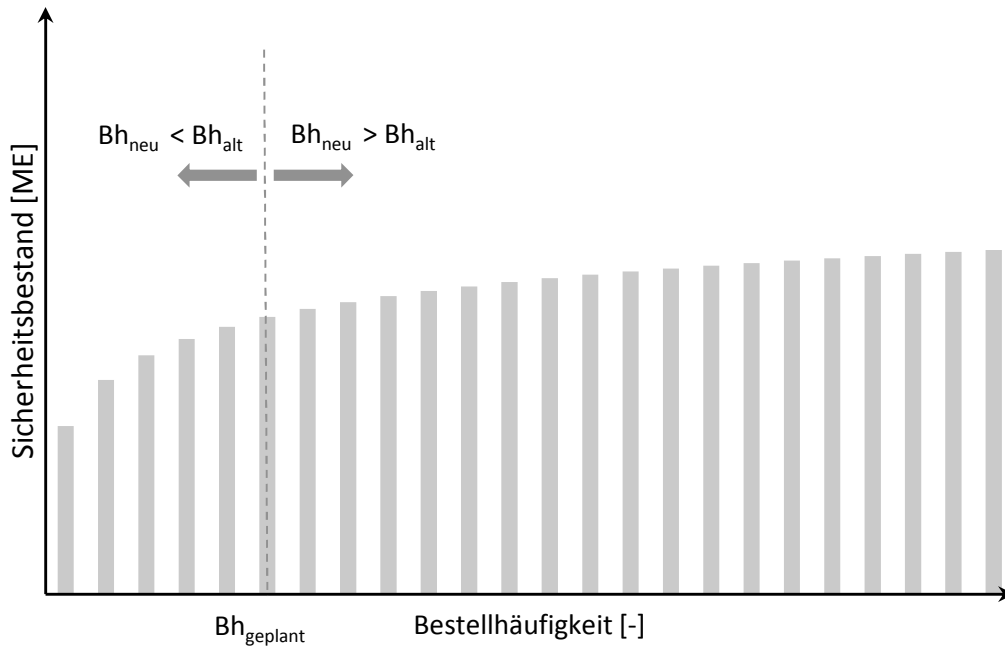


Abbildung 26: Sicherheitsbestand bei Veränderung der Bestellhäufigkeit
(Quelle: Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 26 geht hervor, dass – bei einem vorgegebenen Servicegrad – eine Zunahme der Bestellhäufigkeit zu einem höheren Sicherheitsbestand führt, welcher unterproportional zur Anzahl der Bestellungen ansteigt.

Bei der Betrachtung der Interdependenzen sind die variablen Kosten der Bestellung bisher unberücksichtigt geblieben, da deren Durchschnittskosten ohne Mengenrabatt, Mindermengenzuschläge und Zeitabhängigkeit von der Bestellmenge nicht beeinflusst werden können. Tritt jedoch einer dieser Faktoren auf, dann sind die durchschnittlichen variablen Bestellkosten von der gewählten Bestellmenge abhängig und somit in die Betrachtung mit einzubeziehen. Da zahlreiche Möglichkeiten der Abhängigkeit denkbar sind, erscheint an dieser Stelle eine generische Darstellung nicht zielführend.

²⁰⁴ Vgl. dazu auch: Gudehus (2005), S. 391.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die kostenoptimale Bestellpolitik durch die Minimierung der folgenden Kostenkomponenten bestimmt wird:

- Bestellfixkosten
- Lagerhaltungskosten
- Variable Bestellkosten

Aufgrund der Interdependenzen zwischen den Kostenkomponenten können z. B. mit einer größeren Bestellmenge Bestellfixkosten reduziert werden, wohingegen die Lagerhaltungskosten ansteigen. Sind die durchschnittlichen variablen Bestellkosten von der Bestellmenge abhängig, so müssen diese auch in die Betrachtung mit einbezogen werden. Neben der Bestellmenge bestimmt auch das die Bestellung auslösende Ereignis die optimale Bestellpolitik. Im Fall des gewählten Bestellpunktverfahrens muss festgelegt werden, ab welchem Lagerstand ein Bestellvorgang auszulösen ist. Der dabei vorzuhaltende Sicherheitsbestand soll entweder Fehlmengenkosten vermeiden oder einen bestimmten Servicegrad sicherstellen. Da die Fehlmengenkosten, welche die vierte Kostenkomponente darstellen, i.d.R. nicht quantifizierbar sind, kann mit einem Servicegrad gearbeitet werden. Die Wahl einer geeigneten Definition ist in vielen Fällen von den subjektiven Präferenzen der Entscheidungsträger abhängig. Trotzdem sollte die Servicegraddefinition zu hohe Sicherheitsbestände verhindern, welche aufgrund von mangelnden Kenntnissen der verantwortlichen Personen entstehen könnten. Der zur Erreichung eines vorgegebenen Servicegrades notwendige Sicherheitsbestand ist neben den statistischen Parametern der Wiederbeschaffungszeit und des Verbrauches auch von der Bestellhäufigkeit innerhalb eines Referenzzeitraums und somit indirekt von der Bestellmenge abhängig. Wird von der geplanten Bestellhäufigkeit abgegangen, so muss eine Anpassung des Sicherheitsbestandes erfolgen. Bei einer Verringerung der Bestellhäufigkeit kann der Sicherheitsbestand reduziert, umgekehrt muss dieser vergrößert werden. Aufgrund der Zielkonflikte und Interdependenzen ist es notwendig, eine gemeinsame Betrachtung aller Größen durchzuführen und die Bestellpolitik auf nicht vorhersehbare Veränderungen, wie z. B. die Bestellmenge, flexibel reagieren zu lassen.

4. Evaluierung von Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik

In diesem Kapitel werden in der Literatur publizierte Verfahren beschrieben und bezüglich ihrer Einsetzbarkeit bei der Beschaffung von legiertem Halbzeug aus Stahl evaluiert. Unter einem Verfahren wird dabei ein geregelter, in Schritten zerlegbarer, für Beobachter wiederholbarer und transparenter Ablauf verstanden.²⁰⁵ Vorab werden in Kapitel 4.1 unter Zuhilfenahme der im Zuge dieser Arbeit bis jetzt gewonnenen Erkenntnisse und der mehrjährigen Erfahrung des Autors in der umformenden Industrie Evaluierungskriterien festgelegt. Anschließend erfolgt in Kapitel 4.2, entsprechend dieser Kriterien, eine allgemeine Beschreibung und Bewertung von grundlegenden Verfahren. Verfahren, welche auf ähnliche Prämissen aufbauen, werden im Anschluss an die jeweilige Beschreibung angeführt.

Auch wenn die nachfolgenden Verfahren entsprechend den zugrundegelegten Prämissen und dem Erfüllungsgrad der Evaluierungskriterien beurteilt werden, wird an dieser Stelle ein kurzer Überblick über einige Kategorisierungsmöglichkeiten gegeben. Diese sollen dazu dienen, das speziell für legiertes Halbzeug aus Stahl entwickelte Verfahren entsprechend kategorisieren zu können und somit eine Zuordnung zu den in der Literatur bis jetzt beschriebenen zu erleichtern.

Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten, um Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik einzuteilen, wobei nachfolgend drei Kategorisierungen exemplarisch aufgelistet werden:

- Heuristische und optimierende Verfahren
- Statische und dynamische Verfahren
- Deterministische und stochastische Verfahren

Unter einem heuristischen Verfahren wird eine Problemlösungsstrategie verstanden, welche unter Einsatz eines reduzierten Aufwandes Lösungen ohne Optimalitätsgarantie erzeugen.²⁰⁶ Im Gegensatz dazu garantieren optimierende Verfahren die Lösungsoptimalität. Bei den statischen Verfahren wird über den gesamten Referenzzeitraum von einem gleichmäßigen Verbrauch ausgegangen, bei den dynamischen kann ein sich periodisch verändernder Verbrauch berücksichtigt wer-

²⁰⁵ Vgl. Hartlieb et al. (2009), S. 69.

²⁰⁶ Vgl. Geiger (2005), S. 47f.

den. Deterministische Verfahren gehen von sicheren Daten aus, wohingegen die stochastischen Verfahren unvorhersehbare Schwankungen berücksichtigen können.²⁰⁷

Nachdem ein kurzer Überblick über diverse Kategorisierungsmöglichkeiten gegeben wurde, erfolgt nun die Ableitung der Evaluierungskriterien.

4.1. Ableitung der Evaluierungskriterien

Bei einer Evaluierung handelt es sich um eine Bewertung von definierten Zielen oder Ergebnissen durch objektive Kennzahlen oder subjektive Wahrnehmungen.²⁰⁸ Das Ziel der nachfolgend durchgeführten Evaluierung ist es, Verfahren, aus welchen sich eine Bestellpolitik ableiten lässt, im Hinblick auf ihre Eignung für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe zu überprüfen.

Die erste Gruppe von Kriterien²⁰⁹ wird dazu direkt aus der Beschreibung des Legierungszuschlags²¹⁰ und dem Überblick über die Herstellung von Halbzeug²¹¹ abgeleitet und mit den mehrjährigen Erfahrungen des Autors in der stahlumformenden Industrie kombiniert. Die Gruppe setzt sich aus den nachfolgenden sechs Kriterien zusammen:

1. *Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.*

Das aktuelle Legierungszuschlagssystem führt dazu, dass die variablen Kosten der Bestellung diskreten Änderungen unterworfen sind, welche monatlich stattfinden. Deswegen muss es mit dem jeweiligen Verfahren möglich sein, mehrmalige diskrete Änderungen der variablen Bestellkosten zu berücksichtigen. Aufgrund der oft erheblichen Preisschwankungen²¹² kann diesem Kriterium eine besondere Relevanz unterstellt werden.

²⁰⁷ Vgl. Matyas (2008), S. 210.

²⁰⁸ Vgl. Kriegel (2005), S. 198.

²⁰⁹ In diesem Kontext ist unter Kriterium ein Merkmal zu verstehen, welches bei der Verfahrensauswahl von Relevanz ist.

²¹⁰ Vgl. dazu: Kapitel 2.3.

²¹¹ Vgl. dazu: Kapitel 2.2.2.

²¹² Vgl. dazu: Kapitel 2.3.

2. *Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.*

Halbzeug kann in vielen Fällen nur in diskreten Mengen bestellt werden, wobei diese der Chargengröße des Stahlerzeugers bzw. dem Vielfachen davon entsprechen. Als Gründe können hierfür insbesondere technische und wirtschaftliche Überlegungen der Stahlerzeuger angeführt werden. Somit muss das Verfahren in der Lage sein, diskrete Ergebnisse, welche genau einer bestimmten Chargenanzahl entsprechen, zu erzielen.

3. *Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.*

Die verhandelten Rahmenverträge sehen tendenziell die Übernahme sämtlicher externer Bestellfixkosten inklusive der Transportkosten durch den Stahlerzeuger vor. Dafür werden dem Umformer die bereits beschriebenen Bestellrestriktionen, gemäß Kriterium 2, auferlegt. Wird von einer weitgehend automatisierten Bestellabwicklung ausgegangen, dann kann auch den internen Bestellfixkosten eine Absenz oder, im Verhältnis zu den anderen Beschaffungskosten, zumindest eine nicht signifikante Höhe unterstellt werden. Gründe hierfür sind z. B. in der Homogenität einer Charge zu sehen, durch welche bei der Qualitätsprüfung mit einer Stichprobenanzahl von eins i.d.R. eine signifikante Aussage über die gesamte Charge möglich ist.²¹³ Aber auch die Bestellung selbst kann aufgrund des Rahmenvertrages häufig automatisiert abgewickelt werden.

4. *Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.*

Dieses Kriterium ist dann von Bedeutung, wenn von einem schwankenden Bedarf ausgegangen werden muss. Dies kann bei Beschaffungsobjektgruppen der Fall sein, deren Verbrauch einen saisonalen Verlauf unterworfen ist. So werden beispielsweise manche Produkte im Winter einen stärkeren Absatz verzeichnen können, als es im Sommer der Fall ist. Aber auch bei schwankenden Preisen kann es u. a. wegen Kundenspekulationen zu variierenden Verbrauchsraten kommen.²¹⁴ Wegen des sich monatlich ver-

²¹³ Vgl. Pfeifer (2001), S. 525.

²¹⁴ Vgl. Lödding (2008), S. 123.

ändernden Legierungszuschlags muss somit auch bei legiertem Halbzeug aus Stahl mit schwankenden Bedarfsraten gerechnet werden.

5. *Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.*²¹⁵

Wie bereits in Kapitel 3.2.4 konstatiert wurde, ist in der Praxis die Quantifizierung von Fehlmengenkosten i.d.R. nicht möglich,²¹⁶ weswegen mit einer Servicegraddefinition gearbeitet werden muss. Die Bestellmenge bestimmt, wie häufig die risikoreiche Wiederbeschaffungszeit durchlaufen wird. Die Anzahl der Risikodurchläufe wiederum legt die notwendige Höhe des α_{II} Zyk – Servicegrads fest, welche zur Erreichung des α_{II} – Servicegrads erforderlich ist.²¹⁷ Ein höherer α_{II} Zyk – Servicegrad führt zu der Notwendigkeit, den Sicherheitsbestand größer zu dimensionieren, was wiederum höhere Lagerhaltungskosten verursacht. Das Verfahren muss diesen Zusammenhang berücksichtigen, da sonst der vorgegebene α_{II} – Servicegrad nicht eingehalten werden kann. Des Weiteren muss das Verfahren aufzeigen, wie der Sicherheitsbestand bei einer Abweichung von der ursprünglich geplanten Bestellmenge anzupassen ist. Sonst ergibt sich entweder ein zu hoch dimensionierter Sicherheitsbestand oder die Servicegradvorgabe wird unterschritten.

6. *Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.*²¹⁸

Diese Restriktionen sind nur dann von Relevanz, wenn im jeweiligen Unternehmen tatsächlich Engpässe vorhanden sind. Legiertes Halbzeug weist oft ein hohes Volumen auf, weswegen der vorhandene Lagerplatz von Bedeutung sein kann. Aufgrund der tendenziellen Kostenintensivität der Legierungselemente gilt dies auch für die liquiden Mittel. Sind keine diesbezüglichen Restriktionen vorhanden, dann kann dieses Kriterium als obsolet be-

²¹⁵ Vgl. Kistner et al. (2001), S. 41.

²¹⁶ Vgl. Schulte (2001), S. 179.

²¹⁷ Vgl. dazu: Kapitel 2.2.5.

²¹⁸ Vgl. Jung (2006), S. 389.

trachtet werden. Somit muss eine situative Beurteilung der Relevanz dieses Kriteriums erfolgen.

Das letzte Kriterium soll sicherstellen, dass das Verfahren auch in der industriellen Praxis angewendet werden kann – es muss praktikabel sein.

7. *Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschätzungsaufwand korrekt anwendbar sein.*

Für Eisele ist der Begriff der Praktikabilität nicht genau definiert und beruht auf der Einschätzung des Anwenders.²¹⁹ So dürfte diese zwischen Akademikern und Personen mit geringem Bildungsniveau erheblich divergieren. Aufgrund dessen muss vorab geklärt werden, wer im Kontext als Verfahrensanwender zu sehen ist. Als Zielgruppe wurden Disponenten mit geringem Bildungsniveau festgelegt, woraus sich tendenziell eine Absenz von Kenntnissen der höheren Mathematik²²⁰ und umfangreichen EDV-Kenntnissen ableiten lässt. Deswegen soll das Verfahren vorzugsweise mit Hilfsmitteln wie Taschenrechner, Stift und Schreibblock gelöst werden können. Des Weiteren ist es durch einen einfachen und vor allem nachvollziehbaren Verfahrensaufbau für Disponenten leichter möglich, das rationale Vorgehen des Verfahrens mit einer intuitiven und erfahrungsgestützten Vorgehensweise zu kombinieren, was insbesondere bei Unsicherheit, wie z. B. der Entwicklung des Legierungszuschlags, vorteilhaft ist.²²¹ Es sei noch explizit angemerkt, dass es sich hierbei um eine Zieldefinition und um keine generelle Einschätzung der Gruppe „Disponenten“ handelt. Skrzipek weist darauf hin, dass ein praktikables Verfahren schnell anwendbar sein muss.²²² Wird das Verfahren mit Taschenrechner angewendet, dann ergibt sich betreffend den zeitlichen Aufwand die Praktikabilität aus der Anzahl der notwendigen Rechenoperationen, welche bis zum Erhalt des Endergebnisses durchgeführt werden müssen.

²¹⁹ Vgl. Eisele (2003), S. 109.

²²⁰ Unter höherer Mathematik ist z. B. die Differenzial- oder Integralrechnung zu verstehen.

²²¹ Vgl. Grünig et al. (2006), S. 11.

²²² Vgl. Skrzipek (2005), S. 44.

4.2. Beschreibung und Evaluierung von Verfahren zur Ableitung einer Bestellpolitik

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Verfahren, mit deren Hilfe eine kostenoptimale Bestellpolitik oder zumindest eine Bestellmenge abgeleitet werden kann, wobei sich aus Letzterer der Bestellzeitpunkt implizit ergibt. Viele der im Folgenden aufgelisteten Verfahren wurden ursprünglich für die Optimierung der Losgröße im Produktionsbereich und nicht im Beschaffungsbereich konzipiert. Eine Abgrenzung entsprechend dem vom jeweiligen Autor vorgesehenen Einsatzzweck – Produktion oder Beschaffung – erfolgt aufgrund der Äquivalenz der beiden Problemstellungen und -strukturen im weiteren Verlauf nicht.²²³

Eine vollständige Literaturliste der nur schwer überschaubaren Vielfalt an publizierten Verfahren ist in diesem Kontext nicht zielführend, da zahlreiche Publikationen nur geringfügige Verfahrensmodifikationen darstellen.²²⁴ Deswegen wird ein Fokus auf Verfahren gelegt, welche entweder in Anlehnung an die abgeleiteten Evaluierungskriterien oder bezüglich der historischen Entwicklung als signifikant angesehen werden können.

²²³ Vgl. Zelewski et al. (2008), S. 319ff; Schneider et al. (2005), S. 46; Alicke (2005), S. 53.

²²⁴ Vgl. Zelewski et al. (2008), S. 321.

Abbildung 27 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Publikationen seit 1913:

		Groff (1979)	Lackes (1990)
		Lev/Soyster (1979)	Goyal (1990)
		Haseborg (1979)	Nyhuis (1991)
		Blackburn/Millen (1980)	Weiss/Rosenthal (1992)
	DeMatteis (1968)	Axsäter (1980)	Leinz/Bossert/Habenicht (1995)
	Mendoza (1968)	Gaither (1981)	Silver/Pyke/Peterson (1998)
	Churchman (1971)	Wemmerlöv (1981)	Salameh/Jaber (2000)
	Naddor (1971)	Freeland/Colley (1982)	Schulte (2001)
	Trux (1972)	Chand (1982)	Matsuyama (2001)
	Silver/Meal (1973)	Haseborg (1982)	Tempelmeier (2003)
	Kornagel (1974)	Weiss (1982)	Khouja/Park (2003)
Harris (1913)	Pack (1975)	Silver/Miltenburg (1984)	Sarker/Kindi (2006)
Taft (1918)	Buzacott (1975)	Aucamp (1985)	Jodlbauer (2007)
Andler (1929)	Goyal (1975)	Bookbinder/Tan (1985)	Gohout (2007)
Wagner/Whitin (1958)	Resh/Friedman/ Barbosa (1976)	Tsado (1985)	Melzer-Ridinger (2008)
Müller-Merbach (1963)	Müller-Manzke (1978)	Kilger (1986)	Schwarz/Buscher/Rudert (2009)
Hansmann (1962)	Bourier/Schwab (1978)	Glaser (1987)	Onawumi/Oluleye/Adebiyi (2009)
Kottke (1966)		Robrade/Zoller (1988)	Cárdenas-Barrón (2009)
1913–1966	1967–1978	1979–1989	Ab 1990

Abbildung 27: Publikationsübersicht
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Anfänge der Losgrößenoptimierung lassen sich im englischsprachigen Raum auf einen 1913 publizierte Artikel im „Magazin of Management“ von *Harris* und im deutschsprachigen Raum auf eine Dissertationsschrift von *Andler* (1929) zurückführen. Wegen der historischen Entwicklung und da auf deren Basis zahlreiche Neu- und Weiterentwicklungen durchgeführt wurden, werden diese beiden statischen Verfahren in der Literatur oft als Grundmodell bezeichnet.²²⁵ 1958 wurde von *Wagner/Whitin* im „Management Science“ erstmals ein Verfahren vorgestellt, mit welchem bei zeitlich schwankendem Bedarf eine optimale Lösung gefunden werden kann. Vermutlich aufgrund des tendenziell hohen Rechenaufwandes erfolgte von *DeMatteis* die Entwicklung eines heuristischen Verfahrens, welches 1968 im „IBM Systems Journal“ veröffentlicht wurde. Auf diese Publikation folgte eine Vielzahl von dynamischen Heuristiken wie z. B. von *Groff* oder *Freeland/Colley*, weswegen das Verfahren von *DeMatteis* ebenfalls als grundlegend bezeichnet werden kann. Eines der wenigen Verfahren, welches von nicht

²²⁵ Vgl. dazu z. B.: Kistner et al. (2001), S. 201.

signifikanten Bestellfixkosten ausgeht und gleichzeitig steigende variable Bestellkosten berücksichtigen kann, wurde z. B. 2001 von *Schulte* veröffentlicht.

Nachfolgend werden exemplarisch die Verfahren von *Harris/Andler* und *DeMatteis* wegen ihres potenziellen Einflusses auf die bis jetzt erschienenen Publikationen sowie das Verfahren von *Schulte*, aufgrund der Besonderheit der unterstellten Prämissen, beschrieben und einer Evaluation unterzogen. Alle anderen in Abbildung 27 aufgelisteten Verfahren finden im weiteren Verlauf noch Erwähnung. Insbesondere werden die Unterschiede zu den beschriebenen Verfahren und die Auswirkungen auf die Evaluierungskriterien skizziert. Um eine einheitliche Nomenklatur und damit eine bessere Vergleichbarkeit sicherzustellen, wird diese nicht aus der Literatur, in welcher das jeweilige Verfahren beschrieben wird, übernommen, sondern normiert.

4.2.1. *Harris/Andler*²²⁶

Verfahrensübersicht

Das klassische Modell der Bestellmengenplanung lässt sich auf Veröffentlichungen von *Harris* (1913) und *Andler* (1929) zurückführen²²⁷ und wird speziell im englischsprachigen Raum auch als Economic Order Quantity (EOQ) bezeichnet.²²⁸ Für *Harris/Andler* besteht die kostenoptimale Bestellpolitik²²⁹ aus der Minimierung von Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten, alle anderen Kostenkomponenten finden dabei keine Berücksichtigung. Da die Konstanz aller Parameter vorausgesetzt wird und stochastische Schwankungen ausgeschlossen werden, ist das klassische Modell statisch und deterministisch. Außerdem wird die Lösungsoptimalität unter Einhaltung der Prämissen garantiert, weswegen es sich um ein optimierendes Verfahren handelt.

²²⁶ Vgl. *Andler* (1929), S. 48ff.

²²⁷ Vgl. *Himpel et al.* (2008), S. 46.

²²⁸ Vgl. *Jodlbauer* (2007), S. 63.

²²⁹ Genau genommen geht es bei der Veröffentlichung von *Andler* um die Optimierung der Produktionslosgröße. Werden jedoch die Rüstkosten durch Bestellfixkosten ersetzt, kann mit dieser Formel eine Bestellmengenoptimierung durchgeführt werden. In der Literatur wird deswegen vielfach die Nomenklatur „*Harris/Andler-Formel*“ sowohl für die Optimierung der Produktionslosgröße als auch der Bestellmenge verwendet.

Ableitung und Beschreibung des Verfahrens

Die Bestellfixkosten innerhalb eines Referenzzeitraums ergeben sich aus dem Produkt der Bestellhäufigkeit und den durch eine Bestellung verursachten Kosten. Die Häufigkeit der Bestellungen wiederum berechnet sich aus dem Quotienten des erwarteten Verbrauchs im Referenzzeitraum und der Bestellmenge.

$$BfR = Bh * Bf = \frac{E\{VR\}}{Bm} * Bf \quad (30)$$

Das im Durchschnitt gebundene Kapital ergibt sich aus der halben Bestellmenge multipliziert mit den variablen Bestellkosten einer Einheit. Die Lagerhaltungskosten lassen sich durch die Multiplikation des durchschnittlich gebundenen Kapitals mit dem Lagerhaltungssatz errechnen.

$$Lhk = \frac{Bm}{2} * \emptyset Bv * Lhs \quad (31)$$

Die Gesamtkosten ergeben sich somit aus der Summe der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten, welche es zu minimieren gilt.

$$Kges = \frac{E\{VR\}}{Bm} * Bf + \frac{Bm}{2} * \emptyset Bv * Lhs \rightarrow min \quad (32)$$

Durch die Bildung der ersten Ableitung $\left(\frac{dKges}{dBm}\right)$ und Umformung nach Bm ergibt sich die Harris/Andler-Formel.

$$Bm = \sqrt{\frac{2 * E\{VR\} * Bf}{Lhs * \emptyset Bv}} \quad (33)$$

Aus der optimalen Bestellmenge ergibt sich implizit die Bestellhäufigkeit, indem der erwartete Verbrauch innerhalb eines bestimmten Referenzzeitraums durch die Bestellmenge dividiert wird.²³⁰

²³⁰ Vgl. dazu: Formel (1).

Evaluierung des Verfahrens mit Hilfe der festgelegten Kriterien

1. *Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.*

Harris/Andler unterstellen, dass die variablen Bestellkosten im gesamten Referenzzeitraum konstant sind.²³¹ Diesbezügliche Änderungen können somit in keinsten Weise, ob stetig oder diskret, berücksichtigt werden.

2. *Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.*

Es wird angenommen, dass es möglich ist, eine beliebige teilbare Anzahl an Einheiten zu ordern. Die errechnete Menge kann dabei sogar Dezimalstellen enthalten.²³² Somit kann nicht berücksichtigt werden, dass ausschließlich diskrete Bestellmengen vom Stahlerzeuger geliefert werden. Die Rundung des Ergebnisses auf die praktisch bestellbare Chargengröße ist zwar möglich, jedoch wird kein Anhaltspunkt gegeben, ob ab- oder aufgerundet werden muss, damit die Optimalität gewährleistet werden kann.

3. *Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.*

Es wird unterstellt, dass bei jedem Bestellvorgang fixe Kosten anfallen. Werden diese null gesetzt ($B_f = 0$), dann wird der gesamte Zähler und damit das Gesamtergebnis null.²³³

$$B_m = \sqrt{\frac{2 * E\{VR\} * 0}{Lhs * \emptyset B_v}} = 0$$

Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, dass die kleinste mögliche Menge bestellt werden soll. Dies entspricht genau einer Chargengröße. Mathematisch ist der Umgang mit der Absenz von Bestellfixkosten für die *Harris/Andler*-Formel somit problemlos möglich.

²³¹ Vgl. Himpel et al. (2008), S. 46; Melzer-Ridinger (2008), S. 197.

²³² Vgl. Hansmann (2006), S. 302.

²³³ Vgl. Formel (33).

4. *Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.*

Es wird ein konstanter Bedarf vorausgesetzt,²³⁴ Schwankungen können somit nicht berücksichtigt werden.

5. *Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.*

Abhängigkeiten zwischen der Bestellmenge und dem zur Erreichung eines bestimmten Servicegrades notwendigen Sicherheitsbestandes können nicht berücksichtigt werden.

6. *Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.*

Wenn sich nur eine Art von Halbzeug im Lager befindet, kann eine Kapazitätsrestriktion durch eine Bestellmengenbegrenzung des Ergebnisses berücksichtigt werden. Befinden sich jedoch verschiedene Halbzeuge in einem Lager, dann kann mit der Harris/Andler-Formel nur das lokale Optimum, für eine Art, errechnet werden.²³⁵ Dies gilt auch für Restriktionen bezüglich der Liquidität, wobei in diesem Fall die isolierte Betrachtung des Halbzeugs nicht ausreicht, da auch andere Beschaffungsobjektgruppen liquide Mittel binden.

7. *Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.*

Die Formel besteht aus vier Parametern ($Lhs, \emptyset Bv, E\{VR\}, Bf$) und ihr liegt die Multiplikations-, Divisions- sowie die Wurzelrechnung zugrunde. Es müssen insgesamt fünf Rechenoperationen durchgeführt werden. Es werden keine Rechenoperationen benötigt, welche nicht mit den meisten Taschenrechnern durchführbar sind. Eine einfache und schnelle Anwendung ist dadurch gegeben, weswegen eine hohe Praktikabilität unterstellt werden kann.

²³⁴ Vgl. Vahrenkamp (2008), S. 164.

²³⁵ Vgl. Melzer-Ridinger (2008), S. 197.

Auch wenn die Harris/Andler-Formel sehr praktikabel ist, sollte diese für die Beschaffungsobjektgruppe nicht eingesetzt werden. Da die Formel ausschließlich die Summe der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten minimiert, ist die Bestellmengenempfehlung aufgrund der Absenz von fixen Bestellkosten bei einer Bestellung immer die gleiche, nämlich null. Wird auf die nächste Menge, welche tatsächlich bestellt werden kann, gerundet, dann ergibt sich genau eine Charge. Diese Empfehlung führt zu einer Minimierung der Lagerhaltungskosten, womit aus Sicht der Harris/Andler-Formel das Kostenminimum gefunden wurde. Die Veränderungen der variablen Bestellkosten können nicht einbezogen werden, obwohl diese aufgrund des Legierungszuschlags oft erheblichen Schwankungen unterworfen sein können.²³⁶ Es kann somit konstatiert werden, dass der Einsatz der Harris/Andler-Formel für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe nicht zielführend ist.

In den letzten Jahrzehnten wurden einige Erweiterungen bzw. Ergänzungen des Ansatzes von *Harris/Andler* vorgenommen. So beschreibt *Kottke*, wie auf Basis der theoretisch optimalen Bestellmenge auf das in der Praxis realisierbare Optimum geschlossen werden kann.²³⁷ *Taft* modifiziert die Formel von *Harris/Andler*, indem er die Prämisse der augenblicklichen Lagerbefüllung durch eine konstante Produktionsrate ersetzt.²³⁸ Dieser zeitverzögerte Aufbau des Lagerbestandes ist speziell bei der Ermittlung der Produktionslosgröße von Relevanz, da die Lagerhaltungskosten erst beim Eintreffen der Produkte im Lager und somit um die Durchlaufzeit verzögert auftreten. *Hanssmann* stellt eine Erweiterung der Harris/Andler-Formel in Richtung Mehrprodukte vor,²³⁹ *Weiss* erörtert, wie sich ein nichtlinearer, fallender Verlauf des Wertes der gelagerten Einheiten berücksichtigen lässt.²⁴⁰ *Weiss/Rosenthal* zeigen auf, wie ein vorab bekannter Bruch im Nachfrageverlauf einbezogen werden kann.²⁴¹ Mit der Erweiterung der Harris/Andler-Formel von *Matsuyama* kann ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Bestellfixkosten und der pro Bestellung geordneten Menge Berücksichtigung finden.²⁴² *Jodelbauer* beschreibt ein Verfahren, mit welchem auf der Grundlage der Har-

²³⁶ Vgl. dazu: Kapitel 2.3.

²³⁷ Vgl. Kottke (1966), S. 97ff.

²³⁸ Vgl. Taft (1918), S. 1410ff.

²³⁹ Vgl. Hanssmann (1962), S. 5.

²⁴⁰ Vgl. Weiss (1982), S. 56ff.

²⁴¹ Vgl. Weiss et al. (1992), S. 370ff.

²⁴² Vgl. Matsuyama (2001), S. 83.

ris/Andler-Formel der Einbezug von Rabatten möglich ist.²⁴³ Grundsätzlich wurde der Einfluss von Rabatten aufgrund der, nach *Lackes*, hohen praktischen Bedeutung von zahlreichen Autoren wie z. B. *Hasenborg, Kilger, Naddor, Glaser, Müller-Manzke* und *Churchman et al.* in der Literatur intensiv analysiert und entsprechende Verfahren entwickelt.²⁴⁴ Auch *Jodlbauer* hat ein diesbezügliches Verfahren publiziert.²⁴⁵ Da Rabatte sich bei Halbzeug aber i.d.R. nicht auf die Menge pro Bestellung beziehen,²⁴⁶ sind diese Entwicklungen bzw. Analysen im vorhandenen Kontext nicht von Relevanz. *Gohout* und *Churchman et al.* zeigen, wie die Einbeziehung von Lagerraumbeschränkungen oder sonstigen Restriktionen, wie z. B. der Liquidität, sowohl bei linearen als auch bei nichtlinearen Zusammenhängen möglich ist.²⁴⁷ Mit dieser Verfahrenserweiterung kann Kriterium 6 erfüllt werden, jedoch muss wegen der Notwendigkeit, Gleichungssysteme zu lösen, die Praktikabilität und somit Kriterium 7 verneint werden. Des Weiteren wird von *Gohout* eine Erweiterung vorgestellt, mit welcher die Einbeziehung von Fehlmengenkosten realisiert werden kann.²⁴⁸ Die Einsetzbarkeit dieser Erweiterung ist jedoch wegen der i.d.R. schweren Quantifizierbarkeit von Fehlmengenkosten²⁴⁹ als weitgehend eingeschränkt zu betrachten. Durch das Verfahren von *Salameh/Jaber* kann berücksichtigt werden, dass Einheiten nicht immer eine ausreichende Qualität aufweisen.²⁵⁰ Die Vorgehensweise von *Resh/Friedman/Barbosa* erlaubt die Einbeziehung eines Nachfragetrends.²⁵¹ Eine Differenzierungsmöglichkeit der Lagerhaltungskosten in Wert-, Mengen- und Zeitabhängigkeit wird z. B. von *Kottke* aufgezeigt,²⁵² welche jedoch keinen Einfluss auf die Evaluierungskriterien hat. Eine Ergänzung der Harris/Andler-Formel um die Kapitalbindungskosten innerhalb einer Produktion wird z. B. von *Nyhuis* vorgenommen,²⁵³ was im Kontext aber höchstens im Sinne einer Kooperation mit dem Stahlerzeuger im Laufe eines Supply

²⁴³ Vgl. *Jodlbauer* (2007), S. 67ff.

²⁴⁴ Vgl. *Lackes* (1990), S. 2; *Churchman et al.* (1971), S. 219ff.

²⁴⁵ Vgl. *Jodlbauer* (2007), S. 74f.

²⁴⁶ Vgl. dazu: Kapitel 2.3.

²⁴⁷ Vgl. *Gohout* (2007), S. 172ff; *Churchman et al.* (1971), S. 235ff.

²⁴⁸ Vgl. *Gohout* (2007), S. 167ff.

²⁴⁹ Vgl. auch: Kapitel 3.2.4.

²⁵⁰ Vgl. *Salameh et al.* (2000), S. 59ff.

²⁵¹ Vgl. *Resh et al.* (1976), S. 718ff.

²⁵² Vgl. *Kottke* (1966), S. 97.

²⁵³ Vgl. dazu die Dissertation von *Nyhuis* (1991).

Chain Managements von Relevanz wäre. Es existieren noch andere Erweiterungen des Grundmodells, welche aber laut *Jung* zu einer deutlichen Zunahme der Komplexität führen²⁵⁴ und somit für die definierte Zielgruppe ungeeignet sind.

4.2.2. Part-Period-Verfahren²⁵⁵

Verfahrensübersicht

Das Part-Period-Verfahren wurde 1968 von *DeMatteis* vorgestellt und basiert auf der Tatsache, dass sich bei der Harris/Andler-Formel die kostenoptimale Bestellmenge dann ergibt, wenn die Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten eine äquivalente Höhe aufweisen. In der Literatur wird auch das Kostenabgleichverfahren erwähnt, welches auf denselben Überlegungen basiert,²⁵⁶ weswegen es nicht weiter betrachtet wird. Das Part-Period-Verfahren war das erste heuristische Verfahren, mit welchem ein dynamisches Bestellmengenproblem gelöst werden konnte. Stochastische Einflüsse können nicht berücksichtigt werden, deswegen handelt es sich um ein deterministisches Verfahren.

Ableitung und Beschreibung des Verfahrens

Die Periodenbedarfe werden so lange zusammengefasst, bis es zu einer Äquivalenz zwischen den Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten kommt bzw. bis die Lagerhaltungskosten überwiegen. Die Menge der letzten Periode, welche zu einer Überschreitung der Bestellfixkosten geführt hat, wird der neuen Bestellmenge zugerechnet.²⁵⁷ Formal lässt sich das Kriterium zur Bestimmung der letzten in die Bestellung der Periode b einzubeziehende Bedarfsperiode t^* wie folgt formulieren.

$$Lhk * \sum_{t=b}^{t^*} (t - b) * E\{Vt\} \leq Bf < Lhk * \sum_{t=b}^{t^*+1} (t - b) * E\{Vt\} \quad (34)$$

Dabei ist:

t	Periode [-]
b	Periode der Bestellung [-]

²⁵⁴ Vgl. Jung (2006), S. 389.

²⁵⁵ Vgl. DeMatteis (1968), S. 30ff.

²⁵⁶ Vgl. Bloech et al. (2004), S. 229f.

²⁵⁷ Vgl. Bloech et al. (2004), S. 229.

t^*	Periode, bis zu welcher die Bedarfe zusammengefasst werden [-]
$E\{Vt\}$	Erwartungswert des Verbrauchs für die Periode t [ME]

Durch eine Division von Ungleichung (34) durch die Lagerhaltungskosten lassen sich eine Vereinfachung und dadurch eine Reduktion des Rechenaufwandes erzielen.

$$\sum_{t=b}^{t^*} (t-b) * E\{Vt\} \leq \frac{Bf}{Lhk} < \sum_{t=b}^{t^*+1} (t-b) * E\{Vt\} \quad (35)$$

Die automatische Zuweisung der Bedarfsmenge der Periode $t^* + 1$ muss nicht immer die kostenoptimalste Variante darstellen.²⁵⁸ Die korrekte Periodenzuweisung kann durch eine Look-ahead-Abfrage ermittelt werden, bei welcher geprüft wird, ob der Periodenbedarf $t^* + 1$ tatsächlich nicht mehr in die Bestellung der Periode b mit einbezogen werden soll.²⁵⁹

Evaluierung des Verfahrens mit Hilfe der festgelegten Kriterien

1. *Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.*

Es wird unterstellt, dass die durchschnittlichen variablen Kosten unabhängig von der Bestellmenge anfallen und somit nicht entscheidungsrelevant sind.²⁶⁰

Veränderungen der variablen Bestellkosten können deswegen nicht berücksichtigt werden.

2. *Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.*

Der Bedarf für jede Periode kann beliebig gewählt werden.²⁶¹ Somit kann der Periodenbedarf $E\{Vt\}$ so festgesetzt werden, dass dieser einer bestimmten Chargenanzahl entspricht. Da das Part-Period-Verfahren die optimale Bestell-

²⁵⁸ Vgl. Bloech et al. (2004), S. 229.

²⁵⁹ Vgl. Orlicky et al. (1994), S. 133f.

²⁶⁰ Vgl. Zelewski et al. (2008), S. 362.

²⁶¹ Vgl. Zelewski et al. (2008), S. 362ff.

menge durch ein Zusammenfassen der einzelnen Periodenbedarfe ermittelt, entspricht diese somit auch einer bestimmten Chargenanzahl.

3. *Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.*

Das Part-Period-Verfahren baut auf den Gedanken der Kostenoptimierung zwischen Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten auf.²⁶² Dennoch erzielt das Verfahren Ergebnisse, wenn von der Absenz von fixen Kosten der Bestellung ausgegangen wird. Setzt man $Bf = 0$, dann wird der mittlere Term ebenfalls null.

$$\sum_{t=b}^{t^*} (t - b) * E\{Vt\} \leq 0 < \sum_{t=b}^{t^*+1} (t - b) * E\{Vt\}$$

Die für die Periode b bestellten Einheiten verursachen nach dem Part-Period-Verfahren keine Lagerhaltungskosten, weswegen sowohl der linke als auch der rechte Term für die Periode $t = b$ null ergeben:

$$(t - b) * E\{Vt\} = (1 - 1) * E\{Vt\} \rightarrow 0 * E\{Vt\} = 0$$

Somit ist die Gleichheitsbedingung der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten immer dann erreicht, wenn der Periodenbedarf an deren Anfang beschafft wird. Die Empfehlung lautet daher, immer nur eine Charge zu bestellen. Somit kann konstatiert werden, dass eine volle Erfüllung dieses Kriteriums gegeben ist.

4. *Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.*

Bedarfsschwankungen, z. B. aufgrund von saisonalen Schwankungen, können im vollen Ausmaß berücksichtigt werden, da für jede Periode ein anderer Erwartungswert angegeben werden kann.²⁶³

²⁶² Vgl. Bloech et al. (2004), S. 229.

²⁶³ Vgl. Schneider et al. (2005), S. 59.

5. *Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.*

Abhängigkeiten zwischen der Bestellmenge und dem zur Erreichung eines bestimmten Servicegrades notwendigen Sicherheitsbestand können nicht berücksichtigt werden.

6. *Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.*

Wenn sich nur eine Art von Halbzeug im Lager befindet, kann eine Restriktion der Kapazität durch eine entsprechende Abänderung der vom Verfahren vorgegebenen Bestellmenge erfolgen. Wobei hier keinesfalls Optimalität sichergestellt werden kann. Befinden sich aber verschiedene Halbzeuge in einem Lager, dann dürfte sich eine simultane Bestellmengenoptimierung aller Halbzeugarten mathematisch schwierig gestalten. Dies gilt auch für Restriktionen bei der Liquidität, wobei hier alle Beschaffungsobjektgruppen im Unternehmen, also nicht nur Halbzeuge, zu betrachten sind.

7. *Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.*

Das Verfahren benötigt die Bedarfe aller Perioden im Referenzzeitraum sowie die Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten. Als Rechenoperationen werden die Multiplikations-, Divisions- und die Subtraktionsrechnung benötigt. Das Verfahren kann somit problemlos mit Taschenrechner, Stift und Schreibblock gelöst werden. Wie lange für die Lösung benötigt wird, ist von der Anzahl der Rechenoperationen, welche bis zur Ergebnisermittlung durchgeführt werden müssen, abhängig. Diese wiederum werden von der Anzahl der im Referenzzeitraum zu betrachtenden Perioden sowie dem Verhältnis zwischen den Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten determiniert. Je geringer die Lagerhaltungskosten im Verhältnis zu den Bestellfixkosten sind, desto vorteilhafter wird eine längere Reichweite, womit mehr Perioden zu berechnen sind. Die Praktikabilität des Verfahrens und somit die Erfüllung dieses Kriterium kann somit nur situativ

beurteilt werden, lässt sich aber durch eine Begrenzung der Periodenanzahl, auf welche der Bedarf aufgeteilt wird, durchaus positiv beeinflussen.

Auch wenn das Part-Period-Verfahren unter gewissen Voraussetzungen durchaus praktikabel ist, sollte es für die Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ nicht eingesetzt werden. Da das Verfahren ausschließlich die Summe der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten minimiert, ist die Bestellmengenempfehlung aufgrund der Absenz von fixen Kosten bei einer Bestellung immer die gleiche. Es soll am Anfang einer jeden Periode so viel bestellt werden, wie in dieser auch benötigt wird. Dadurch entspricht die Bestellmenge genau dem Periodenbedarf, was zu einer Minimierung der Lagerhaltungskosten führt. Da die variablen Kosten aufgrund des Legierungszuschlages oft starken Schwankungen unterworfen sind,²⁶⁴ kann eine fehlende Einbeziehungsmöglichkeit zu erheblichen Divergenzen zur Optimalität führen.

Auf die Veröffentlichung von *DeMatteis* folgten zahlreiche Publikationen von dynamischen Heuristiken, welche sich jedoch hauptsächlich in deren Laufzeitverhalten unterscheiden. Diese sind: Gleitende wirtschaftliche Losgröße von *Mendoza* (1968), SELIM-Algorithmus von *Trux* (1972), *Silver/Meal*-Verfahren(1973), *Groff*-Verfahren(1979), *Blackburn/Millen*-Verfahren (1980), Part Period Maximum Gain von *Axsäter* (1980), *Gaither*-Verfahren (1981), *Wemmerlöv*-Verfahren (1981), *Chand*-Verfahren (1982), *Freeland/Colley*-Verfahren (1982), *Silver/Miltenburg*-Verfahren (1984), *Aucamp*-Algorithmus (1985), *Bookbinder/Tan*-Verfahren (1985), *Tsado*-Verfahren (1985), *Robrade/Zoller*-Verfahren (1988) sowie *Leiz/Bossert/Habenicht*-Verfahren (1995). Das erste dynamische optimierende Verfahren wurde 1958 von *Wagner/Whitin*²⁶⁵ vorgestellt, dieses führt ebenfalls zu einer Minimierung der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten.²⁶⁶ *Schwarz/Buscher/Rudert* (2009) beschreiben ein dynamisches Verfahren, mit welchem es möglich ist, Stoffkreisläufe zu berücksichtigen.²⁶⁷

²⁶⁴ Vgl. dazu: Kapitel 2.3.

²⁶⁵ Vgl. Wagner et al. (1958), S. 22f.

²⁶⁶ Vgl. Wagner et al. (1958), S. 22f.

²⁶⁷ Vgl. Schwarz et al. (2009), S. 211ff.

4.2.3. Verfahren nach Schulte

Verfahrensübersicht

Dieses Verfahren ermittelt die optimale Bestellmenge, wenn keine signifikanten Bestellfixkosten vorhanden sind und es zu einer einmaligen, diskreten Änderung der variablen Bestellkosten kommt. Es wird nicht direkt das Verfahren von *Schulte*²⁶⁸ übernommen, sondern eine durch den Autor leicht modifizierte – vereinfachte – Variante vorgestellt.

Verfahrensbeschreibung

Der Spekulationserfolg, welcher sich bei einer im Referenzzeitraum einmaligen Änderung der variablen Bestellkosten ergibt, lässt sich folgendermaßen quantifizieren:²⁶⁹

$$SE = (E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b) * Bm \quad (36)$$

Je höher die Menge ist, welche vor der Kostenerhöhung bestellt wird, desto größer ist der daraus resultierende Spekulationsgewinn. Eine größere Bestellmenge erhöht jedoch den durchschnittlichen Lagerstand.²⁷⁰

$$\emptyset Ls = \frac{Bm}{2} \quad (37)$$

Das im Durchschnitt gebundene Kapitel errechnet sich durch eine Multiplikation mit den erwarteten aktuellen Kosten.²⁷¹

$$\emptyset Kb = \frac{Bm}{2} * E\{Bv\}_b \quad (38)$$

Zur Berechnung der Lagerhaltungskosten muss das durchschnittlich gebundene Kapital mit dem Lagerhaltungssatz multipliziert werden. Sollte sich dieser auf ein Jahr beziehen, dann hat eine entsprechende Umrechnung zu erfolgen.

²⁶⁸ Vgl. Schulte (2001), S. 193ff.

²⁶⁹ Vgl. dazu: Kapitel 3.2.2 und vgl. Schulte (2001), S. 194.

²⁷⁰ Vgl. Kapitel 3.2.3.

²⁷¹ Vgl. Kapitel 3.2.3.

$$Lhs_{Rw} = \frac{Lhs}{365} * Rw \quad (39)$$

Dabei bedeutet:

- Lhs_{Rw} Lagerhaltungssatz, bezogen auf die Reichweite einer Bestellmenge [-]
 Rz Reichweite der Bestellmenge [ZE]

In die Lagerhaltungskosten werden nur Lagerungskosten einbezogen, da es sich um keine langfristige Bestellmengenplanung handelt, weswegen die Lagerkosten nicht beeinflusst werden können und somit nicht entscheidungsrelevant sind.

Der Referenzzeitraum entspricht der Reichweite der Bestellmenge und kann mit einer Division der bestellten Menge durch den pro Zeiteinheit erwarteten Verbrauch errechnet werden.²⁷²

$$Rw = \frac{Bm}{E\{VZe\}} \quad (40)$$

Dabei bedeutet:

- $E\{VZe\}$ Erwartungswert des Verbrauchs pro Zeiteinheit [ME]

Wird die Formel (40) in (39) eingesetzt, dann ergibt sich für den Lagerhaltungssatz der Reichweite, in Abhängigkeit zur Bestellmenge, folgender Zusammenhang:

$$Lhs_{Rw} = \frac{Lhs}{365} * \frac{Bm}{E\{VZe\}} = \frac{Lhs * Bm}{E\{VZe\} * 365} \quad (41)$$

Wird die Formel mit dem im Durchschnitt gebundenen Kapital, Formel (38), multipliziert, ergeben sich jene Lagerhaltungskosten, welche durch die gewählte Bestellmenge verursacht werden.

$$Lhk = \frac{Bm}{2} * E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * Bm}{E\{VZe\} * 365} \quad (42)$$

²⁷² Vgl. Schulte (2001), S. 194.

Der Spekulationsgewinn steigt linear mit zunehmender Bestellmenge an, wohingegen die negativen Auswirkungen der Lagerhaltungskosten überproportional zunehmen. Der Gewinn der Bestellmenge ist am größten, wenn die Gesamtkostenfunktion maximiert wird.²⁷³

$$G = SE - Lhk \rightarrow \max \quad (43)$$

Dabei bedeutet:

G Gewinn [GE]

Die nachfolgende Abbildung 28 stellt die beiden unterschiedlich verlaufenden Faktoren dar:

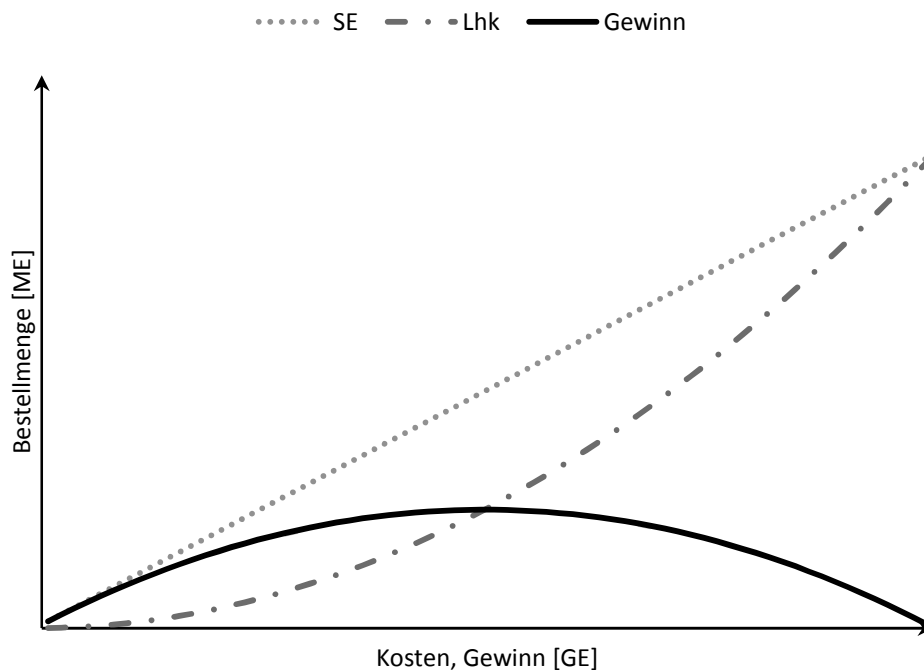


Abbildung 28: Auswirkungen der Bestellmengenwahl
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist der lineare Anstieg der positiven Auswirkungen sowie das überproportionale Wachstum der negativen Auswirkungen ersichtlich. Grafisch ergibt sich der maximale Gewinn bei dem größten horizontalen Abstand zwischen SE und Lhk . Um die kostenoptimale Bestellmenge mathematisch bestimmen zu können, muss zuerst

²⁷³ Vgl. Schulte (2001), S. 194.

die Gesamtfunktion aufgestellt werden. Dies wird durch Einsetzen von (42) und (36) in (43) erreicht.

$$G = ((E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b) * Bm) - \left(\frac{Bm}{2} * E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * Bm}{E\{VZe\} * 365} \right) \rightarrow \max \quad (44)$$

Um die Gewinnfunktion zu maximieren, muss die erste Ableitung gebildet und diese null gesetzt werden:

$$f(Bm) = ((E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b) * Bm) - \left(\frac{Bm}{2} * E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * Bm}{E\{VZe\} * 365} \right) \frac{df(Bm)}{dBm} \quad (45)$$

Wird diese nach Bm umgeformt, ergibt sich jene Formel, mit welcher die kostenoptimale Bestellmenge errechnet werden kann:

$$Bm = \frac{-365 * E\{VZe\} * (E\{Bv\}_b - E\{Bv\}_{b+1})}{E\{Bv\}_b * Lhs} \quad (46)$$

Durch die Bildung der zweiten Ableitung kann abschließend gezeigt werden, dass es sich tatsächlich um ein Maximum handelt, da für diese gilt:

$$f''(Bm) < 0$$

Schulte kommt bei der Verfahrensableitung auf ein ähnliches Ergebnis, welches sich nur im Detail unterscheidet.²⁷⁴ Er schlägt die Einbeziehung von Lagerkosten vor, welche jedoch aufgrund der Kurzfristigkeit der Bestellmengenwahl keine Entscheidungsrelevanz besitzen. Bei *Schulte* ist weiterhin vorab eine Anpassung des Lagerhaltungssatzes an den Zeitraum, auf welchen sich der Bedarf bezieht, notwendig.²⁷⁵

²⁷⁴ Vgl. Schulte (2001), S. 194.

²⁷⁵ Vgl. Schulte (2001), S. 194.

Evaluierung des Verfahrens mit Hilfe der festgelegten Kriterien

- *Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.*

Es kann ausschließlich eine einmalige, diskrete Änderung berücksichtigt werden. Das Verfahren setzt voraus, dass es im Referenzzeitraum zu keiner weiteren Veränderung der variablen Bestellkosten kommt. Nur im Sonderfall, bei einem Anstieg des Legierungszuschlages mit anschließendem, zumindest, relativ konstantem Verlauf, ist die Einbeziehungsmöglichkeit als ausreichend zu betrachten. Für den allgemeinen Fall kann jedoch konstatiert werden, dass eine Erfüllung des Kriteriums nicht gegeben ist.

- *Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.*

Da die Gewinnfunktion $f(B_m)$ stetig ist, kann die errechnete Bestellmenge auch Dezimalstellen enthalten, wohingegen praktisch nur die Bestellung von ganzen Einheiten möglich ist. Somit kann nicht berücksichtigt werden, dass ausschließlich eine bestimmte Chargengröße bzw. das Vielfache davon geordert werden kann.

- *Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.*

Das Verfahren beruht auf der Optimierung des Spekulationsgewinnes und der Lagerungskosten. Dies impliziert die Absenz von Bestellfixkosten bzw. eine nicht signifikante Höhe. Somit stellt die Absenz von Bestellfixkosten mathematisch kein Problem dar.

- *Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.*

Es kann nur ein konstanter Verbrauch pro Zeiteinheit $E\{VZe\}$ angegeben werden, weswegen eine schwankende Bedarfsrate, innerhalb der Reichweite einer Bestellmenge, nicht berücksichtigt werden kann. Da die Entscheidung aber immer nur eine Bestellmenge umfasst, kann, z. B. wenn ein steigender Legierungszuschlag erwartet wird, die Verbrauchsrate entsprechend angepasst werden.

- *Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden.*

Abhängigkeiten zwischen der Bestellmenge und dem zur Erreichung eines bestimmten Servicegrades notwendigen Sicherheitsbestand können nicht berücksichtigt werden.

- *Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.*

Wenn sich nur eine Art von Halbzeug im Lager befindet, kann eine Restriktion der Kapazität durch eine einfache Bestellmengenbegrenzung vorgenommen werden. Befinden sich aber verschiedene Halbzeuge in einem Lager, kann mit diesem Verfahren nur das lokale Optimum, für eine Art, errechnet werden – außer es besteht eine fixe Lagerplatzzuordnung. Um ein globales Optimum zu erhalten, kann das Verfahren erweitert und dann die Gesamtkostenfunktionen G aller Halbzeugarten einer gemeinsamen linearen Optimierung unterzogen werden. Dies gilt auch für Restriktionen bei der Liquidität, wobei hier alle Beschaffungsobjektgruppen im Unternehmen, also nicht nur Halbzeug, zu betrachten sind.

- *Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.*

Das Verfahren besteht aus vier Parametern ($E\{V\}$, $E\{Bv\}_b$, $E\{Bv\}_{b+1}$, Lhs) und benötigt Kenntnisse der Multiplikations-, Divisions- und Subtraktionsrechnung. Zur Ergebnisermittlung werden fünf Rechenoperationen benötigt, welche mit sämtlichen Taschenrechnern durchführbar sind. Der Zeitaufwand ist aufgrund der Konstanz der Rechenoperationen gleichbleibend. Da Radizieren nicht notwendig und die Anzahl der Rechenoptionen mit der Harris/Andler-Formel identisch ist, kann dieser Formel sogar eine höhere Praktikabilität unterstellt werden.

Dieses Verfahren geht im Gegensatz zu den bisher beschriebenen nicht davon aus, dass die optimale Bestellmenge sich durch eine Minimierung der Lagerhal-

tungs- und Bestellfixkosten ergibt. Vielmehr wird die Absenz von Letzteren unterstellt und das Optimum als die Maximierung des Spekulationsgewinnes abzüglich der daraus resultierenden Lagerhaltungskosten gesehen. Jedoch ist innerhalb des Beobachtungszeitraums nur die Berücksichtigung einer einmaligen Preiserhöhung möglich. Dies vermindert die Anwendbarkeit für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe erheblich, da sich der Legierungszuschlag zwölfmal im Jahr ändern kann. Auch wenn des Weiteren über die mangelnde Einbeziehungsmöglichkeit der Interdependenz zwischen Bestellmenge und Sicherheitsbestand hinweggesehen wird, kann der Einsatz dieses Verfahren für die Beschaffungsobjektgruppe nur sehr eingeschränkt empfohlen werden.

In der Literatur finden sich noch weitere Verfahren, mit welchen Änderungen der variablen Bestellkosten einbezogen werden können. Sowohl *Melzer-Ridinger*, *Bourier/Schwab* als auch *Lev/Soyster* stellen ein Verfahren für die Berücksichtigung einer einmaligen Preissteigerung vor, mit welchem auch eine sich eventuell ergebende Reduktion der Bestellfixkosten berücksichtigt werden kann.²⁷⁶

Da jedoch bei der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe von einer nicht signifikanten Höhe der Bestellfixkosten ausgegangen wird, ist diese Erweiterung im Kontext nicht als zielführend zu betrachten. Sie führt sogar aufgrund der zunehmenden Komplexität zu einer Abnahme der Praktikabilität und dadurch zu einer Verschlechterung von Kriterium 7. Von *Lackes* wurde ein Verfahren publiziert, mit welchem mehrfache diskrete Preissenkungen berücksichtigt werden können.²⁷⁷ Auch hier werden Bestellfixkosten in die Betrachtung mit einbezogen, was wiederum die Verfahrensanwendung erschwert. Des Weiteren können nur Preissenkungen berücksichtigt werden, weswegen dieses Verfahren als nicht geeignet zu bezeichnen ist. Dies gilt auch für die von *Buzacott*, *Onawumi/Oluleye/Adebiyi* und *Khouja/Park* beschriebenen Verfahren, mit welchen eine konstante Inflationsrate berücksichtigt werden kann.²⁷⁸ Auch *Goyal* beschreibt ein Verfahren für kontinuierlich fallende Preise, geht aber dabei von der unzulässigen Prämisse aus, dass keine Beschaffungspreis-abhängigen Lagerhaltungskosten existieren.²⁷⁹ *Pack* beschreibt ein Verfahren, welches bei stetigen Preisänderungen eingesetzt werden

²⁷⁶ Vgl. *Melzer-Ridinger* (2008), S. 222ff; *Bourier et al.* (1978), S. 81ff; *Lev et al.* (1978), S. 43ff.

²⁷⁷ Vgl. *Lackes* (1990), S. 21ff.

²⁷⁸ Vgl. *Buzacott* (1975), S. 553ff; *Onawumi et al.* (2009), S. 75ff; *Khouja et al.* (2003), S. 539ff.

²⁷⁹ Vgl. *Goyal* (1975), S. 112f.

kann.²⁸⁰ Da der Legierungszuschlag aber diskreten Änderungen unterworfen ist und das Verfahren den Zusammenhang zwischen Bestellmenge und Servicegrad nicht berücksichtigt sowie durchaus komplex ist, ist es als ungeeignet anzusehen. *Goyal, Sarker/Kindi* sowie *Cárdenas-Barrón* erörtern die optimale Bestellpolitik, wenn es zu einer einmaligen, temporären Preisreduktion kommt.²⁸¹ *Tempelmeier* stellt ein heuristisch-dynamisches Verfahren vor, mit welchem Stufenrabatte, Blockrabatte sowie diverse Restriktionen berücksichtigt werden können.²⁸²

Die beschriebenen bzw. erwähnten Verfahren zur Festlegung einer Bestellpolitik ermöglichen es, die verschiedensten Kriterien in die Betrachtung mit einzubeziehen. Die meisten Verfahren können für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe aber schon deswegen nicht empfohlen werden, da diese die Bestellpolitik durch eine Minimierung der Lagerhaltungs- und Bestellfixkosten ermitteln und somit die schwankenden variablen Bestellkosten nicht berücksichtigen. Verfahren, welche einmalige Preisänderungen in die Betrachtung mit einbeziehen können, werden von verschiedenen Autoren beschrieben. Eine Einbeziehungsmöglichkeit von mehreren diskreten Preisänderungen ist aber nicht ausreichend gegeben. Interdependenzen zwischen der Bestellmenge und dem daraus resultierenden Sicherheitsbestand können von keinem der erwähnten Verfahren berücksichtigt werden, eine Einbeziehung der i.d.R. schwer quantifizierbaren Fehlmenge ist jedoch möglich. Es kann konstatiert werden, dass keines der erwähnten Verfahren über eine ausreichende Erfüllung der Evaluierungskriterien verfügt. Somit sind diese nicht in der Lage, eine geeignete Bestellpolitik für legiertes Halbzeug aus Stahl festzulegen. Deswegen erfolgt nachfolgend aus den gewonnenen Erkenntnissen die Deduktion eines Verfahrens, welches speziell die Gegebenheiten der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe berücksichtigt.

²⁸⁰ Vgl. Pack (1975), S. 252.

²⁸¹ Vgl. Goyal (1990), S. 101ff; Sarker et al. (2006), S. 195; Cárdenas-Barrón (2009), S. 774ff.

²⁸² Vgl. Tempelmeier (2003), S. 365ff.

5. Halbzeug-spezifisches Verfahren

Auf Basis der im Zuge dieser Arbeit bis jetzt gewonnenen Erkenntnisse werden für die Erstellung der Bestellpolitik von legiertem Halbzeug aus Stahl ein spezifisches Verfahren abgeleitet, eine Adaptionmöglichkeit aufgezeigt sowie zwei Erweiterungen beschrieben.

Bei der Verfahrensentwicklung werden zuerst Behauptungen aufgestellt und dann mit Hilfe von bewährten, in den vorherigen Kapitel erörterte und im Sinne des Rationalismus verifizierten Hypothesen²⁸³ sowie Prämissen²⁸⁴ durch logische und mathematische Argumentation deduktiv verifiziert. Anschließend werden eine Evaluierung sowie ein Vergleich mit anderen, im vorherigen Kapitel bewerteten, Verfahren durchgeführt. Dadurch soll gezeigt werden, dass das entwickelte Verfahren im Bezug auf die festgelegten Evaluierungskriterien den anderen überlegen ist – dieser Teil entspricht der Validierung des Verfahrens. Durch eine abschließende, auf empirischen Daten basierende, Vergleichsrechnung wird die rationale Verifikation des Verfahrens im Sinne von Popper einer zusätzlichen Bekräftigung unterzogen.

5.1. HS-Verfahren

Die aus dem HS-Verfahren resultierende Bestellpolitik wird durch eine Minimierung der Gesamtkosten, bestehend aus den variablen Bestellkosten und den Lagerhaltungskosten, erzielt. Das Verfahren unterstellt eine konstante Bedarfsrate innerhalb des gesamten Referenzzeitraums sowie die Absenz von stochastischen Einflüssen. Des Weiteren wird das Erreichen einer optimalen Lösung, unter Einhaltung aller in Kapitel 5.1.1 aufgelisteten Prämissen, garantiert. Klassifizieren lässt sich das HS-Verfahren als statisch, deterministisch und optimierende.

Bei der Planung wird ereignisorientiert vorgegangen, denn die zu Beginn festgelegte Bestellpolitik muss nur dann neu überdacht werden, wenn das Ereignis „steigender Legierungszuschlag wird erwartet“ eingetreten ist. Dadurch wird der notwenige Prognosezeitraum betreffend des Legierungszuschlages verkürzt, was zu

²⁸³ Unter einer Hypothese wird in diesem Kontext die Vermutung über einen Zusammenhang von mindestens zwei Sachverhalten verstanden [vgl. Kromrey (2009), S. 42].

²⁸⁴ Das Wort Prämisse wird als Synonym für Voraussetzung oder Annahme verwendet.

einer Verringerung der Planungsunsicherheit führt.²⁸⁵ Zusätzlich kann der Aufwand im Gegensatz zu einer – periodisch durchzuführenden – rollierenden Planung deutlich verringert werden, da die Bestellpolitik nicht vor jeder Bestellung neu überdacht werden muss.²⁸⁶

5.1.1. Hypothesen und Beweise

Die in diesem Unterkapitel geführten deduktiven Beweise stützen sich auf die nachfolgend aufgelisteten Verfahrensprämissen:²⁸⁷

1. Es werden keine Rabatte gewährt oder Aufschläge verrechnet, welche von der Menge einer einzelnen Bestellung abhängig sind.
2. Alle Parameter weisen ein deterministisches Verhalten auf.
3. Zeiten mit eingeplanten Fehlmengen sind nicht zugelassen.
4. Bestellfixkosten weisen keine signifikante Höhe auf.
5. Alle variablen Kosten, außer dem Legierungszuschlag, weisen eine zeitliche Konstanz auf.
6. Der Lagerhaltungssatz korreliert vollständig mit dem Wert der Einheiten.
7. Die Bestellmenge darf nur der Chargengröße des Stahlerzeugers bzw. dem Vielfachen davon entsprechen.
8. Der Lagerstand ist vor Beginn und am Ende der Referenzperiode null.
9. Die Bedarfsrate ist über den gesamten Referenzzeitraum konstant.
10. Die mit dem Stahlerzeuger vereinbarte Jahresabnahmemenge entspricht genau einem Chargenvielfachen.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Prämissen vor der Verfahrensanwendung auf Zulässigkeit zu prüfen sind, auch wenn es sich um die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ handelt. Mit Hilfe der Prämissen ist es des Weiteren möglich, die Anwendbarkeit des Verfahrens für andere Beschaffungsobjektgruppen zu evaluieren. Nachfolgend werden Hypothesen aufge-

²⁸⁵ Vgl. Kurbel (2005), S. 43.

²⁸⁶ Vgl. Kurbel (2005), S. 43.

²⁸⁷ Die Auswahl der Verfahrensprämissen erfolgt im Hinblick auf die in Kapitel 4.1. aufgestellten Evaluierungskriterien sowie sich verfahrensbedingt nicht vermeidbare Einschränkungen.

stellt und diese dann mittels Beweisführung einer rationalen Verifikation unterzogen.

Hypothese 1: Bleibt der Legierungszuschlag konstant, dann sind die Beschaffungskosten am geringsten, wenn die Bestellmenge genau der Chargengröße des Stahlerzeugers entspricht.

Beweis 1: Die Beschaffungskosten setzen sich aus den vier in Kapitel 3.2 beschriebenen Kostenkomponenten zusammen. Aufgrund der Prämissen 2, 3 und 4, durch welche Fehlmengen und Bestellfixkosten ausgeschlossen werden, ergeben sich die Gesamtkosten nur aus den Lagerhaltungskosten und den variablen Bestellkosten. Somit gilt:

$$K_{ges} = Lhk + Bv_{RZ}$$

Aufgrund der Prämissen 1 und 5 und da von einer zeitlichen Konstanz des Legierungszuschlags ausgegangen wird, ist die Summe der variablen Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraums konstant. Somit besteht keine Abhängigkeit zu der gewählten Bestellmenge,²⁸⁸ weswegen nur noch die Lagerhaltungskosten für die Entscheidungsfindung von Relevanz sind.

$$K_{ges} = Lhk$$

Wird die Formel (31), mit welcher sich die Lagerhaltungskosten berechnen lassen, eingesetzt, so ergibt sich:²⁸⁹

$$K_{ges} = Lhk = \left(\frac{Bm}{2} * \emptyset Bv * Lhs \right)$$

Laut Prämisse 6 wird dem Lagerhaltungssatz Konstanz und somit eine Unabhängigkeit zur Bestellmenge unterstellt. Deswegen determinieren ausschließlich die Lagerhaltungskosten die Wahl der Bestellmenge. Da entsprechend Prämisse 7

²⁸⁸ Vgl. dazu: Kapitel 3.2.2.

²⁸⁹ Diese Formel gilt jedoch nur unter der Annahme eines stetigen Lagerabganges [vgl. dazu: Kapitel 4.2.1]. Wie sich im weiteren Verlauf der Beweisführung zeigen wird, ist diese Einschränkung aber nicht von Relevanz.

nur Mengen bestellt werden können, welche genau einer Chargengröße bzw. dem Vielfachen davon entsprechen, gilt $Bm = C * x$ und somit:

$$K_{ges} = Lhk = \left(\frac{Bm}{2} * \emptyset Bv * Lhs \right) \text{ wobei } Bm = C * x$$

Dabei ist:

C Anzahl der Einheiten, aus welchen die Chargengröße des Stahlerzeugers besteht [ME]

Der Term $Bm/2$ wird minimal, wenn der Zähler, also die Bestellmenge, den kleinsten erlaubten Wert annimmt. Dieser beträgt eine Charge, weswegen minimale Beschaffungskosten dann erreicht werden, wenn gilt:

$$Bm_{opt} = C$$

Somit wurde gezeigt, dass es bei gleichbleibendem Legierungszuschlag und unter Berücksichtigung aller angeführten Prämissen am kostengünstigsten ist, wenn jede Bestellmenge genau der vom Stahlerzeuger vorgegebenen Mindestmenge, der Chargengröße, entspricht. Diese Beweisführung kann zusätzlich durch die Feststellung von *Stenger*, dass in Intervallen ohne Preisänderung die optimale Bestellmenge immer gleich groß ist,²⁹⁰ ergänzt werden.

Hypothese 2: Fällt der Legierungszuschlag, dann sind die Beschaffungskosten am geringsten, wenn die Bestellmenge genau einer Chargengröße entspricht.

Beweis 2: Fällt der Legierungszuschlag, dann hat – unter Einhaltung der Prämisse 5 – jede Einheit, welche in einer auf die Bestellperiode b folgenden Periode i bestellt wird, einen niedrigeren Einkaufspreis. Im Gegensatz zu Hypothese 1 ist somit die Summe der variablen Bestellkosten innerhalb des Referenzzeitraumes nicht mehr von der Menge einer Bestellung unabhängig und damit entscheidungs-

²⁹⁰ Vgl. *Stenger* (1981), S. 1ff.

relevant.²⁹¹ Diese sind deswegen zusätzlich zu den Lagerhaltungskosten zu berücksichtigen, weswegen gilt:

$$K_{ges} = Lhk + Bv_{RZ}$$

In Beweis 1 wurde gezeigt, dass die Lagerhaltungskosten das Kostenminimum genau dann erreichen, wenn die Bestellmenge einer Chargengröße entspricht. Somit reicht es an dieser Stelle zu zeigen, dass dies auch für die Summe der variablen Bestellkosten gilt, welche sich folgendermaßen berechnen lässt.²⁹²

$$Bv_{RZ} = \sum_{i=1}^n E\{Bv\}_i * Bm_i \quad (47)$$

Aufgrund des fallenden Legierungszuschlages hat jede Periode, welche der Periode 1 nachfolgt, einen niedrigeren Preis als die vorherige, weswegen gilt:

$$\begin{aligned} E\{Bv\}_i &> E\{Bv\}_{i+1} > \dots > E\{Bv\}_n \\ E\{Bv\}_i &= E\{Bv\}_i - a_i = \dots = E\{Bv\}_i - a_n \\ a_i &< \dots < a_n \end{aligned}$$

Ohne weitere Einschränkungen zu berücksichtigen, nimmt die Summe der variablen Bestellkosten ein Kostenminimum an, wenn alle im Referenzzeitraum benötigten Einheiten so bestellt werden, dass für diese der niedrigste Einkaufspreis $E\{Bv\}_n$ gilt. Per Prämisse 3 sind jedoch keine planmäßigen Fehlmengen zugelassen und der Bedarf ist laut Prämisse 9 über den Referenzzeitraum gleichmäßig verteilt. Deswegen muss die erste Bestellung so erfolgen, dass zu Beginn des Referenzzeitraums Einheiten intern verfügbar sind und jede weitere Bestellung genau am Ende der Reichweite der vorherigen eintrifft. Gemäß Prämisse 7 muss die Bestellmenge mindestens einer Chargengröße entsprechen, welche somit die geringsten variablen Kosten hervorruft und dadurch minimale Beschaffungskosten verursacht.

²⁹¹ Vgl. dazu: Kapitel 3.2.2, Formel (2).

²⁹² Vgl. dazu: Kapitel 3.2.2.

Hypothese 3: Steigt der Legierungszuschlag, dann ist es kostengünstiger, eine Charge, deren Bedarfszeitpunkt in einer zukünftigen Periode i liegt, so zu bestellen, dass diese zum Zeitpunkt b eintrifft, wenn gilt:

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) > 0$$

Beweis 3: Um die Richtigkeit der Hypothesen deduktiv zu verifizieren, wird gezeigt, dass die in Hypothese 3 angeführte Ungleichung die monetäre Vorteilhaftigkeit der Entscheidung, eine Charge statt zum Bedarfszeitpunkt i zum früheren Zeitpunkt b zu beschaffen, quantifiziert. Das Vorziehen der Beschaffung von i auf b ist dann von Vorteil, wenn gilt:

$$G_{i \rightarrow b} > 0 \quad (48)$$

Dabei ist:

$G_{i \rightarrow b}$ Monetärer Vorteil, welcher sich aus der Entscheidung, i bereits zu b zu beschaffen, ergibt [GE]

Fehlmengen und die daraus resultierenden Kosten können entsprechend Prämisse 2 und 3 nicht auftreten und Bestellfixkosten haben laut Prämisse 4 keine signifikante Höhe. Deswegen sind neben den sich zeitlich ändernden variablen Bestellkosten nur noch die zusätzlichen Lagerhaltungskosten, welche durch das Vorziehen einer Bestellung entstehen, zu berücksichtigen. Der monetäre Vorteil der Beschaffung einer Charge zum Zeitpunkt b , deren Bedarfszeitpunkt in einer zukünftigen Periode i liegt, ergibt sich durch eine Subtraktion der durch die frühere Beschaffung zusätzlich entstehenden Lagerhaltungskosten von dem positiven Spekulationserfolg.²⁹³

$$G_{i \rightarrow b} = Se - Lhk \quad (49)$$

Der Spekulationserfolg lässt sich mit Hilfe der Formel (5) ermitteln.

$$Se = (E\{Bv\}_{b+1} - E\{Bv\}_b) * Bm$$

²⁹³ Vgl. dazu: Schulte (2001), S. 194; Formel (43) aus Kapitel 4.2.3.

Wird berücksichtigt, dass über das Vorziehen einer Charge entschieden werden soll und deren Bedarfszeitpunkt beliebig in der Zukunft liegen kann, so können folgende Substitutionen vorgenommen werden:

$$B_m \rightarrow C$$

$$b + 1 \rightarrow i$$

Es ergibt sich nachfolgende Formel (50), welche der Formel (5) mit einer veränderten Nomenklatur entspricht:

$$Se = (E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C \quad (50)$$

Wird eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i früher beschaffen, dann muss diese in vollem Umfang bis zum Zeitpunkt des Bedarfs gelagert werden. Wenn b der Beschaffungszeitpunkt und i der Bedarfszeitpunkt ist, dann ergibt sich die zusätzliche Lagerungsdauer folgendermaßen:

$$Ld_z = i - b \quad (51)$$

Dabei ist:

Ld_z Lagerungsdauer, welche – aufgrund der vorgezogenen Beschaffung einer Charge – zusätzlich entsteht [ZE]

Stellt L die Lagerhaltungskosten pro Periode und Einheit dar, dann ergeben sich die Kosten einer Einheit für eine beliebige Anzahl von Lagerperioden durch eine Multiplikation mit diesen.

$$Lhk = L * (i - b) \quad (52)$$

Dabei ist:

L Lagerhaltungskosten pro Einheit und Lagerperiode [GE]

Wird die Formel (52) mit der Anzahl der Einheiten pro Charge multipliziert, so ergeben sich die Lagerhaltungskosten, welche entstehen, wenn eine Charge über eine bestimmte Anzahl von Perioden gelagert wird.

$$Lhk = L * (i - b) * C \quad (53)$$

Werden die Formeln (50) und (53) in (49) eingesetzt, erhält man:

$$G_{i \rightarrow b} = ((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C) - (L * (i - b) * C) \quad (54)$$

Wird die Formel (54) um C gekürzt, ergibt sich:

$$G_{i \rightarrow b} = ((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) \quad (55)$$

Wenn des Weiteren Formel (55) in (48) eingesetzt wird, erhält man folgende Grenzbedingung, welche genau der aufgestellten Hypothese entspricht:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) > 0 \quad (56)$$

Somit wurde gezeigt, dass die in Hypothese 3 angeführte Formel die monetäre Vorteilhaftigkeit der Entscheidung, eine Charge vor deren Bedarfszeitpunkt i zum Zeitpunkt b , zu beschaffen, quantifiziert.

Hypothese 4: Sobald es erstmals nicht mehr vorteilhaft ist, eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i , zum früheren Zeitpunkt b zu bestellen, gilt dies auch für alle nachfolgenden Chargen mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$. Somit ist Optimalität erreicht und das Verfahren kann abgebrochen werden.

Beweis 4: Damit es von Nachteil ist, eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$ zum Zeitpunkt b zu beschaffen, muss gelten:

$$G_{i+x \rightarrow i} > G_{i+x \rightarrow b} \quad (57)$$

Dabei bedeutet:

x Ganzzahlige Variable [-]

$G_{i+x \rightarrow i}$ Monetärer Vorteil, wenn eine Charge, anstatt zum Zeitpunkt $i + x$, zu i beschaffen wird [GE]

$G_{i+x \rightarrow b}$ Monetärer Vorteil, wenn eine Charge, anstatt zum Zeitpunkt $i + x$, zu b beschaffen wird [GE]

Wird eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$ früher beschaffen, dann muss diese vollständig bis zum Zeitpunkt des Bedarfs gelagert werden. Wenn i der vorgezogene Beschaffungszeitpunkt und $i + x$ der Bedarfszeitpunkt ist, dann ergibt sich die zusätzliche Lagerungsdauer folgendermaßen:

$$Ld_z = ((i + x) - i)$$

Der monetäre Vorteil der Beschaffung einer Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$ zum Zeitpunkt i , ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Spekulationsgewinn und den Lagerhaltungskosten, welche aufgrund der längeren Lagerung von i bis $i + x$ entstehen.²⁹⁴

$$G_{i+x \rightarrow i} = ((E\{Bv\}_{i+x} - E\{Bv\}_i)) - (L * ((i + x) - i)) \quad (58)$$

Wird eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$ früher beschaffen, dann muss diese vollständig bis zum Zeitpunkt des Bedarfs gelagert werden. Wenn b der vorgezogene Beschaffungszeitpunkt und $i + x$ der Bedarfszeitpunkt ist, dann ergibt sich die zusätzliche Lagerungsdauer folgendermaßen:

$$Ld_z = ((i + x) - b)$$

Der monetäre Vorteil der Beschaffung einer Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$ zum Zeitpunkt b ergibt aus der Differenz zwischen dem Spekulationsgewinn und den zusätzlichen Lagerhaltungskosten, welche aufgrund der längeren Lagerung von b bis $i + x$ entstehen.²⁹⁵

$$G_{i+x \rightarrow b} = ((E\{Bv\}_{i+x} - E\{Bv\}_b)) - (L * ((i + x) - b)) \quad (59)$$

²⁹⁴ Vgl. dazu Formel (55) aus Beweis 3. Die Nomenklatur wurde entsprechend adaptiert.

²⁹⁵ Vgl. dazu Formel (55) aus Beweis 3. Die Nomenklatur wurde entsprechend adaptiert.

Wird (58) und (59) in (57) eingesetzt, dann ergibt sich nachfolgende Ungleichung:

$$\begin{aligned} & ((E\{Bv\}_{i+x} - E\{Bv\}_i)) - (L * ((i + x) - i)) \\ & > \\ & ((E\{Bv\}_{i+x} - E\{Bv\}_b)) - (L * ((i + x) - b)) \end{aligned} \quad (60)$$

Mit Hilfe der Formel (60) kann nun bestimmt werden, ob es monetär vorteilhafter ist, eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt $i + x$, zum Zeitpunkt b oder zum Zeitpunkt i zu beschaffen. Durch Kürzen und Umformen ergibt sich genau die Grenzbedingung aus Beweis 3.²⁹⁶

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) > 0 \quad (61)$$

Durch die Äquivalenz zu Formel (56) wurde gezeigt, dass bei der erstmaligen Nachteiligkeit der Beschaffung einer Charge zum Zeitpunkt b , welche sich mit Hilfe von Formel (56) quantifizieren lässt, Optimalität erreicht wurde und somit das Verfahren abgebrochen werden kann.

5.1.2. Verfahrensableitung und -beschreibung

Die durchgeführte Verfahrensableitung bzw. -beschreibung basiert auf den zuvor deduktiv verifizierten Hypothesen und den dazu herangezogenen Prämissen.

Schritt 1: Bei der Initialisierung des Verfahrens wird von einem fallenden oder gleichbleibenden Legierungszuschlag ausgegangen. Wie in Beweis 1 und 2 gezeigt wurde, entspricht in diesen Fällen die optimale Bestellmenge genau der Chargengröße des Stahlerzeugers. Deswegen wird zuerst mit Hilfe des erwarteten Bedarfs im Referenzzeitraum und der Chargengröße des Stahlerzeugers berechnet, wie oft bestellt werden muss. Die unter Einhaltung von Prämisse 10 ganzzahlige Bestellhäufigkeit errechnet sich folgendermaßen:²⁹⁷

$$Bh = \frac{E\{VR\}}{C} \quad (62)$$

²⁹⁶ Vgl. dazu Formel (56) aus Beweis 3.

²⁹⁷ Vgl. Himpel et al. (2008), S. 47.

Die Bestellung der ersten Charge ist so zu planen, dass die Einheiten zu Beginn des Referenzzeitraumes intern verfügbar sind, die anderen Chargen sind gleichmäßig zu verteilen, weswegen keine – planmäßigen – Fehlmengen entstehen können. Nachfolgend wird eine exemplarische Initiallösung gezeigt, welche sich durch den ersten Verfahrensschritt ergeben kann:

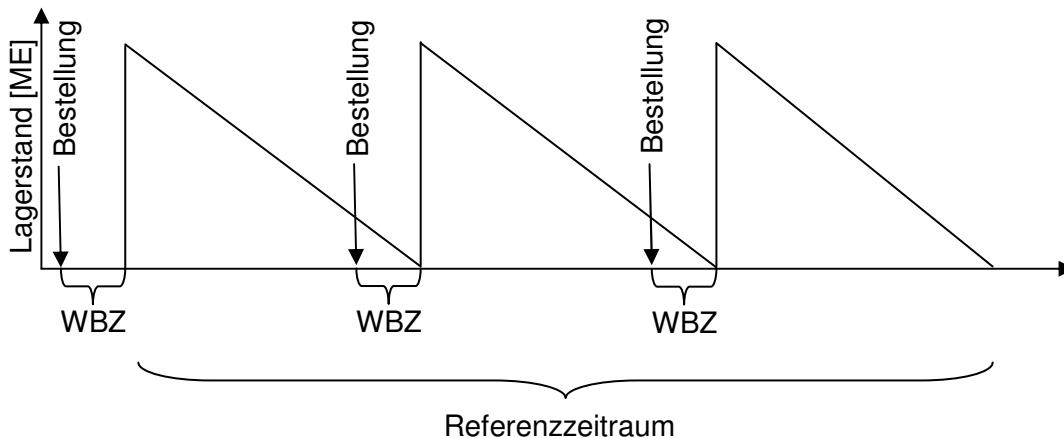


Abbildung 29: Beispielhafte Initiallösung des deterministischen HS-Verfahrens
(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie aus Abbildung 29 hervorgeht, muss die erste Bestellung außerhalb des Referenzzeitraumes, um die Wiederbeschaffungszeit versetzt, erfolgen. Nur dadurch ist es möglich, dass die interne Verfügbarkeit der ersten Charge zu Beginn des Referenzzeitraumes gegeben ist. Um auch danach – eingeplante – Fehlmengen zu vermeiden, muss die nächste Charge am Ende der Reichweite der vorherigen verfügbar sein. Der Bestellzeitpunkt aller weiteren Chargen lässt sich ermitteln, indem von der Reichweite der vorherigen Charge die Wiederbeschaffungszeit subtrahiert wird.

Schritt 2: Vor der Tätigung einer geplanten Bestellung ist zu überprüfen, ob mit einem steigenden Legierungszuschlag zu rechnen ist. Wird ein Anstieg prognostiziert, dann muss geprüft werden, ob die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i bereits zum Zeitpunkt b zu beschaffen ist. Wenn der aus dem früheren Beschaffungszeitpunkt resultierende Spekulationsgewinn höher ist als die zusätzlich verursachten Lagerhaltungskosten, dann ist die Bestellmenge um eine Chargengröße zu erhö-

hen. Wie in Beweis 3 gezeigt wurde, kann die Vorteilhaftigkeit mit folgender Grenzbedingung quantifiziert werden:²⁹⁸

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) > 0$$

Die Lagerhaltungskosten pro Einheit und Chargenreichweite lassen sich mit Hilfe der Formel (42) berechnen.

$$Lhk = \frac{Bm}{2} * E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * Bm}{E\{VZe\} * 365}$$

Bei dieser Formel werden folgende Modifikationen vorgenommen:

- Da untersucht wird, ob genau eine Charge früher beschaffen werden soll, gilt: $Bm \rightarrow C$
- Wenn eine Charge eine Periode früher beschaffen wird, dann erfolgt von dieser bis zu deren Bedarfszeitpunkt kein Lagerabbau. Der durchschnittliche Lagerstand beträgt somit die ganze Chargengröße. $\frac{C}{2} \rightarrow C$

Es ergibt sich:

$$Lhk = C * E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * C}{E\{VZe\} * 365} \quad (63)$$

Wird die Formel (63) durch die Chargengröße dividiert, so ergeben sich die Lagerhaltungskosten pro Einheit und Chargenreichweite:

$$L = E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * C}{E\{VZe\} * 365} \quad (64)$$

Die Berechnung des erwarteten Tagesverbrauchs $E\{VZe\}$ kann durch eine Division des erwarteten Verbrauchs innerhalb des Referenzzeitraums, welcher sich auf ein Jahr bezieht, durch die Anzahl der Tage eines Jahres erfolgen.

²⁹⁸ Vgl. Formel (56).

$$E\{Vze\} = \frac{E\{VR\}}{365} \quad (65)$$

Wird nun die Formel (65) in (64) eingesetzt und umgeformt, dann ergibt sich:

$$L = E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * C}{\frac{E\{VR\}}{365} * 365} = \frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}} \quad (66)$$

Durch das Einsetzen von (66) in (56) ergibt sich die Grenzbedingung, ab welcher es kostenoptimal ist, die bei der Initiallösung für den Zeitpunkt i geplante Chargebeschaffung bereits zum Zeitpunkt b durchzuführen.

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}} * (i - b) \right) > 0 \quad (67)$$

Trifft diese Bedingung zu, dann ist es günstiger, die Charge zum Zeitpunkt b anstatt zum ursprünglich geplanten Zeitpunkt i zu beschaffen. Sobald diese Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten wird, kann das Verfahren beendet werden.²⁹⁹ Der zweite Schritt lässt sich mathematisch folgendermaßen formulieren:

Setze: $i = b + 1$

$$\text{Setze: } L = \frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}}$$

$$\text{Setze: } I_{max} = \frac{E\{VR\}}{C}$$

While ($i < I_{max}$)

{

If ($E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b - (L * (i - b)) > 0$ //Beweis 3

$Bm_{opt} = Bm_{opt} + 1$

Else

Exit While //Beweis 4

EndIf

$i = i + 1$

²⁹⁹ Siehe dazu: Beweis 4.

}

End

Das Ergebnis Bm_{opt} stellt die Chargenanzahl dar, welche zum Zeitpunkt b zusätzlich zu jener, welche bei der Initiallösung vorgesehen war, zu beschaffen ist.

Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Verfahrensschritte:

- Erstellen der Initiallösung: Die optimale Bestellmenge entspricht genau der Chargengröße des Stahlerzeugers. Diese gilt, solange ein fallender oder gleichbleibender Legierungszuschlag prognostiziert wird.
- Wird vor der Durchführung einer Bestellung ein steigender Legierungszuschlag erwartet, ist zu prüfen, ob folgende Grenzbedingung erfüllt ist:

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) > 0$$

- Wenn ja, dann ist die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i zum Zeitpunkt b zu beschaffen und die Prüfung für weitere Chargen $i + x$ durchzuführen. Wenn die Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten wird, dann wurde die optimale Bestellmenge erreicht.
- Wenn nein, dann ist das Verfahren abzubrechen. Die optimale Lösung entspricht der Initiallösung.

5.1.3. Anwendungsbeispiel für das HS-Verfahren

Um ein erweitertes Verständnis für das hergeleitete HS-Verfahren zu fördern, wird dieses nachfolgend anhand eines fiktiven Beispiels demonstriert.

Zwischen Umformer und Stahlerzeuger wurde eine jährliche Abnahmemenge von 4.000 Tonnen eines 10XCr20-Stahls für den Zeitraum von 1. Jänner bis 31. Dezember vereinbart. Die Bestellmenge muss mindestens 400 Tonnen³⁰⁰ (= Chargengröße) bzw. dem Vielfachen davon entsprechen.

Schritt 1 (Initiallösung):

$$Bh = \frac{E\{VR\}}{C} = \frac{4.000}{400} = 10$$

³⁰⁰ Um die Zusammenhänge besser veranschaulichen zu können, wurde die Chargengröße sehr groß gewählt.

Um Fehlmengen zu vermeiden, ist die erste Bestellung so zu planen, dass 400 Tonnen am 1. Jänner intern verfügbar sind. Die weiteren sind gleichmäßig auf den Referenzzeitraum, 365 Tage, zu verteilen. Somit wird planmäßig alle 36,5 Tage bestellt. Beträgt die Wiederbeschaffungszeit der Chargen 30 Tage, dann ist die erste Bestellung am 2. Dezember des Vorjahres durchzuführen. Es ergibt sich folgende Initiallösung:

Datum	Periode	Menge
01.Jän	1	400
06.Feb	2	400
15.Mär	3	400
20.Apr	4	400
27.Mai	5	400
02.Jul	6	400
08.Aug	7	400
13.Sep	8	400
20.Okt	9	400
25.Nov	10	400

Tabelle 9: Initiallösung des HS-Verfahrens
(Quelle: Eigene Darstellung)

Der mit Schritt 1 festgelegten Bestellpolitik kann so lange unreflektiert gefolgt werden, bis das Ereignis „steigender Legierungszuschlag wird erwartet“ eintritt. In diesem Fall ist vor der Bestellung der zweite Verfahrensschritt durchzuführen.

Schritt 2: Bereits vor Tätigung der ersten Bestellung wird von einem leichten Anstieg des Legierungszuschlags bis inklusive Juni ausgegangen. Nachfolgende Tabelle 10 zeigt die prognostizierte Entwicklung des Legierungszuschlags:

Periode der Fakturierung	Erwarteter LZ
1	170
2	175
3	180
4	175
5	175

Tabelle 10: Erwartete Preisentwicklung des Legierungszuschlages
(Quelle: Eigene Darstellung)

Nun muss geprüft werden, ob bei der Bestellung für die Bedarfsperiode 1 von der Initiallösung abgegangen werden muss. Da die Lagerhaltungskosten einer Char-

genreichweite aus Sicht der weiteren Rechenschritte eine Konstante darstellen, werden diese zuerst berechnet. Die Höhe des Lagerhaltungssatzes beträgt 10%.

$$L = \frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}}$$

$$L = \frac{170 * 0,1 * 400}{4000} = 1,7$$

- (1) Prüfen, ob die Charge mit Bedarfszeitpunkt Periode 2 (i) bereits in Periode 1 (b) beschaffen werden soll. Dies ist dann vorteilhaft, wenn gilt:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) > 0$$

$$((175 - 170)) - (1,7 * (2 - 1)) > 0$$

$$3,3 > 0$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 2 in Periode 1 zu erfolgen.

- (2) Beurteilung, ob es vorteilhafter ist, die Charge aus Periode 3 (i) so zu beschaffen, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) > 0$$

$$((180 - 170)) - (1,7 * (3 - 1)) > 0$$

$$6,6 > 0$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 3 in Periode 1 zu erfolgen.

- (3) Beurteilung, ob die Charge aus Periode 4 (i) so beschaffen werden soll, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L * (i - b)) > 0$$

$$((175 - 170)) - (1,7 * (4 - 1)) > 0$$

$$-0,1 \ngtr 0$$

Hier wird die Grenzbedingung erstmals nicht mehr eingehalten, weswegen der zweite Schritt des Verfahrens an dieser Stelle abgebrochen werden kann.

Das erzielte Ergebnis kann mit Hilfe der nachfolgenden Vollenumeration bestätigt werden. Dabei wird der monetäre Vorteil der früheren Beschaffung zum Zeitpunkt b einer jeden nachfolgenden Charge durch Subtraktion der entstehenden Lagerhaltungskosten vom erzielbaren Spekulationsgewinn berechnet. Es können jedoch nur Chargen bis zum Bedarfszeitpunkt 5 einbezogen werden, da darüber hinaus keine Prognose zur Entwicklung des Legierungszuschlages vorliegt.

<i>Bedarfszeitpunkt i</i>	Se [$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C$]	Lhk [$L * (i - b) * C$]	$G_{i \rightarrow b}$ [$Se - Lhk$]	$\sum G_{i \rightarrow b}$
2	2.000	680	1.320	1.320
3	4.000	1.360	2.640	3.960
4	2.000	2.040	-40	3.920
5	2.000	2.720	-720	3.200

Tabelle 11: Vollenumeration
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Vollenumeration in Tabelle 11 zeigt, dass es von Vorteil ist, die Chargen mit den Bedarfszeitpunkten 2 und 3 bereits in Periode 1 zu beschaffen, da der monetäre Vorteil bei dieser Entscheidung mit 3.960 GE ein Maximum annimmt. Wenn auch die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt 4 in Periode 1 beschaffen wird, dann würde dies eine Vorteilsreduktion um 40 GE bedeuten, da die entstehenden Lagerhaltungskosten größer sind als der sich ergebende Spekulationsgewinn. Eine Beschaffung der Charge mit dem Bedarfszeitpunkt 5 in Periode 1 würde die monetäre Vorteilhaftigkeit um 720 GE verringern.

5.1.4. Evaluierung des Verfahrens mit Hilfe der festgelegten Kriterien

1. Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.

Das Verfahren berücksichtigt die diskreten, monatlichen Änderungen des Legierungszuschlages vollständig.

2. *Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.*

Diese Restriktion der Bestellmenge wird von dem beschriebenen HS-Verfahren zur Gänze berücksichtigt.

3. *Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.*

Das HS-Verfahren geht generell davon aus, dass die Bestellfixkosten keine signifikante Höhe aufweisen und deswegen nicht entscheidungsrelevant sind, somit wurde es für die Absenz von Bestellfixkosten konzipiert.

4. *Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.*

Es wird von einem kontinuierlichen Bedarf innerhalb des gesamten Referenzzeitraums ausgegangen, Schwankungen können deswegen nicht berücksichtigt werden.

5. *Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.*

Da das Verfahren von einem deterministischen Verhalten aller Parameter ausgeht, muss kein Sicherheitsbestand gehalten werden. Deswegen sind keine Interdependenzen zur Bestellmenge bzw. Bestellhäufigkeit zu berücksichtigen.

6. *Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.*

Wenn sich nur eine Art von Halbzeug im Lager befindet, kann eine Restriktion der Kapazität durch eine entsprechende Abänderung der vom Verfahren vorgegebenen Bestellmenge erfolgen. Das Erreichen einer optimalen Lösung kann in diesem Fall aber nicht sichergestellt werden. Befinden sich verschiedene Arten von Halbzeug in einem Lager, dann ist eine simultane Optimierung der Bestellpolitik mit diesem Verfahren, zumindest ohne eine entsprechende Adaption, nicht möglich. Dies gilt auch für Restriktionen der Liquidität, wobei hier alle Beschaffungsobjektgruppen im Unternehmen, also nicht nur Halbzeug, zu betrachten sind, was die mathematische Behandlung erschwert.

7. *Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.*

Der Verfahrensaufwand hängt von der vorhergesagten Entwicklung des Legierungszuschlages ab, da nur bei einem prognostizierten Anstieg – die bei der Initiallösung festgelegte – Bestellmenge überprüft werden muss. Der Aufwand dieser Überprüfung ist vom Verhältnis zwischen Preisanstieg und Lagerhaltungskosten abhängig. Je geringer der Anstieg des erwarteten Legierungszuschlages ist, desto niedriger ist der zu erzielende Spekulationsgewinn. Deswegen wird ein Überwiegen der zusätzlichen Lagerhaltungskosten – und somit Optimalität – früher erreicht, als dies bei einem starken Anstieg der Fall wäre. Aber auch die Bestellhäufigkeit – und damit die Chargenreichweite – bestimmen, wie viele Chargen mit dem Bedarfszeitpunkt i bezüglich einer Beschaffung zum Zeitpunkt b zu überprüfen sind. Zur Durchführung der einzelnen Rechenschritte werden ausschließlich die Subtraktions- sowie die Multiplikationsrechnung benötigt, weswegen das Verfahren problemlos mit jedem Taschenrechner angewendet werden kann. Wenn Disponenten nicht auf ein umfangreiches Erfahrungswissen zurückgreifen können, so werden diese zur Prognostizierung bzw. Berechnung des zukünftigen Legierungszuschlages Unterstützung benötigen, weswegen das Verfahren nicht immer ohne weitere Hilfestellung angewendet werden kann.

Durch das entwickelte HS-Verfahren ist es möglich, wesentliche Aspekte der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe zu berücksichtigen und dennoch eine hohe Praktikabilität zu erzielen. Aufgrund der ereignisorientierten Planung werden eine Reduktion der notwendigen Prognosedauer des Legierungszuschlages und dadurch eine höhere Planungssicherheit erzielt. Gleichzeitig ergibt sich im Gegensatz zu einer rollierenden Vorgehensweise ein geringerer zeitlicher Aufwand für die Disponenten, was eine erhöhte Akzeptanz nach sich ziehen kann. Die Dispositionsverantwortlichen müssen die Bestellmenge innerhalb des Referenzzeitraums nämlich nur dann überprüfen, wenn mit einem steigenden Legierungszuschlag gerechnet wird. Dies führt aber auch dazu, dass auf eine Revidierung der zu erwarteten Höhe des Legierungszuschlages, nach oben, nicht reagiert werden kann. Die durch die Unterstellung des deterministischen Verhaltens aller Parameter legiti-

mierte Vorgehensweise kann somit in der Praxis zu einer Abweichung von der Optimalität führen. Denn wenn der Legierungszuschlag stärker ansteigt, als dies bei der Ermittlung der Bestellmenge angenommen wurde, können Bestellungen zu Zeitpunkten vorteilhaft sein, welche im Verfahren nicht vorgesehen sind. Des Weiteren können die Auswirkungen von Zahlungszielen und eventuell gewährter Skonti nicht in die Berechnung der Lagerungskosten mit einbezogen werden. Aber auch die Annahme, dass der Verbrauch von der Entwicklung des Legierungszuschlages unabhängig ist, muss keinesfalls zutreffend sein. Dies gilt insbesondere, wenn die Kunden des Umformers ebenfalls dem Legierungszuschlagssystem unterworfen sind, denn dann kann es aufgrund von Preisschwankungen zu einer unterschiedlichen Nachfrage und somit zu variierenden Bedarfsraten kommen. Wird von einem steigenden Legierungszuschlag ausgegangen, verlegen viele Kunden die Bestellung zukünftiger Bedarfe vor,³⁰¹ um dadurch Spekulationsgewinne lukrieren zu können. Des Weiteren können unterschiedliche Bedarfsraten auch aufgrund von saisonalen Schwankungen entstehen. Abschließend kann konstatiert werden, dass trotz der vorhandenen Kritikpunkte die Evaluierungskriterien 1, 2 und 3 zur Gänze erfüllt sind und dass die Praktikabilität (Kriterium 7), auch wenn diese von mehreren Faktoren abhängt, für die manuelle Berechnung durchaus als ausreichend bezeichnet werden kann.

5.2. Adaption und Erweiterung des HS-Verfahrens

In diesem Unterkapitel wird gezeigt, wie sich das HS-Verfahren adaptieren lässt, damit auch variierende Bedarfsraten berücksichtigt werden können. Des Weiteren wird eine Verfahrenserweiterung beschrieben, durch welche die in der Praxis häufig auftretenden stochastischen Schwankungen in die Betrachtung mit einbezogen werden können. Abschließend wird gezeigt, wie das Verfahren zu erweitern ist, wenn die Prämisse der Nichtsignifikanz der Bestellfixkosten nicht erfüllt ist.

5.2.1. Dynamische Adaption

Wenn keine konstante Bedarfsrate unterstellt werden kann, z. B. wegen saisonaler Schwankungen, dann muss das HS-Verfahren durch eine entsprechende Adaption dynamisiert werden. Dadurch kann folgende, für das HS-Verfahren aufgestellte Prämisse als obsolet betrachtet werden:

³⁰¹ Vgl. Lödding (2008), S. 116.

Prämisse 9: Die Bedarfsrate ist über den gesamten Referenzzeitraum konstant.

Bezüglich der Verfahrenskategorisierung handelt es sich durch die Adaption um ein dynamisches, deterministisches und optimierendes Verfahren.

5.2.1.1. Verfahrensableitung und -beschreibung

Adaption Schritt 1 (Initiallösung): Zuerst ist mit Hilfe der Formel (62) die Bestellhäufigkeit zu ermitteln.

$$Bh = \frac{E\{VR\}}{C}$$

Die Bestellung der ersten Charge ist so zu planen, dass die Einheiten zu Beginn des Referenzzeitraumes intern verfügbar sind. Im Gegensatz zum nicht adaptierten HS-Verfahren ergeben sich aufgrund der verschiedenen Bedarfsraten unterschiedliche Chargenreichweiten, welche mit der Formel (40) berechnet werden können.

$$Rw = \frac{Bm}{E\{VZe\}}$$

Entsprechend den so ermittelten Reichweiten sind die Chargen über den Referenzzeitraum zu verteilen, wie dies exemplarisch in nachfolgender Abbildung gezeigt wird:

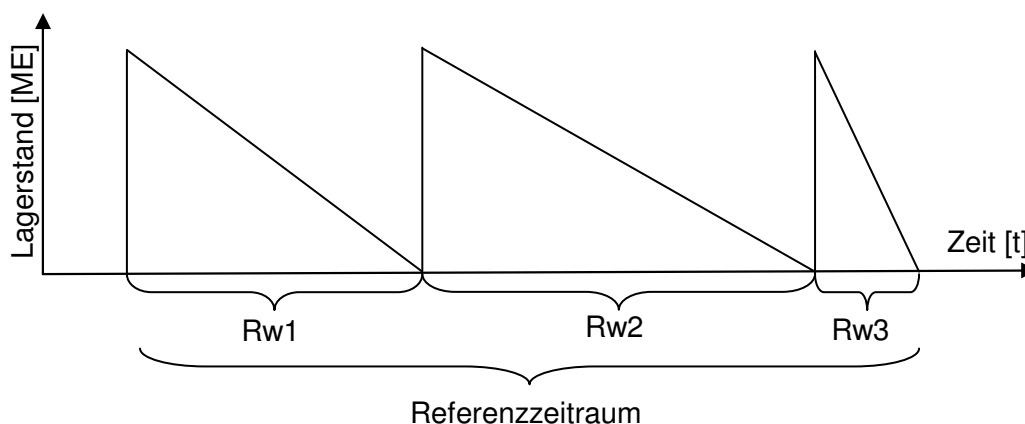


Abbildung 30: Beispielhafte Initiallösung beim dynamisierten deterministischen HS-Verfahren
(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 30 stellt die geplante Beschaffung von drei Chargen dar, welche aufgrund verschiedener Bedarfsraten und den daraus resultierenden Reichweiten (Rw_1 , Rw_2 und Rw_3) in unregelmäßigen Abständen zu beschaffen sind.

Adaption Schritt 2: Im Gegensatz zum nicht adaptierten HS-Verfahren müssen die Lagerhaltungskosten pro Einheit und Chargenreichweite aufgrund der divergierenden Bedarfsraten für jede einzelne Charge neu berechnet werden. Dazu kann auf Formel (64) zurückgegriffen werden, bei welcher direkt mit der Bedarfsrate $E\{VZe\}$ gearbeitet wird.

$$L = E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * C}{E\{VZe\} * 365}$$

Da die Bedarfsrate verschiedene Werte annehmen kann, werden folgende Modifikationen der Nomenklatur vorgenommen:

$$E\{VZe\} \rightarrow E\{VZe\}_x$$

$$L \rightarrow L_x$$

Es ergibt sich dadurch Formel (68):

$$L_x = E\{Bv\}_b * \frac{Lhs * C}{E\{VZe\}_x * 365} \quad (68)$$

Dementsprechend ist auch die Nomenklatur von Formel (56) anzupassen, es ergibt sich:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - (L_x * (i - b)) > 0 \quad (69)$$

Wird Formel (68) in (69) eingesetzt, so ergibt sich:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_x * 365} * (i - b) \right) > 0 \quad (70)$$

Mit Formel (70) kann unter Berücksichtigung der differierenden Bedarfsrate die Prüfung, ob eine Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i bereits zum Zeitpunkt b beschaffen werden soll, erfolgen. Mathematisch lässt sich die dynamische Adaption des zweiten Schrittes wie gefolgt darstellen:

Setze: $i = b + 1; x = 1;$

$$\text{Setze: } I_{max} = \frac{E\{VR\}}{C}$$

While ($i < I_{max}$)

{

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_x * 365} * (i - b) \right) \right) > 0 // \text{Beweis 3}$$

$$Bm_{opt} = Bm_{opt} + 1$$

$$x = x + 1$$

Else

Exit While // Beweis 4

EndIf

$$i = i + 1$$

}

Das Ergebnis Bm_{opt} stellt die Chargenanzahl dar, welche zum Zeitpunkt b zusätzlich zu jener, welche bei der Initiallösung vorgesehen war, zu beschaffen ist. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Verfahrensschritte:

- Erstellen der Initiallösung: Die optimale Bestellmenge entspricht genau der Chargengröße des Stahlerzeugers. Der Gesamtbedarf des Referenzzeitraums ist entsprechend der Chargenreichweiten zu verteilen. Die Initiallösung gilt, solange ein fallender oder gleichbleibender Legierungszuschlag prognostiziert wird.
- Wird vor der Durchführung einer Bestellung ein steigender Legierungszuschlag erwartet, ist zu prüfen, ob folgende Grenzbedingung erfüllt ist:

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_x * 365} * (i - b) \right) > 0$$

- Wenn ja, dann ist die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i zum Zeitpunkt b zu beschaffen und die Prüfung für weitere Chargen $i + x$

durchzuführen. Wenn die Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten wird, dann wurde die optimale Bestellmenge erreicht.

- Wenn nein, dann ist das Verfahren abubrechen. Die optimale Lösung wurde gefunden und entspricht der Initiallösung.

Durch die dynamische Adaption des HS-Verfahrens ändern sich die Evaluierungskriterien 4, 7.

4. Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.

Für jede Charge, welche es innerhalb des Referenzzeitraums zu beschaffen gilt, können verschiedene Bedarfsraten festgelegt werden. Die Dynamisierungsmöglichkeiten hängen somit von der benötigten Anzahl der Chargen ab. Wird innerhalb des Referenzzeitraums nur eine Charge benötigt, dann ist eine dynamische Gestaltung nicht möglich, werden tendenziell viele benötigt, dann kann die Dynamisierung umfangreich gestalten werden. Selbst wenn sich eine bei der Initiallösung geplante Bedarfsrate innerhalb des laufenden Referenzzeitraums ändert, kann durch eine Neuberechnung der Initiallösung eine entsprechende Adaption erfolgen.

7. Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.

Der Aufwand zur Erstellung der Initiallösung ist größer als beim nicht dynamisierten HS-Verfahren, da bei der Initiallösung die Abstände zwischen den Chargen separat berechnet werden müssen. Dies gilt auch für den zweiten Schritt, da hier die Lagerhaltungskosten je Einheit und Chargenreichweite keine Konstante mehr darstellen und somit für jede Charge zusätzliche Rechenoperationen durchzuführen sind. Der zusätzlich entstehende Aufwand hängt somit von der Anzahl der Chargen ab, welche es innerhalb des Referenzzeitraums zu beschaffen gilt.

5.2.1.2. Verfahrensbeispiel

Um ein erweitertes Verständnis für die dynamische Adaption des HS-Verfahren zu fördern, wird dieses nachfolgend anhand eines fiktiven Beispiels demonstriert.

Zwischen Umformer und Stahlerzeuger wurde eine jährliche Abnahmemenge von 1.000 Tonnen eines 10XCr20-Stahls für den Zeitraum von 1. Jänner bis 31. Dezember in einen Rahmenvertrag vereinbart. Die Bestellmenge muss mindestens 100 Tonnen (= Chargengröße des Stahlerzeugers) bzw. dem Vielfachen davon entsprechen. Aufgrund von saisonalen Schwankungen unterstellt das umformende Unternehmen folgende Bedarfsraten:

Bedarfsrat [t/Tag]	
$E\{VZe\}_1$	4
$E\{VZe\}_2$	4
$E\{VZe\}_3$	3,5
$E\{VZe\}_4$	2
$E\{VZe\}_5$	2
$E\{VZe\}_6$	2
$E\{VZe\}_7$	2
$E\{VZe\}_8$	3
$E\{VZe\}_9$	3
$E\{VZe\}_{10}$	5

Tabelle 12: Bedarfsrate für jede Charge
(Quelle: Eigene Darstellung)

Schritt 1 (Initiallösung):

$$Bh = \frac{E\{VR\}}{C} = \frac{1.000}{100} = 10$$

Um Fehlmengen zu vermeiden, ist die erste Bestellung so zu planen, dass 100 Tonnen am 1. Jänner intern verfügbar sind. Die weiteren Chargen sind entsprechend deren Reichweite zu verteilen, welche sich beispielsweise für die erste Charge folgendermaßen berechnen lässt:

$$Rw_1 = \frac{Bm}{E\{VZe\}} = \frac{C}{E\{VZe\}} = \frac{100}{4} = 25 \text{ [Tage]}$$

Dementsprechend ergeben sich die weiteren Chargenreichweiten, welche in nachfolgender Tabelle aufgelistet sind:

Reichweite [Tage]	
C_1	25,0
C_2	25,0
C_3	28,6
C_4	50,0
C_5	50,0

C_6	50,0
C_7	50,0
C_8	33,3
C_9	33,3
C_{10}	20,0

Tabelle 13: Reichweite für jede Charge
(Quelle: Eigene Darstellung)

Beispielsweise muss die zweite Charge um die Reichweite der ersten, also 25 Tage, zeitversetzt beschaffen werden, wobei die Bestellung unter Berücksichtigung der Wiederbeschaffungszeit zu erfolgen hat. Der mit Schritt 1 festgelegten Bestellpolitik kann so lange unreflektiert gefolgt werden, bis das Ereignis „steigender Legierungszuschlag wird erwartet“ eintritt. In diesem Fall ist vor der Bestellung der zweite Verfahrensschritt durchzuführen.

Schritt 2: Bereits vor der Tätigung der ersten Bestellung wird von einem leichten Anstieg des Legierungszuschlags, bis inklusive Juni, ausgegangen. Nachfolgende Tabelle 10 zeigt die prognostizierte Entwicklung des Legierungszuschlags:

Periode der Fakturierung	Erwarteter LZ
1	170
2	175
3	180
4	175
5	175

Tabelle 14: Erwartete Preisentwicklung des Legierungszuschlages
(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit Hilfe von Formel (70) muss geprüft werden, ob bei der Bestellung für den Bedarf der Periode 1 von der Initiallösung abgegangen werden muss. Die Höhe der Lagerhaltungskosten beträgt 10%.

- (1) Prüfen, ob die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt Periode 2 (i) bereits in Periode 1 (b) beschaffen werden soll. Dies ist dann vorteilhaft, wenn gilt:

$$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_1 * 365} * (i - b) \right) > 0$$

$$((175 - 170)) - \left(\frac{170 * 0,1 * 100}{4 * 365} * (2 - 1) \right) > 0$$

$$3,84 > 0$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 2 in Periode 1 zu erfolgen.

- (2) Beurteilung, ob es vorteilhafter ist, die Charge aus Periode 3 (i) so zu beschaffen, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$\begin{aligned} & ((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_2 * 365} * (i - b) \right) > 0 \\ & ((180 - 170)) - \left(\frac{180 * 0,1 * 100}{4 * 365} * (3 - 1) \right) > 0 \\ & 7,53 > 0 \end{aligned}$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 3 in Periode 1 zu erfolgen.

- (3) Beurteilung, ob die Charge aus Periode 4 (i) so beschaffen werden soll, dass diese in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$\begin{aligned} & ((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_3 * 365} * (i - b) \right) > 0 \\ & ((175 - 170)) - \left(\frac{175 * 0,1 * 100}{3,5 * 365} * (4 - 1) \right) > 0 \\ & 0,89 > 0 \end{aligned}$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 4 in Periode 1 zu erfolgen.

- (4) Beurteilung, ob die Charge aus Periode 5 (i) so beschaffen werden soll, dass diese in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$\begin{aligned} & ((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b)) - \left(\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VZe\}_3 * 365} * (i - b) \right) > 0 \\ & ((175 - 170)) - \left(\frac{175 * 0,1 * 100}{2 * 365} * (5 - 1) \right) > 0 \\ & -4,59 \ngtr 0 \end{aligned}$$

Hier wird die Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten, weswegen das Verfahren an dieser Stelle abgebrochen werden kann.

Somit sind die Bedarfe von Periode 1, 2, 3 und 4 in der ersten Periode zu beschaffen, die nächste Bestellung hat erst für Periode 5 zu erfolgen.

5.2.2. Stochastische Erweiterung

Bei der stochastischen Erweiterung des HS-Verfahrens werden die in der Praxis sehr oft vorhandenen Unsicherheiten der Nachfrageprognosen³⁰² durch die Einführung eines Sicherheitsbestandes berücksichtigt. Mit Hilfe dieser Verfahrenserweiterung können stochastische Einflüsse einbezogen und eine Anpassung des auf Basis der Initiallösung festgelegten Sicherheitsbestandes an eine Veränderung der Bestellhäufigkeit innerhalb des laufenden Referenzzeitraums durchgeführt werden. Durch die stochastische Verfahrenserweiterung wird folgende, für das HS-Verfahren aufgestellte Prämisse zum Teil obsolet:

Prämisse 2: Alle Parameter weisen ein deterministisches Verhalten auf.

Bezüglich der Bedarfsrate und der Wiederbeschaffungszeit wird kein deterministisches Verhalten mehr unterstellt, da die praktisch auftretenden stochastischen Schwankungen in der Planung gezielt berücksichtigt werden. Bei allen anderen Parametern wird jedoch weiterhin ein deterministisches Verhalten vorausgesetzt, weswegen die zweite Prämisse des HS-Verfahrens durch folgende ersetzt wird.

Prämisse 2: Alle Parameter, außer der Wiederbeschaffungszeit und der Bedarfsrate, weisen ein deterministisches Verhalten auf.

5.2.2.1. Verfahrenableitung und -beschreibung

Erweiterung Schritt 1: Die Verfahrenserweiterung zieht zur Bestimmung des Bestellpunktes und damit des Sicherheitsbestandes den strategisch festzulegenden α_{II} – *Servicegrad* heran. Dadurch kann eine strategische Vorgabe erfolgen, welche sich auf den gesamten Referenzzeitraum, im Falle der betrachteten Beschaffungsobjektgruppe i.d.R. auf ein Kalenderjahr, bezieht. Die in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Methoden zur Berechnung des Sicherheitsbestandes benötigen jedoch als Parameter den α_{Zyk} – *Servicegrad*. Dieser bezieht sich ausschließlich auf einen Bestellzyklus und gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass es innerhalb der Wiederbeschaffungszeit zu keinem Fehlmengenereignis kommt. Deswegen muss

³⁰² Vgl. Neumann (1996), S. 62.

zwischen diesen beiden Servicegraddefinitionen einen entsprechende Konvertierung erfolgen. Dazu wird zunächst auf Basis des vorgegebenen $\alpha_{II} - Servicegrad$ ermittelt, wie hoch der $\alpha_{II}Zyk - Servicegrad$ sein muss. Für diesen Umrechnungsschritt kann die Formel (27) aus Kapitel 3.4 herangezogen werden.

$$\alpha_{II}Zyk - Servicegrad = \sqrt[Bh]{\alpha_{II} - Servicegrad}$$

Die Bestellhäufigkeit ergibt sich dabei durch die Initiallösung und ist somit vom Jahresbedarf und der vom Stahlerzeuger vorgegebenen Chargengröße abhängig.³⁰³

Im nächsten Schritt muss berücksichtigt werden, dass sich der $\alpha_{II}Zyk - Servicegrad$ auf den gesamten Bestellzyklus, der $\alpha Zyk - Servicegrad$ jedoch nur auf die Wiederbeschaffungszeit bezieht. Als Basis zur Konvertierung kann Formel (18) herangezogen werden, deren Nomenklatur wegen des Bezuges zum Bestellzyklus folgendermaßen anzupassen ist:

$$\begin{aligned} \alpha - Servicegrad &\rightarrow \alpha Zyk - Servicegrad \\ \alpha_{II} - Servicegrad &\rightarrow \alpha_{II}Zyk - Servicegrad \end{aligned}$$

Wenn nach $\alpha Zyk - Servicegrad$ umgeformt wird, so ergibt sich:

$$\alpha Zyk - Servicegrad = \frac{\alpha_{II}Zyk - Servicegrad * BZ - (BZ - Wbz)}{Wbz} \quad (71)$$

Wird des Weiteren die Formel (27) aus Kapitel 3.4 in (71) eingesetzt, ergibt sich folgende Formel, mit welcher eine direkte Umrechnung zwischen $\alpha_{II} - Servicegrad$ und $\alpha Zyk - Servicegrad$ erfolgen kann:

$$\alpha Zyk - Servicegrad = \frac{\sqrt[Bh]{\alpha_{II} - Servicegrad} * BZ - (BZ - Wbz)}{Wbz} \quad (72)$$

³⁰³ Siehe dazu: Kapitel 5.1.2.

Auf Basis des α Zyk – Servicegrades ist die Berechnung der notwendigen Höhe des Bestellpunktes durchzuführen, wobei eine Formel heranzuziehen ist, welche die Wahrscheinlichkeitsverteilung der stochastisch schwankenden Parameter entsprechend berücksichtigt.³⁰⁴ Diesbezüglich kann deswegen an dieser Stelle keine generische Vorgehensweise angeführt werden, es wird auf Kapitel 3.3.2 verwiesen.

Erweiterung von Schritt 2: Bei steigendem Legierungszuschlag kann es vorteilhaft sein, Chargen mit einem zukünftigen Bedarfszeitpunkt i so zu bestellen, dass diese bereits zum Zeitpunkt b intern verfügbar sind. Durch die Erhöhung der Bestellmenge verringert sich die Anzahl der Bestellungen innerhalb des Referenzzeitraums, weswegen der α Zyk – Servicegrad, und damit der Bestellpunkt, reduziert werden können.³⁰⁵ Die Veränderung der Bestellhäufigkeit lässt sich durch eine Subtraktion der Chargenanzahl, deren Beschaffung vorgezogen wird, von der bis dahin geplanten Bestellhäufigkeit errechnen.

$$Bh_{neu} = Bh_{alt} - C_{vor} \quad (73)$$

Dabei ist:

C_{vor} Anzahl der Chargen, deren geplante interne Verfügbarkeit auf den Zeitpunkt b vorverlegt werden [-]

Die Entscheidung des Abgehens von der – bei der Initiallösung – geplanten Bestellhäufigkeit ergibt sich i.d.R. erst innerhalb des Referenzzeitraums, weswegen die Veränderung der Bestellanzahl nicht im ersten Schritt berücksichtigt werden kann. Eine Anpassung des Bestellpunktes ist somit nur innerhalb des laufenden Referenzzeitraums durchführbar. Die in der Erweiterung des ersten Schritts beschriebene Vorgehensweise unterstellt aber, dass der Bestellpunkt über den gesamten Zeitraum eingehalten wird und kann deswegen ohne eine entsprechende Erweiterung für den zweiten Schritt nicht übernommen werden. Eine Ausnahme

³⁰⁴ Vgl. dazu: Kapitel 3.3.2.

³⁰⁵ Vgl. dazu: Kapitel 3.4.

stellt eine Veränderung der Bestellhäufigkeit vor der ersten Bestellung dar.³⁰⁶ In diesem Fall kann eine Berücksichtigung über den gesamten Referenzzeitraum erfolgen, womit die im ersten Schritt beschriebene Vorgehensweise herangezogen werden kann. Wenn die Veränderung der Bestellhäufigkeit und damit des Bestellpunktes jedoch erst innerhalb des laufenden Referenzzeitraums bekannt wird, kann eine Berücksichtigung nur über Teilbereiche erfolgen, weswegen zwei verschiedene Höhen des zyklischen Servicegrades existieren.

$$\alpha Zyk_{i \leftarrow b}$$

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i}$$

Dabei ist:

$\alpha Zyk_{t \leftarrow b}$ Zyklischer Alpha-Servicegrad, gültig im Zeitraum vor Veränderung der Bestellhäufigkeit [-]

$\alpha Zyk_{b \rightarrow i}$ Zyklischer Alpha-Servicegrad, gültig im Zeitraum nach Veränderung der Bestellhäufigkeit [-]

Da das in Kapitel 4.3.2 beschriebene HS-Verfahren innerhalb des Referenzzeitraums nur zu einer Erhöhung der Bestellmenge und damit zu einer Reduktion der Bestellhäufigkeit führen kann,³⁰⁷ muss gelten:

$$Bh_{alt} > Bh_{neu} \tag{74}$$

Aus der Formel (72) lässt sich ableiten, dass sich der einzuhaltende zyklische Servicegrad nach einer Reduktion der Bestellanzahl reduziert, weswegen weiterhin gilt:

$$\alpha Zyk_{i \leftarrow b} > \alpha Zyk_{b \rightarrow i} \tag{75}$$

Um bestimmen zu können, wie hoch der ab dem Zeitpunkt b gültige Servicegrad sein muss, kann mit geometrischen Überlegungen gearbeitet werden. Dazu muss zuerst der Servicegrad $\alpha Zyk_{Bh_{neu}}$ ermittelt werden, welcher durch die Reduktion

³⁰⁶ Dies kann dann der Fall sein, wenn bereits vor der ersten Bestellung innerhalb des Referenzzeitraums mit einem steigenden Legierungszuschlag gerechnet wird.

³⁰⁷ Vgl. dazu: Kapitel 5.1.

der Bestellhäufigkeit über den gesamten Referenzzeitraum einzuhalten wäre – hierzu ist die im ersten Schritt beschriebene Vorgehensweise heranzuziehen. Wird die maximale Periodenanzahl des Referenzzeitraums als Länge und die Servicegradhöhe als Breite betrachtet, dann ergibt sich die Servicegradfläche, welche den vorgegebenen Serviceerwartungen entspricht. Wird die bis zum Zeitpunkt b bereits realisierte Fläche abgezogen, dann ergibt sich jene, welche noch bis zum Ende des Referenzzeitraums erreicht werden muss. Nachfolgende Abbildung 31 stellt diesen Zusammenhang grafisch dar:

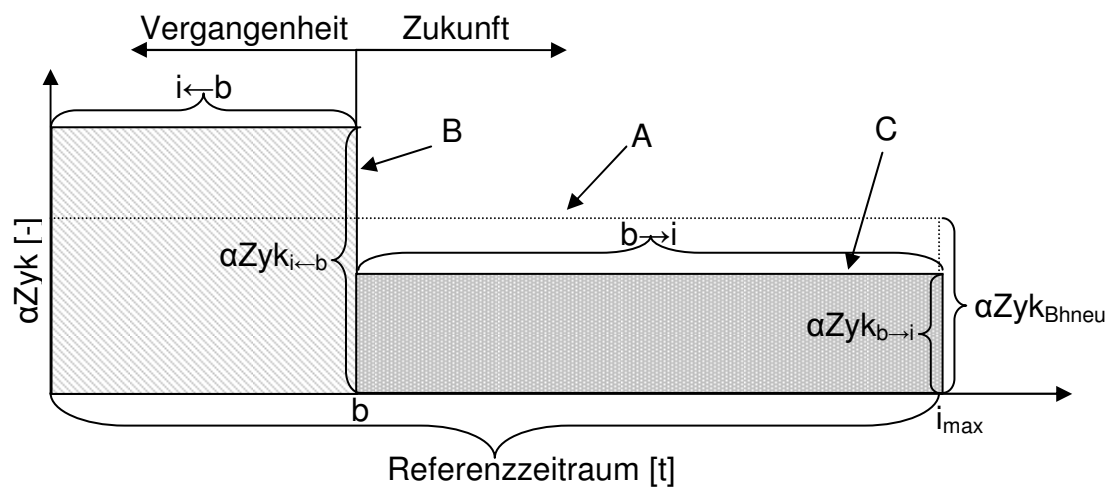


Abbildung 31: Geometrische Überlegungen zur Ermittlung von $\alpha Zyk_{b \rightarrow i}$
 (Quelle: Eigene Darstellung)

Wird von der zu erreichenden Zielfläche A die bis zur Periode b erreichte Fläche B abgezogen, so ergibt sich die bis zum Ende des Referenzzeitraums notwendige Fläche C . Mathematisch kann dieser Zusammenhang folgendermaßen formuliert werden:

$$(\alpha Zyk_{Bhneu} * i_{max}) - (\alpha Zyk_{i \leftarrow b} * i_{\leftarrow b}) = (\alpha Zyk_{b \rightarrow i} * b_{\rightarrow i})$$

↔

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i} = \frac{(\alpha Zyk_{Bhneu} * i_{max}) - (\alpha Zyk_{i \leftarrow b} * i_{\leftarrow b})}{b_{\rightarrow i}} \quad (76)$$

Dabei ist:

$i_{\leftarrow b}$ Anzahl der Perioden, für welche der höhere $\alpha Zyk_{i \leftarrow b}$ Gültigkeit hatte [-]

$b_{\rightarrow i}$	Anzahl der Perioden, für welche der niedrigere $\alpha Zyk_{b \rightarrow i}$ Gültigkeit hat [-]
i_{max}	Höhe der letzten Periodennummer des Referenzzeitraums [-]
αZyk_{Bhneu}	Zyklischer Alpha-Servicegrad, errechnet mit der neuen Bestellhäufigkeit und unter der Prämisse, dass dieser über den gesamten Referenzzeitraum einhaltbar ist [-]

Da der Beginn des Referenzzeitraums nicht mit null, sondern mit eins bezeichnet wird, ergibt sich die Periodenanzahl, über welche der Servicegrad $\alpha Zyk_{i \leftarrow b}$ Gültigkeit hatte, wie folgt:

$$i_{\leftarrow b} = b - 1 \quad (77)$$

Die Periodenanzahl ab Periode b bis zum Ende des Referenzzeitraums ergibt sich:

$$b_{\rightarrow i} = i_{max} - b + 1 \quad (78)$$

Werden nun die Formeln (77) und (78) in (76) eingesetzt, ergibt sich:

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i} = \frac{(\alpha Zyk_{Bhneu} * i_{max}) - (\alpha Zyk_{i \leftarrow b} * (b - 1))}{i_{max} - b + 1} \quad (79)$$

Der Servicegrad αZyk_{Bhneu} lässt sich mit der Formel (72) ermitteln. Wenn diese Formel in (79) eingesetzt wird, erhält man:

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i} = \frac{\left(\frac{({}^{Bh}\sqrt{\alpha_{II} - Servicegrad} * BZ - (BZ - Wbz))}{Wbz} * i_{max} \right) - (\alpha Zyk_{i \leftarrow b} * (b - 1))}{i_{max} - b + 1} \quad (80)$$

Der Bezugszeitraum BZ entspricht der Dauer eines Bestellzyklus und somit genau einer Chargenreichweite, weswegen folgende Substitution vorgenommen werden kann: $BZ \rightarrow RW$

Wenn zusätzlich Bh durch Bh_{neu} ersetzt wird, dann ergibt sich:

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i} = \frac{\left(\frac{Bh_{neu} \sqrt{\alpha_{II} - Servicegrad} * RW - (RW - Wbz)}{Wbz} * i_{max} \right) - (\alpha Zyk_{i-b} * (b - 1))}{i_{max} - b + 1} \quad (81)$$

Es muss noch festgehalten werden, dass sich im Extremfall auch ein negativer Servicegrad ergeben kann. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn sich die Veränderung der Bestellhäufigkeit zum Ende des Referenzzeitraums ergibt. Da ein negativer Servicegrad nicht realisierbar ist, entspricht jedes negative Ergebnis einem Servicegrad von null. Abschließend kann unter Verwendung einer für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Formel – z. B. aus Kapitel 3.2.2 – der Bestellpunkt berechnet werden, welcher ab dem Zeitpunkt b Gültigkeit hat.

Eine Integration der stochastischen Erweiterung kann im zweiten Schritt folgendermaßen erfolgen:

Setze: $i = b + 1; A = 0;$

$$\text{Setze: } L = \frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}}$$

$$\text{Setze: } I_{max} = \frac{E\{VR\}}{C}$$

While ($i < I_{max}$)

{

If ($E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b - (L * (i - b)) \geq 0$ //Beweis 3

$Bm_{opt} = Bm_{opt} + 1$

Else

Exit While //Beweis 4

EndIf

$i = i + 1$

}

----- Stochastische Erweiterung -----

$$Bh_{neu} = Bh_{alt} - Bm_{opt}$$

$$\alpha Zyk_{b \rightarrow i} =$$

$$\frac{\left(\frac{Bh_{neu} \sqrt{\alpha_{II} - Servicegrad} * RW - (RW - Wbz)}{Wbz} * i_{max} \right) - (\alpha Zyk_{i-b} * (b - 1))}{i_{max} - b + 1}$$

$B_p \rightarrow$ Geeignete Formel verwenden

End

Das Ergebnis des HS-Verfahrens, Bm_{opt} , stellt die Chargenanzahl dar, welche zum Zeitpunkt b zusätzlich zu bestellen ist. B_p gibt den ab dem Zeitpunkt b einzuhaltenden Bestellpunkt an.

Im Laufe der Integration der stochastischen Erweiterung wurde folgende Modifikation der Grenzbedingung des Grundverfahrens durchgeführt:

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) > 0 \rightarrow (E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) \geq 0$$

Der Vorzug einer Charge hat somit auch dann zu erfolgen, wenn der Spekulationsgewinn den Lagerhaltungskosten entspricht. Denn in diesem Fall können die Höhe des Bestellpunktes und somit die Lagerhaltungskosten einer Reduktion unterzogen werden.

Abschließend wird das Verfahren zusammenfassend dargestellt:

- Initiallösung: Solange ein fallender oder gleichbleibender Legierungszuschlag prognostiziert wird, entspricht die optimale Bestellmenge immer einer Chargengröße.
- Wird vor der Durchführung einer Bestellung ein steigender Legierungszuschlag erwartet, ist zu prüfen, ob folgende Grenzbedingung erfüllt ist:

$$(E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)) \geq 0$$

- Wenn ja, dann ist die Charge mit dem Bedarfszeitpunkt i zum Zeitpunkt b zu beschaffen und die Prüfung für weitere Chargen durchzuführen. Wenn die Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten werden kann, dann wurde die optimale Bestellmenge erreicht.

- Wenn nein, ist das Verfahren abubrechen. Die optimale Lösung entspricht der Initiallösung. Es sind keine weiteren Schritte durchzuführen.
- Hat sich eine Verringerung der Bestellhäufigkeit ergeben, dann ist der Bestellpunkt, unter Zuhilfenahme der Formel (81) und einer adäquaten Formel für den Sicherheitsbestand, neu zu bestimmen.

Die stochastische Erweiterung des HS-Verfahrens führt zu einer Veränderung der Evaluierungskriterien 5 und 7, welche daher nachfolgend neu beurteilt werden.

5. Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.

Die Abhängigkeiten zwischen Bestellhäufigkeit und des daraus resultierenden Sicherheitsbestandes werden nicht nur bei der Initiallösung, sondern auch bei einer diesbezüglichen Änderung während des laufenden Referenzzeitraums, berücksichtigt. Dies führt dazu, dass der strategisch vorgegebene α_{II} – *Servicegrad* genau eingehalten wird und somit keine unnötigen Lagerhaltungskosten, resultierend aus einer Überdimensionierung des Sicherheitsbestandes, entstehen. Die Grenzbedingung des Grundverfahrens berücksichtigt jedoch nicht die durch eine geringere Bestellhäufigkeit hervorgerufene Reduktion des Lagerstandes. Diese kann mit einer geringen Modifikation erfolgen, würde aber den Lösungsaufwand erhöhen, weswegen davon abgesehen wird.

6. Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einem vertretbaren Einschulungsaufwand korrekt anwendbar sein.

Zur Anwendung der Verfahrenserweiterungen werden nur mathematische Grundkenntnisse benötigt. Im Gegensatz zum HS-Verfahren vergrößert sich die Anzahl der Parameter jedoch, was den Zeitaufwand erhöht und die Akzeptanz der Zielgruppe reduzieren dürfte. Ist der Disponent mit der Anwendung bzw. Programmierung einer Spreadsheet-Software vertraut, dann kann zumindest der zusätzliche Zeitaufwand bei der Verfahrensanwendung vermieden werden.

5.2.2.2. Anwendungsbeispiel für die stochastische Erweiterung des HS-Verfahrens

Um ein besseres Verständnis für die stochastische Erweiterung des HS-Verfahrens zu fördern, wird dieses nachfolgend – anhand eines fiktiven Beispiels – veranschaulicht.

Auf Basis von strategischen Überlegungen wurde für den gesamten Referenzzeitraum ein α_{II} – *Servicegrad* von 95% festgelegt. Durch die Initiallösung ergibt sich eine notwendige Bestellhäufigkeit von 10. Da sich der Referenzzeitraum auf ein Jahr erstreckt, dauert planmäßig jeder Bestellzyklus 36,5 Tage, wobei die Wiederbeschaffungszeit des Lieferanten einen Erwartungswert von 20 Tagen aufweist. Zur Berechnung der notwendigen Höhe des α_{Zyk} – *Servicegrads* wird Formel (72) herangezogen.

$$\begin{aligned}\alpha_{Zyk} - \text{Servicegrad} &= \frac{\sqrt[Bh]{\alpha_{II} - \text{Servicegrad}} * BZ - (Bz - Wbz)}{Wbz} = \\ &= \frac{\sqrt[10]{0,95} * 36,5 - (36,5 - 20)}{20} = 0,991 \cong 99,1\%\end{aligned}$$

Dementsprechend muss zu Erreichung des α_{II} – *Servicegrads* für jeden Bestellzyklus ein α_{Zyk} – *Servicegrad* von 99,1% eingehalten werden. Wird eine konstante Wiederbeschaffungszeit sowie ein normal verteilter Tagesverbrauch von 4 Tonnen mit einer Standardabweichung von 3 unterstellt, lässt sich der Bestellpunkt beispielsweise mit Formel (22) berechnen. Die Zufallsvariable Z kann aus einer Tabelle der Standardnormalverteilung entnommen werden.³⁰⁸

$$Bp = E\{VpT\} * Wbz + Z * \sigma * \sqrt{Wbz} = 4 * 20 + 2,366 * 3 * \sqrt{20} = 111,74 \sim 112 [t]$$

Der Bestellpunkt beträgt 112 Tonnen, bei Erreichung oder Unterschreitung dieses Lagerstandes ist eine Bestellung auszulösen. Als Prämisse wird unterstellt, dass eine stetige Entnahme stattfindet oder diese zumindest in kleinen Losen erfolgt. Wäre dies nicht der Fall, dann müsste der Bestellpunkt entsprechend angehoben werden.³⁰⁹

³⁰⁸ Siehe dazu z. B.: Tiede et al. (2000), S. 319.

³⁰⁹ Vgl. dazu: Kapitel 3.2.2.

Innerhalb des Referenzzeitraums wird mit einem ansteigenden Legierungszuschlag gerechnet. Dieser Anstieg hat dazu geführt, dass das HS-Verfahren für die vierte Bestellung eine Vervielfachung der Chargenanzahl vorgeschlagen hat. Die am Anfang der vierten Periode beschaffte Chargenanzahl beträgt somit 4 und damit um 3 Chargen mehr, als bis dahin angenommen wurde. Damit reduziert sich die Anzahl der im Referenzzeitraum notwendigen Bestellungen auf 7.

Der neue $\alpha\text{Zyk} - \text{Servicegrad}$, welchen es ab der vierten Periode einzuhalten gilt, kann mit der Formel (81) berechnet werden.

$$\begin{aligned} \alpha\text{Zyk}_{b \rightarrow i} &= \\ &= \frac{\left(\frac{B_{hneu} \sqrt{\alpha_{II} - \text{Servicegrad}} * RW - (RW - Wbz)}{Wbz} * i_{max} \right) - (\alpha\text{Zyk}_{i \leftarrow b} * (b - 1))}{i_{max} - b + 1} = \\ &= \frac{\left(\frac{\sqrt{0,95} * 36,5 - (36,5 - 20)}{20} * 10 \right) - (0,991 * (4 - 1))}{10 - 4 + 1} = 0,9848 \cong 98,48\% \end{aligned}$$

Durch die Reduktion der Bestellhäufigkeit ab der vierten Periode sinkt der einzuhaltende $\alpha\text{Zyk} - \text{Servicegrad}$ von 99,1% auf 98,48% ab. Nun kann der neue Bestellpunkt ermittelt werden, wobei die Zufallsvariable Z wieder aus einer Tabelle der Standardnormalverteilung entnommen werden kann.³¹⁰

$$Bp = E\{VpT\} * Wbz + Z * \sigma * \sqrt{Wbz} = 4 * 20 + 2,165 * 3 * \sqrt{20} = 109 [t]$$

Der Bestellpunkt ist somit ab der vierten Periode von 112 auf 109 Mengeneinheiten zu reduzieren, was zu einer Verringerung der Lagerhaltungskosten führt.

Mit Hilfe dieser Verfahrenserweiterung ist es möglich, stochastische Schwankungen des Verbrauches zu berücksichtigen und dadurch die Einhaltung des strategisch vorgegebenen $\alpha_{II} - \text{Servicegrads}$ sicherzustellen. Die Abhängigkeit des $\alpha_{II} - \text{Servicegrads}$ zur Bestellhäufigkeit kann dabei nicht nur bei der Initiallösung, sondern auch bei diesbezüglichen Änderungen innerhalb des Referenzzeitraums berücksichtigt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass der Bestellpunkt durchgehend so festgesetzt wird, dass am Ende des Referenzzeitraums exakt die an-

³¹⁰ Siehe dazu z. B.: Tiede et al. (2000), S. 319.

gestrebte Höhe des α_{II} – *Servicegrades* erreicht wird. Durch die laufende Anpassung können unnötige Lagerhaltungskosten vermieden werden. Jedoch zeigt das Berechnungsbeispiel, dass die Reduktion des Bestellpunktes durchaus marginal ausfallen kann. Wie stark der Bestellpunkt reduziert werden kann, hängt von mehreren Faktoren wie z. B. der Standardabweichung oder der Länge der Wiederbeschaffungszeit, aber auch vom Zeitpunkt der Anpassung ab.

5.2.3. Einbeziehung von Bestellfixkosten

Aufgrund individueller Vereinbarungen oder abweichender Handelsbräuche muss Prämisse 4³¹¹, die Nichtsignifikanz der Bestellfixkosten, nicht immer gegeben sein. Aus diesem Grund wird gezeigt, wie, mit dem vorgestellten Verfahren, eine diesbezügliche Einbeziehungsmöglichkeit geschaffen werden kann. Durch diese Erweiterung wird folgende, für das HS-Verfahren aufgestellte Prämisse obsolet:

Prämisse 4: Bestellfixkosten weisen keine signifikante Höhe auf.

5.2.3.1. Verfahrensableitung und -beschreibung

Erweiterung Schritt 1: Wenn die Bestellfixkosten eine nichtsignifikante Höhe aufweisen, kann der Initiallösung bei nicht steigendem Legierungszuschlag gefolgt werden.³¹² Daher ist in diesem Fall der zweite Schritt nur bei einem positiven Spekulationserfolg durchzuführen.³¹³

$$Se > 0$$

(82)

Weisen die Bestellfixkosten jedoch eine signifikante Höhe auf, ist zu berücksichtigen, dass bei einer Erhöhung der Bestellmenge innerhalb des Referenzzeitraums weniger oft bestellt werden muss. Dadurch ergibt sich für eine größere Bestellmenge ein zusätzlicher monetärer Vorteil, durch welchen die Nachteiligkeit der Initiallösung auch bei einem negativen Spekulationserfolg möglich ist. Wird die Formel (85) um die Auswirkungen einer potenziellen Reduktion der Bestellfixkosten erweitert, so ergibt sich:

³¹¹ Siehe dazu: Kapitel 5.1.1.

³¹² Siehe dazu: Kapitel 5.1.1, Beweis 2.

³¹³ Siehe dazu: Kapitel 5.1.2.

$$Se + Bfix > 0 \quad (83)$$

Daraus folgt, dass der zweite Verfahrensschritt durchzuführen ist, wenn

- ein steigender Legierungszuschlag erwartet wird,³¹⁴ oder
- eine gleichbleibender prognostiziert wurde, da die Bestellfixkosten bei Signifikanz größer als null sind und die Grenzbedingung (83) dadurch immer erfüllt ist, oder
- bei fallendem Legierungszuschlag, wenn die Grenzbedingung (83) eingehalten wird.

Erweiterung Schritt 2: Wird eine bei der Initiallösung vorgesehene Bestellung früher getätigt, kommt es innerhalb des Referenzzeitraums zu einer Reduktion der Bestellhäufigkeit.³¹⁵ Dadurch ergeben sich neben einem Spekulationserfolg auch Einsparungen bei den Bestellfixkosten.³¹⁶ Wird Formel (49) um diese erweitert, ergibt sich:

$$G_{i \rightarrow b} = (Se + BFix) - Lhk \quad (84)$$

Werden die Berechnungsschemata für den Spekulationserfolg und die Lagerhaltungskosten eingesetzt, erhält man:³¹⁷

$$G_{i \rightarrow b} = \left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C + Bfix \right) - (L * (i - b) * C) \quad (85)$$

Es ergibt sich folgende Grenzbedingung, welche es bei signifikanten Bestellfixkosten anstatt der Formel (61) einzuhalten gilt:

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C + Bfix \right) - (L * (i - b) * C) > 0 \quad (86)$$

Mit Hilfe der beschriebenen Erweiterung kann das Verfahren auch bei signifikanten Bestellfixkosten angewendet werden. Es kommt zu keiner Veränderung der

³¹⁴ Siehe dazu: Kapitel 5.1.1.

³¹⁵ Siehe dazu: Kapitel 5.1.2.

³¹⁶ Siehe dazu: Kapitel 3.2.1.

³¹⁷ Siehe dazu: Formel (54).

Evaluierungskriterien, da für die Beschaffungsobjektgruppe die Prämisse unterstellt wird, dass die Bestellfixkosten keine signifikante Höhe aufweisen und deswegen kein Fokus darauf gelegt wurde.

5.2.3.2. Anwendungsbeispiel für die Einbeziehung von Bestellfixkosten

Es wird auf die Daten des Anwendungsbeispiels des HS-Verfahrens, Kapitel 5.1.3, zurückgegriffen. Da die Einbeziehung der Bestellfixkosten zu keiner Veränderung der Initiallösung führt, kann auch diese ohne Modifikationen übernommen werden.

Schritt 1: Siehe Tabelle 9.

Schritt 2: Bereits vor Tätigkeit der ersten Bestellung wird von einem leichten Anstieg des Legierungszuschlags, bis inklusive Juni, ausgegangen.³¹⁸ Nun muss geprüft werden, ob bei der Bestellung für die Bedarfsperiode 1 von der Initiallösung abzugehen ist. Der Lagerhaltungssatz beträgt 10%, die Bestellfixkosten 400 €.

Die Lagerhaltungskosten einer Chargenreichweite stellen aus Sicht der weiteren Rechenschritte eine Konstante dar, weswegen diese zuerst berechnet werden:

$$L = \frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}}$$

$$L = \frac{170 * 0,1 * 400}{4000} = 1,7$$

Anschließend gilt es, die Einhaltung der Grenzbedingung zu überprüfen.

- (1) Prüfen, ob die Charge mit Bedarfszeitpunkt Periode 2 (*i*) bereits in Periode 1 (*b*) beschafft werden soll. Dies ist dann vorteilhaft, wenn Folgendes gilt:

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C + Bfix \right) - (L * (i - b) * C) > 0$$

$$\left(((175 - 170) * 400) + 400 \right) - (1,7 * (2 - 1) * 400) > 0$$

$$1.720 > 0$$

³¹⁸ Siehe dazu: Tabelle 10.

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 2 in Periode 1 zu erfolgen.

- (2) Beurteilung, ob es vorteilhafter ist, die Charge aus Periode 3 (i) so zu beschaffen, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn nachstehende Bedingung gilt:

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C \right) + Bfix - (L * (i - b) * C) > 0$$

$$\left(((180 - 170) * 400) + 400 \right) - (1,7 * (3 - 1) * 400) > 0$$

$$3.040 > 0$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 3 in Periode 1 zu erfolgen.

- (3) Beurteilung, ob die Charge aus Periode 4 (i) so beschafft werden soll, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C \right) + Bfix - (L * (i - b) * C) > 0$$

$$\left(((175 - 170) * 400) + 400 \right) - (1,7 * (4 - 1) * 400) > 0$$

$$360 > 0$$

Die Grenzbedingung wurde eingehalten, daher hat die Beschaffung des Bedarfs von Periode 4 in Periode 1 zu erfolgen.

- (4) Beurteilung, ob die Charge aus Periode 5 (i) so beschaffen werden soll, dass diese bereits in Periode 1 (b) eintrifft. Dies ist dann der Fall, wenn gilt:

$$\left((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) * C \right) + Bfix - (L * (i - b) * C) > 0$$

$$\left(((175 - 170) * 400) + 400 \right) - (1,7 * (5 - 1) * 400) > 0$$

$$-320 \ngtr 0$$

Hier wird die Grenzbedingung erstmals nicht eingehalten, weswegen das Verfahren an dieser Stelle abgebrochen werden kann. Die Charge ist in Periode 5 zu beschaffen.

Die Einbeziehung der Bestellfixkosten im zweiten Schritt führt dazu, dass eine Charge mehr, also ohne deren Berücksichtigung zum Zeitpunkt b , zu beschaffen ist.

5.3. Vergleich der evaluierten Verfahren – Verfahrensvalidierung

Ein Vergleich aller bis jetzt evaluierten Verfahren soll zeigen, dass das hergeleitete HS-Verfahren, dessen dynamische Adaption sowie die stochastische Erweiterung am besten für die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe geeignet sind und somit einen Beitrag für Wissenschaft und industrielle Praxis leisten. Dadurch soll des Weiteren eine Verfahrensvalidierung im Sinne von „ist es für die umformende Industrie das richtige Verfahren?“ erfolgen. Dazu werden die erzielten Evaluationsergebnisse, entsprechend der nachfolgend nochmal aufgelisteten Kriterien, aller sechs Verfahren einander gegenübergestellt.

1. Kriterium: Der Einbezug von sich monatlich diskret verändernden variablen Bestellkosten muss möglich sein.
2. Kriterium: Das Verfahren muss berücksichtigen, dass nur in Chargengrößen bzw. dem Vielfachen davon geordert werden kann.
3. Kriterium: Die Absenz von Bestellfixkosten darf für das Verfahren kein mathematisches Problem darstellen.
4. Kriterium: Die Berücksichtigung von Bedarfsschwankungen muss möglich sein.
5. Kriterium: Die Interdependenz zwischen Bestellmenge und dem notwendigen Sicherheitsbestand muss einbezogen werden können.
6. Kriterium: Wenn vorhanden, dann sind Restriktionen bezüglich der Lagerkapazität oder der liquiden Mittel zu beachten.
7. Kriterium: Das Verfahren muss von Disponenten mit geringem Bildungsniveau unter Zuhilfenahme einfacher Hilfsmittel und nach einer Einschulung korrekt anwendbar sein. Weiterhin muss die Ergebnisermittlung in akzeptabler Zeit möglich sein.

Der Erfüllungsgrad eines Kriteriums wird entsprechend den in Kapitel 4 und Kapitel 5 durchgeführten Evaluationen wie folgt bewertet:

+ vollständige Erfüllung

- o eingeschränkte Erfüllung
- keine Erfüllung

Die Gesamtbewertung ergibt sich durch eine Subtraktion der Kriterien mit vollständiger Erfüllung durch jene ohne Erfüllung. Je größer der Wert der Differenz ist, desto geeigneter ist das Verfahren in Bezug auf die betrachtete Beschaffungsobjektgruppe. Nachfolgende Tabelle 15 listet die evaluierten Verfahren vergleichend auf:³¹⁹

	Harris/ Andler	Part- Period	Schulte	HS	Dynam. HS	Stoch. HS	Dyn. mit stoch. Erw.
Kriterium 1	-	-	-	+	+	+	+
Kriterium 2	o	+	o	+	+	+	+
Kriterium 3	o	o	+	+	+	+	+
Kriterium 4	-	+	o	-	+	-	+
Kriterium 5	-	-	-	-	-	o	o
Kriterium 6	o	o	o	o	o	o	o
Kriterium 7	+	o	+	+	o	o	o
$\Sigma+$	1	2	2	4	4	3	4
Σo	3	3	3	1	2	3	3
$\Sigma-$	3	2	2	2	1	1	0
$\Sigma+- \Sigma-$	-2	0	0	2	3	2	4

Tabelle 15: Verfahrensvergleich mit Hilfe der Evaluierungskriterien
(Quelle: Eigene Darstellung)

Der Verfahrensvergleich zeigt, dass sich die Schwächen der Harris/Andler-Formel, des Part-Period-Verfahrens und des Verfahrens in Anlehnung an *Schulte* insbesondere in der fehlenden Möglichkeit der Einbeziehung von zeitdiskreten, variablen Bestellkosten (Kriterium 1) sowie der Vernachlässigung der interdependenten Zusammenhänge zwischen Bestellmenge und Sicherheitsbestand (Kriterium 5) zeigen. Die stochastische Erweiterung des HS-Verfahren beseitigt diese Nachteile, weist jedoch aufgrund des Rechenaufwandes eine reduzierte Praktikabilität (Kriterium 7) auf. Das HS-Verfahren kann ohne die stochastische Erweiterung die erwähnten Interdependenzen nicht berücksichtigen, hat aber eine geringe Anwen-

³¹⁹ Eine erweiterte Auflistung von evaluierten Verfahren kann dem Anhang, Tabelle 26, entnommen werden.

dungskomplexität, welche eine entsprechende Akzeptanzsteigerung in der Praxis nach sich ziehen dürfte. Schwankende Bedarfsraten (Kriterium 4) können nur vom Part-Period-Verfahren und vom dynamischen HS-Verfahren berücksichtigt werden, jedoch führt diese Einbeziehungsmöglichkeit zu einer Reduktion der Praktikabilität. Vorhandene Restriktionen (Kriterium 6) können von allen evaluierten Verfahren nur eingeschränkt berücksichtigt werden.

Aufgrund der Gesamtbewertung kann konstatiert werden, dass zur Festlegung der Bestellpolitik für legiertes Halbzeug aus Stahl das HS-Verfahren, dessen Erweiterungen und dynamische Adaption den drei „klassischen“ Verfahren betreffend die Evaluierungskriterien überlegen sind und somit einen Beitrag für Wissenschaft und industrielle Praxis geleistet wurde. Deswegen ist das HS-Verfahren im Hinblick auf die festgelegten Kriterien das richtige Verfahren für die Beschaffungsobjektgruppe und somit validiert. In welcher Form (adaptiert bzw. erweitert) das HS-Verfahren für die Beschaffungsobjektgruppe eingesetzt werden soll, hängt von den spezifischen Gegebenheiten des umformenden Unternehmens ab und kann nur situativ beurteilt werden.

5.4. Übertragung auf andere Beschaffungsobjektgruppen

Das HS-Verfahren wurde speziell für die Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ entwickelt, dennoch kann eine Anwendung auch für andere Beschaffungsobjektgruppen erfolgen. Dies gilt insbesondere dann, wenn alle Verfahrensprämissen³²⁰ eingehalten und die Einbeziehungsmöglichkeiten³²¹ als ausreichend angesehen werden. Letztere werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt:

- Mehrfache, periodische Änderungen der variablen Bestellkosten – unabhängig davon, ob diese steigen oder fallen
- Bestellmengenrestriktionen
- Schwankende Bedarfsraten
- Servicegrad und damit indirekt Fehlmengenkosten

³²⁰ Siehe dazu: Kapitel 5.1.1.

³²¹ Siehe dazu: Kapitel 5.3.

Es kann festgehalten werden, dass es sich um ein dynamisches Verfahren handelt, mit welchem diskrete Preisschwankungen, Restriktionen bei der Bestellmengenauswahl sowie Servicegradvorgaben berücksichtigt werden können.

Die Einsetzbarkeit des Verfahrens, weiterhin als *Krobath (2010)* bezeichnet, wird nachfolgend ergänzend verdeutlicht. Dazu wird dieses zusammen mit den in Abbildung 27 gelisteten Verfahren, verschiedenen Kriterien entsprechend, kategorisiert.

Als erste Kriterien werden die Einbeziehungsmöglichkeiten der in diesem Kontext relevanten Beschaffungskosten – dabei handelt es sich um Lagerhaltungskosten und variable Bestellkosten – herangezogen.³²²

Lagerhaltungskosten	Nein		
	Ja	Haseborg (1979), Kilger (1986), Naddor (1971), Glaser (1987), Müller-Manzke (1978), Churchman (1971), Jodlbauer (2007), Müller-Merbach (1963), Bartmann/Beckmann (1989), Melzer-Ridinger (2008), Lackes (1990), Buzacott (1975), Goyal (1975), Pack (1975), Schulte (2001), Bourier/Schwab (1978), Lev/ Soyster (1979), Goyal (1990), Tempelmeier (2003), Khouja/Park (2003), Sarker/Kindi (2006), Onawumi/Oluleye/Adebiyi (2009), Cárdenas-Barrón (2009), Krobath (2010)	Wagner/Whitin (1958), DeMatteis (1968), Mendoza (1968), Trux (1972), Silver/Meal (1973), Resh/Friedman/Barbosa (1976), Groff (1979), Blackburn/Millen (1980), Axsäter (1980), Gaither (1981), Wemmerlöv (1981), Chand (1982), Freeland/Colley (1982), Silver/Miltenburg (1984), Aucamp (1985), Bookbinder/Tan (1985), Kottke (1966), Tsado (1985), Robrade/Zoller (1988), Silver/Pyke/Peterson (1998), Schwarz/Buscher/Rudert (2009), Harris (1913), Taft (1918), Andler (1929), Hansmann (1962), Nyhuis (1991), Gohout (2007), Weiss (1982), Weiss/Rosenthal (1992), Salameh/Jaber (2000), Matsuyama (2001)
		Ja	Nein
		Änderungen der variablen Bestellkosten	

Tabelle 16: Lagerhaltungskosten – variable Bestellkosten
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Kategorie, welcher das HS-Verfahren zugeordnet werden kann, wird nachfolgend weiter unterteilt, wobei der Fokus auf die variablen Bestellkosten gelegt wird.

³²² Siehe dazu: Kapitel 5.1.1.

Die Einbeziehung kann entweder mengenbezogen, z. B. Rabatte oder Mindermengenaufschläge, oder zeitbezogen erfolgen. Der letzte Fall wird u. a. als spekulativer Einkauf bezeichnet,³²³ da zukünftige Preiserhöhungen oder -reduktionen berücksichtigt werden.

Mengenbezogen	Nein	Melzer-Ridinger (2008), Lackes (1990), Buzacott (1975), Goyal (1975), Pack (1975), Schulte (2001), Bourier/Schwab (1978), Lev/ Soyster (1979), Goyal (1990), Sarker/Kindi (2006), Khouja/Park (2003), Tempelmeier (2003), Onawumi/Oluleye/Adebiyi (2009), Cárdenas-Barrón (2009), Krobath (2010)	
	Ja		Haseborg (1979), Kilger (1986), Naddor (1971), Glaser (1987), Müller-Manzke (1978), Churchman (1971), Jodlbauer (2007), Müller-Merbach (1963), Bartmann/Beckmann (1989), Tempelmeier (2003)
		Ja	Nein
		Zeitbezogen	

Tabelle 17: Zeitbezogen – mengenbezogen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Keines der Verfahren ist in der Lage, sowohl den Zeit- als auch den Mengenbezug zu berücksichtigen, wobei in diesem Kontext ausschließlich ein Zeitbezug von Relevanz ist.³²⁴ Bei diesen Verfahren wird nachfolgend eine weitere Differenzierung durchgeführt.

³²³ Vgl. Melzer-Ridinger (2008), S. 22.

³²⁴ Siehe dazu: Kapitel 5.1.1.

Als Kriterien werden die Anzahl der berücksichtigbaren Preisänderungen sowie der Änderungsverlauf, diskret oder stetig, herangezogen.

Anzahl Preisänderung	Mehrfach	Krobath (2010) Lackes (1990)	Buzacott (1975) Pack (1975) Lackes (1990) Goyal (1975) Khouja/Park (2003) Onawumi/Oluleye/Adebiyi (2009)
	Einfach	Schulte (2001) Melzer-Ridinger (2008) Pack (1975) Bourier/Schwab (1978) Lev/Soyster (1979) Goyal (1990) Sarker/Kindi (2006) Cárdenas-Barrón (2009)	
		Diskret	Stetig
Änderungsverlauf			

Tabelle 18: Anzahl Preisänderungen – Änderungsverlauf
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Verfahren von *Schulte*, *Bourier/Schwab* und *Lev/Soyster* können eine einmalige, diskrete Preisänderung berücksichtigen.³²⁵ *Melzer-Ridinger*, *Sarker/Kindi* und *Cárdenas-Barrón* zeigen, wie von einer optimalen Bestellpolitik abzuweichen ist, wenn mit einer einmaligen und vorübergehenden Preisänderung gerechnet wird.³²⁶ Bei *Melzer-Ridinger* werden dazu die Beschaffungskosten, exklusive Fehlmengenkosten, für verschiedene Bestellmengen berechnet und jene Alternative mit den geringsten Gesamtkosten ausgewählt.³²⁷ *Buzacott*, *Goyal* und *Onawumi/Oluleye/Adebiyi* untersuchen die Wirkung einer konstanten Inflationsrate auf die optimale Bestellmenge,³²⁸ und somit einen stetigen Preisanstieg. Auch *Pack* entwickelte eine Formel, mit welcher sich ein konstanter Preisanstieg berücksichtigen lässt und eine weitere, mit welcher ein diskreter Anstieg einbezogen werden

³²⁵ Vgl. Schulte (2001), S. 193; Bourier et al. (1978), S. 81ff; Lev et al. (1978), S. 43ff.

³²⁶ Vgl. Melzer-Ridinger (2008), S. 222ff; Sarker et al. (2006), S. 195ff; Cárdenas-Barrón (2009), S. 774ff.

³²⁷ Vgl. Melzer-Ridinger (2008), S. 222ff.

³²⁸ Vgl. Buzacott (1975), S. 553ff; Goyal (1975), S. 112ff; Onawumi et al. (2009), S. 75ff.

kann.³²⁹ Von *Lackes* und *Khouja/Park* wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie stetige Preissenkungen berücksichtigt werden können.³³⁰ *Goyal* erörtert die optimale Bestellpolitik bei einer einmaligen, diskreten Preisreduktion.³³¹ Nur *Lackes* beschreibt eine Vorgehensweise, bei welcher mehrere diskrete Änderungen Einbeziehung finden. Die Anwendung ist jedoch nur für fallende Preise möglich und zur Lösung wird ein komplexes, nichtlineares und quadratisches Programm herangezogen.³³² Keines der in Abbildung 27 gelisteten Verfahren kann mehrfache Preiserhöhungen und -reduktionen berücksichtigen. Diese Einbeziehungsmöglichkeit kann somit als Alleinstellungsmerkmal des HS-Verfahrens betrachtet werden.

5.5. Bekräftigung der rationalen Verifikation

Im Sinne des kritischen Rationalismus nach *Popper*³³³ soll an dieser Stelle das bereits rational verifizierte HS-Verfahren einer ergänzenden Bestätigung unterzogen werden. Dadurch soll dem Einwand, dass menschliche Logik nicht unfehlbar ist, Rechnung getragen werden. Ein rein empirisch durchgeführter Versuch war mangels Bereitschaft der umformenden Industrie nicht möglich, weswegen auf empirisch gewonnene Daten eines umformenden Unternehmens sowie eines Stahlerzeugers zurückgegriffen und diese mit einer rationalistischen Vorgehensweise kombiniert wurden. Es gilt zu zeigen, dass durch die Anwendung des entwickelten HS-Verfahrens für die beschriebene Beschaffungsobjektgruppe, unter Einhaltung aller unterstellten Prämissen, minimale Beschaffungskosten erzielt werden. Dazu wurden die aus dem HS-Verfahren resultierenden Beschaffungskosten mit jenen von 642 entsprechend den unterstellten Prämissen zulässigen Dispositionsalternativen verglichen. Wobei sich betreffend den Beschaffungsobjektgruppen spezifischen Besonderheiten und der unterstellten Deterministik der Daten die Beschaffungskosten aus den variablen Bestellkosten und den Lagerhaltungskosten zusammensetzen.³³⁴

³²⁹ Vgl. *Pack* (1975), S. 490ff.

³³⁰ Vgl. *Lackes* (1990), S. 33ff; *Khouja et al.* (2003), S. 539.

³³¹ Vgl. *Goyal* (1990), S. 101ff.

³³² Vgl. *Lackes* (1990), S. 21ff.

³³³ Vgl. dazu: Kapitel 1.3.

³³⁴ Vgl. Kapitel 4.1; Kapitel 5.1.1.

$$K_{ges} = Bv_{RZ} + Lhk$$

Die variablen Bestellkosten ergeben sich aus dem Einkaufspreis, bestehend aus Basispreis und dem zum Beschaffungszeitpunkt gültigen Legierungszuschlag, multipliziert mit der Chargengröße sowie der Anzahl an beschafften Chargen.³³⁵

$$Bv_{RZ} = \sum_{i=1}^p (LZ_i + Basispreis) * C * Chargenanzahl_i$$

Die Lagerhaltungskosten werden für die Berechnung in Mindestkosten und Zusatzkosten unterteilt.

$$Lhk = Lhk_{min} + Lhk_{zus}$$

Die Mindestkosten ergeben sich durch den von einer Chargengröße und somit der Mindestmenge verursachten durchschnittlichen Lagerstand.³³⁶ Wobei n die in der jeweiligen Periode beschaffte Anzahl an Chargen darstellt.

$$Lhk_{min} = \sum_{i=1}^p Bv_i * \frac{C}{2} * \frac{Lhs}{365} * \frac{C}{E\{VZe\}} * n_i$$

Wenn von der Initiallösung abgegangen wird, dann ergibt sich eine größere Bestellmenge und dadurch zusätzliche Lagerhaltungskosten. Die Chargenanzahl n , welche vorzeitig beschaffen wurde, muss dabei bis zum Bedarfszeitpunkt in vollem Umfang gelagert werden.³³⁷

$$Lhk_{zus} = \sum_{i=1}^p Bv_i * C * \frac{Lhs}{365} * \frac{C}{E\{VZe\}} * \left(\frac{(n-1) * n}{2} \right)$$

Dabei ergibt sich der letzte Term aus den folgenden Überlegungen: Zusatzkosten entstehen dann, wenn die Bestellmenge mehr als einer Chargengröße entspricht

³³⁵ Vgl. dazu: Formel (2).

³³⁶ Vgl. dazu: Formel (42).

³³⁷ Vgl. dazu: Formel (64).

und somit ab $n - 1$. Für jede Periode, welche sich nach dem Beschaffungszeitpunkt befindet, verringert sich die zusätzliche Lagermenge $n - 1$ um eine Charge. Damit muss in der Beschaffungsperiode die gesamte Zusatzmenge $n - 1$ gelagert werden, in den Folgeperioden jeweils eine weniger, was der mathematischen Reihe $(n - 1) + \dots + 2 + 1$ und somit dem Term $\left(\frac{(n-1)*n}{2}\right)$ entspricht. Zusammenfassend kann für die Berechnung der gesamten Beschaffungskosten folgende Funktion aufgestellt werden:

$$\begin{aligned}
 K_{ges} &= Bv_{Rz} + Lhk = Bv_{Rz} + Lhk_{min} + Lhk_{zus} \\
 &= \sum_{i=1}^p Bv_i * \frac{C}{2} * \frac{Lhs}{365} * \frac{C}{E\{VZe\}} * n_i \\
 &+ \sum_{i=1}^p Bv_i * C * \frac{Lhs}{365} * \frac{C}{E\{VZe\}} * \left(\frac{(n-1)*n}{2}\right) \\
 &+ \sum_{i=1}^p (LZ_i + Basispreis) * C * Chargenanzahl_i
 \end{aligned}$$

Um die Nachvollziehbarkeit des Rechenschemas zu erleichtern, wurde eine Wiederbeschaffungszeit von null unterstellt. Der Zeitpunkt der Bestellung entspricht somit dem der internen Verfügbarkeit. Diese Vereinfachung bleibt ohne Auswirkungen auf das Ergebnis, da der Legierungszuschlag zum Zeitpunkt der Fakturierung und nicht der Bestellung aufgeschlagen wird.³³⁸

Empirisch gewonnene Daten

Als Legierungszuschlag wurde die von ThyssenKrupp Nirosta für Flacherzeugnisse mit der Werkstoffnummer 4.000 veröffentlichten Daten von 2009 herangezogen.³³⁹

Flacherzeugnisse												
W.-Nr.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]	[€/t]
4.000	493	471	264	250	194	172	173	190	211	235	252	224

Tabelle 19: Legierungszuschlag der ThyssenKrupp Nirosta 2009
(Quelle: Nirosta (2009))

³³⁸ Siehe dazu: Kapitel. 2.3.

³³⁹ Vgl. ThyssenKruppNirosta (2009).

Des Weiteren wurde auf Daten eines großen Umformers zurückgegriffen, welcher u. a. Standorte in Österreich, Spanien und Ungarn hat.³⁴⁰

Spezifische Daten	
C	100 [t]
E{VR}	1.200 [t]
Lhs	10 [%]
<i>Basispreis</i>	800 [€]

Tabelle 20: Umformer-spezifische Daten
(Quelle: Eigene Darstellung)

Von den Dispositionsalternativen unabhängige Vorberechnungen

An dieser Stelle erfolgen Berechnungen, welche unabhängig von der Dispositionsalternative durchgeführt werden können. Unter Anwendung der Formel (40) ergibt sich eine Chargenreichweite von 30,4 Tagen, woraus sich als Initiallösung eine Bestellhäufigkeit von 12, zu jeweils einer Chargengröße, ergibt. Daraus folgen der Beschaffungszeitpunkt sowie das Fakturierungsmonat, siehe nachfolgende Tabelle 21.

Beschaffungszeitpunkt	Fakturierungsmonat
0	1
30,4	1
60,8	2
91,3	3
121,7	4
152,1	5
182,5	6
212,9	7
243,3	8
273,8	9
304,2	10
334,6	11

Tabelle 21: Fakturierungsmonat der Beschaffung
(Quelle: Eigene Darstellung)

³⁴⁰ Auf Wunsch der Geschäftsführung des umformenden Unternehmens mussten die Daten anonymisiert werden.

Die Verbrauchsrate pro Tag von 3,288 t/Tag ergibt sich, indem der erwartete Verbrauch innerhalb des Jahres 2009 durch die Anzahl an Tagen, also 365, dividiert wird.

Exemplarische Anwendung des Rechenschemas

Um die Vorgehensweise des beschriebenen Rechenschemas besser veranschaulichen zu können, werden nachfolgend die Beschaffungskosten, resultierend aus dem HS-Verfahren, berechnet. Es gilt im weiteren Verlauf zu zeigen, dass die errechneten Kosten geringer als die durch eine der 642 möglichen Dispositionsalternativen erzielbaren sind.

Beim HS-Verfahren wird bei fallenden und gleichbleibenden Preisen eine Menge bestellt, welche der Chargengröße des Stahlerzeugers entspricht.³⁴¹ Da die Preise in den ersten beiden Perioden gleichbleibend sind und danach bis inklusive Periode 6 fallen, entspricht die Bestellmenge bis dahin immer einer Charge. Ab Periode 7 steigt der Einkaufspreis an, weswegen die Anzahl der zu beschaffenden Chargen mit Hilfe der Grenzbedingung des HS-Verfahrens ermittelt werden muss.³⁴²

Die nachfolgende Tabelle enthält die Ergebnisse des HS-Verfahrens:

n	BV _{Rz}	LHK _{min}	LHK _{zus}	Summe
1	$(493+800)*100*1$ = 129.300	$(493+800)*(100/2)*(0,1/365)*(100/3,288)*1$ =539	$(493+800)*(100)*(0,1/365)*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2)$ = 0	129.839
1	$(493+800)*100*1$ = 129.300	$(493+800)*(100/2)*(0,1/365)*(100/3,288)*1$ =539	$(493+800)*(100)*(0,1/365)*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2)$ = 0	129.839
1	$(471+800)*100*1$ = 127.100	$(471+800)*(100/2)*(0,1/365)*(100/3,288)*1$ =530	$(471+800)*(100)*(0,1/365)*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2)$ = 0	127.630
1	$(264+800)*100*1$ = 106.400	$(264+800)*(100/2)*(0,1/365)*(100/3,288)*1$ =443	$(264+800)*(100)*(0,1/365)*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2)$ = 0	106.843

³⁴¹ Vgl. dazu: Kapitel 5.1.1.

³⁴² Vgl. dazu: Kapitel 5.1.1.

1	$(250+800)*100*1$ = 105.000	$(250+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*1 = 438$	$(250+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	105.438
1	$(194+800)*100*1$ = 99.400	$(194+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*1 = 414$	$(194+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	99.814
1	$(172+800)*100*1$ = 97.200	$(172+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*1 = 405$	$(172+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	97.605
5	$(173+800)*100*5$ = 486.500	$(173+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*5 = 2.027$	$(173+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((5-1)*5)/2) = 8.107$	496.634
0	$(211+800)*100*0$ = 0	$(211+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*0 = 0$	$(173+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	0
0	$(235+800)*100*0$ = 0	$(235+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*0 = 0$	$(173+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	0
0	$(252+800)*100*0$ = 0	$(252+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*0 = 0$	$(173+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	0
0	$(224+800)*100*0$ = 0	$(244+800)*(100/2)*(0,1/365)$ $5*(100/3,288)*0 = 0$	$(173+800)*(100)*(0,1/365)$ $*(100/3,288)*(((1-1)*1)/2) = 0$	0
	1.280.200	5.335	8.107	1.293.643

Tabelle 22: Zur Verifikation verwendetes Rechenschema
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass in der achten Periode die Bedarfe bis zum Ende des Referenzzeitraums beschaffen werden, da der erzielte Spekulationsgewinn höher ist als die zusätzlich entstehenden Lagerhaltungskosten. So muss beispielsweise der Bedarf von Periode 10 über 2 Perioden gelagert werden, was zu einem entsprechenden Anstieg der Lagerhaltungskosten führt. Mit dem HS-Verfahren wären im Jahr 2009 Beschaffungskosten in der Höhe von 1.293.643 € entstanden.

Auf Basis des gezeigten Rechenschemas wurden die Beschaffungskosten von 642 Dispositionsalternativen ermittelt. Die Ergebnisse werden in nachfolgender Abbildung grafisch dargestellt:

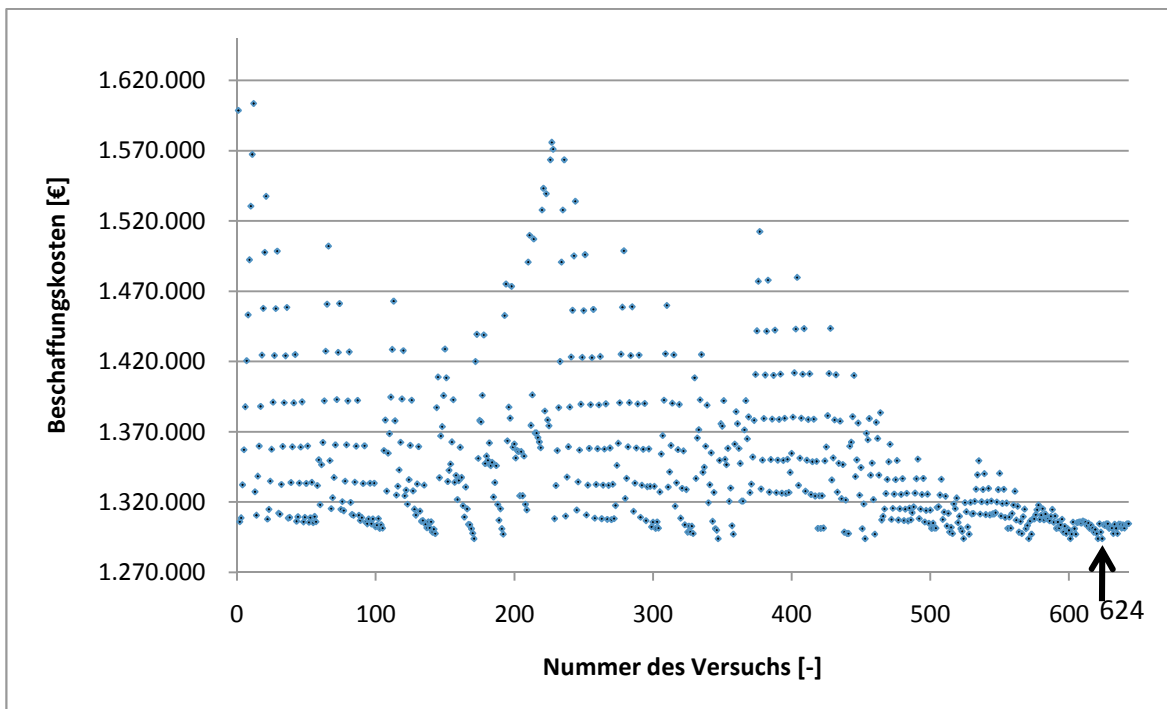


Abbildung 32: Beschaffungskosten der Dispositionsvarianten und des HS-Verfahrens
(Quelle: Eigene Darstellung)

Bei der Berechnung ergab sich eine Spannweite von 1.603.492 € bis 1.293.643 €. Die minimalen Beschaffungskosten erreichten dabei jene Dispositionsalternative (Versuch Nummer 624), welche durch die Verwendung des HS-Verfahrens entstanden ist. Detaillierte Ergebnisse sind dem Anhang (Tabelle 27) zu entnehmen.

Es wurde gezeigt, dass auf Basis der verwendeten Daten mit Hilfe des HS-Verfahrens geringere Beschaffungskosten als mit allen 642 Dispositionsalternativen erzielt wurden. Die Korrektheit der rational durchgeführten Verifikation konnte dadurch zusätzlich bestätigt werden. Abschließend lässt das Ergebnis auch eine Approximation des sich ergebenden Einsparungspotenzials zu. Dieses ergibt sich aus der Differenz zwischen bestem und schlechtestem Ergebnis und beträgt in diesem Fall 309.366 €.

5.6. Sensibilitätsanalyse

Mit Hilfe einer Sensibilitätsanalyse wird die Empfindlichkeit eines Ergebnisses in Abhängigkeit von bestimmten Parameterveränderungen festgestellt.³⁴³ In diesem Kontext bedeutet dies zu untersuchen, wie weit sich eine Abweichung der benötigten Inputparameter auf die Optimalität der Bestellpolitik auswirkt. Um das Sensibilitätsverhalten des Verfahrens zu ermitteln, wird exemplarisch untersucht, wie sich eine fehlerhafte Vorhersage des Spekulationsgewinnes auf die optimale Bestellpolitik auswirkt. Der tatsächlich eingetretene Spekulationserfolg kann dabei um den Prognosefehler v höher oder niedriger sein. Wird der Fehler in Formel 56 eingesetzt, dann ergibt sich bei einer positiven Abweichung des Spekulationserfolges Formel 82 und bei einer negativen Formel 83.

$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) + v) - (L * (i - b)) > 0$	(87)
$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - v) - (L * (i - b)) > 0$	(88)

In Anlehnung an das Anwendungsbeispiel von Kapitel 5.1.3 wird in Tabelle 23 gezeigt, welche Auswirkungen ein Prognosefehler des Spekulationserfolges von +/- 20% auf die optimale Bestellpolitik hat.

Prognosefehler	HS-Grenzbedingung	Fehler Chargen
+20 %	4,3 > 0 8,6 > 0 0,9 > 0 -0,8 ≠ 0	-1
-20 %	2,3 > 0 4,6 > 0 -1,1 ≠ 0	0

Tabelle 23: Sensibilitätsanalyse
(Quelle: Eigene Darstellung)

Wenn der tatsächliche Spekulationserfolg um 20% größer ist, dann wurde zum Zeitpunkt b um eine Chargengröße zu wenig beschaffen. Dadurch kommt es, gegenüber dem Optimum, zu einer Erhöhung der Beschaffungskosten von 3.080

³⁴³ Vgl. Krallmann et al. (2002), S. 42.

€. ³⁴⁴ Ist der tatsächliche Spekulationserlös um 20% geringer, dann bleibt die optimale Lösung erhalten. In diesem Fall verursacht der Prognosefehler keine zusätzlichen Kosten. Erst ab einer Abweichung von -66% kommt es zu einer Veränderung der Bestellpolitik. Die Anzahl der zum Zeitpunkt b zusätzlich beschaffenen Chargenanzahl würde sich dann jedoch auf null reduzieren, was zu einer Erhöhung der Beschaffungskosten um 5.280 € führen würde. Die nachfolgende Abbildung stellt die Abweichung der Chargenanzahl vom Optimum in Abhängigkeit zum Prognosefehler des Spekulationserfolgs dar:

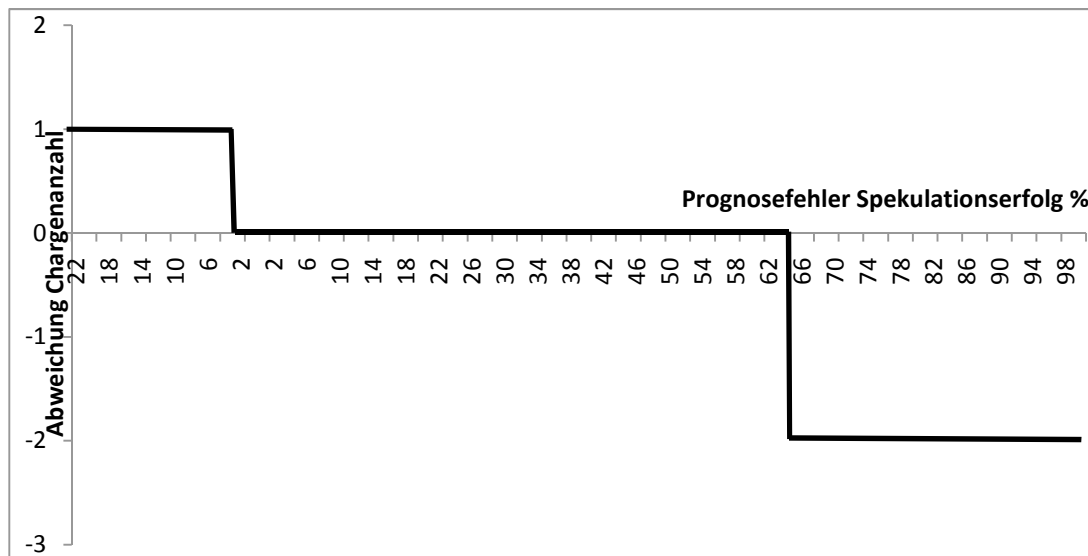


Abbildung 33: Auswirkungen von Prognosefehlern auf die optimale Bestellpolitik
(Quelle: Eigene Darstellung)

Es ist ersichtlich, dass es erst ab einem bestimmten Prognosefehler zu einer Abweichung von der optimalen Bestellpolitik kommt. Ab dieser Fehlerhöhe entsteht jedoch eine Mengenabweichung, welche mindestens einer Chargengröße entspricht und damit die Beschaffungskosten signifikant beeinflussen kann. Im Gegensatz zur Formel von *Harris/Andler*, bei welcher sich fehlerhafte Parameter jedenfalls in einer Abweichung von der Optimalität manifestieren, ³⁴⁵ ergibt sich diese beim HS-Verfahren erst ab einem gewissen Fehlergrad.

³⁴⁴ Errechnet entsprechend des Schemas in Kapitel 5.1.3.

³⁴⁵ Vgl. Schönsleben (2007), S. 572.

6. Conclusio und weiteres Forschungspotenzial

Die Beschaffungsobjektgruppe „legiertes Halbzeug aus Stahl“ stellt für die stahlumformende Industrie einen erheblichen Kostenfaktor dar und hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Lieferzeit der Endprodukte. Die Bestellpolitik, welche vorgibt, wann und wie viel zu bestellen ist, wirkt sich somit signifikant auf die Wettbewerbsfähigkeit der Umformer aus. Trotzdem ist in der Literatur, bis zum jetzigen Zeitpunkt, kein adäquates Verfahren publiziert worden. Eine Forschungslücke, welche durch die vorliegende Dissertationsschrift geschlossen wurde.

Die Anforderungen der Beschaffungsobjektgruppe sind vielfältig und reichen von der Einbeziehungsmöglichkeit von diskreten Preisschwankungen bis hin zur Beschränkung auf bestimmte Bestellmengen. Auf Basis dieser Anforderungen und umfangreicher Literaturrecherchen wurde mittels Deduktion ein geeignetes Verfahren abgeleitet, mit welchem eine kostenoptimale Bestellpolitik für „legiertes Halbzeug aus Stahl“ generiert werden kann. Dabei wird vor Beginn des Referenzzeitraums eine Initiallösung erstellt, welche bei nicht steigendem Legierungszuschlag uneingeschränkte Gültigkeit hat. Die Bestellmenge entspricht dabei immer der vom Stahlerzeuger vorgegebenen Chargengröße, weswegen der Aufwand für den Disponenten minimal gehalten werden kann. Wird jedoch eine steigende Preistendenz erwartet, dann muss geprüft werden, ob nicht mehrere Chargengrößen zu bestellen sind. Dazu wird der erzielbare Spekulationserfolg den zusätzlich hervorgerufenen Lagerhaltungskosten gegenübergestellt und, bei Überwiegen von Ersterem, die Bestellmenge um eine Chargengröße erhöht. Sind erstmals die Lagerhaltungskosten größer als der Spekulationserfolg, ist die Charge nicht vorzuziehen, sondern zum Bedarfszeitpunkt zu bestellen. Die optimale Bestellmenge wurde erreicht und der zweite Schritt kann beendet werden. Der Vorteil dieser ereignisorientierten Vorgehensweise ist der geringe Aufwand, denn der Disponent muss nur beim Eintreten des Ereignisses „steigender Legierungszuschlag wird erwartet“ die Bestellmenge neu ermitteln. Diese durch das unterstellte deterministische Verhalten aller Daten legitimierte Vorgehensweise kann jedoch zu einer Optimalitätsabweichung führen. Wenn der Legierungszuschlag stärker ansteigt, als bei der Festlegung der Bestellmenge angenommen wurde, kann eine Bestellung zu einem Zeitpunkt vorteilhaft sein, welcher im Verfahren nicht vorgesehen ist. Diese potenziell eintretende Abweichung von der Optimalität wurde zur Erreichung einer geringen Verfahrenskomplexität in Kauf genommen. Unter der Vorausset-

zung, dass das Verfahren IT-unterstützt durchgeführt wird oder der höhere Zeit- und Rechenaufwand akzeptiert werden, erscheint die Entwicklung einer diesbezüglichen Verfahrenserweiterung sinnvoll. An dieser Stelle ergibt sich ein noch nicht erschlossenes Forschungspotenzial.

Um die in der industriellen Praxis auftretenden Unsicherheiten, insbesondere bei der Wiederbeschaffungszeit und der Verbrauchsrate, berücksichtigen zu können, wurde eine stochastische Verfahrenserweiterung entwickelt. Bei dieser wird im Laufe der Initiallösung ein Bestellpunkt festgelegt, dessen Höhe sich nach dem gewählten Servicegrad, der Wahrscheinlichkeitsverteilung und der Bestellhäufigkeit richtet. Wird Letztere innerhalb des Referenzzeitraums verändert, führt dies zu einer Reduktion des Bestellpunktes, welcher bis zu diesem Ereignis in einer anderen Höhe eingehalten wurde. Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, dass der vorgegebene Servicegrad erreicht wird, ohne dass dabei vermeidbare Lagerhaltungskosten entstehen. Als Servicegrad muss dabei der Alpha-Servicegrad bzw. die durchgeführte Modifikation, der Alpha_{II} -Servicegrad, verwendet werden. Um den individuellen Präferenzen der Entscheidungsträger Rechnung zu tragen, sollte die stochastische Erweiterung weiterführend für die Anwendung mit anderen Servicegraddefinitionen modifiziert werden – eine Akzeptanzsteigerung könnte die Folge sein.

Mit Hilfe von Evaluierungskriterien wurde gezeigt, dass das Verfahren für die Beschaffungsobjektgruppe das Richtige ist und den anderen bis jetzt publizierten diesbezüglich überlegen ist – es wurde somit validiert. Die Überlegenheit gilt allerdings nur dann, wenn alle unterstellten Prämissen auch tatsächlich eingehalten werden können. Werden beispielsweise die Transportkosten nicht vom Stahlzeuger getragen, dann ist die unterstellte Nichtsignifikanz der Bestellfixkosten eventuell nicht gegeben. Auch wenn für diesen Fall eine Modifikation des Verfahrens aufgezeigt wurde, sollte weiterführend untersucht werden, welche sonstigen Prämissen tendenziell oft nicht eingehalten werden können. Auf dieser Basis können zukünftig weitere Modifikationen bzw. Erweiterungen entwickelt werden und dadurch der Anwendungsbereich und die Akzeptanz des Verfahrens zusätzlich gesteigert werden.

Um den Einwand des kritischen Rationalismus zu berücksichtigen, wurde das bereits rational verifizierte Verfahren einer zusätzlichen Bekräftigung unterzogen.

Dabei erfolgte ein Vergleich der mit dem entwickelten Verfahren erzielbaren Beschaffungskosten mit jenen von 642 alternativen Dispositionslogiken. Die geringsten Kosten wurden durch den Einsatz des entwickelten Verfahrens erzielt und damit die rationale Verifikation bestätigt, wobei diese strenggenommen nur für die herangezogene Datenkonstellation Gültigkeit hat.

Abschließend kann konstatiert werden, dass es gelungen ist, ein Verfahren für die stahlumformende Industrie zu entwickeln, welches den Anforderungen der Beschaffungsobjektgruppe genügt und dabei eine geringe Komplexität aufweist. Wenn alle geforderten Prämissen erfüllt sind, kann die umformende Industrie durch die Verfahrensanwendung eine kostenoptimale Bestellpolitik generieren, welche das Preis-/Leistungsverhältnis der Endprodukte und damit die Wettbewerbsfähigkeit teilweise signifikant verbessert.

7. Literaturverzeichnis

Adma, Dietrich: Produktios-Management, 9. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 1998.

Alicke, Knut: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken: Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2005.

Andler, Kurt: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße, München, R. Oldenbourg, 1929.

Arnold, Dieter; Furmans, Kai: Materialfluss in Logistiksystemen, 4., aktualisierte Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2005.

Arnold, Ulli: Beschaffungsmanagement, 1. Auflage, Stuttgart, Schäffer-Poeschel, 1995.

Aucamp, D. C.: A variable demand lot-sizing procedure and a comparison with various well-known strategies In: Prod. Inventory Management, 26. Jg., S. 1-20, 1985.

Axsäter, S.: Economic lot sizes and vehicle scheduling. In: European Journal of Operational Research, 4. Jg., S. 395-398, 1980.

Bäck, Sabine et al.: Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation: State-of-the-Art und innovative Konzepte, hrsg von Engelhardt-Nowitzki, Corinna et al., 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2007.

Balsliemke, Frank: Logistiksysteme zur integrierten Distribution und Redistribution, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2004.

Barth, Klaus; Hartmann, Michaela et al.: Betriebswirtschaftslehre des Handels, 6., überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Verlag GmbH, 2007.

Bartmann, D.; Beckmann, M. J.: Lagerhaltung - Modelle und Methoden, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg et al., Springer, 1989.

Bea, Franz Xave; Dichtl, Erwin et al.: Betriebswirtschaftslehre - Bd. 3: Leistungsprozess, 9. Auflage, Stuttgart, Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH, 2006.

Bea, Xaver; Friedl, Birgit et al.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Leistungsprozess, 9. Auflage, Stuttgart, Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH, 2006.

Beckmann, Holger: Handbuch Logistik: Beschaffung, hrsg. Arnold, Dieter et al., 3., neu bearbeitete Auflage, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 2008.

Behnke, Joachim: Grundlagen der Statistischen Datenanalyse:, 1. Auflage, Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften|GWV Fachverlag GmbH, 2006.

Biedermann, Hubert: Ersatzteilmanagement - Effiziente Ersatzteillistik für Industrieunternehmen, 2., erweiterte und aktualisierte Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.

- Biedermann, Hubert:** Ersatzteillogistik: Beschaffung - Disposition - Organisation, 1. Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH, 1995.
- Blackburn, J. D.; Millen, R. A.:** Heuristic lot-sizing performance in a rolling schedule environment, 11. Jg., S. 691-701, 1980.
- Bloech, Jürgen et. al.:** Einführung in die Produktion, 5. Auflage, Berlin et. al., Springer-Verlag, 2004.
- Bloech, Jürgen et. al.:** Einführung in die Produktion, 5. Auflage, Berlin et. al., Springer-Verlag, 2004.
- Bogaschewski, R.:** Dynamische Materialdisposition im Beschaffungsbereich, 59. Jg., S. 855-874, 189.
- Bookbinder, J. H.; Tan, J. Y. :** Two lot-sizing heuristics for the case of deterministic time-varying demands. In: International Journal of Operations and Production Management, 5. Jg., S. 30-42, 1985.
- Bosch, Karl:** Statistik für Nichtstatistiker: Zufall und Wahrscheinlichkeit, 5. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007.
- Bourier, Günther; Schwab, Herman:** Lagerhaltung bei Preiserhöhung. In: Zeitschrift für Operations Research, Vol. 22, S. 81-93, 1978.
- Braun, Herwig et al.:** Fachkunde Metall, 53. überarbeitete Auflage, Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel, 1999.
- Bregman, Robert L.; Silver, Edward A.:** A Modification of the Silver-Meal Heuristic to Handle MRP Purchase Discount Situations. In: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 44, Nr. 7, 1993.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger:** Erfolgreich mit After Sales Services: Gestaltung und Vermarktung von Dienstleistungen als Managementherausforderung, hrsg. von Barkawi, Karim et al., Berlin et al., Springer Verlag, 2006.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger:** Logistische Netzwerke, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.
- Briehl, Horst:** Chemie der Werkstoffe, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden, B.G. Teubner Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- Broda, Stephan:** Marketing-praxis: Ziele, Strategien, Instrumentarien, 2. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2005.
- Bücker, Rüdiger:** Statistik für Wirtschaftswissenschaftler, 5. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2003.
- Buzacott, J.A.:** Economic Order Quantities with Inflation. In: Operational Research Quarterly, S. 553-558, Vol. 26, 1975.
- Cárdenas-Barrón, Leopoldo Eduardo:** Optimal ordering policies in response to a discount offer: Extensions, In: International Journal of Production Economics, Vol. 122, S. 774-782, 2009.

- Chalmers, A. F.:** Wege der Wissenschaft: Einführung in die Wissenschaftstheorie, 5. Auflage, Berlin et al., Springer, 2001.
- Chand, S.:** Lot sizing for products with finite demand horizon and periodic review inventory policy. In: European Journal of Operations Research, S. 8 - 145, 11. Jg., Nr. 2, 1982.
- Cho, Tae-Young:** Die Stahlindustrie Südkoreas im internationalen Vergleich - Ein Vergleich mit der westdeutschen Stahlindustrie, Göttingen, Vadenhoeck und Ruprecht, 1992.
- Churchman, C. West; Ackoff, Russel L. et al.:** Operations Research: Eine Einführung in die Unternehmensforschung, 5. Auflage, Wien, R. Oldenbourg, 1971.
- Corsten, Hans; Reiß, Michael:** Betriebswirtschaftslehre, 4. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008.
- Degner, Michael et al.:** Stahlfibel, hrsg. vom Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf, Stahleisen GmbH, 2007.
- Deller, Jürgen et al.:** Personalmanagement im demografischen Wandel, Heidelberg, Springer Medizin Verlag, 2008.
- DeMatteis, John:** An Economic Lot-Sizing Technique I: The Part-Period Algorithm, In: IBM Systems Journal, 7. Jg., S. 30-38, 1968.
- Dobler, Hans-Dietrich et al.:** Fachkunde Metall, 54. neu bearbeitete Auflage, Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel, 2003.
- Dyckhoff, Harald:** Produktionstheorie - Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft, 5. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer, 2006.
- Dyckhoff, Harald:** Betriebliche Produktion: Theoretische Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft, 2. Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 1994.
- Eisele, Daniela:** Online-Bewerbungssysteme in der Personalbeschaffung, 1. Auflage, Stuttgart, Deutscher-Universitätsverlag|GWV Fachverlag GmbH, 2003.
- Faber, Manfred et al.:** Berufs- und Karriereplaner Technik 2007|2008, 9. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2007.
- Falkner, C. H.:** Jointly optimal Deterministic Inventory and Replacement Policies Fluctuates. In: Management Science, 16. Jg., S. 622 - 635, 1975.
- Farny, Dieter:** Versicherungsbetriebslehre, 4. Auflage, Karlsruhe, Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, 2006.
- Flackser, Volker et al.:** 2004 - Rohrleitungen im Jahr der Technik (Band 28): Moderne thermomechanisch gewalzte Warmbreitbandstähle und deren Anwendung am Beispiel von Spiralrohren, hrsg. vom Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg, Essen, Vulkan Verlag GmbH, 2004.
- Fleischmann, Bernhard:** Handbuch Logistik: Grundlagen, hrsg. von Dieter, Arnold et al., 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.

Freeland, J. R.; Colley, J. L.: A simple heuristic method for lot sizing in an Time-Phased Reorder System. In: Produktion & Inventory Management, 23. Jg., Nr. 1, 1982.

Freidank, Carl-Christian; Meißner, Carl-Christian: Statistik verstehen und sinnvoll nutzen, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004.

Frenz, Walter: Emissionshandelsrecht, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.

Friedl, Birgit: Grundlagen des Beschaffungscontrolling, 3. Auflage, Berlin, Oldenbourg, 1990.

Gaither, N.: A Near-Optimal Lot-Sizing Model for Materials Requirements. Planning Systems. In: Production and Inventory Management, 22. Jg., Nr. 4, 1981.

Geiger, Martin Josef: Multikriterielle Ablaufplanung, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2005.

Glaser, H.: Optimale Bestellmenge und Mengenrabatte - Anmerkungen zu dem gleichlautenden Aufsatz von Müller-Manzke. In: ZfB, 57. Jg., S. 522-525, 1987.

Gleissner, Harald; Femerling, J. Christian: Logistik: Grundlagen- Übungen- Fallbeispiele, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2008.

Gobrecht, Jürgen: Werkstofftechnik-Metalle, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.

Goethe, Wolfgang: Einführung in die DIN-Normen: Werkstoffe, hrsg. vom Deutschen Institut für Normung e.V., 14. neubearbeitete Auflage, Wiesbaden et al., B.G. Teubner Verlag |GWV Fachverlag GmbH, 2008.

Gohout, Wolfgang: Operations Research: Einige ausgewählte Gebiete der linearen und nichtlinearen Optimierung, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2007.

Goyal, S. K.: Economic ordering policy during special discount periods for dynamic inventory problems under certainty, In: Engineering Costs and Production Economics, Vol. 20, S. 101 - 104, 1990.

Goyal, S. K.: An inventory model for a product for which purchase price fluctuates. In: New Zealand Operational Research, S. 112 - 117, Vol. 3, 1975.

Grochla, Erwin: Grundlagen der Materialwirtschaft - Das materialwirtschaftliche Optimum im Betrieb, 3. gründlich durchgesehene Auflage, Wiesbaden, Gabler Verlag, 1978.

Groff, G. K.: A Lot Sizing Rule For Time-Phased Component Demand. In: Production and Inventory, 20. Jg., S. 47 - 53, 1979.

Grünig, Rudolf; Kühn, Richard: Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2006.

Gudehus, Timm: Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen, 3., neu bearbeitete Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2005.

- Günther, Hans-Otto et al.:** Produktion und Logistik, 6. Auflage, Berlin et al., Springer, 2005.
- Günther, Bourier:** Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik, 5., überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2006.
- Hahn, Dietger; Laßmann, Gerd et al.:** Produktionswirtschaft - Controlling industrieller Produktion, 3. vollständig überarbeitete Auflage, Heidelberg, Physica-Verlag, 1999.
- Hansmann, Karl-Werner:** Industrielles Management, 8. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.
- Hanssmann, F.:** Operations research in production and inventory control, New York, John Wiley & Sons, 1962.
- Harris, F. W.:** How many parts to make at once. In: Factory, The Magazine of Management, 10. Jg., S. 135 - 136, 1913.
- Hartlieb, Bernd; Kiehl, Peter et al.:** Normung und Standardisierung, 1. Auflage, Berlin, Wien et al., Beuth Verlag GmbH, 2009.
- Hartung, Joachim:** Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 14. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- Härz, Christof:** Marktnähe im Fokus. In: Im Bild - Magazin für Geschäftspartner, Mitarbeiter/innen und andere Beziehungsgruppen der ThyssenKrupp Materials Schweiz AG, S. 2-3, 9. Ausgabe, 2008.
- Haseborg, F.:** On the optimality of joint ordering policies in a multi-product dynamic lot size model with individual and joint set-up costs. In: European Journal of Operational Research, 9. Jg., S. 47-55, 1982.
- Haseborg, F.:** Optimale Lagerhaltungspolitiken für Ein- und Mehrproduktlager: Strukturen, Algorithmen und Planungshorizonte bei verschiedenen Mengenrabatten und deterministisch schwankendem Bedarf, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1979.
- Hasse, Stephan:** Giesserei Lexikon, 18. Auflage, Berlin, Schiele und Schön GmbH, 2000.
- Henze, Norbert:** Stochastik für Einsteiger: Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls, 7. Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2008.
- Hering, Ekbert; Draeger, Walter:** Handbuch Betriebswirtschaft für Ingenieure, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 2000.
- Hertel, Joachim; Zentes, Joachim et al.:** Supply-chain-management und Warenwirtschaftssysteme im Handel, 1. Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2005.
- Hiersig, Heinz M.:** Lexikon Produktionstechnik: Verfahrenstechnik, hrsg. von Hiersig, Heinz M., Düsseldorf, VDI-Verlag, 1995.

- Himpel, Frank; Winter, Florian:** Arbeitsbuch zum Operations Management, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- Hoffmann, Annette:** Unternehmensübergreifendes Kostenmanagement in intermodalen Prozessketten: Theoretische Fundierung und erste empirische Ergebnisse, Köln, Annette Hoffmann und Kölner Wissenschaftsverlag Albers, Peters & Reihlen GbR, 2007.
- Hoitsch, Hans-Jörg; Lingnau, Völker:** Kosten- und Erlösrechnung: eine controllingorientierte Einführung, 4. Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2004.
- Holderied, Cornelius:** Güterverkehr, Spedition und Logistik, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- Holland, Heinrich:** Mathematik im Betrieb, 9. aktualisierte Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- Horngren, Charles et al.:** Kostenrechnung - Entscheidungsorientierte Perspektive, 9. Auflage, München et al., Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2001.
- Horngren, Charles T.; Foster, Georg et al.:** Kostenrechnung: entscheidungsorientierte Perspektive, 9. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004.
- Howard J. Weiss; Edward C. Rosenthal:** Optimal ordering policies when anticipating a disruption in supply or demand, In: European Journal of Operational Research, Vol 59, S. 370 - 382, 1992.
- Hungenberg, Harald:** Strategisches Management in Unternehmen, 3. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlag GmbH, 2004.
- Hüttner, Manfred; Heuer, Kai R.:** Betriebswirtschaftslehre, 3. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004.
- Hutzschenreuter, Thomas:** Allgemeine Betriebswirtschaftslehre - Grundlagen mit zahlreichen Praxisbeispielen, 3. Auflage, Wiesbaden, Gabler | GWV Fachverlag GmbH, 2009.
- Ihme, Joachim:** Taschenbuch der Logistik: Transporte und außerbetrieblicher Materialfluss, hrsg von Reinhard Koether, 3., aktualisierte Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 2008.
- Jakobi, Hans-F.:** Neue Organisationsformen im Unternehmen. Ein Handbuch für das moderne Management: Neuorientierung und Optimierung indirekter Funktionen, hrsg. von Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Jürgen et al., 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2003.
- Jodlbauer, Herbert:** Produktionsoptimierung, Wien, NewYork, Springer-Verlag, 2007.
- Jung, Hans:** Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 10. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.
- Karl-Heinz, Grote; Jörg, Feldhusen:** Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage, Berlin et al., Springer, 2007.

- Khouja, Moutaz; Park, Sungjune:** Optimal lot sizing under continuous price decrease, In: Omega, Vol. 31, S. 539-545, 2003.
- Kiener, Stefan; Maier-Scheubeck, Nicolas et al.:** Produktions-Management, 8. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.
- Kilger, W.:** Industriebetriebslehre, Wiesbaden, Gabler, 1986.
- Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion:** Produktionsplanung, 3. Auflage, Heidelberg, Physica-Verlag, 2001.
- Kleppmann, Wilhelm:** Taschenbuch Versuchsplanung: Produkte und Prozesse optimieren, 5. überarbeitete Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2008.
- Koether, Reinhard:** Taschenbuch der Logistik: Logistik als Managementaufgabe, hrsg von Reinhard Koether, 3. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 2008.
- Kornagel, K.:** Optimale Zusatzbestellmenge bei erwarteten Preissteigerung. In: Kostenrechnungspraxis, S. 213-220, , 1974.
- Korndörfer, Wolfgang:** Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 13., überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftliche Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachberlag GmbH, 2003.
- Kornmeier, Martin:** Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeit - Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler, 1. Auflage, Heidelberg, Physica-Verlag, 2007.
- Kosiol, Erich:** Einkaufsplanung und Produktionsumfang, 2. durchgesehene Auflage, Berlin, Duncker & Humblot, 1975.
- Kottke, Erhard:** Die optimale Beschaffungsmenge, 1. Auflage, Berlin, Duncker&Humblot, 1966.
- Krallmann, Hermann et al.:** Systemanalyse im Unternehmen, 4. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2002.
- Kriegel, Johannes;:** Finanzmanagement im Universitätskrankenhaus, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag/GWV Fachverlag GmbH, 2005.
- Kromrey, Helmut:** Empirische Sozialforschung, 12. Auflage, Stuttgart, Lucius&Lucius, 2009.
- Kuhn, A.:** Zum Problem der optimalen Bestellmenge, Dissertation, Münster, 1964.
- Kummer, Sebastian; Groschopf, Wolfram:** Grundzüge der Beschaffung: Grundlagen der betrieblichen Leistungserstellung, Produktion und Logistik, hrsg von Sebastian Kummer, 2., aktualisierte Auflage, München, Pearson Studium, 2009.
- Kurbel, Karl:** Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- Lackes, Richard:** Optimale Bestellpolitik bei sinkenden Beschaffungspreisen: Diskussionsbeitrag Nr. 158, 1. Auflage, Hagen, Fernuniversität Hagen, 1990.

Landgraf, Karin et al.: Spezielle Betriebswirtschaftslehre für Büroberufe, Troisdorf, Bildungsverlag EINS GmbH, 2008.

Lasch, Rainer; Janker, Christian G.: Übungsbuch Logistik: Aufgaben und Lösungen zur quantitativen Planung in Beschaffung, Produktion und Distribution, 1. Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2007.

Lehn, Jürgen; Wegmann, Helmut: Einführung in die Statistik, 5., durchgesehene Auflage, Wiesbaden, B. G. Teubner Verlag|GWV-Fachverlag GmbH, 2006.

Leinz, Jürgen; Bossert, Beate et al.: Entwicklung eines Verfahrens zur dynamischen einstufigen Einprodukt-Bestellmengenplanung, Hohenheim, Univ. Hohenheim - Inst. für Betriebswirtschaftslehre, 1995.

Lev, B.; Soyster, A. L.: An inventory model with finite horizon and price change, In: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 30, S. 43 - 53, 1978.

Lev, B.; Weiss, H. J.: Inventory models with cost changes. In: Operation Research, 38. Jg., S. 53-63, 1990.

Lingnau, Volker: Variantenmanagement, Berlin, Erich Schmidt Verlag, 1994.

Littkemann, Jörn et al.: Buchführung, 2., überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr.Th. Gabler | GWV Fachverlag GmbH, 2007.

Lödding, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung, 2. erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.

Martin, Heinrich: Praxiswissen Materialflußplanung, Braunschweig, Wiesbaden, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1999.

Martin, Heinrich: Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik, 6. Auflage, Wiesbaden, Fried. Vieweg Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2006.

Mathar, Hans-Joachim; Scheuring, Johannes: Unternehmenslogistik: Grundlagen für die betriebliche Praxis mit zahlreichen Beispielen, Repetitionsfragen und Antworten, 1. Auflage, Zürich, Compendio Bildungsmedien AG, 2009.

Matsuyama, Keisuke: The EOQ-Models modified by introducing discount of purchase price or increase of setup cost, In: International Journal of Production Economics, Vol. 73, S. 83 - 93, 2001.

Matyas, Kurt: Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern, 3. überarbeitete Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2008.

Meffert, Heribert et al.: Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, 10. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlag GmbH, 2008.

Melzer-Ridinger, Ruth: Materialwirtschaft und Einkauf, 5. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008.

- Melzer-Ridinger, Ruth:** Supply Chain Management: Prozess- und unternehmensübergreifendes Management von Qualität, Kosten und Liefertreue, München, Oldenbourgverlag Wissenschaftsverlag GmbH, 2007.
- Mendoza, A. G.:** An Economic Lot-Sizing Technique II: Mathematical Analysis of the Part-Period. In: IBM Systems Journal, 7. Jg., S. 39 - 46, 1968.
- Müller-Benedict, Völker:** Grundkurs Statistik in den Sozialwissenschaften, 4. überarbeitete Auflage, Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften|GWV Fachverlag GmbH, 2007.
- Müller-Manzke, U.:** Optimale Bestellmenge und Mengenrabatt. In: ZfB, 57. Jg., S. 503 - 521, 1987.
- Müller-Merbach, H.:** Optimale Einkaufsmenge, In: Ablauf- und Planungsforschung, Vol. 4, S. 226 - 237, 1963.
- Naddor, Elieze:** Lagerhaltungssysteme, Frankfurt, Zürich, Deutsch Harri GmbH, 1971.
- Neumann, Klaus:** Produktions- und Operations-Management, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1996.
- Nyhuis, P.:** Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung, Universität Hannover, Dissertation, 1991.
- Onawumi, A.S; Oluleye, A.E. et al.:** An Economic Lot Size Model with Shortages and Inflation, In: International Business Management, Vol. 3, S. 75-79, 2009.
- Orlicky, Joseph; Plossl, Georg:** Orlicky's material requirements planning, 2. Auflage, NewYork, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- Pack, Ludwig:** Optimale Bestellmenge und optimale Losgröße - Zu einigen Problemen ihrer Ermittlung, 3. Auflage, Wiesbaden, Gabler, 1975.
- Pack, Ludwig:** Optimale Bestellmenge und optimale Losgröße, Wiesbaden, Gabler, 1963.
- Pepels, Werner:** Produktmanagement, 5. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.
- Peters, Sönke et al.:** Betriebswirtschaftslehre, 12. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- Peters, Sönke; Brühl, Rolf et al.:** Betriebswirtschaftslehre, 12. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- Pfeifer, Tilo:** Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken, 3. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2001.
- Pfohl, Hans-Christian:** Logistikmanagement, Berlin et al., Springer-Verlag, 2004.
- Piontek, Jochem:** Beschaffungscontrolling, 3. Auflage, München, Oldenbourg, 2004.

- Plümer, Thomas:** Logistik und Produktion, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2003.
- Popper, K. R.:** Logik der Forschung, 10. Auflage, Tübingen, Akademie-Verlag, 1994.
- Rehkopf, Stefan:** Revenue-Management-Konzepte zur Auftragsannahme bei kundenindividueller Produktion am Beispiel der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie, Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2006.
- Resh, M.; Friedman, M. et al.:** On a General Solution of the Deterministic Lot Size Problem with Time Proportional Demand, In: Operations Research, Vol. 24, S. 718 - 725, 1976.
- Robert, Rieg:** Planung und Budgetierung: Was wirklich funktioniert, 1. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- Roland, Folker:** Beschaffungsstrategien: Voraussetzungen, Methoden und EDV-Unterstützung einer problemadäquaten Auswahl, 1. Auflage, Köln, J. Eul, 1993.
- Ross, Eberhard; Maile, Karl:** Werkstoffkunde für Ingenieure, Berlin, Heidelberg, Springer, 2005.
- Ruge, Jürgen; Wohlfahrt, Helmut:** Technologie der Werkstoffe, 8. Auflage, Wiesbaden, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Verlag GmbH, 2007.
- Rühl, Andreas; Steinicke, Steffen:** Filialspezifisches Warengruppenmanagement: Ein neues Konzept effizienter Sortimentssteuerung im Handel, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher-Universitätsverlag/GWV Fachverlag, 2003.
- Rushton, Alan; Croucher, Phil et al.:** The handbook of logistics and distribution management, 3rd edition, London, Philadelphia, Kogan Page Limited, 2008.
- Sabisch, Helmut; Tintelnot, Claus:** Integriertes Benchmarking für Produkte und Produktentwicklungsprozesse, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg et al., Springer-Verlag, 1997.
- Salameh, M.K.; Jaber, M. Y.:** Optimal lot size for EPQ inventory model for items of different qualities, In: International Journal of Production Economics, Vol. 64, S. 59-64, 2000.
- Sarker, Bhaba R.; Kindi, Mahmood:** Optimal ordering policies in response to a discount offer, In: International Journal of Production Economics, Vol. 100, S. 195-211, 2006.
- Schatt, Werner et al.:** Konstruktionswerkstoffe des Maschinen und -anlagenbaus, hrsg. von Schatt, Werner, 5. völlig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1991.
- Schick, Arno:** Internationale Logistik, München, Oldenbourg wissenschaftlicher Verlag GmbH, 2008.
- Schmid, S.:** Multikulturalität in der internationalen Unternehmung, 1. Auflage, Wiesbaden, Gabler, 1996.
- Schneider, Herfried; Buzacott, John et. al.:** Operative Produktionsplanung und -steuerung, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.

Schönsleben, Paul: Integrales Logistikmanagement: Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken, 5., bearbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 2007.

Schuh, Günther: Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 3., vollständig neu bearbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006.

Schulte, Gerd: Material- und Logistikmanagement, 2. wesentlich erw. und verb. Auflage, München et al., Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2001.

Schulze, Günter: Die Metallurgie des Schweißens: Eisenwerkstoffe-nichteisenmetallische Werkstoffe, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2004.

Schulze, Günter et al.: Werkstoffkunde: Eisenwerkstoffe, hrsg. von Schulze, Günter; Bargel, Hans-Jürgen, 10. bearbeitete Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2008.

Schwarz, Christian; Bucher, Udo; Rudert, Steffen: Logistik Management, hrsg von Stefan Voß et al., 1. Auflage, Dordrecht et al., Physica-Verlag, 2009.

Seiffert, Ulrich; Rainer, Gotthard: Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz, hrsg. von Seiffert, Ulrich; Rainer, Gotthard, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag|GWV Fachverlage GmbH, 2008.

Silver, E. A.; Meal, H. C.: A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. In: Production and Inventory Management, Vol. 14, S. 64-74, 1973.

Silver, E. A.; Pyke, D. F. et al.: Inventory management and production planning and scheduling, 3. Auflage, New York, J. Wiley, 1998.

Silver, E.; Miltenbourg, J.: Two modifications of the silver-meal lot sizing heuristics. In: INFOR, 22. Jg., S. 64-74, 1984.

Skrzipek, Markus: Shareholder Value versus Stakeholder Value, 1. Auflage, Wien, Deutscher Universitätsverlag/GWV Fachverlag GmbH, 2005.

Spremann, Klaus: Valuation, 1. Auflage, München, oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004.

Stark, Gunnar: Grundsätze zur Privatfinanz, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.

Stenger, B.: Die optimale Bestellpolitik bei zeitabhängigem Beschaffungspreis. Reihe Wirtschaftswissenschaften Band 233, Frankfurt a. M., Harri Deutsch, 1981.

Stobbe, Alfred: Mikroökonomik, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1991.

Sturm, Rüdiger: Kostenrechnung, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.

Sucky, Eric: Koordination in Supply Chains: Spieltheoretische Ansätze zur Ermittlung integrierter Bestell- und Produktionspolitiken, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag|GWV Fachverlag GmbH, 2004.

Taft, E. W.: Formulas for exact and approximate evaluation – handling cost of jigs and interest charges of product manufactured included. In: The Iron Age, 5. Jg., S. 1410 - 1412, 1918.

Taylor, S. G.; Bradley, C. E.: Optimal Ordering Strategies for Announced Price Increases. In: Operation Research, 33. Jg., S. 312 - 315, 1985.

Tempelmeier, Horst: Materiallogistik - Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung und das Supply Chain Management, 4. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2003.

Tempelmeier, Horst: Quantitative Marketing-Logistik, Berlin et al., Springer-Verlag, 1983.

Teschl, Gerald; Teschl, Susanne: Mathematik für Informatiker, Band 2, 2. Auflage, Berlin et al., Springer-Verlag, 2007.

Tiede, Manfred; Voß, Werner: Schließen mit Statistik - Verstehen, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2000.

Toutenburg, Helge: Lineare Modelle: Theorie und Anwendungen, 2. Auflage, Heidelberg, Physica-Verlag, 2003.

Treis, Bartho: Beschaffungsmarketing: Beschaffung - Ein Schwerpunkt der Unternehmensführung, hrsg. von Theuer, Gottfried et al., 1. Auflage, Landsberg a. L., Moderne Industrie, 1986.

Trux, Walter R.: Einkauf und Lagerdisposition mit Datenverarbeitung, München, Verl. Moderne Industrie, 1972.

Tsado, A.: Evaluation of the performance of lot-sizing techniques on deterministic and stochastic demand, Dissertation, University of Lancaster, 1985.

Vahrenkamp, Richard: Produktionsmanagement, 6. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008.

Vollmuth, Hilmar: Controllinginstrumente von A bis Z, 7. erweiterte Auflage, Landshutt, Rudolf Haufe Verlag GmbH & CO. KG, 2008.

Vossebein, Ulrich: Materialwirtschaft und Produktionstheorie, 2. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler Verlag, 2001.

Wagner, Harvey M.; Whitin, Thomson M.: Dynamic Version of the Economic Lot Size Modell. In: Management Science 5, 5. Jg., S. 22-23, 1958.

Walther, Hansjust W. et al.: Handbuch der Metallmärkte: Eisen, hrsg. von Gocht, Werner, 2. völlig überarbeitete Auflag, Berlin et al., Springer-Verlag, 1985.

Wannenwetsch, Helmut: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, 3., aktualisierte Auflage, Berlin et al., Springer, 2007.

- Wannenwetsch, Helmut:** Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, 4., aktualisierte Auflage, Heidelberg et al., Springer-Verlag, 2009.
- Weiss, E. N.:** Lot sizing is dead: long live lot sizing. In: Production and Inventory Management Journal, 31. Jg., Nr. 1, S. 76-78, 1990.
- Weiss, Howard J.:** Economic order quantity models with nonlinear holding costs, In: European Journal of Operational Research , Vol. 9, S. 56-60, 1982.
- Wemmeröv, U.:** The ubiquitous EQQ - its relation to discret lot sizing heuristics international. In: The Journal of Operations & Production Management , 1. Jg., S. 161 - 179, 1981.
- Wenzel, Sigrid et al.:** Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und durchführung von Simulationsstudien, 1. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2008.
- Werani, Thomas; Gaubinger, Kurt et al.:** Praxisorientiertes Business-to-business-marketing, 1. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2006.
- Weuster, Arnulf:** Personalauswahl: Anforderungsprofil, Bewerbersuche, Vorauswahl und Vorstellungsgespräch, 2. aktualisierte und überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Gabler|GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- Wiberg, Nils:** Lehrbuch der anorganischen Chemie, 101. Auflage, Berlin, New York, Walter de Gruyter & Co, 1995.
- Wirtz, Bernd W.:** Electronic Business, 2. Auflage, Wiesbaden, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 2001.
- WKW:** Nachhaltige Kostensenkung bei Edelstahl durch Substitution. In: Technik + Einkauf, S. 22-23, Ausgabe 5, 2008.
- Zäpfel, Günther:** Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2001.
- Zäpfel, Günther:** Exakte Verfahren der dynamischen Bestellmengenrechnung. In: Angewandte Informatik, S.269-275, Nr. 13, 1971.
- Zelewski, Stephan; Hohmann, Susanne; Hügens, Torben:** Produktionsplanungs- und steuerungssysteme: Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP R3, 1. Auflage, München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2008.
- Zentes, Joachim; Swoboda, Bernhard et al.:** Internationales Wertschöpfungsmanagement, 1. Auflage, München, Vahlen, 2004.
- Zimmermann, Jürgen:** Taschenbuch der Logistik: Mathematische Methoden zur Lösung von Logistikproblemen, hrsg von Rainhard Koether, 3., aktualisierte Auflage, München, Calrs Hanser Verlag, 2008.
- Zoller, K.; Robrade, A.:** Efficient Heuristics for Dynamic Lot Sizing. In: International Journal of Production Research, Vol. 26, S. 249-265, 1988.

Onlinequellen

ArcelorMittal: ArcelorMittal. Online im Internet: [<http://www.arcelormittal.com/stainlesseurope/sites/default/files/fckfiles/uploadfile/2007%20-%20October%20-%20ArcelorMittal%20Stainless%20changes%20reference%20period%20for%20alloy%20surcharge%20calculation.pdf>] (2007) (Zugriff: 17. 04 2009).

LME: LME. Online im Internet: [<http://www.lme.co.uk/non-ferrous/index.asp>] (2009) (Zugriff: 04. 23 2009).

MetalBulletin: MetallBulletin. Online im Internet: [<http://www.metalbulletin.com/>] (2009) (Zugriff: 23. 04 2009).

Midrex: Midrex. Online im Internet: [http://www.midrex.com/uploads/documents/HBI_Flow.jpg] (2009) (Zugriff: 13. 04 2009).

ÖNB: ÖNB. Online im Internet: [http://www.oenb.at/de/glossar/glossar_w.jsp#tcm:14-13193] (2009) (Zugriff: 28. 04 2009).

Piebalgs: European Commission. Online im Internet: [<http://ec.europa.eu/competition/antitrust/cases/decisions/39234/de.pdf>] (2006) (Zugriff: 05. 02 2010).

ThyssenKruppNirosta: ThyssenKrupp Nirosta. Online im Internet: [<http://www.nirosta.de/fileadmin/media/produkte/LZ2009.pdf>] (2009) (Zugriff: 03. 09 2009).

Walner: ThyssenKrupp Stainless AG. Online im Internet: [<http://www.thyssenkrupp-stainless.com/index.php?id=216&L=0>] (2007) (Zugriff: 17. 04 2009).

8. Anhang

8.1. Berechnungshilfe

Um die Bestimmung der kostenoptimalen Bestellpolitik in der industriellen Praxis zu erleichtern, wird in nachfolgender Tabelle 24 für das HS-Verfahren eine Berechnungshilfe zur Verfügung gestellt, welche direkt von den Disponenten eingesetzt werden kann:

Berechnungshilfe für das deterministische HS-Verfahren														
Mat. Nummer														
i	Bestell-datum	Chargen initial	Chargen neu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1		= L										
2		1		> 0	= L									
3		1		> 0	> 0	= L								
4		1		> 0	> 0	> 0	= L							
5		1		> 0	> 0	> 0	> 0	= L						
6		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L					
7		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L				
8		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L			
9		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L		
10		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L	
11		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	= L
12		1		> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0	> 0
Initiallösung			Steigender Legierungszuschlag											

E{VR}	
Lhs	
C	

Bei steigendem Legierungszuschlag
$\frac{E\{Bv\}_a \cdot Lhs \cdot C}{E\{VR\}} = L$
$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L \cdot (i - b))) > 0$

Wird diese Grenzbedingung eingehalten, dann ist der Bedarf der Periode (i) in der gerade betrachteten Periode (b) mit zu bestellen.

Tabelle 24: Berechnungshilfe für das deterministische HS-Verfahren
(Quelle: Eigene Darstellung)

Alle für den gesamten Referenzzeitraum fixierten Werte können in das Formular vorab eingetragen werden, lediglich die Prognose der variablen Bestellkosten muss laufend angepasst werden. Da der Basispreis i. d. R. über den gesamten Referenzzeitraum konstant ist, muss hier insbesondere ein Fokus auf die Entwicklung des Legierungszuschlages gelegt werden. Dessen Vorhersagegenauigkeit ist von zentraler Bedeutung und sollt nur den erfahrensten Mitarbeiter oder einer externen Stelle³⁴⁶ überlassen werden. Das Anwendungsbeispiel des deterministi-

³⁴⁶ Eine solche wäre z. B.: <http://www.lz-prognose.de>.

schen HS-Verfahrens aus Kapitel 5.1.3. könnte mit Hilfe der Berechnungshilfe von einem Disponenten wie gefolgt durchgeführt werden:

Berechnungshilfe für das deterministische HS-Verfahren															
Mat. Nummer		10XCr20													
i	Bestell-datum	Chargen initial	Chargen neu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	01.Jän	1	3	1,7 = L											
2	06.Feb	1	0	3,3 > 0	X = L										
3	15.Mär	1	0	3,6 > 0		X = L									
4	20.Apr	1		0,1 > 0			X = L								
5	27.Mai	1						X = L							
6	02.Jul	1							X = L						
7	08.Aug	1								X = L					
8	13.Sep	1									X = L				
9	20.Okt	1										X = L			
10	25.Nov	1											X = L		
11	-	1												X = L	
12	-	1													X = L
Initiallösung				Steigender Legierungszuschlag											

E{VR}	4.000
Lhs	0,1
C	400

Bei steigendem Legierungszuschlag	
$\frac{E\{Bv\}_b * Lhs * C}{E\{VR\}}$	= L
$((E\{Bv\}_i - E\{Bv\}_b) - (L * (i - b)))$	> 0

Wird diese Grenzbedingung eingehalten, dann ist der Bedarf der Periode (i) in der gerade betrachteten Periode (b) mit zu bestellen.

Tabelle 25: Teilweise ausgefüllte Berechnungshilfe für das deterministische HS-Verfahren
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die manuelle Bewertungshilfe kann unter <http://www.tc-logistics.at/Formular-HS-Verfahren.pdf> heruntergeladen werden.

8.2. Evaluierte Verfahren

* Die Praktikabilität wurde nicht evaluiert

Kriterium 1	1	Harris (1913)
Kriterium 2	2	Taft (1918)
Kriterium 3	3	Andler (1929)
Kriterium 4	4	Wagner/Whitin (1958)
Kriterium 5	5	Kottke (1966)
Kriterium 6	6	DeMatteis (1968)
Kriterium 7	7	Mendoza (1968)
	8	Trux (1972)
	9	Silver/Meal (1973)
	10	Groff (1979)
	11	Blackburn/Millenburg (1984)
	12	Axsäter (1980)
	13	Gaither (1981)
	14	Wemmerlöv (1981)
	15	Freeland/Colley (1982)
	16	Chand (1982)
	17	Silver/Miltenburg (1984)
	18	Aucamp (1985)
	19	Bookbinder/Tan (1985)
	20	Tsado (1985)
	21	Robrade/Zoller (1988)
	22	Nyhuis (1991)
	23	Leinz/Bossert/Habe nicht (1995)
	24	Schulte (2001)
	25	Jodlbauer (2007)
	26	HS-Verfahren (2010)
	27	HS mit dyn. Adaption (2010)
	28	HS mit stoch. Erweiterung (2010)
	29	Dyn. HS mit stoch. Erweiterung (2010)
$\Sigma+$	1	
$\Sigma 0$	3	
$\Sigma-$	3	
$\Sigma+\Sigma-$	-2	

Tabelle 26: Weitere Evaluierungen
(Quelle: Eigene Darstellung)

8.3. Versuchsanordnung

Ver.Nr	Dispositionsvariante												Beschaffungskosten
1	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.597.933
2	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.305.755
3	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.308.503
4	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.332.037
5	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.356.977
6	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.387.540
7	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.420.313
8	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1.452.985
9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.492.031
10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.530.046
11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.566.728
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.602.781
13	2	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.327.070
14	3	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1.310.352
15	4	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1.338.098
16	5	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1.359.600
17	6	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1.387.845
18	7	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1.424.281
19	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1.457.476
20	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1.497.203
21	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1.536.964
22	2	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1.307.604
23	3	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1.314.563
24	4	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1.334.660
25	5	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1.357.281
26	6	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1.390.698
27	7	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1.423.979
28	8	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1.457.315
29	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1.498.086
30	2	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1.311.815
31	3	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1.311.126
32	4	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1.332.341
33	5	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1.359.324

34	6	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1.390.381
35	7	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1.423.800
36	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1.458.178
37	2	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1.308.378
38	3	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1.308.807
39	4	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1.333.573
40	5	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1.358.993
41	6	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1.390.185
42	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1.424.643
43	2	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1.306.059
44	3	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1.309.228
45	4	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1.333.228
46	5	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1.358.779
47	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1.391.008
48	2	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1.305.669
49	3	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1.308.869
50	4	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1.332.997
51	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1.359.582
52	2	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1.305.296
53	3	0	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1.308.620
54	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1.333.780
55	2	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1.305.030
56	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1.309.383
57	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1.305.773
58	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.331.498
59	2	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.349.792
60	3	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1.317.824
61	4	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1.346.368
62	5	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1.362.123
63	6	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1.391.707
64	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1.426.952
65	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1.460.382
66	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1.501.511
67	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.349.253
68	2	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1.315.076

69	3	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1.322.833
70	4	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1.337.183
71	5	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1.360.334
72	6	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1.392.558
73	7	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1.426.060
74	8	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1.460.780
75	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1.314.538
76	2	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1.320.085
77	3	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1.313.649
78	4	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1.334.584
79	5	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1.360.373
80	6	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1.391.638
81	7	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1.426.423
82	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1.319.547
83	2	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1.310.901
84	3	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1.310.240
85	4	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1.333.811
86	5	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1.359.424
87	6	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1.391.965
88	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1.310.362
89	2	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1.306.682
90	3	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.308.655
91	4	0	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1.332.834
92	5	0	0	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1.359.717
93	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1.305.333
94	2	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.304.286
95	3	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.307.650
96	4	0	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.333.092
97	2	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.304.286
98	3	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.307.650
99	4	0	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.333.092
100	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.302.125
101	2	0	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.303.252
102	3	0	0	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.307.873
103	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063

104	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.303.440
105	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
106	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.356.438
107	2	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.378.137
108	3	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.327.506
109	4	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.354.537
110	5	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1.368.323
111	6	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1.394.271
112	7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	1.428.024
113	8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1.462.406
114	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.377.598
115	2	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.324.758
116	3	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.331.003
117	4	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1.342.555
118	5	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1.362.088
119	6	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	1.392.819
120	7	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1.427.259
121	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.324.219
122	2	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.328.255
123	3	0	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1.318.192
124	4	0	0	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1.335.528
125	5	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0	1	1.359.823
126	6	0	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0	1.392.012
127	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.327.716
128	2	0	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1.314.616
129	3	0	0	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1.310.373
130	4	0	0	0	1	1	1	4	0	0	0	0	1	1.332.450
131	5	0	0	0	0	1	1	1	4	0	0	0	0	1.358.973
132	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1.313.249
133	2	0	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1.306.005
134	3	0	0	1	1	1	1	4	0	0	0	0	1	1.306.484
135	4	0	0	0	1	1	1	1	4	0	0	0	0	1.331.558
136	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1.303.847
137	2	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	0	1	1.301.303
138	3	0	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	0	1.305.549

139	2	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.301.303
140	3	0	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.305.549
141	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
142	2	0	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.300.326
143	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
144	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.387.001
145	2	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.408.691
146	3	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1.337.087
147	4	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1.366.687
148	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1.373.243
149	6	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1.395.235
150	7	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1.428.199
151	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.408.153
152	2	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1.334.339
153	3	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1.342.278
154	4	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1.346.646
155	5	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1.362.241
156	6	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1.392.183
157	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1.333.800
158	2	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1.338.655
159	3	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1.321.455
160	4	0	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1.334.871
161	5	0	0	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1.358.377
162	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1.337.241
163	2	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1.317.050
164	3	0	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.308.907
165	4	0	0	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1.330.193
166	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1.314.855
167	2	0	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.303.729
168	3	0	0	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.303.416
169	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
170	2	0	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.297.425
171	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
172	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.419.774
173	2	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1.439.145

174	3	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1.350.725
175	4	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1.377.603
176	5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1.376.580
177	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1.395.301
178	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1.438.606
179	2	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1.347.090
180	3	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1.352.319
181	4	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1.349.155
182	5	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1.361.498
183	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1.345.665
184	2	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1.347.821
185	3	0	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1.323.136
186	4	0	0	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1.333.318
187	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1.345.533
188	2	0	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1.317.903
189	3	0	0	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.306.544
190	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1.314.880
191	2	0	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.300.556
192	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
193	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1.452.446
194	2	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.474.776
195	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1.363.140
196	4	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1.386.985
197	5	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1.379.040
198	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.473.178
199	2	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1.358.619
200	3	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1.360.825
201	4	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1.350.786
202	1	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1.356.307
203	2	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1.355.453
204	3	0	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.323.939
205	2	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1.355.453
206	3	0	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.323.939
207	1	1	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1.352.289
208	2	0	1	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.317.878

209	1	1	1	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.314.025
210	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.490.415
211	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.509.358
212	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1.374.032
213	4	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1.395.534
214	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.506.701
215	2	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1.368.624
216	3	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1.368.500
217	1	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1.365.425
218	2	0	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1.362.252
219	1	1	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1.358.213
220	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.527.352
221	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.542.589
222	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.384.104
223	1	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.538.873
224	2	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.377.809
225	1	1	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.373.724
226	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.562.957
227	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.575.172
228	1	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.570.396
229	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.307.964
230	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.331.498
231	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1.356.438
232	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1.387.001
233	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.419.774
234	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1.490.415
235	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.527.352
236	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.562.957
237	1	2	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1.309.813
238	1	3	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1.337.559
239	1	4	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1.359.061
240	1	5	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1.387.306
241	1	6	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1.422.932
242	1	7	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1.456.112
243	1	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1.494.745

244	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1.533.408
245	1	2	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1.314.025
246	1	3	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1.334.121
247	1	4	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1.356.743
248	1	5	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1.389.348
249	1	6	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1.422.615
250	1	7	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1.455.933
251	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1.495.608
252	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1.310.587
253	1	3	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1.331.803
254	1	4	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1.357.974
255	1	5	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1.389.018
256	1	6	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1.422.419
257	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1.456.776
258	1	2	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1.308.268
259	1	3	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1.332.223
260	1	4	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1.357.629
261	1	5	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1.388.804
262	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1.423.242
263	1	2	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1.307.878
264	1	3	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1.331.864
265	1	4	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1.357.398
266	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1.389.607
267	1	2	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1.307.505
268	1	3	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1.331.615
269	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1.358.181
270	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1.307.239
271	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1.332.378
272	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1.307.982
273	1	2	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1.317.285
274	1	3	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1.345.829
275	1	4	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1.361.584
276	1	5	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1.390.358
277	1	6	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1.424.792
278	1	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1.458.193

279	1	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1.498.210
280	1	2	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1	1.322.295
281	1	3	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1.336.644
282	1	4	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1.358.985
283	1	5	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1.390.398
284	1	6	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1.423.871
285	1	7	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1.458.556
286	1	2	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1.313.110
287	1	3	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1.333.235
288	1	4	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1.358.213
289	1	5	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1.389.449
290	1	6	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1.424.199
291	1	2	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1.308.891
292	1	3	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1.331.651
293	1	4	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1.357.235
294	1	5	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1.389.742
295	1	2	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.306.495
296	1	3	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1.330.645
297	1	4	0	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1.357.493
298	1	3	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.330.868
299	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1.302.125
300	1	2	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.305.461
301	1	3	0	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.330.868
302	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
303	1	2	0	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.305.649
304	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
305	1	2	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.326.967
306	1	3	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1.353.998
307	1	4	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1.366.956
308	1	5	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1.392.112
309	1	6	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1.425.053
310	1	7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1.459.393
311	1	2	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1	1.330.464
312	1	3	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1.341.188
313	1	4	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1.359.929

314	1	5	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1.389.848
315	1	6	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1.424.245
316	1	2	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1.316.825
317	1	3	0	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1.333.369
318	1	4	0	0	0	1	1	4	0	0	0	1	1.356.852
319	1	5	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	1.388.998
320	1	2	0	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1.308.215
321	1	3	0	0	1	1	1	4	0	0	0	1	1.329.479
322	1	4	0	0	0	1	1	1	4	0	0	0	1.355.960
323	1	2	0	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.303.513
324	1	3	0	0	1	1	1	1	4	0	0	0	1.328.545
325	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
326	1	2	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.302.535
327	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
328	1	2	0	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.302.535
329	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
330	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1.408.153
331	1	2	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1.336.548
332	1	3	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1.365.273
333	1	4	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1.371.047
334	1	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1.392.266
335	1	6	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1.424.417
336	1	2	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1	1.340.864
337	1	3	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1.344.450
338	1	4	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1.359.273
339	1	5	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1.388.401
340	1	2	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1.319.260
341	1	3	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1.331.903
342	1	4	0	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1.354.595
343	1	2	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.305.938
344	1	3	0	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1.326.411
345	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
346	1	2	0	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.299.634
347	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
348	1	2	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1.349.299

349	1	3	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1.375.315
350	1	4	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1.373.557
351	1	5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1.391.523
352	1	2	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1	1.350.030
353	1	3	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1.346.132
354	1	4	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1.357.719
355	1	2	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1.320.113
356	1	3	0	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1.329.539
357	1	2	0	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.302.765
358	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
359	1	2	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1.360.828
360	1	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1.383.821
361	1	4	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1.375.188
362	1	2	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1	1.357.662
363	1	3	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1.346.934
364	1	2	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.320.087
365	1	2	0	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1.320.087
366	1	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1.370.833
367	1	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1.391.495
368	1	2	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	1.364.461
369	1	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.380.018
370	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1.326.532
371	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1	1	1	1.332.593
372	1	1	3	0	0	2	0	1	1	1	1	1	1.351.877
373	1	1	4	0	0	0	2	0	1	1	1	1	1.377.903
374	1	1	5	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1.410.500
375	1	1	6	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1.441.448
376	1	1	7	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1.476.666
377	1	1	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1.511.894
378	1	1	2	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1.329.155
379	1	1	3	0	0	1	2	0	1	1	1	1	1.349.558
380	1	1	4	0	0	0	1	2	0	1	1	1	1.379.135
381	1	1	5	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1.410.169
382	1	1	6	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1.441.251
383	1	1	7	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1.477.509

384	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1.326.836
385	1	1	3	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1.349.979
386	1	1	4	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1.378.790
387	1	1	5	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1.409.955
388	1	1	6	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1.442.074
389	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1	1	1	1.326.446
390	1	1	3	0	0	1	1	1	2	0	1	1	1.349.620
391	1	1	4	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1.378.558
392	1	1	5	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1.410.758
393	1	1	2	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1.326.073
394	1	1	3	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1.349.371
395	1	1	4	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1.379.341
396	1	1	2	0	1	1	1	1	1	2	0	1	1.325.807
397	1	1	3	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1.350.134
398	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1.326.550
399	1	1	2	0	3	0	0	1	1	1	1	1	1.340.863
400	1	1	3	0	0	3	0	0	1	1	1	1	1.354.400
401	1	1	4	0	0	0	3	0	0	1	1	1	1.380.145
402	1	1	5	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1.411.549
403	1	1	6	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1.442.704
404	1	1	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1.479.289
405	1	1	2	0	1	3	0	0	1	1	1	1	1.331.678
406	1	1	3	0	0	1	3	0	0	1	1	1	1.350.990
407	1	1	4	0	0	0	1	3	0	0	1	1	1.379.373
408	1	1	5	0	0	0	0	1	3	0	0	1	1.410.600
409	1	1	6	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1.443.032
410	1	1	2	0	1	1	3	0	0	1	1	1	1.327.459
411	1	1	3	0	0	1	1	3	0	0	1	1	1.349.406
412	1	1	4	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1.378.396
413	1	1	5	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1.410.893
414	1	1	2	0	1	1	1	3	0	0	1	1	1.325.063
415	1	1	3	0	0	1	1	1	3	0	0	1	1.348.401
416	1	1	4	0	0	0	1	1	1	3	0	0	1.378.654
417	1	1	2	0	1	1	1	1	3	0	0	1	1.324.029
418	1	1	3	0	0	1	1	1	1	3	0	0	1.348.624

419	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
420	1	1	2	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.324.217
421	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
422	1	1	2	0	1	1	1	1	1	3	0	0	1.324.217
423	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
424	1	1	2	0	4	0	0	0	1	1	1	1	1.349.032
425	1	1	3	0	0	4	0	0	0	1	1	1	1.358.943
426	1	1	4	0	0	0	4	0	0	0	1	1	1.381.089
427	1	1	5	0	0	0	0	4	0	0	0	1	1.410.999
428	1	1	6	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1.443.078
429	1	1	2	0	1	4	0	0	0	1	1	1	1.335.393
430	1	1	3	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1.351.124
431	1	1	4	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1.378.012
432	1	1	5	0	0	0	0	1	4	0	0	0	1.410.149
433	1	1	2	0	1	1	4	0	0	0	1	1	1.326.783
434	1	1	3	0	0	1	1	4	0	0	0	1	1.347.235
435	1	1	4	0	0	0	1	1	4	0	0	0	1.377.120
436	1	1	2	0	1	1	1	4	0	0	0	1	1.322.080
437	1	1	3	0	0	1	1	1	4	0	0	0	1.346.300
438	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
439	1	1	2	0	1	1	1	1	4	0	0	0	1.321.103
440	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
441	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
442	1	1	2	0	5	0	0	0	0	1	1	1	1.359.432
443	1	1	3	0	0	5	0	0	0	0	1	1	1.362.206
444	1	1	4	0	0	0	5	0	0	0	0	1	1.380.433
445	1	1	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1.409.553
446	1	1	2	0	1	5	0	0	0	0	1	1	1.337.828
447	1	1	3	0	0	1	5	0	0	0	0	1	1.349.658
448	1	1	4	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1.375.755
449	1	1	2	0	1	1	5	0	0	0	0	1	1.324.506
450	1	1	3	0	0	1	1	5	0	0	0	0	1.344.167
451	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
452	1	1	2	0	1	1	1	5	0	0	0	0	1.318.202
453	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643

454	1	1	2	0	6	0	0	0	0	0	1	1	1.368.598
455	1	1	3	0	0	6	0	0	0	0	0	1	1.363.887
456	1	1	4	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1.378.880
457	1	1	2	0	1	6	0	0	0	0	0	1	1.338.680
458	1	1	3	0	0	1	6	0	0	0	0	0	1.347.295
459	1	1	2	0	1	1	6	0	0	0	0	0	1.321.333
460	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
461	1	1	2	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1.376.230
462	1	1	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1.364.690
463	1	1	2	0	1	7	0	0	0	0	0	0	1.338.655
464	1	1	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1.383.029
465	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1.307.065
466	1	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1	1	1.309.688
467	1	1	1	3	0	0	2	0	1	1	1	1	1.314.842
468	1	1	1	4	0	0	0	2	0	1	1	1	1.325.755
469	1	1	1	5	0	0	0	0	2	0	1	1	1.335.817
470	1	1	1	6	0	0	0	0	0	2	0	1	1.348.310
471	1	1	1	7	0	0	0	0	0	0	2	0	1.360.637
472	1	1	1	2	0	1	2	0	1	1	1	1	1.307.370
473	1	1	1	3	0	0	1	2	0	1	1	1	1.315.263
474	1	1	1	4	0	0	0	1	2	0	1	1	1.325.410
475	1	1	1	5	0	0	0	0	1	2	0	1	1.335.603
476	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1	2	0	1.349.133
477	1	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	1.306.980
478	1	1	1	3	0	0	1	1	2	0	1	1	1.314.904
479	1	1	1	4	0	0	0	1	1	2	0	1	1.325.179
480	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1	2	0	1.336.406
481	1	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1	1	1.306.606
482	1	1	1	3	0	0	1	1	1	2	0	1	1.314.655
483	1	1	1	4	0	0	0	1	1	1	2	0	1.325.962
484	1	1	1	2	0	1	1	1	1	2	0	1	1.306.340
485	1	1	1	3	0	0	1	1	1	1	2	0	1.315.418
486	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	2	0	1.307.083
487	1	1	1	2	0	3	0	0	1	1	1	1	1.312.211
488	1	1	1	3	0	0	3	0	0	1	1	1	1.316.275

489	1	1	1	4	0	0	0	3	0	0	1	1	1.325.994
490	1	1	1	5	0	0	0	0	3	0	0	1	1.336.248
491	1	1	1	6	0	0	0	0	0	3	0	0	1.350.090
492	1	1	1	2	0	1	3	0	0	1	1	1	1.307.992
493	1	1	1	3	0	0	1	3	0	0	1	1	1.314.690
494	1	1	1	4	0	0	0	1	3	0	0	1	1.325.017
495	1	1	1	5	0	0	0	0	1	3	0	0	1.336.541
496	1	1	1	2	0	1	1	3	0	0	1	1	1.305.596
497	1	1	1	3	0	0	1	1	3	0	0	1	1.313.685
498	1	1	1	4	0	0	0	1	1	3	0	0	1.325.275
499	1	1	1	2	0	1	1	1	3	0	0	1	1.304.563
500	1	1	1	3	0	0	1	1	1	3	0	0	1.313.908
501	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
502	1	1	1	2	0	1	1	1	1	3	0	0	1.304.750
503	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
504	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
505	1	1	1	2	0	4	0	0	0	1	1	1	1.315.926
506	1	1	1	3	0	0	4	0	0	0	1	1	1.316.408
507	1	1	1	4	0	0	0	4	0	0	0	1	1.324.633
508	1	1	1	5	0	0	0	0	4	0	0	0	1.335.797
509	1	1	1	2	0	1	4	0	0	0	1	1	1.307.316
510	1	1	1	3	0	0	1	4	0	0	0	1	1.312.519
511	1	1	1	4	0	0	0	1	4	0	0	0	1.323.741
512	1	1	1	2	0	1	1	4	0	0	0	1	1.302.614
513	1	1	1	3	0	0	1	1	4	0	0	0	1.311.584
514	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
515	1	1	1	2	0	1	1	1	4	0	0	0	1.301.637
516	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
517	1	1	1	2	0	5	0	0	0	0	1	1	1.318.361
518	1	1	1	3	0	0	5	0	0	0	0	1	1.314.942
519	1	1	1	4	0	0	0	5	0	0	0	0	1.322.376
520	1	1	1	2	0	1	5	0	0	0	0	1	1.305.040
521	1	1	1	3	0	0	1	5	0	0	0	0	1.309.451
522	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
523	1	1	1	2	0	1	1	5	0	0	0	0	1.298.735

524	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
525	1	1	1	2	0	6	0	0	0	0	0	1	1.319.214
526	1	1	1	3	0	0	6	0	0	0	0	0	1.312.579
527	1	1	1	2	0	1	6	0	0	0	0	0	1.301.866
528	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
529	1	1	1	2	0	7	0	0	0	0	0	0	1.319.188
530	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1.311.277
531	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1	1.311.581
532	1	1	1	1	3	0	0	2	0	1	1	1	1.320.272
533	1	1	1	1	4	0	0	0	2	0	1	1	1.328.908
534	1	1	1	1	5	0	0	0	0	2	0	1	1.339.044
535	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	2	0	1.349.000
536	1	1	1	1	2	0	1	2	0	1	1	1	1.311.191
537	1	1	1	1	3	0	0	1	2	0	1	1	1.319.913
538	1	1	1	1	4	0	0	0	1	2	0	1	1.328.676
539	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	2	0	1.339.847
540	1	1	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1.310.818
541	1	1	1	1	3	0	0	1	1	2	0	1	1.319.664
542	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1	2	0	1.329.459
543	1	1	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1	1.310.552
544	1	1	1	1	3	0	0	1	1	1	2	0	1.320.427
545	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	2	0	1.311.295
546	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1.311.277
547	1	1	1	1	2	0	3	0	0	1	1	1	1.312.204
548	1	1	1	1	3	0	0	3	0	0	1	1	1.319.700
549	1	1	1	1	4	0	0	0	3	0	0	1	1.328.514
550	1	1	1	1	5	0	0	0	0	3	0	0	1.339.982
551	1	1	1	1	2	0	1	3	0	0	1	1	1.309.808
552	1	1	1	1	3	0	0	1	3	0	0	1	1.318.694
553	1	1	1	1	4	0	0	0	1	3	0	0	1.328.772
554	1	1	1	1	2	0	1	1	3	0	0	1	1.308.774
555	1	1	1	1	3	0	0	1	1	3	0	0	1.318.917
556	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
557	1	1	1	1	2	0	1	1	1	3	0	0	1.308.962
558	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216

559	1	1	1	1	2	0	4	0	0	0	1	1	1.311.528
560	1	1	1	1	3	0	0	4	0	0	0	1	1.317.528
561	1	1	1	1	4	0	0	0	4	0	0	0	1.327.238
562	1	1	1	1	2	0	1	4	0	0	0	1	1.306.825
563	1	1	1	1	3	0	0	1	4	0	0	0	1.316.593
564	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
565	1	1	1	1	2	0	1	1	4	0	0	0	1.305.848
566	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
567	1	1	1	1	2	0	5	0	0	0	0	1	1.309.251
568	1	1	1	1	3	0	0	5	0	0	0	0	1.314.460
569	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
570	1	1	1	1	2	0	1	5	0	0	0	0	1.302.947
571	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
572	1	1	1	1	2	0	6	0	0	0	0	0	1.306.078
573	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
574	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1.307.839
575	1	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1	1	1.307.754
576	1	1	1	1	1	3	0	0	2	0	1	1	1.310.728
577	1	1	1	1	1	4	0	0	0	2	0	1	1.314.209
578	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	2	0	1.317.460
579	1	1	1	1	1	2	0	1	2	0	1	1	1.307.380
580	1	1	1	1	1	3	0	0	1	2	0	1	1.310.480
581	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	2	0	1.314.992
582	1	1	1	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1.307.114
583	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	2	0	1.311.243
584	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	2	0	1.307.857
585	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1.307.839
586	1	1	1	1	1	2	0	3	0	0	1	1	1.306.370
587	1	1	1	1	1	3	0	0	3	0	0	1	1.309.510
588	1	1	1	1	1	4	0	0	0	3	0	0	1.314.304
589	1	1	1	1	1	2	0	1	3	0	0	1	1.305.337
590	1	1	1	1	1	3	0	0	1	3	0	0	1.309.733
591	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
592	1	1	1	1	1	2	0	1	1	3	0	0	1.305.525
593	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216

594	1	1	1	1	1	2	0	4	0	0	0	1	1.303.388
595	1	1	1	1	1	3	0	0	4	0	0	0	1.307.409
596	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
597	1	1	1	1	1	2	0	1	4	0	0	0	1.302.411
598	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
599	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
600	1	1	1	1	1	2	0	5	0	0	0	0	1.299.509
601	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
602	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
603	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1.305.520
604	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1	1.300.760
605	1	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0	0	1.296.777
606	1	1	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1	1.305.062
607	1	1	1	1	1	1	3	0	0	2	0	1	1.305.450
608	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	2	0	1.305.590
609	1	1	1	1	1	1	2	0	1	2	0	1	1.304.795
610	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	2	0	1.306.213
611	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	2	0	1.305.538
612	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1.305.520
613	1	1	1	1	1	1	2	0	3	0	0	1	1.303.018
614	1	1	1	1	1	1	3	0	0	3	0	0	1.304.703
615	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
616	1	1	1	1	1	1	2	0	1	3	0	0	1.303.206
617	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
618	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
619	1	1	1	1	1	1	2	0	4	0	0	0	1.300.092
620	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
621	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
622	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1.304.320
623	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1	1.298.332
624	1	1	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	1.293.643
625	1	1	1	1	1	1	1	2	0	2	0	1	1.303.595
626	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	2	0	1.303.006
627	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	2	0	1.304.338
628	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1.304.320

629	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
630	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	3	0	0	1.302.005
631	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
632	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
633	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1.303.932
634	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1.301.063
635	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	1.297.313
636	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	2	0	1.303.950
637	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1.303.932
638	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
639	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1.303.648
640	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1.301.216
641	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1.303.648
642	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1.304.371
643	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1.304.371

Tabelle 27: Versuchsanordnung
(Quelle: Eigene Darstellung)