

Wicht, Jürgen

**Working Paper**

## Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren bei der Bestimmung kostenoptimaler Bestellzyklen in der Sustainable Supply Chain

Schumpeter Discussion Papers, No. 2012-008

**Provided in Cooperation with:**

Schumpeter School of Business and Economics, University of Wuppertal

*Suggested Citation:* Wicht, Jürgen (2012) : Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren bei der Bestimmung kostenoptimaler Bestellzyklen in der Sustainable Supply Chain, Schumpeter Discussion Papers, No. 2012-008, University of Wuppertal, Schumpeter School of Business and Economics, Wuppertal,  
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:468-20120911-144723-4>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/68689>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Schumpeter School  
of Business and Economics



## **SCHUMPETER DISCUSSION PAPERS**

# **Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren bei der Bestimmung kostenoptimaler Bestellzyklen in der Sustainable Supply Chain**

**Jürgen Wicht**

The Schumpeter Discussion Papers are a publication of the Schumpeter School of Business and Economics, University of Wuppertal, Germany  
For editorial correspondence please contact  
[SSBEditor@wiwi.uni-wuppertal.de](mailto:SSBEditor@wiwi.uni-wuppertal.de)

SDP 2012-008  
ISSN 1867-5352

Impressum  
Bergische Universität Wuppertal  
Gaußstraße 20  
42119 Wuppertal  
[www.uni-wuppertal.de](http://www.uni-wuppertal.de)  
© by the author



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

**Jürgen Wicht\***

# **Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren bei der Bestimmung kostenoptimaler Bestellzyklen in der Sustainable Supply Chain**

## **Zusammenfassung**

Simulationen können bei der Bestimmung kostenoptimaler Bestell- und Belieferungsanforderungen unter Berücksichtigung nur mittel- bzw. langfristig beeinflussbarer Nebenbedingungen ein geeignetes Instrument sein. Vor dem Hintergrund des Sustainable Supply Chain Managements können zunehmend entscheidungsrelevante ökologische Faktoren im Rahmen solcher Simulationen dadurch einbezogen werden, dass prozessbezogene CO<sub>2</sub>-Kosten ermittelt werden und in die Bewertung der einzelnen Simulationsergebnisse einfließen. Gezeigt wird dies anhand des Nachschubprozesses zwischen dem Distributionszentrum und einer Filiale einer international tätigen Drogeriemarktkette. Auf Basis der tatsächlichen Abverkaufdaten, der logistischen Artikeldaten sowie gegebener Restriktionen hinsichtlich Termin und Häufigkeiten möglicher Bestellungen und Belieferungen werden unterschiedliche Bestellzyklen simuliert und im Anschluss daran kostenmäßig bewertet und analysiert.

## **Abstract**

Simulations can be an appropriate tool in the determination of cost-optimal ordering and delivery requirements considering medium and long-term manipulable constraints. Against the background of sustainable supply chain management increasingly relevant environmental factors can be taken into account within such simulations by determining process-related CO<sub>2</sub>-costs and including these costs into the validation of individual simulation results. This is demonstrated by using the replenishment process between the distribution center and a store of an international drug store chain. Based on actual sales data, logistical product data and given restrictions on date and frequency of possible orders and deliveries different order cycles are simulated, subsequently evaluated and analyzed in terms of costs.

JEL-Classification: C6, L1, L8

Keywords: Carbon Footprint, Logistics Costs, Order Cycle, Replenishment, Simulation, Sustainable Supply Chain Management

---

\* Dr. rer. oec. *Jürgen Wicht*, Universität Wuppertal, Fachbereich B, Schumpeter School of Business and Economics, Lehrstuhl für Wirtschaftsstatistik, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal, E-Mail: [wicht@statistik.uni-wuppertal.de](mailto:wicht@statistik.uni-wuppertal.de)

## 1 Einleitung

Wichtige Aufgaben innerhalb des Wiederbeschaffungsprozesses im Handel sind Verkaufsprognose und Bestellplanung /-prognose. Operative Entscheidungen sind hierbei die Festlegung kostenoptimaler zukünftiger Bestell- und Belieferungsanforderungen unter Berücksichtigung der nur mittel- bzw. langfristig beeinflussbaren Rahmenbedingungen. Die Berücksichtigung solcher strategischer Rahmenbedingungen lässt sich durch einfache kostenoptimierende Verfahren nicht mehr darstellen. Die Verwendung von Simulationen kann hier ein geeignetes Instrument sein.

Neben der Berücksichtigung ökonomischer Faktoren bei der Abstimmung entlang der Wertschöpfungskette zeichnet sich das Sustainable Supply Chain Management (SSCM) dadurch aus, dass darüber hinaus sowohl ökologische als auch soziale Faktoren entscheidungsrelevant werden. Das Augenmerk liegt hier auf solchen Maßnahmen, die mit dem Ziel der betrieblichen Gewinnmaximierung vereinbar sind. Die Berücksichtigung von Umweltfaktoren im Rahmen von betrieblichen Optimierungsproblemen erfordert nun die quantitative Berücksichtigung der Kosten und des Nutzens solcher Maßnahmen.

Ein Werkzeug zur Messung und Bewertung der Umweltverträglichkeit kann dabei der sogenannte Carbon Footprint sein, also die Höhe des Ausstoßes von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlendioxid. Idee ist, einem Produkt die Mengen an Kohlendioxid direkt zuzurechnen, die bei den jeweiligen Prozessen entlang der gesamten Supply Chain entstehen. Ergebnis dieser Kalkulation ist eine mehr oder weniger genaue Abschätzung der Höhe des CO<sub>2</sub>-Ausstosses, der notwendig war, bis ein Produkt einem Verbraucher zum Verkauf zur Verfügung gestellt wird. Auf dieser Grundlage sind dann in der Folge Kostenbewertungen einzelner Prozesse innerhalb der Supply Chain in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß möglich.

Es stellt sich die Frage, ob im Rahmen von Simulationen zur kostenoptimalen Bestellplanung und -prognose auch ökologische Faktoren auf Basis der Kohlenstoffbilanz berücksichtigt werden können. Nachgegangen wird dieser Frage anhand eines Beispiels, bei dem verschiedene Bestellzyklen für einen gegebenen Bedarf simuliert werden. Entscheidungsrelevante Größen bei der Auswahl des optimalen Zyklus sind die verschiedenen relevanten Kostenarten eines Nachschubprozesses.

Für die Betrachtung des Nachschubprozesses zwischen einem Distributionszentrum und einer Filiale einer international tätigen Drogeriemarktkette wurde eine Warengruppe mit 242 Artikeln ausgewählt, deren tatsächliche tägliche Abverkaufsdaten über ein Kalen-

derjahr in der Filiale die Grundlage der Simulation liefern. Zusätzlich stehen für diese Warengruppe die wesentlichen Stammdateninformationen wie Preise und logistische Einheiten im Einkauf und Verkauf zur Verfügung. Die im Rahmen der Simulation verwendeten Bestellzyklen reichen von einem zweiwöchigen Zyklus bis zu fünfmaligen Bestellungen pro Woche. Mittels eines automatisierten Prognosesystems werden auf Basis dieser Bestellrhythmen die zu erwartenden Abverkäufe innerhalb der jeweils relevanten Prognosehorizonte stochastisch geschätzt. Das Bestellniveau für die einzelnen Zeitpunkte innerhalb der verschiedenen Bestellzyklussimulationen ergibt sich dann aus diesen Abverkaufsprognosen.

Für die gegebenen Abverkaufsdaten innerhalb des betrachteten Zeitraums zeigen sich dann je nach verwendetem Bestellzyklus ganz unterschiedliche Muster für die im Nachschubprozess relevanten Kostentreiber, der Bestellhäufigkeit, Transporthäufigkeit und Bestandshöhe. Auf Basis dieser Kostentreiber wird eine Gesamtkostenfunktion aufgestellt, die die entscheidungsrelevanten Kostenarten umfasst. Zur Berücksichtigung abnehmender Grenzkosten und Mengendegressionseffekten wird zusätzlich für einige dieser Kostenarten noch ein Diskontfaktor eingeführt.

Auf Basis dieser Gesamtkostenfunktion und angenommener Kostensätze der betrachteten Kostenarten können nun Gesamtkosten für den betrachteten Zeitraum in Abhängigkeit vom jeweiligen Bestellzyklus und den verwendeten Diskontfaktoren analysiert und verglichen werden. Ziel dieser Analysen ist natürlich die Identifizierung des unter den gegebenen Rahmenbedingungen kostenoptimalen Bestellzyklus. Darüber hinaus sind Sensitivitätsanalysen der Kostenfunktion hinsichtlich der verschiedenen Lieferzyklen sowie der verwendeten Diskontfaktoren möglich.

Kapitel 2 dient der Einordnung des dargestellten Problems in das Konzept des Sustainable Supply Chain Managements. In Kapitel 3 wird erläutert, wie der Carbon Footprint dazu verwendet werden kann, Nachhaltigkeitskosten auf Prozesse und Produkte umzulegen. Der hier betrachtete logistische Teilprozess innerhalb der Supply Chain und die zugrundeliegenden Verkaufsmengen- und Umsatzzahlen werden in Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 werden die hier verwendeten Simulationen der Bestellzyklen im Rahmen des beschriebenen Teilprozesses erläutert und die Auswirkungen auf Wareneingang, Bestand und Bestellwesen dargestellt. Die in Kapitel 6 entwickelte Gesamtkostenfunktion wird in Kapitel 7 auf die verschiedenen Simulationen angewendet und die Ergebnisse analysiert. Die sich aus dieser Analyse ableitenden Konsequenzen werden in Kapitel 8 dargestellt.

## 2 Sustainable Supply Chain Management

Unter Nachhaltigkeit (Sustainability) wird aus makroökonomischer Sicht der Ressourcenverbrauch verstanden, der dazu dient, die aktuellen Bedürfnisse zu befriedigen, ohne die Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Generationen zu gefährden.<sup>1</sup> Die Schwierigkeit dieser Definition liegt in der Operationalisierbarkeit von Nachhaltigkeit im Hinblick auf eine eher mikroökonomisch ausgerichtete Betrachtung. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage danach, inwieweit Marktkräfte die Nachhaltigkeit antreiben können.<sup>2</sup> Eine eher betriebswirtschaftlich ausgerichtete Auslegung, die aber die soziale Komponente außer Acht lässt, beschreibt Nachhaltigkeit als Angebot einer Möglichkeit zur Verringerung langfristiger Risiken, die durch Ausbeutung von Ressourcen, Schwankungen von Energiekosten, Produkthaftung sowie Emissions- und Abfallmanagement verursacht werden.<sup>3</sup> Eine weitere Definition, die im Hinblick auf die Betrachtung des Supply Chain Managements im Sinne des Zusammenwirkens verschiedener Partner geeignet ist, beschreibt Nachhaltigkeit als die Fähigkeit einer oder mehrerer Instanzen für einen längeren Zeitraum so zu existieren und zu gedeihen, dass die Existenz und das Gedeihen anderer Instanzen zu einem vergleichbaren Niveau und in vergleichbaren Systemen gestattet wird.<sup>4</sup> Der grundsätzlichen Frage der Vereinbarkeit ökonomischer mit ökologischen und sozialen Zielen kann sich in einem ersten Schritt darüber genähert werden, dass man zwischen ertragsverträglichen und nicht ertragsverträglichen Verhaltensweisen im Bereich Ökologie und Soziales unterscheidet.<sup>5</sup>

Abbildung 1 zeigt die Einordnung von Sustainability vor dem Hintergrund der drei betrachteten Leistungsarten.<sup>6</sup> Nachhaltigkeit im eigentlichen Sinne findet sich demnach nur in der Schnittmenge von Umwelt-, sozialer und ökonomische Leistung. Bleibt die soziale Leistung unberücksichtigt, ergibt sich als Betätigungsfeld die gesamte schraffierte Fläche der Abbildung.

---

<sup>1</sup> Vgl. Brundtland Report (WCED, 1987) nach Linton (2007), S. 2; Carter (2008), S. 363

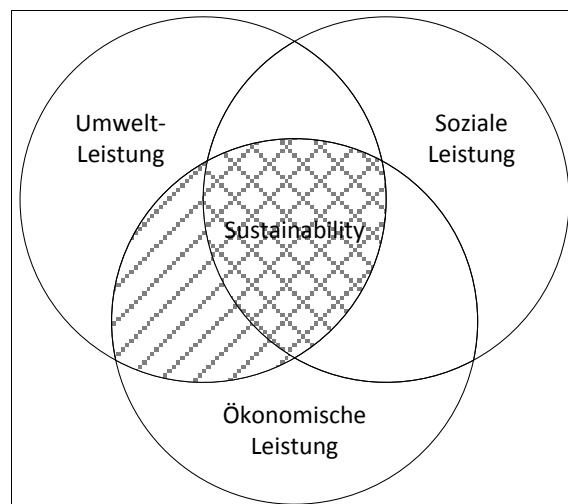
<sup>2</sup> Vgl. Linton (2007), S. 2

<sup>3</sup> Vgl. Carter (2008), S. 363

<sup>4</sup> Vgl. Carter (2008), S. 363

<sup>5</sup> Vgl. Carter (2008), S. 361

<sup>6</sup> Vgl. Carter (2008), S. 365

**Abbildung 1: Leistungskategorien von Sustainability**

Darüber hinaus wird deutlich, dass Bestandteil von Nachhaltigkeit immer auch die ökonomische Leistung sein muss. Im Bereich Sustainability finden sich demnach Aktivitäten, die neben positiven Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft auch langfristigen ökonomischen Nutzen und Wettbewerbsvorteile generieren.<sup>7</sup> Grundsätzlich stellt sich demnach bei Maßnahmen im Bereich der Sustainability die Frage nach der Bestimmung des Nutzens und der Kosten auch vor dem Hintergrund verschiedener zeitlicher Planungshorizonte.

Die Integration dieser Nachhaltigkeitsaspekte in das traditionelle Supply Chain Management wird als Sustainable Supply Chain Management (SSCM) bezeichnet. Definiert werden kann das SSCM als die kooperative Steuerung von Material-, Informations- und Geldflüssen entlang der Bedarfskette unter Berücksichtigung der drei Leistungskategorien der Sustainability, die sich aus den Bedürfnissen von Endabnehmern und anderen Anspruchsgruppen ableiten. Innerhalb jeder Funktionseinheit der Belieferungskette müssen Umwelt- und Sozialanforderungen erfüllt werden und dabei gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit durch Erfüllung der Verbraucherinteressen und weiterer ökonomischer Kriterien erhalten werden.<sup>8</sup> Eine Betrachtung der Maßnahmen aus dem Bereich der Schnittmenge zwischen Umwelt- und ökonomischer Leistung (vgl. Abbildung 1) zeigt Chancen im Bereich der Kosteneinsparungen aufgrund verminderter Material- und Ressourcenverbräuche auf. Risiken bestehen bei den Integrationskosten öko-

<sup>7</sup> Vgl. Carter (2008), S. 365

<sup>8</sup> Vgl. Schaltegger (2010), S. 9

logischer Aspekte in das SCM. Die Wirkung des SSCM in den Bereichen Reputation, Umsatz- und Gewinnentwicklung birgt einerseits das Risiko der Gewinnstagnation/-verminderung, wenn bei gleichbleibendem Umsatz die Kosten zur Erfüllung ökologischer Anforderungen steigen. Andererseits besteht die Möglichkeit der Umsatzerhöhung durch Steigerung der Nachfrage nach nachhaltigen Produkten und Dienstleistungen. Auf diesem Wege ist der Aufbau bzw. die Verbesserung der Unternehmensreputation möglich.<sup>9</sup>

Der Ansatz des klassischen SCM, entlang der gesamten Bedarfskette zu optimieren, eignet sich insofern für eine Übernahme von Nachhaltigkeitsaspekten, als das im Rahmen des SCM bereits der gesamte hinter einem zum Verkauf stehenden Produkt gelagerte Prozess betrachtet und abgebildet wird.<sup>10</sup> Die Integration von Umweltaspekten in das SCM wird auch als Green Supply Chain Management bezeichnet. Besonderes Augenmerk liegt hierbei neben Produktdesign, Lieferantenauswahl, Materialbeschaffung, Produktionsprozess, Verpackung und Entsorgung auf der Betrachtung der Lieferungsbedingungen.<sup>11</sup>

### **3 Carbon Footprint**

Die Berücksichtigung von Umweltaspekten innerhalb des SCM erfordert die Messung der ökologischen Auswirkungen betrieblicher Maßnahmen. Um klassische ökonomische Werkzeuge auch vor diesem Hintergrund benutzen zu können ist es darüber hinaus erforderlich, diese Auswirkungen kostenmäßig zu bewerten. Hier bietet sich der Carbon Footprint (CF) als mögliches Maßsystem ökologischer Belastungen betrieblicher Entscheidungen an, auf dessen Basis dann Kosten kalkuliert werden können.

Eine grundlegende Definition beschreibt den CF als eine bestimmte Abgasmenge, die relevant für den Klimawandel ist und durch menschliche Produktion oder Konsumtion verursacht wird.<sup>12</sup> Zur Operationalisierung dieses Konzepts sind jedoch einige Restriktionen und Annahmen erforderlich. Aus technischer Sicht ist zu klären, welche Gase hier relevant sind, und in welchen Einheiten die Emissionen gemessen werden. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und Einfachheit wird vorgeschlagen, sich auf CO<sub>2</sub>-Emissionen zu beschränken und diese Emissionen dann in Gewichtseinheiten zu mes-

---

<sup>9</sup> Vgl. Schaltegger (2010), S. 10f.

<sup>10</sup> Vgl. Linton (2007), S. 4

<sup>11</sup> Vgl. Sundarakani (2010), S. 43

<sup>12</sup> Vgl. Wiedmann (2007), S. 2



sen.<sup>13</sup> Diese Gewichtseinheiten wiederum können dann kostenmäßig bewertet werden. Eine weitere Frage ist, ob nur direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet werden sollen, oder ob eine Gesamtlebenszyklus-Betrachtung besser geeignet ist, entscheidungsrelevante Informationen zu liefern.<sup>14</sup> Im Sinne einer umfassenden und detaillierten Aussage über die objektbezogene CO<sub>2</sub>-Belastung wird hier die Betrachtung der direkten und der indirekten Einflussgrößen vorgeschlagen.<sup>15</sup>

Bei der Messung und Berechnung des objektbezogenen CF wird zwischen der Process Analysis (PA) und der Environmental Input-Output Analysis (EIO) unterschieden. Bei der EIO-Analyse handelt es sich um ein top-down-Verfahren, bei dem ausgehend von hochaggregierten volkswirtschaftlichen Gesamtdaten auf dahinterliegende Einheiten und Prozesse geschlossen wird. Die PA als bottom-up-Verfahren eignet sich besonders für Betrachtungen der ökologischen Auswirkungen einzelner Produkte entlang des Gesamtlebenszyklus. Soll die PA in Kombination mit Betrachtung auch indirekter Einflussgrößen durchgeführt werden, entstehen Abgrenzungsprobleme. Zu entscheiden und definieren ist dann, bis zu welcher Ebene Informationen erfasst und berücksichtigt werden.<sup>16</sup>

Eine Betrachtungsweise der Umwelteinflüsse logistischer Aktivitäten ausgehend von einer bestimmten Stufe oder einem Knoten der SC macht eine Unterscheidung zwischen stationären Emissionsquellen und nicht-stationären Emissionsquellen erforderlich.<sup>17</sup> Diese Unterscheidung lässt sich auf die verschiedenen Strukturierungsmerkmale logistischer Leistungserstellungsprozesse anwenden.<sup>18</sup> Bei Einteilung logistischer Aktivitäten in die drei Phasen des Güterflusses finden sich stationäre Emissionsquellen im Bereich der Lagerhaltung, während die nicht-stationären Emissionsquellen in den Bereichen der Beschaffungs- und Distributionslogistik anzuordnen sind. Bezogen auf die funktionellen Subsysteme der Logistik finden sich stationäre Emissionsquellen vor allem in den Systemen Lagerhaus, Bestandsmanagement, Handling und Picking sowie Auftragsabwicklung, nicht-stationäre Emissionsquellen in den funktionellen Subsystemen im Bereich Transport.

---

<sup>13</sup> Vgl. Wiedmann (2007), S. 5

<sup>14</sup> Vgl. Wiedmann (2007), S. 2

<sup>15</sup> Vgl. Wiedmann (2007), S. 4

<sup>16</sup> Vgl. Matthews (2008), S. 5839f. und Wiedmann (2007), S. 5

<sup>17</sup> Vgl. Sundarakani (2010), S. 44

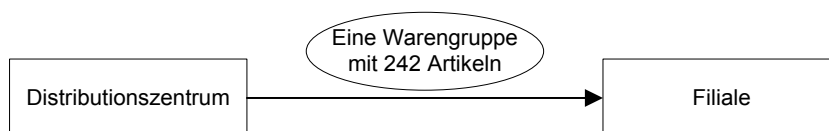
<sup>18</sup> Vgl. Wicht (2001), S. 6ff.

#### 4 Der betrachtete Logistikprozess

Im Folgenden wird der Nachschubprozess hinsichtlich der Ausgestaltung, der betrachteten Artikel und des Zeitraums beschrieben, der als Grundlage der weiteren Betrachtungen dient.

Betrachtet wird die Distributionslogistik einer international tätigen Drogeriemarktkette, die ihre Filialen über Distributionszentren versorgt. Grundlage der im Rahmen der Nachschubplanung hierfür eingesetzten automatischen Disposition bilden automatisierte Abverkaufsprognosen auf Basis der Verkaufsdaten am Point of Sale (POS) in den Filialen. Der hier betrachtete Nachschubprozess bezieht sich auf die Belieferung einer Filiale durch ein Distributionszentrum. Ausgewählt wurde eine Warengruppe mit 242 Artikeln.

**Abbildung 2: Betrachteter Nachschubprozess**



Für diese 242 Artikel wurden die tatsächlichen Abverkaufsdaten auf Basis der Verkaufseinheiten für den Zeitraum vom 1.1. 2004 bis zum 31.12.2004 ermittelt.

Weiterhin wurden für jeden Artikel Stammdateninformationen hinsichtlich des Einkaufs- und Verkaufspreises der Verkaufseinheiten sowie der der Nachschubplanung zugrundeliegenden Logistischen Einheiten erfasst. Unter Logistischer Einheit ist die Menge der Verkaufseinheiten eines Artikels zu verstehen, die dem gesamten logistischen Ablauf von der Bestellung bis in das Verkaufsregal zugrunde liegt. Erst in der Filiale wird die Logistische Einheit aufgelöst in die Verkaufseinheit. Sämtliche Stammdateninformationen bleiben innerhalb des betrachteten Zeitraums konstant.

##### 4.1 Das zugrundeliegende Lagerhaltungsmodell

Eine Differenzierung verschiedener Lagerhaltungsmodelle erfolgt nach der Methodik der Anpassung der Bestände an die Lagerabgänge. Im hier betrachteten Fall eines Einzelhandelsunternehmens entsprechen die Lagerabgänge den Abverkäufen in der Filiale. Grundsätzlich wird die Sicherstellung der Bedarfsbefriedigung durch die Parameter

Bestellzyklus und Bestellmenge gesteuert, wobei beide Parameter konstant oder variabel angenommen werden können.<sup>19</sup>

Zu unterscheiden sind somit die folgenden vier Parameterkombinationen:

**Abbildung 3: Bestellpolitiken**

		Bestellzyklus	
		konstant	variabel
Bestell- menge	konstant	$(t, q)$	$(s, q)$
	variabel	$(t, S)$	$(s, S)$

$t$  = Bestellzyklus  
 $q$  = Bestellmenge  
 $S$  = Bestellniveau  
 $s$  = Bestellpunkt

Während die Bestellpolitik mit konstantem Bestellzyklus  $t$  und konstanter Bestellmenge  $q$  zu einer vollständigen Abkoppelung von den tatsächlichen Abverkäufen führt  $(t, q)$ , ist bei der  $(s, S)$  - Bestellpolitik sowohl der Bestellzyklus als auch die Bestellmenge variabel. Die Bestellung wird ausgelöst, wenn der Bestand eine definierte Mindestmenge, den Bestellpunkt  $s$ , erreicht oder unterschreitet, die Bestellmenge ergibt sich aus dem definierten Höchstbestand, dem Bestellniveau  $S$ . Bei Festlegung der Bestellmenge erfolgt die Anpassung der Bestellungen an den Bedarf über einen variablen Bestellzyklus  $(s, q)$ . Bestellt wird die konstante Menge  $q$  immer dann, wenn der Bestellpunkt  $s$  erreicht wird. Wird der Bestellzyklus konstant gehalten, kann eine Mengenanpassung über das definierte Bestellniveau  $S$  erfolgen  $(t, S)$ . Zu festen Zeitpunkten  $t$  wird die sich aus dem Bestellniveau  $S$  ergebenden Mengen bestellt.<sup>20</sup>

Für die Lagerhaltungsmodelle mit variablen Parametern muss das Bestellniveau  $S$  und/oder der Bestellpunkt  $s$  festgelegt werden. Zu berücksichtigen ist hierbei das Vorliegen einer stochastischen Nachfrage und die Zeit zwischen Bestellung und Wareneingang (Reaktionszeit).<sup>21</sup> Eine weitere Bestandskomponente, die bei der Bestellung berücksichtigt werden muss ist der vom geplanten Servicelevel abhängende Sicherheitsbestand.<sup>22</sup>

Die für die weiteren Ausführungen maßgebliche Bestellpolitik verwendet einen konstanten Bestellzyklus bei variabler Bestellmenge  $(t, S)$ . Ausgegangen wird dabei von fest

<sup>19</sup> Vgl. Alicke (2003), S. 57

<sup>20</sup> Vgl. Alicke (2003), S. 57f.

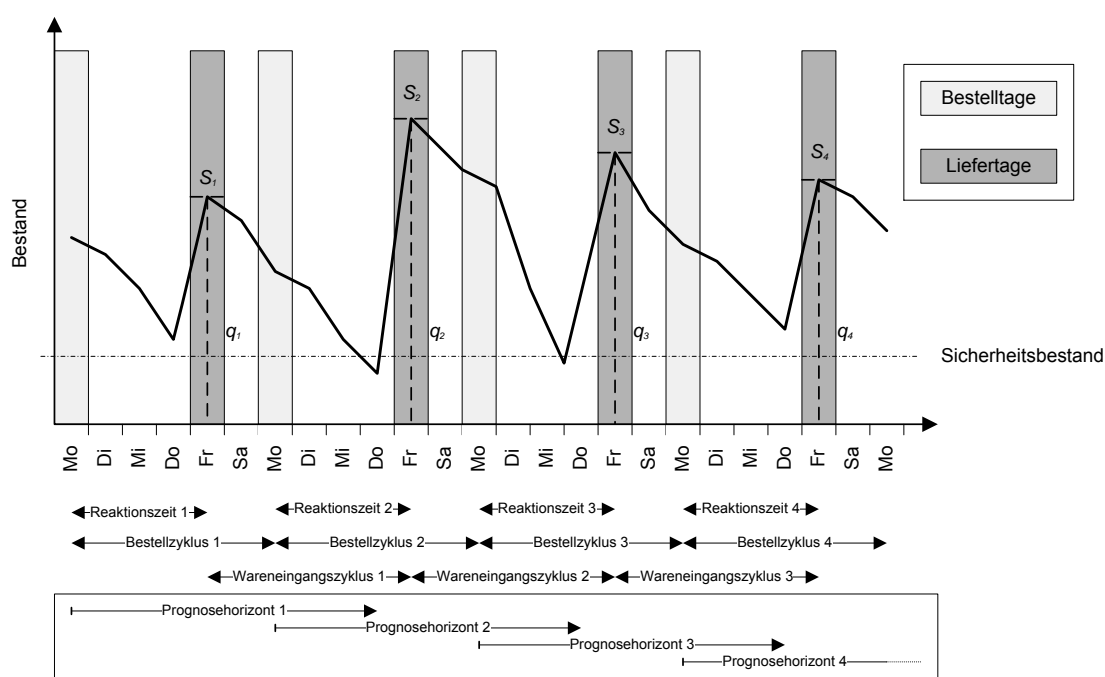
<sup>21</sup> Vgl. Alicke (2003), S. 58ff.

<sup>22</sup> Vgl. Alicke (2003), S. 62f.

definierten Bestellzyklen, einer deterministischen Reaktionszeit und variablen Bestellmengen.

In Abbildung 4 wird das hier verwendete Lagerhaltungsmodell anhand eines Beispiels dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der konstante Bestell- und Wareneingangszyklus von sechs Werktagen. Bestellt wird immer montags, die Lieferung erfolgt am darauffolgenden Freitag. Daraus ergibt sich eine Reaktionszeit von vier Tagen. Die für jeden Zyklus  $i$  zu bestellende Menge  $q_i$  ergibt sich aus der Bedarfsprognose für den durch die Bestellung abzudeckenden Verkaufszeitraum. Hier ist zu beachten, dass das Bestellniveau  $S_i$  nicht festgelegt wird, sondern sich aus den Abverkaufsprognosen des für die Bestellung relevanten Zeitraums ergibt.

**Abbildung 4: Lagerhaltungsmodell**



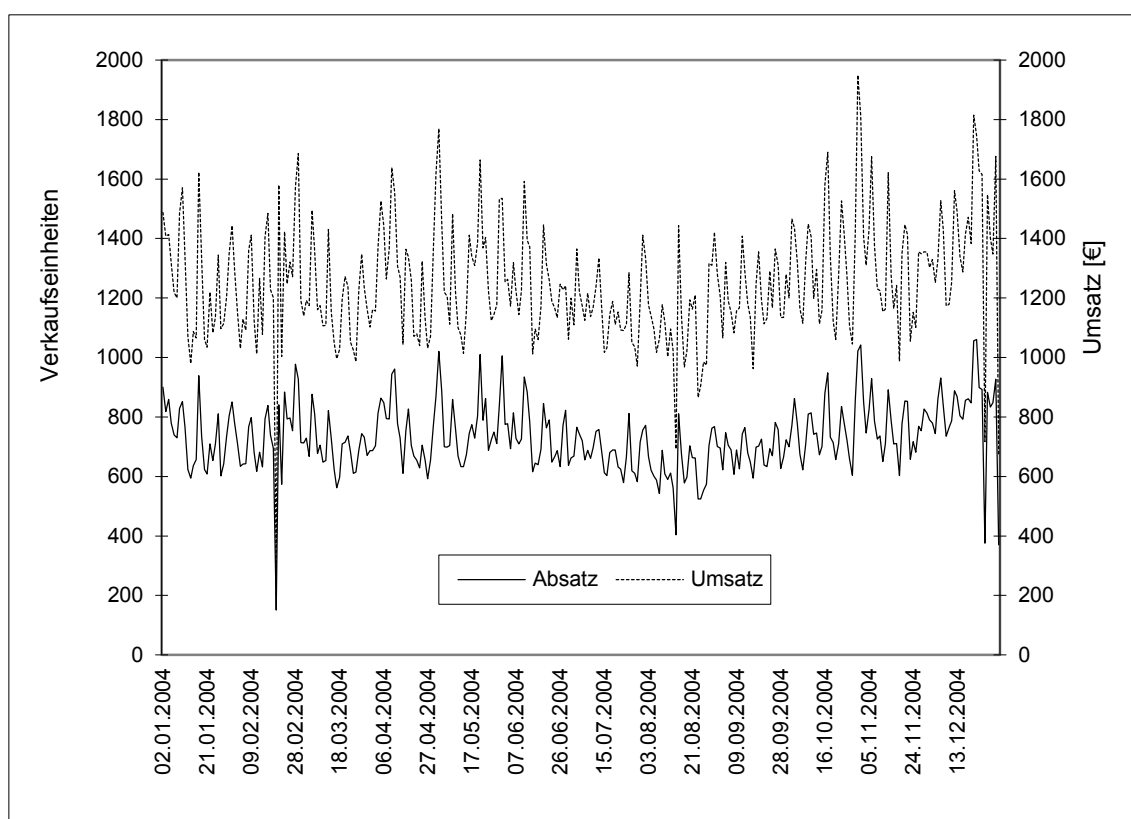
Der einer Bestellung zugrundeliegende Prognosehorizont setzt sich aus der Reaktionszeit und der Zeit zwischen zwei Wareneingängen (Wareneingangszyklus) zusammen. Zum Zeitpunkt einer Bestellung muss der aktuelle Bestand, der definierte Sicherheitsbestand, der erwartete Abverkauf innerhalb des Zeitraums bis zum Wareneingang der bestellten Ware (Reaktionszeit) und der erwartete Abverkauf innerhalb des Zeitraums des folgenden Wareneingangszyklus berücksichtigt werden. Ergebnis dieser Prognose ist das für diesen Bestellzeitpunkt notwendige Bestellniveau  $S_i$  und die sich daraus ableitende Bestellmenge  $q_i$ . Variationen dieser  $(t,S)$  - Bestellpolitik und damit die Grundlage

der verwendeten Simulationen ergeben sich aus der Festlegung unterschiedlicher Bestellzyklen, die in Abschnitt 5 dargestellt werden.

#### 4.2 Abverkaufsmengen und Umsatzgrößen

In *Abbildung 5* sind die aggregierten Abverkaufs- und Umsatzmengen der 242 Artikel für die verkaufsoffenen Tage innerhalb des betrachteten Zeitraums dargestellt. Die Abverkaufsmengen werden in Verkaufseinheiten dargestellt, die Umsatzmengen in den mit dem Verkaufspreis gewichteten Verkaufseinheiten.

**Abbildung 5: Abverkäufe**



Zu erkennen ist, dass sich die täglichen Abverkäufe um einen Mittelwert von ca. 730 Verkaufseinheiten bewegen. Im Unterschied zum restlichen Jahr, in dem das Niveau der Abverkäufe relativ konstant ist, zeigt sich in den Sommermonaten eine Niveauverschiebung der täglichen Abverkäufe nach unten. An vier Tagen im betrachteten Zeitraum zeigen sich auffällig niedrige Extremwerte in der Abverkaufsmenge. Während sich am 24.12.2004 und beim 31.12.2004 die niedrigen Werte durch die verringerte Ladenöffnungszeiten erklären lassen, sind die niedrigen Werte am 19.2.2004 und 14.8.2004 auf innerbetriebliche Maßnahmen zurückzuführen. Auch für den Umsatz lässt sich die oben beschriebene Struktur erkennen, wobei der mittlere tägliche Umsatz der betrachteten Warengruppe bei ca. 1250 € liegt.

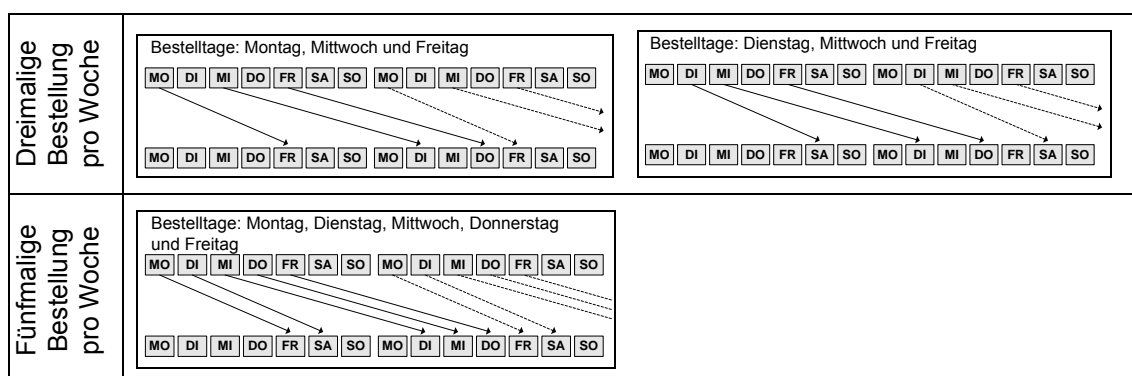
### 5 Simulation unterschiedlicher Bestellzyklen

Die Simulation der verschiedenen Bestellzyklen erfolgt auf Basis der tatsächlichen Abverkäufe des betrachteten Untersuchungszeitraums (1.1.2004 bis 31.12.2004). Ausgehend von diesen tatsächlichen Abverkäufen werden für verschiedene Bestellzyklen die zur Deckung dieses Bedarfes notwendigen Bestellmengen simuliert. Erforderlich hierfür ist zusätzlich die Kenntnis über die artikelbezogene Größe der Logistischen Einheit und damit der Bestelleinheit jedes Artikels, die im betrachteten Zeitraum konstant bleibt. Grundsätzlich wird bei den Simulationen mit einer im betrachteten Zeitraum konstanten Reaktionszeit von vier Werktagen (z.B. Montag bis Freitag) kalkuliert. Der Samstag nimmt bei dieser Kalkulation insofern eine Sonderstellung ein, als dass er zwar weder bei der Bestimmung der Reaktionszeit als Werktag gilt noch ein Bestelltag ist, trotzdem aber ein Wareneingang in der Filiale samstags möglich ist.

Bei der Simulation der unterschiedlichen Bestellzyklen sind im ersten Schritt fünf Hauptgruppen zu unterscheiden: alle zwei Wochen, einmal pro Woche, zweimal pro Woche, dreimal pro Woche und fünfmal pro Woche. In einem zweiten Schritt wird innerhalb der Hauptgruppen zwischen möglichen Kombinationen von Bestelltagen unterschieden.

Tabelle 1: Hauptgruppen und Untertypen der Simulation

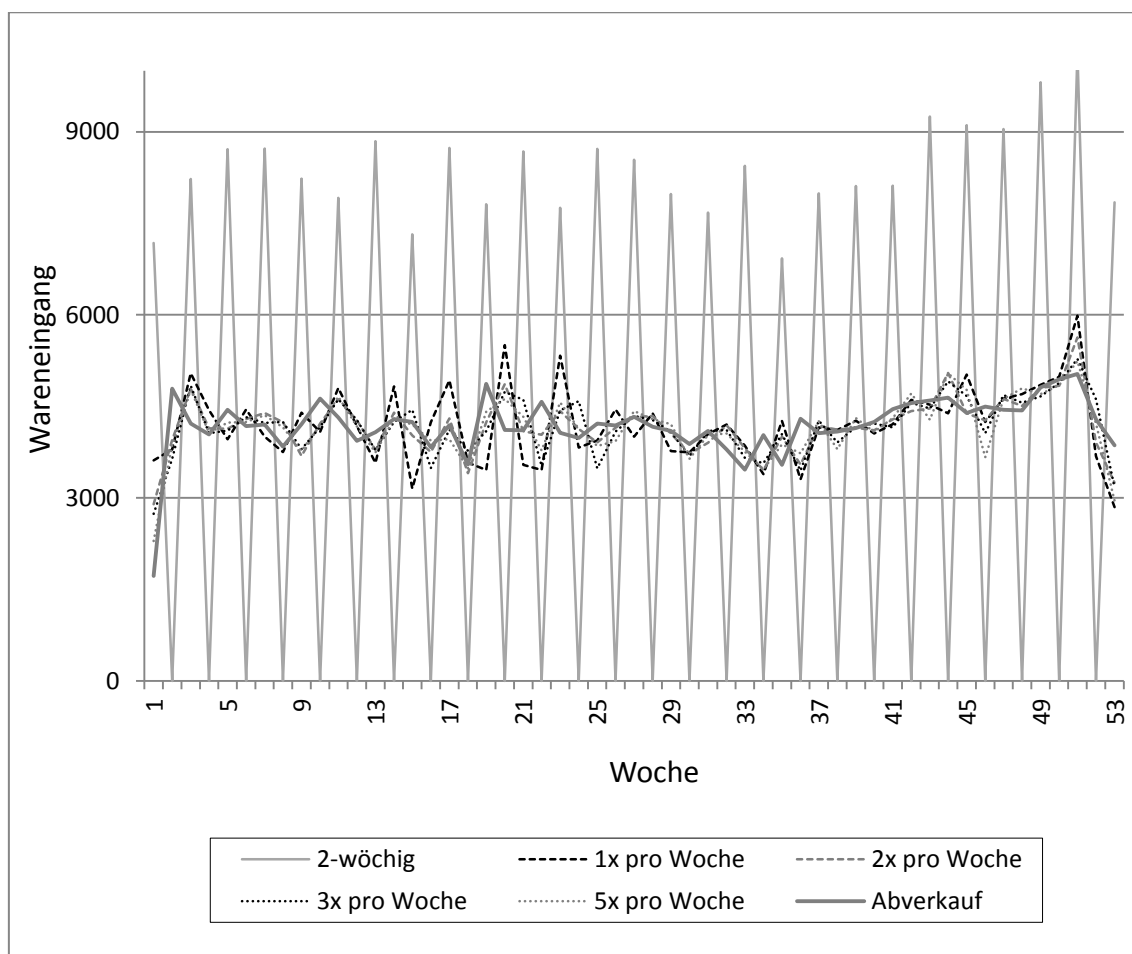
Zweiwöchige Bestellung	<p>Bestelltag: Donnerstag</p>
Einmalige Bestellung pro Woche	<p>Bestelltag: Montag</p>
Zweimalige Bestellung pro Woche	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>Bestelltage: Montag und Mittwoch</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>Bestelltage: Montag und Donnerstag</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>Bestelltage: Dienstag und Donnerstag</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>Bestelltage: Dienstag und Freitag</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>Bestelltage: Mittwoch und Freitag</p> </div> </div>



Die jeweiligen Bestell- und Belieferungstage innerhalb der fünf Hauptgruppen ergeben sich aus praktischer Sicht und sind das Resultat logistischer Belieferungs- und Transportrestriktionen. Diese Restriktionen führen auch dazu, dass die Lieferzeit in Abhängigkeit vom Bestellzyklus und vom Wochentag der Bestellung variiert. Bei einem zweiwöchigen Bestellzyklus kann jeden zweiten Donnerstag bestellt werden, die Warenlieferung erfolgt dann am Mittwoch der darauffolgenden Woche. Bei einem wöchentlichen Bestellzyklus kann die Bestellung jeweils montags erfolgen, geliefert wird dann am Freitag derselben Woche. Bei zweimaliger Bestellung pro Woche werden fünf verschiedenen Kombinationen von zwei möglichen Bestelltagen innerhalb einer Woche betrachtet. Bei der dreimaligen Bestellung pro Woche wird zwischen zwei verschiedenen Kombinationen von Bestelltagen innerhalb einer Woche unterschieden. Bei der fünfmaligen Bestellung pro Woche kann bis auf Samstag an jedem Tag bestellt werden.

Auf Grundlage der in den verschiedenen Simulationen berechneten Bestellmengen unter Berücksichtigung der artikelspezifischen Logistischen Einheiten, der definierten Reaktionszeit und der tatsächlichen Abverkäufe können dann für die einzelnen Simulationen der Wareneingang und der Bestand in der Filiale ermittelt werden. Ergebnis jeder dieser insgesamt zehn Simulation sind artikelspezifische Zeitreihen des täglichen Bestands, der Bestellmenge, der Wareneingangsmenge und des für alle Simulationen gleichen Abverkaufs, gemessen in Verkaufseinheiten.

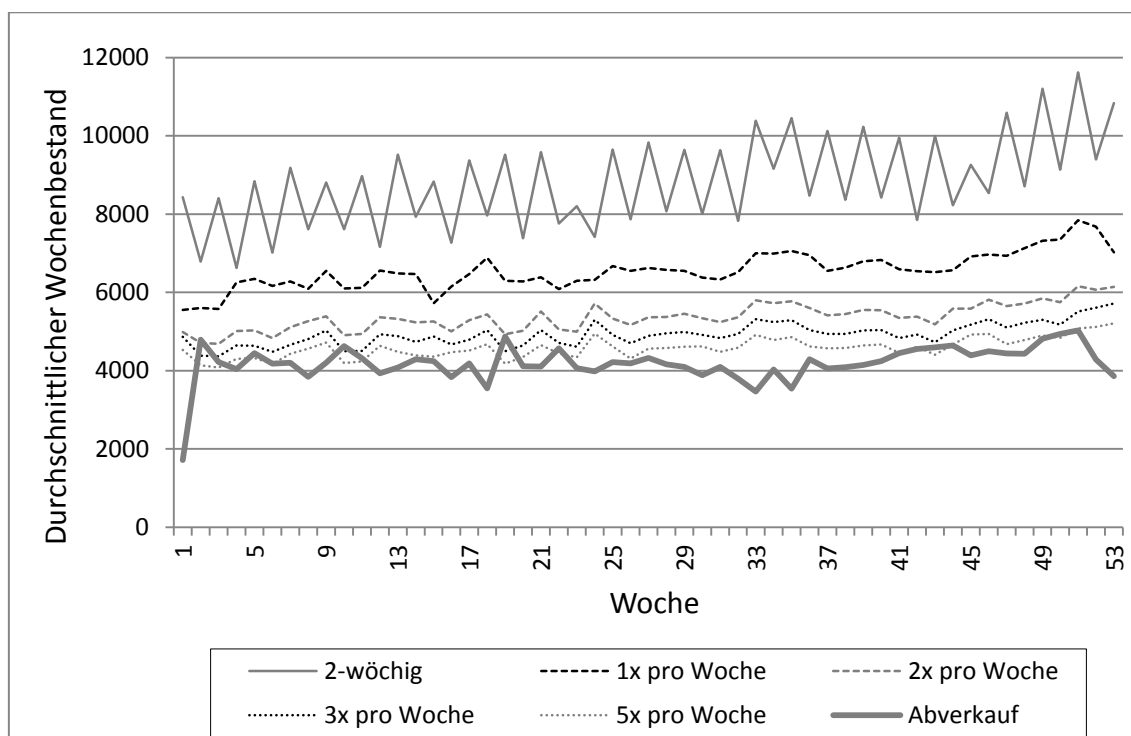
Die Zeitreihen der Wareneingänge und Bestände werden aggregiert auf Wochenwerte im Folgenden dargestellt. Zu berücksichtigen ist, dass bei den Hauptgruppen der Simulation, die mehrere Kombinationsmöglichkeiten von Bestelltagen haben, über die Untertypen gemittelt wurde. Abbildung 6 zeigt die wöchentlichen Wareneingänge für die fünf Hauptgruppen der Simulation und zusätzlich die für alle Hauptgruppen gleichen Abverkäufe, jeweils gemessen in Verkaufseinheiten.

**Abbildung 6: Wöchentliche Wareneingangsmengen der verschiedenen Bestellzyklen**

Zu erkennen ist, dass sich alle fünf Zeitreihen um einen Mittelwert von ca. 4200 Verkaufseinheiten pro Woche im Wareneingang bewegen. Während die Zeitreihe für den zweiwöchigen Bestellzyklus ein strukturbedingtes Sägezahnmuster aufweist, verlaufen die übrigen Zeitreihen mehr oder weniger gleichförmig. Lediglich zwischen der 14 und 24 Kalenderwoche finden sich stärkere Differenzen in den Wareneingangsmengen. Hier lässt sich auch beobachten, dass die Stärke der Abweichungen nach oben und unten vom Bestellzyklus abhängig ist. Je öfter bestellt und geliefert wird, umso gleichförmiger verläuft die Zeitreihe, da sich die Wareneingangsmengen besser über die Zeit verteilen.

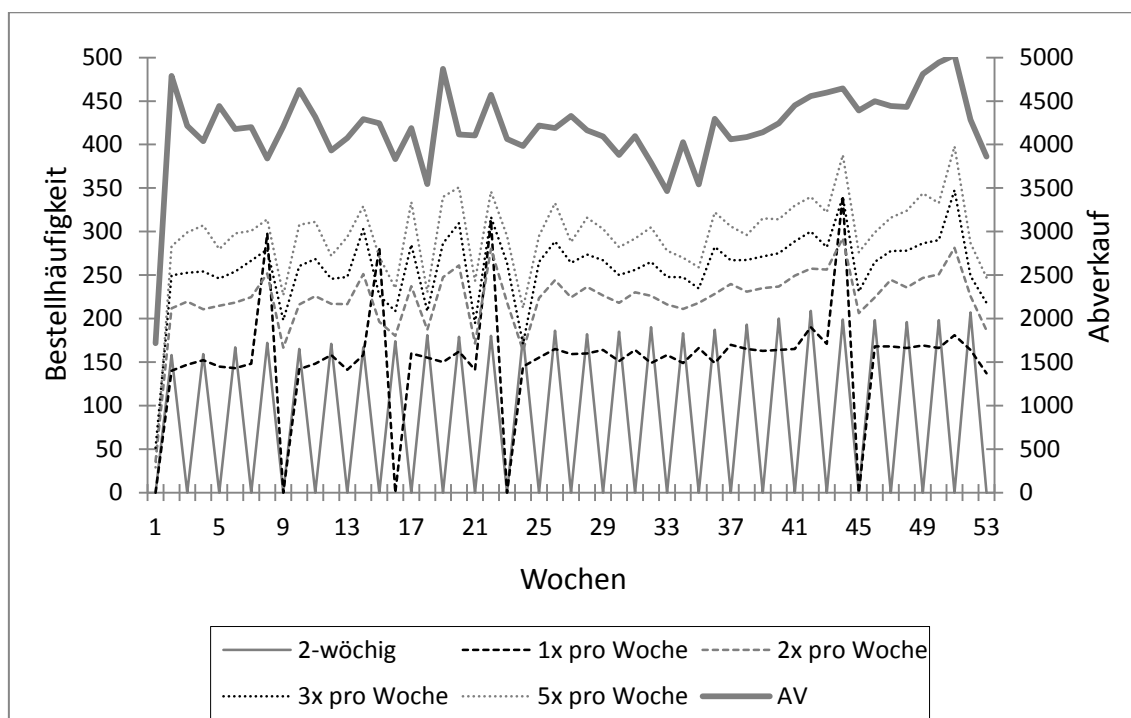
Die unterschiedlichen wöchentlichen Wareneingangsmengen innerhalb der betrachteten Bestellzyklen wirken sich natürlich ganz erheblich auf die Warenbestandsmengen aus. Ein Blick auf die durchschnittlichen wöchentlichen Bestände der verschiedenen Bestellzyklen in Verbindung mit den wöchentlichen Abverkäufen erlaubt Abbildung 7.



**Abbildung 7: Durchschnittliche wöchentliche Bestandsmengen der verschiedenen Bestellzyklen**

Deutlich zu erkennen sind die Niveauunterschiede des Bestandes bei den verschiedenen Bestellzyklen. Je häufiger bestellt werden kann, umso geringer ist der durchschnittliche Bestand. Weiterhin ist zu beobachten, dass die Streuung der jeweiligen Zeitreihen um ihren Mittelwert mit zunehmender Bestellhäufigkeit ebenfalls abnimmt. Je häufiger bestellt werden kann, umso gleichförmiger ist die Bestandsentwicklung in der Zeit. Während die Bestandsentwicklung beim zweiwöchigen Bestellzyklus aufgrund der oben beschriebenen Struktur ein starkes Sägezahnmuster aufweist, verlaufen die übrigen Bestandszeitreihen mehr oder weniger parallel.

Auch die Anzahl der administrativen Vorgänge unterscheidet sich zwischen den Bestellzyklen stark. In Abbildung 8 werden die wöchentliche Anzahl der Bestellungen innerhalb der verschiedenen Bestellzyklen und die wöchentlichen Abverkäufe gegenübergestellt. Bei dieser Betrachtung zeigt sich für den zweiwöchentlichen Bestellzyklus ebenfalls das bekannte Sägezahnmuster. Im Unterschied zur der Betrachtung der wöchentlichen Bestandsmengen steigt die Zahl der Bestellungen mit zunehmender Bestellhäufigkeit jedoch an.

**Abbildung 8: Wöchentliche Bestellhäufigkeit der verschiedenen Bestellzyklen**

Die bei einem Bestellzyklus von einmal pro Woche gut zu erkennenden Abweichungen erst nach oben und dann nach unten resultieren aus den in den jeweiligen Wochen vorkommenden Feiertagen, die auf den Bestelltag fallen. Fällt ein Bestelltag aus, müssen bereits in der vorherigen Woche die für alle Artikel notwendigen Mengen berücksichtigt werden. Dies führt zu einer erhöhten Bestellhäufigkeit in der Vorwoche und einer Nichtbestellung am Feiertag. Derselbe Effekt lässt sich auch bei den anderen Bestellzyklen in abgeschwächter Form erkennen.

Zusätzlich zeigen sich bei den zwei-, drei- und fünfmaligen Bestellzyklen deutliche Reaktionen auf die Abverkäufe. Bei stark steigenden Abverkäufen, wie in der 19., 36. und 51. Woche, steigt die Bestellhäufigkeit ebenfalls mit an.

## 6 Kostenbestimmung der simulierten Bestellzyklen

Zur Entscheidungsfindung im Hinblick auf Profitabilität ist die Kenntnis der für den Profit maßgeblichen Faktoren notwendig.<sup>23</sup> Identifiziert wurden hier als maßgebliche Faktoren hinsichtlich der Betrachtung verschiedener Bestellzyklen die Bestellauslösung, die Bestandshaltung sowie die Kommissionierung im Distributionszentrum (Picking) und Warenverräumung in der Filiale (Handling). Für jeden dieser Faktoren sind die geeigneten Kostentreiber zu identifizieren. Hierbei ist besonderes Augenmerk auf die Be-

<sup>23</sup> Vgl. Stapleton (2004), S. 584

rücksichtigung der in Kapitel 3 dargestellten CO<sub>2</sub>-Kosten zu legen, um im Rahmen der Process Analysis (PA) unter ausschließlicher Berücksichtigung der direkten Einflussgrößen zu realistischen Kostensätzen zu kommen. Im Bereich der stationären Emissionsquellen müssen CO<sub>2</sub>-Kosten berücksichtigt werden, die im Bereich der Lagerung von Beständen anfallen. Bestellauslösung, Picking und Handling fallen im Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Kosten in den Bereich der nicht-stationären Emissionsquellen. Bei den Bestellkosten handelt es sich um Kosten administrativer Prozesse, die bei der Erstellung der Bestellung unmittelbar anfallen. Picking- und Handlingkosten entstehen bei der Ortsveränderung der betrachteten Handelswaren im Distributionszentrum und in der Filiale. Die Bestandskosten beinhalten alle Kostenarten, die bei der Lagerung von Handelswaren anfallen. Im Folgenden werden die Algorithmen zur Bestimmung der verschiedenen Kostenarten definiert und erläutert.

### 6.1 Bestellkosten

Als Kostentreiber der Bestellkosten wird die Bestellauslösung, also die einzelne Bestellposition, definiert. Bestellkosten entstehen dann in Höhe des Bestellkostensatzes, wenn zu einem Zeitpunkt ein bestimmter Artikel bestellt wird, unabhängig von der Bestellmenge dieses Artikels. Die direkten CO<sub>2</sub>-Kosten der administrativen Bestellprozesse, kalkuliert auf Basis der einzelnen Bestellpositionen, können in die Berechnung des Bestellkostensatzes aufgenommen werden, wobei der Anteil eher als gering anzunehmen ist.

Die Gesamtbestellkosten aller Artikel in einer Periode berechnen sich dann wie folgt:

$$K_{Bestellung} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T K_{BP}^{Bestellung} \cdot I_{it}^{Bestellung} \right)$$

mit

$$i = 1, \dots, n \text{ Artikel}$$

$$t = 1, \dots, T \text{ Zeitpunkte}$$

$$I_{it}^{Bestellung} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Artikel } i \text{ zum Zeitpunkt } t \text{ bestellt wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$K_{BP}^{Bestellung} = \text{Bestellkostensatz pro Bestellposition}$$

Die Indikatorvariable  $I_{it}^{Bestellung}$  dient zur Identifizierung der Bestellung eines Artikels  $i$  zum Zeitpunkt  $t$ . Im Falle einer Bestellung eines Artikels  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  wird der Bestellkostensatz  $K_{BP}^{Bestellung}$  in die Summe der Gesamtbestellkosten aller  $n$  Artikel über den gesamten Zeitraum  $T$  aufgenommen.

## 6.2 Pickingkosten

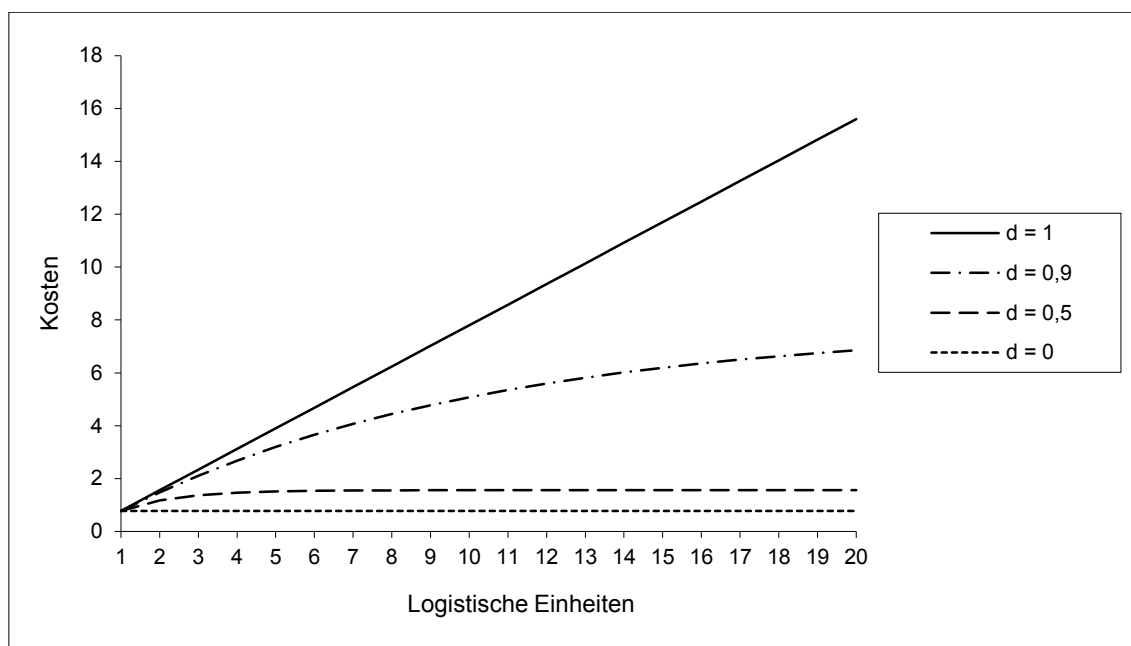
Kostentreiber der Pickingkosten ist die Logistische Einheit. Die Pickingkosten werden durch die Menge der zu kommissionierenden Waren verursacht. Um abnehmende Grenzkosten bei steigenden Warenmengen zu berücksichtigen, wird hier zusätzlich ein Diskontfaktor eingeführt. Dieser Diskontfaktor erlaubt es, den Kostentreiber variabel zwischen Logistischer Einheit und Warenausgangsaktivität zu wählen.

Im Hinblick auf die Kalkulation des CO<sub>2</sub>-Anteils an den Pickingkosten erscheint die Möglichkeit der Berücksichtigung degressiver Grenzkosten ebenfalls sinnvoll. Die Verwendung der Logistischen Einheit als Kostentreiber impliziert, dass Veränderungen der Bestellzyklen, die ja keine Veränderungen in den insgesamt abzufertigenden Mengen zur Folge haben, sich nicht auf die CO<sub>2</sub>-Kosten auswirken. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die im Pickingbereich erfassten physischen Ortsveränderungsprozesse abnehmende CO<sub>2</sub>-Grenzkosten aufweisen. In Tabelle 2 sind die drei möglichen Realisierungen des Diskontfaktors dargestellt und erläutert.

**Tabelle 2: Diskontfaktoren**

Diskontfaktor	Kostenverlauf
$d = 1$	Die Pickingkosten steigen in Abhängigkeit von den Warenausgangsmengen linear an (konstante Grenzkosten).
$0 < d < 1$	Die Pickingkosten steigen in Abhängigkeit von den Warenausgangsmengen degressiv an (abnehmende Grenzkosten).
$d = 0$	Die Pickingkosten hängen nicht von den Warenausgangsmengen sondern nur von der Anzahl von Warenausgängen ab (Grenzkosten von 0).

In Abbildung 9 werden die Verläufe der Pickingkosten bei steigenden kommissionierten Mengen in Abhängigkeit von verschiedenen Diskontfaktoren dargestellt. Während bei einem Diskontfaktor von 0 die Pickingkosten unabhängig von der kommissionierten Menge sind, steigen sie bei einem Diskontfaktor von 1 linear an. Im Bereich zwischen 0 und 1 ist der degressive Verlauf der Kostenfunktion zu erkennen. Je höher der Diskontfaktor ist, umso höher ist der Einfluss der kommissionierten Menge auf die Kosten.

**Abbildung 9: Kostenfunktionen in Abhängigkeit vom Diskontfaktor**

Unterstellt man einen linearen Anstieg der Pickingkosten in Abhängigkeit von der Warenausgangsmenge ( $d = 1$ ) berechnen sich die Gesamtpickingkosten wie folgt:

$$K_{Picking}^{d=1} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \frac{WA_{it}}{L_i} \cdot K_{LogE}^{Picking} \cdot I_{it}^{WA} \right)$$

mit

$$I_{it}^{WA} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Artikel } i \text{ zum Zeitpunkt } t \text{ kommissioniert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$K_{LogE}^{Picking}$  = Pickingkosten pro Logistische Einheit

$WA_{it}$  = Warenausgangsmenge für Artikel  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  in Verkaufseinheiten

$L_i$  = Größe der Logistischen Einheit in Verkaufseinheiten des Artikels  $i$

Die Warenausgangsmenge  $WA_{it}$  in Verkaufseinheiten von Artikel  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  wird auf die diesem Artikel zugrundeliegende Logistische Einheit  $L_i$  normiert und mit dem auf Logistischen Einheiten basierenden Pickingkostensatz  $K_{LogE}^{Picking}$  gewichtet. Die Indikatorvariable  $I_{it}^{WA}$  identifiziert die Zeitpunkte mit Warenausgang für jeden Artikel.

Die Annahme abnehmender Grenzkosten ( $0 < d < 1$ ) führt zur folgenden Kostenfunktion zur Bestimmung der Pickingkosten.

$$K_{Picking}^d = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \frac{1-d}{1-d} \frac{WA_{it}}{L_i} \cdot K_{LogE}^{Picking} \cdot I_{it}^{WA} \right)$$

mit

$d$  = Diskontfaktor ( $0 < d < 1$ )

Zu erkennen ist, dass die Anzahl der kommissionierten Logistischen Einheiten  $\frac{WA_{it}}{L_i}$  nicht direkt mit dem Pickingkostensatz  $K_{LogE}^{Picking}$  bewertet werden, sondern in der Potenz des Diskontfaktors  $d$ . Die Verringerung des Diskontfaktors  $d$  führt damit zu einer steigenden Berücksichtigung abnehmender Grenzkosten.

Wird der Diskontfaktor auf null gesetzt ( $d = 0$ ), führt das dazu, dass bei der Kostenbestimmung der Pickingkosten nicht mehr die Logistische Einheit, sondern die Warenausgangshäufigkeit im Distributionszentrum als Kostentreiber fungiert. Die Pickingkosten werden unabhängig von den jeweiligen Warenausgangsmengen lediglich auf Basis der Häufigkeit der Warenausgänge bestimmt.

$$K_{Picking}^{d=0} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T K_{LogE}^{Picking} \cdot I_{it}^{WA} \right)$$

Der Pickingkostensatz  $K_{LogE}^{Picking}$  wird dann in die Gesamtkostensumme aufgenommen, wenn die Indikatorvariable  $I_{it}^{WA}$  einen Warenausgang des Artikels  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  identifiziert.

### 6.3 Handlingkosten

Die Handlingkosten fallen im Wareneingang und der Verräumung in der Filiale an. Ebenso wie bei den Pickingkosten wird als Kostentreiber die Logistische Einheit im Wareneingang der Filiale angenommen. Durch die Berücksichtigung eines Diskontfaktors können, wie bei den Pickingkosten, unterschiedliche Verläufe der Kostenfunktion berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Kosten der Prozesse der Warenverräumung in der Filiale gelten die gleichen Überlegungen, wie bei den Pickingkosten. Auch hier handelt es sich um physische Ortsveränderungsprozesse, bei denen abnehmende CO<sub>2</sub>-Grenzkosten zu erwarten sind.

Die Gesamthandlingkosten unter der Annahme konstanter Grenzkosten ( $d = 1$ ) werden analog zu den Pickingkosten folgendermaßen bestimmt:

$$K_{Handling}^{d=1} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \frac{WE_{it}}{L_i} \cdot K_{LogE}^{Handling} \cdot I_{it}^{WE} \right)$$

mit

$$I_{it}^{WE} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Artikel } i \text{ zum Zeitpunkt } t \text{ im Wareneingang verarbeitet wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$K_{LogE}^{Handling}$  = Handlingkosten pro Logistische Einheit

$WE_{it}$  = Wareneingangsmenge für Artikel  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  in Verkaufseinheiten

$L_i$  = Größe der Logistischen Einheit in Verkaufseinheiten des Artikels  $i$

Im Unterschied zur Kalkulation der Pickingkosten werden hier Wareneingangsmengen in der Filiale  $WE_{it}$  und der Handlingkostensatz  $K_{LogE}^{Handling}$  verwendet.

Bei der Annahme eines degressiven Kostenverlaufs ( $0 < d < 1$ ) erfolgt die Bestimmung der Gesamthandlingkosten wie folgt:

$$K_{Handling}^d = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \frac{1-d}{1-d} \cdot \frac{WE_{it}}{L_i} \cdot K_{LogE}^{Handling} \cdot I_{it}^{WE} \right)$$

mit

$d = \text{Diskontfaktor } (0 < d < 1)$

Ein Diskontfaktor von 0 führt zu folgender Kostenkalkulation:

$$K_{Handling}^{d=0} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{t=1}^T K_{LogE}^{Handling} \cdot I_{it}^{WE} \right)$$

#### 6.4 Bestandskosten

Die klassischen variablen Bestandskosten umfassen neben den Zinsen für das in den Beständen gebundene Kapital die Kosten für Diebstahl und Schwund. Die Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Kosten erfordert eine Erweiterung dieser Betrachtungsweise. Während die indirekten Bestandteile des CF bis zu diesem Zeitpunkt in dem Einkaufspreis  $P_i$  enthalten sind, müssen CO<sub>2</sub>-Kosten, die in Abhängigkeit von Lagermenge und –dauer entstehen, im Kalkulationssatz für Bestandskosten pro Jahr ( $ICC$ ) berücksichtigt werden.

Auf Basis täglich verfügbarer Bestandsdaten können die gesamten Bestandskosten dann wie folgt ermittelt werden:

$$K_{Bestand} = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^n B_{it} \cdot P_i \cdot \frac{ICC}{T} \right)$$

mit

$B_{it}$  = Bestand von Artikel  $i$  zum Zeitpunkt  $t$

$P_i$  = Einkaufspreis des Artikels  $i$

$ICC$  = Kalkulationssatz für Bestandskosten pro Jahr

$T$  = Anzahl der Tage

Auf Basis des jährlichen Kalkulationssatzes der Bestandskosten  $ICC$  und der Anzahl der Tage der Periode  $T$  wird der tägliche Kalkulationssatz bestimmt. Das zum Zeitpunkt  $t$  für Artikel  $i$  gebundene Kapital, berechnet auf Grundlage des zum Einkaufs-

preis bewerteten Bestandes in der Filiale ( $B_{it} \cdot P$ ), wird mit dem täglichen Kalkulationsatz gewichtet.

### 6.5 Gesamtkosten

Bei der Bestimmung der Kosten für die einzelnen simulierten Bestellzyklen wird mit im betrachteten Zeitraum konstanten Kostensätzen gearbeitet. Die logistischen Gesamtkosten ergeben sich danach als Addition der einzelnen definierten Kostenarten:

$$K_{Gesamt} = K_{Bestellung} + K_{Picking}^d + K_{Handling}^d + K_{Bestand}$$

Während die Bestell- und Bestandskosten durch die Ergebnisse der Simulation und die verwendeten Kostensätze determiniert werden, können die Picking- und Handlingkosten über den Diskontfaktor  $d$  unterschiedlichen Szenarien und Ausgangssituationen angepasst werden.

## 7 Kostenanalyse der Simulationen

Zunächst werden die einzelnen Kostenarten getrennt voneinander in Abhängigkeit vom Bestellzyklus in einer über alle 242 Artikel und den gesamten Beobachtungszeitraum aggregierten Form betrachtet. Bei den Picking- und Handlingkosten wird zusätzlich noch nach den verschiedenen verwendeten Diskontsätzen unterschieden. Im Anschluss daran wird die Zusammensetzung der Gesamtkostenfunktionen analysiert und in einem weiteren Schritt Veränderungen in der Gesamtkostenfunktion bei variierender Zusammensetzung der einzelnen Kostenarten betrachtet.

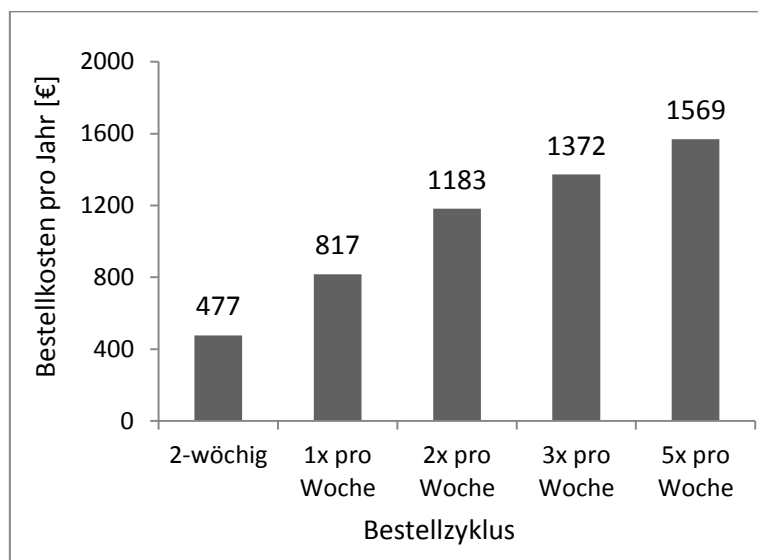
Für die Bestellkosten wird für jede artikelspezifische Bestellauslösung ein Kostensatz von 0,10 € festgelegt. Die Pickingkosten werden auf Basis der Warenmenge mit einem Kostensatz von 0,78 € pro Logistischer Einheit, die Handlingkosten mit einem Kostensatz von 0,20 € pro Logistischer Einheit definiert. Für die Bestandskosten wird mit einem jährlichen Kalkulationssatz von 30 Prozent auf das durch Lagerhaltung gebundene Kapital gerechnet, wobei hier als zusätzliche Information die im betrachteten Zeitraum konstanten artikelbezogenen Einkaufspreise einfließen. Die hier verwendeten Kostensätze sind das Ergebnis betriebswirtschaftlicher Kalkulationen im Rahmen des hier betrachteten Fallbeispiels. Die Ermittlung dieser Kostensätze, und hier vor allem auch die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Kostenanteile, sind ein eigenständiges Problem, bei dem auf Basis der betrachteten und definierten Prozesse unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Restriktionen und Chancen geeignete Verfahren entwickelt werden müssen.



### 7.1 Bestellkosten

Die Bestellkosten, deren Höhe nicht von der Bestellmenge, sondern lediglich von der Bestellhäufigkeit pro Artikel abhängen, werden mit einem Betrag von 0,10 € pro Bestellposition kalkuliert. Für die fünf betrachteten Bestellzyklen ergibt sich daraus folgendes Bild.

**Abbildung 10: Bestellkosten**

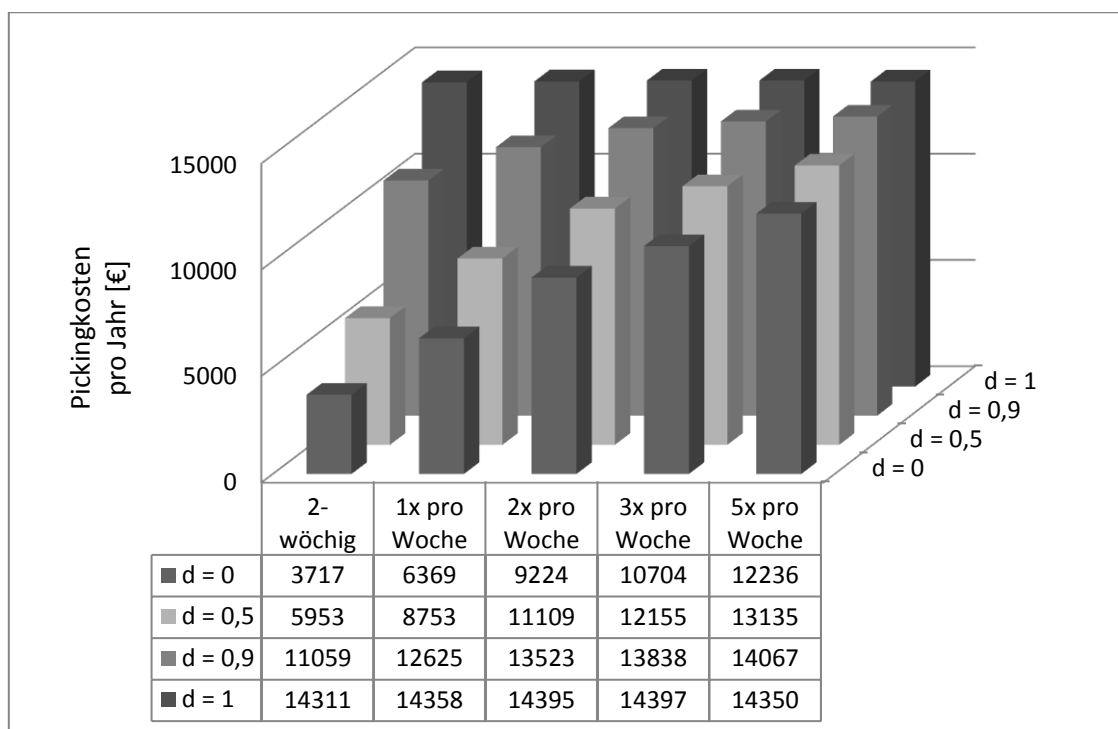


In Abbildung 10 ist deutlich zu erkennen ist, dass die Bestellkosten mit der Bestellhäufigkeit anwachsen, da kleinere Mengen häufiger bestellt werden.

### 7.2 Pickingkosten

Die Pickingkosten werden auf Basis der logistischen Einheiten mit einem Pickingkostensatz von 0,78 € bestimmt. Abbildung 11 zeigt die Pickingkosten in Abhängigkeit vom verwendeten Diskontfaktor für die fünf Hauptgruppen der Bestellzyklen. Zu erkennen ist, dass grundsätzlich die Pickingkosten unabhängig von Diskontfaktor mit der Bestellhäufigkeit steigen. Je größer der Einfluss der bei der Kommissionierung verarbeiteten Mengen auf die Höhe der Pickingkosten ist (ansteigender Diskontfaktor), umso geringer ist der Kostenanstieg bei häufigerer Belieferung. Weiterhin zeigt sich, dass innerhalb jedes Bestellzyklus die Pickingkosten mit steigendem Einfluss der kommissionierten Menge steigen.

Abbildung 11: Pickingkosten in Abhängigkeit vom Diskontfaktor



Bei einem Diskontfaktor von 1 sind Unterschiede in den aggregierten Kosten der verschiedenen Bestellzyklen sehr gering. Ursache dafür ist, dass bei der Annahme konstanter Grenzkosten die Pickingkosten auf Basis der im Verteilzentrum kommissionierten logistischen Einheiten bestimmt werden. Die Pickingkosten hängen somit nicht von der Bestellhäufigkeit und damit von den einzelnen Bestellzyklen ab, sondern ausschließlich von den Warenausgangsmengen, die in der Summe bei allen Bestellzyklen fast gleich sind.

Bei Verwendung eines Diskontfaktors von 0,9 zeigt sich, dass die Pickingkosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit ebenfalls zunehmen. Ursache hierfür ist der degressive Kostenanstieg bei zunehmenden Bestellmengen. Dieser Effekt lässt sich auch für einen Diskontfaktor von 0,5 beobachten, wobei der Kostenanstieg bei zunehmender Bestellhäufigkeit stärker ausfällt.

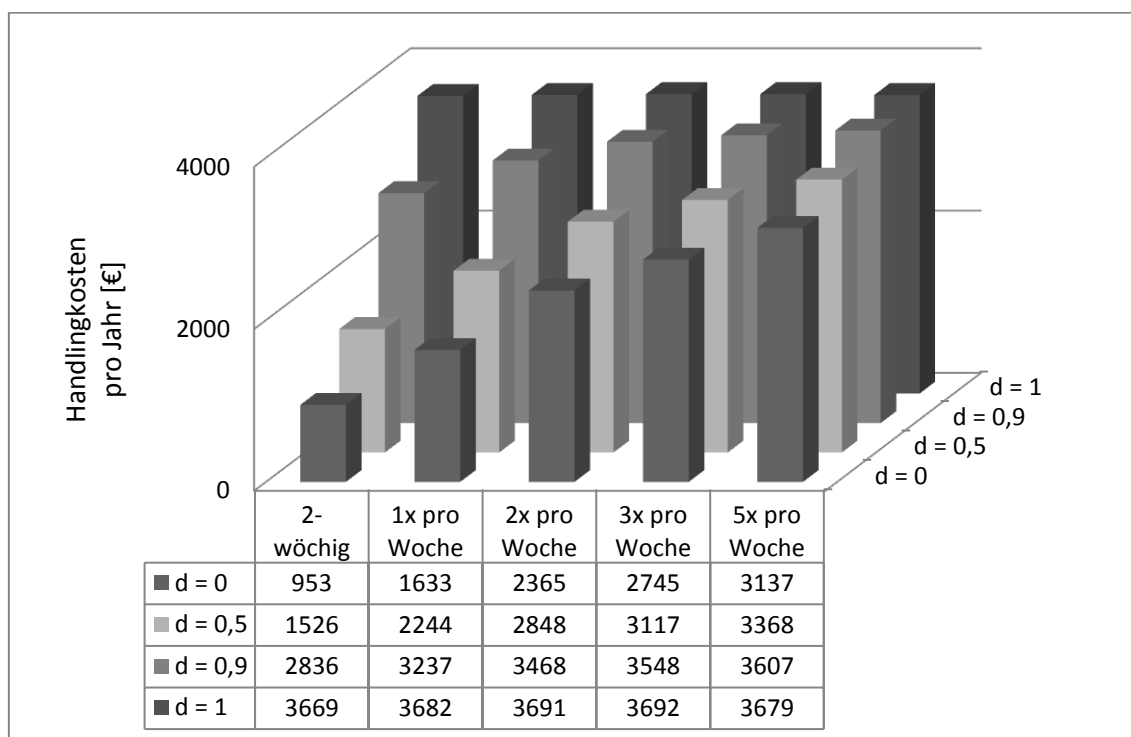
Bei einem Diskontfaktor von 0 steigen die Kosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit am stärksten. Grund hierfür ist, dass in diesem Fall die Warenausgangsmengen keine Rolle mehr spielen sondern als Kostentreiber die Warenausgangshäufigkeiten fungieren, die mit zunehmender Bestellhäufigkeit ebenfalls zunehmen.

### 7.3 Handlingkosten

Auch beim Handling zeigt sich, dass die Kosten, kalkuliert mit einem Handlingkostensatz von 0,20 €, der verschiedenen Bestellzyklen sich für einen steigenden Diskontfak-

tor und damit für eine zunehmende Berücksichtigung der Wareneingangsmengen annähern.

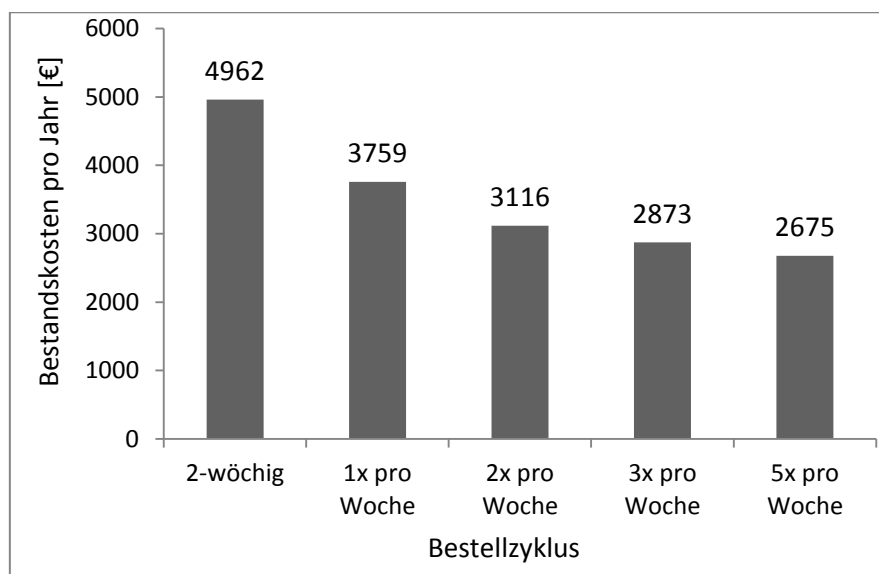
**Abbildung 12: Handlingkosten in Abhängigkeit vom Diskontfaktor**



In Abbildung 12 zeigt sich für die Handlingkosten die gleiche Struktur wie bei den Pickingkosten. Das Niveau der Kosten liegt jedoch deutlich niedriger, was mit dem deutlich geringeren Kostensatz zusammenhängt.

#### 7.4 Bestandskosten

Bei der Betrachtung der Bestandskosten in Abhängigkeit vom Bestellzyklus, bestimmt auf Basis eines jährlichen Kalkulationszinssatzes von 30 Prozent, zeigt sich, dass die Kosten im Unterschied zu den Bestell-, Picking- und Handlingkosten bei zunehmender Bestellfrequenz abnehmen. Die in Abbildung 13 dargestellte fallende Kostenfunktion resultiert aus der Tatsache, dass bei zunehmender Bestellfrequenz die Bestandsmengen reduziert werden können, weil die Bestände in diesem Fall die Nachfrage immer kürzerer Zeiträume abdecken muss.

**Abbildung 13: Bestandskosten**

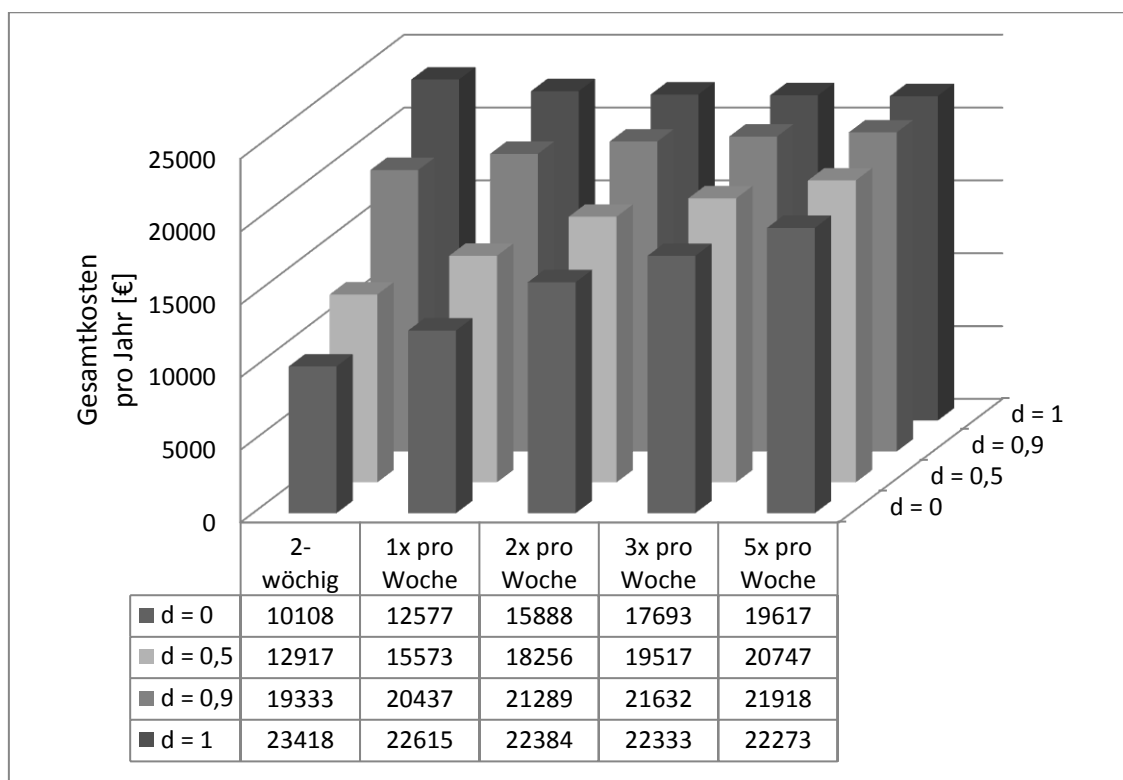
### 7.5 Gesamtkosten

Im Folgenden wird die sich ergebende Gesamtkostenfunktion dargestellt. Für weiterführende Analysen wird darüber hinaus die Struktur der Gesamtkosten in Abhängigkeit von den betrachteten Kostenarten beschrieben und alternative Zusammensetzungen der Gesamtkosten diskutiert.

#### 7.5.1 Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Diskontfaktor

Die Gesamtkosten, bestehend aus den vier oben dargestellten Kostenarten, werden in Abbildung 14 in Abhängigkeit vom verwendeten Diskontfaktor dargestellt. Zu erkennen ist, dass mit zunehmender Berücksichtigung der Warenmengen beim Picking und Handling (Vergrößerung von  $d$ ) die Gesamtkosten innerhalb jedes einzelnen Bestellzyklus zunehmen, wobei die Kostendifferenzen bei zunehmender Bestellhäufigkeit abnehmen.

Bei der Betrachtung der Gesamtkostenverlaufs bei zunehmender Bestellhäufigkeit je verwendeten Diskontfaktor zeigt sich, dass für einen Diskontfaktor zwischen 0 und 0,9 die Gesamtkosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit ebenfalls ansteigen. Erst bei Annahme konstanter Grenzkosten (Diskontfaktor  $d = 1$ ) dreht sich die Steigung der Kostenfunktion. Die höchsten Gesamtkosten fallen dann bei einem zweiwöchigen Bestellzyklus an und verringern sich dann leicht mit zunehmender Bestellhäufigkeit.

**Abbildung 14: Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Diskontfaktor**

Daraus lässt sich ableiten, dass bei Annahme eines Diskontfaktors zwischen 0 und 0,9 so selten wie möglich bestellt werden sollte, wobei hier mögliche Restriktionen hinsichtlich Kapazitätsengpässen an der Warenannahme und den Filialregalen nicht berücksichtigt werden. Erst bei der Annahme konstanter Grenzkosten ist zu überlegen, die Bestellhäufigkeit zu erhöhen.

### 7.5.2 Zusammensetzung der Gesamtkosten

In Abbildung 15 ist die Zusammensetzung der Gesamtkosten der verschiedenen Bestellzyklen bei Verwendung eines Diskontfaktors von 1 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass bei Verwendung eines Diskontfaktors von 1 sowohl die Picking- als auch die Handlingkosten unabhängig vom Bestellzyklus und damit konstant über die verschiedenen Bestellzyklen sind. Der Anstieg der Bestellkosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit wird durch die Reduzierung der Bestandskosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit überkompensiert, so dass insgesamt eine leicht fallende Kostenfunktion resultiert.

Dieser Effekt lässt sich bei der Verwendung der anderen dargestellten Diskontfaktoren nicht beobachten. Als Beispiel dafür wird in Abbildung 16 dieselbe Betrachtung mit einem Diskontfaktor von 0 dargestellt.

Abbildung 15: Zusammensetzung der Gesamtkosten mit einem Diskontfaktor von 1

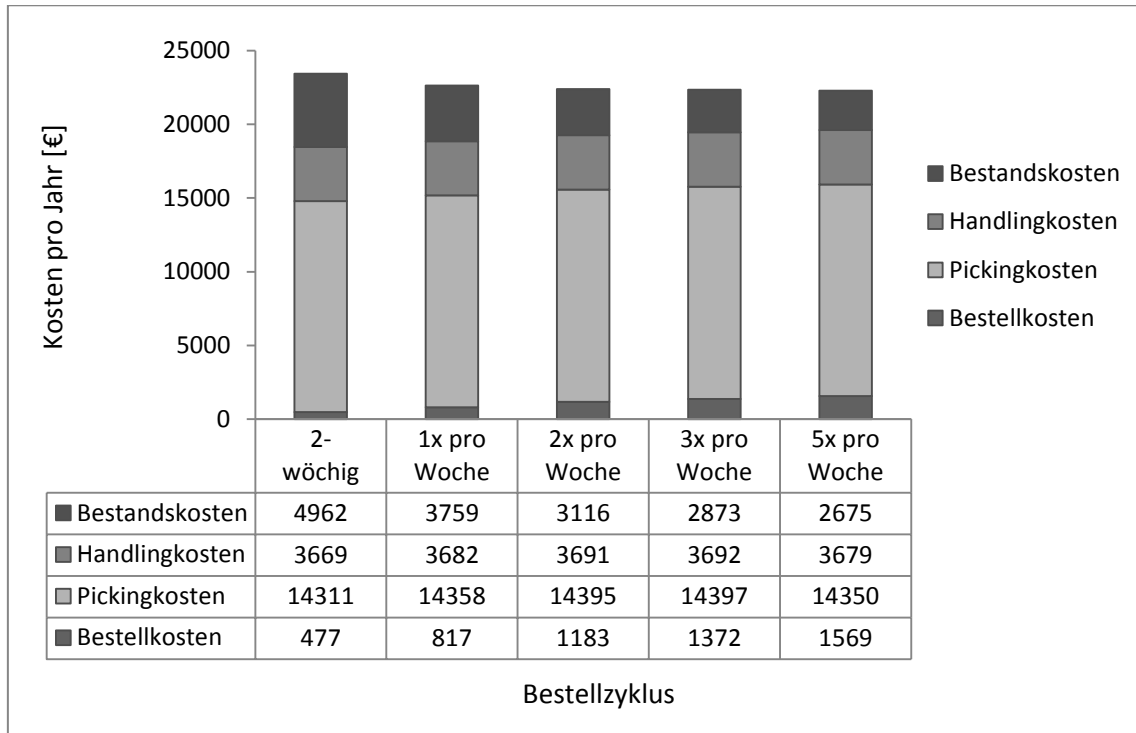
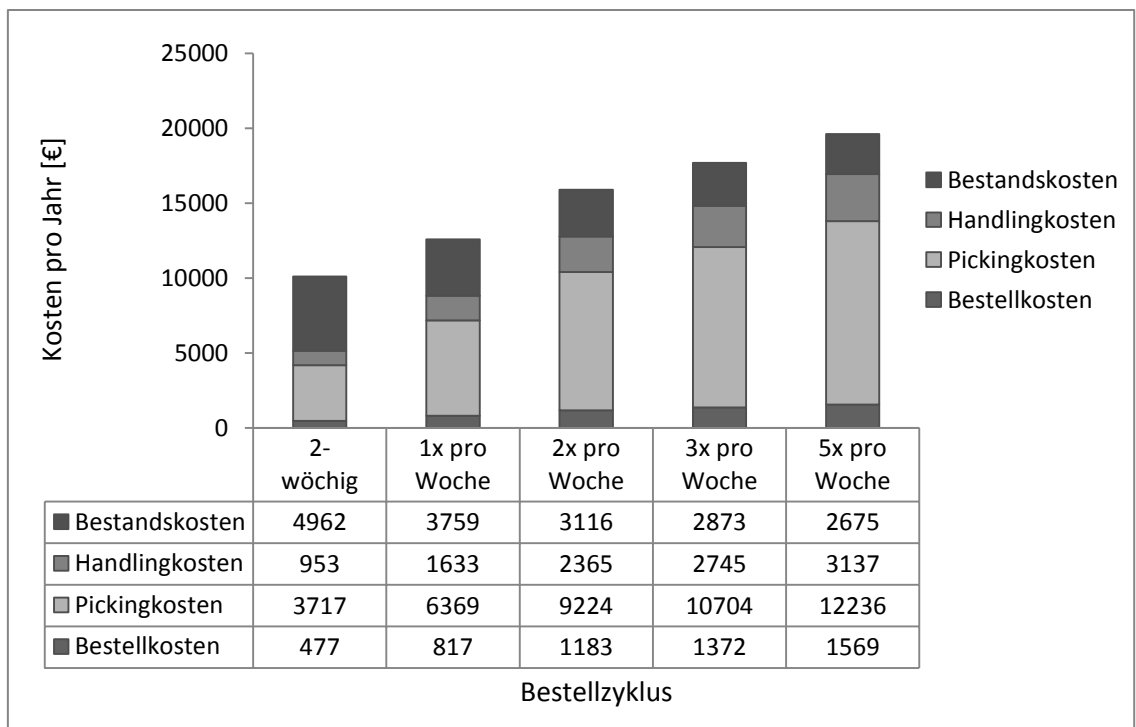


Abbildung 16: Zusammensetzung der Gesamtkosten mit einem Diskontfaktor von 0



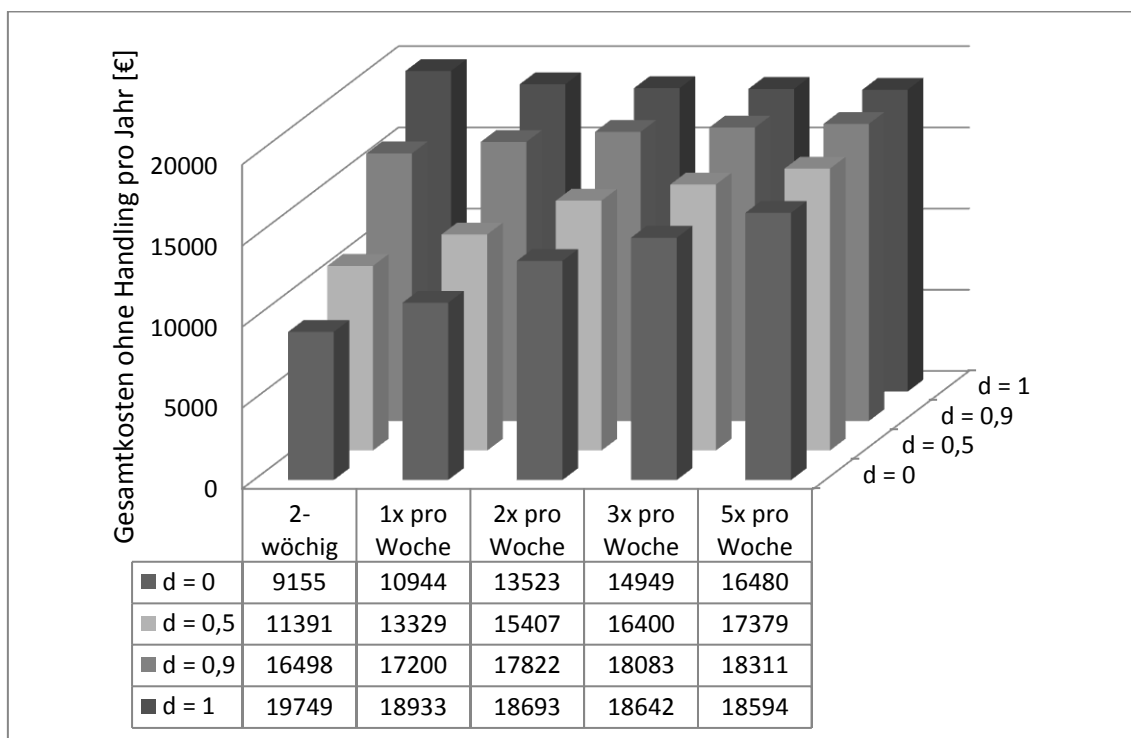
Wie bei der Betrachtung mit einem Diskontfaktor von 1 entwickeln sich die Bestell- und Bestandskosten gegenläufig mit einem Übergewicht bei den Bestandskosten. Dieser Effekt wird jedoch hier durch die bei zunehmender Bestellhäufigkeit ebenfalls zunehmenden Picking- und Handlingkosten deutlich überlagert, so dass sich hier eine stark

steigende Gesamtkostenfunktion ergibt. Dieser Effekt zeigt sich für Diskontfaktoren von 0,5 und 0,9 in abgeschwächter Form ebenfalls.

### 7.5.3 Modifizierte Kostenfunktionen

Beschränkt man sich in der Betrachtungsweise entscheidungsrelevanter Zusammenhänge auf das Distributionszentrum, müssen die Handlingkosten bei der Analyse der Gesamtkostenfunktion unberücksichtigt bleiben. Ein Verzicht auf die Berücksichtigung von Handlingkosten ist auch dann sinnvoll, wenn dieser Kostenfaktor im Hinblick auf die Auswahl des Bestellzyklus nicht entscheidungsrelevant ist, weil z.B. ein Diskontfaktor von 1 angenommen werden kann. Die Gesamtkostenfunktion ohne die Handlingkosten ist in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17: Gesamtkosten ohne Handlingkosten

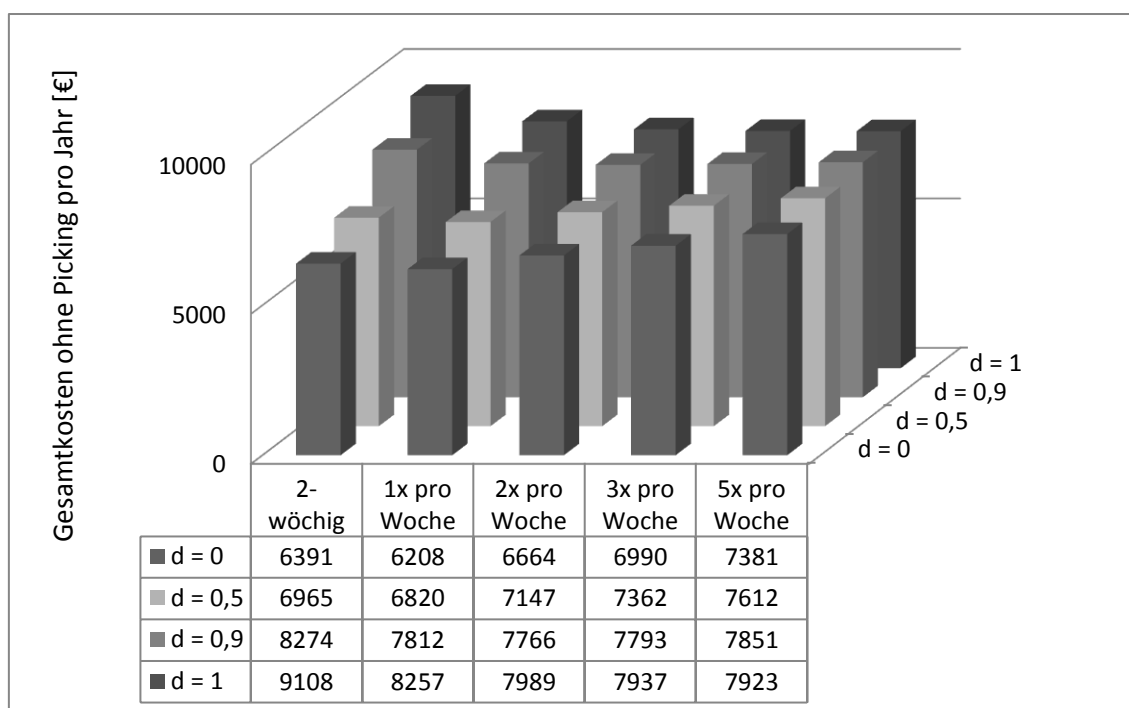


Auch hier zeigen sich ansteigende Kostenfunktionen für Diskontfaktoren zwischen 0 und 0,9, wobei der Anstieg flacher verläuft. Wie bei der Betrachtung der Gesamtkosten einschließlich der Handlingkosten ist die Kostenfunktion für einen Diskontfaktor von 0 mit zunehmender Bestellhäufigkeit absteigend. Auch aus dieser Gesamtkostenfunktion lässt sich damit unverändert ableiten, dass bei einem Diskontfaktor zwischen 0 und 0,9 so selten wie möglich bestellt werden sollte, bei einem Diskontfaktor von 1 so häufig wie möglich. Da sich die Richtung Kostenfunktion in dem Bereich des Diskontfaktors zwischen 0,9 und 1 dreht, besteht auch nur hier die Möglichkeit außerhalb der Randbereiche auf ein Kostenminimum der Gesamtkostenfunktion zu stoßen.

Bleiben bei der Betrachtung der Gesamtkosten statt der Handling- die Pickingkosten im Distributionszentrum unberücksichtigt, ändert sich die Kostenstruktur in Abhängigkeit vom Diskontfaktor in der in Abbildung 18 dargestellten Art.

Bis zu einem Diskontfaktor von 0,5 steigt die Gesamtkostenfunktion mit der Lieferhäufigkeit, zwischen den Diskontfaktoren 0,5 und 1 dreht sich diese Richtung. Bei einem Diskontfaktor von 1 ist die Gesamtkostenfunktion monoton fallend, die Gesamtkosten sinken mit der Lieferhäufigkeit. Im Übergangsbereich zeigt sich bei einem Diskontfaktor von 0,9 ein Kostenminimum bei einem Bestellzyklus von zweimal in der Woche.

**Abbildung 18: Gesamtkosten ohne Pickingkosten**



## 8 Konsequenzen

Insgesamt zeigt sich, dass die Bestimmung kostenoptimaler Bestellzyklen mittels der Simulation dieser Bestellzyklen und der Bestimmung der dadurch entstehenden Kosten nicht immer zu einem befriedigenden Ergebnis führt. Solange die Handling- und Pickingkosten ihrer Art nach als eher konstant in Bezug auf die zu verarbeitenden Mengen im Wareneingang der Filiale und Warenausgang des Distributionszentrums angenommen werden, überwiegt der Anstieg der Bestellkosten und der von der Bestellhäufigkeit abhängigen Picking- und Handlingkosten die Reduzierung der Bestandskosten bei zunehmender Bestellhäufigkeit. Ergebnis dieser Betrachtung ist, dass im Hinblick auf Kostenoptimalität möglichst selten geliefert werden sollte. Problematisch hierbei ist, dass die Kostenfunktion streng monoton steigend ist und bei dem 2-wöchigen Bestell-



zyklus zwar ein Extremum aufweist, das aber nicht notwendigerweise auch ein Minimum sein muss. Möglicherweise müssen an dieser Stelle weitere Lieferzyklen betrachtet werden, bei denen noch seltener geliefert wird. Problematisch hierbei sind natürlich logistische Restriktionen wie Mindesthaltbarkeit der Artikel, Lagerkapazitäten oder Transportkapazitäten.

Bei der Annahme eines linearen Verlaufs der Picking- und Handlingkosten in Abhängigkeit von den verarbeiteten Mengen ergibt sich eine streng monoton fallende Gesamtkostenfunktion. In diesem Fall überwiegt die Reduzierung der Bestandskosten den Anstieg der Bestellkosten bei häufigerer Lieferung. Auch in diesem Falle kann man nicht sicher sein, dass ein Kostenminimum gefunden ist oder es sich lediglich um ein lokales Extremum handelt.

Aussagefähiger ist in dieser Betrachtung der Bereich des Diskontfaktors, bei dem sich die Kostenfunktion von streng monoton steigend zu streng monoton fallend dreht. In diesem Bereich kann man erwarten, ein lokales Kostenminimum identifizieren zu können. Dieser Effekt lässt sich in den modifizierten Kostenfunktionen besser beobachten. Wird die Betrachtungsweise um die Pickingkosten reduziert (vgl. Abbildung 18), zeigt sich in dem Übergangsbereich zwischen streng monoton steigender und streng monoton fallender Gesamtkostenfunktion ( $d = 0,9$ ) ein lokales Minimum bei einem Bestellzyklus von  $3x$  pro Woche.

Ein grundsätzliches Problem dieses Simulationsverfahrens ist die im Hinblick auf die zu unterstützenden Entscheidungen sinnvolle Festlegung der jeweiligen Kostensätze und die Bestimmung hierfür adäquater Diskontfaktoren. Die Festlegung der Anteile von CO<sub>2</sub>-Kosten an den jeweiligen Kostensätzen ist in diesem Zusammenhang besonders schwierig, da nur näherungsweise auf tatsächliche Marktpreise zurückgegriffen werden kann. Insgesamt jedoch zeigt dieses Verfahren, dass mittels klassischer ökonomischer Werkzeuge auch bisher unberücksichtigte betriebliche Ziele, wie z.B. Nachhaltigkeitsfaktoren, abbildbar sind und im Rahmen von Optimierungsproblemen auf im Rahmen von Simulationen als entscheidungsrelevante Größen berücksichtigt werden können.

## Literatur

- Alicke, Knut* (2003), Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken: Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, 1. Aufl., Berlin.
- Bauer, Hans H./Görtz, Gunnar* (2002), Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment: Rahmenbedingungen, Vorgehen und Aussichten, in: Institut für Marktorientierte Unternehmensführung, Management Arbeitspapiere Nr. M68.

- Carter, Craig R./Rogers, Dale S.(2008), A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* , Vol. 38, No.5,2008, S. 360-387
- Linton, Jonathan D. u.a. (2007), Sustainable supply chains: An introduction, in: *Journal of Operations Management* (2007), doi:10.1016/j.jom.2007.01.012
- Matthews, H. Scott / Hendrickson, Chris T. u.a. (2008), The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries, in: *Environmental Science & Technology*, Vol 42, No. 16, S. 5839-5842
- Schaltegger, Stefan/Harms, Dorli (2010), Sustainable Supply Chain Management: Praxisstand in deutschen Unternehmen, *Center of Sustainability (CSM) e.V.*
- Stapleton, Drew/Pati, Sanghamitra u.a. (2004), Activity-based costing for logistics and marketing, in: *Business Process Management Journal*, Vol. 10, No. 5 (2004), S. 584-597
- Sundarakani, Balan /de Souza, Robert u.a. (2010), Modeling carbon footprint across the supply chain, in: *Int. J. Production Economics*, Band 128 (2010), S. 43-50
- Wicht, Jürgen (2001), Entwicklung eines strategischen Kennzahlensystems für die Logistik eines internationalen Handelsunternehmens, Lohmar
- Wicht, Jürgen / Hopp, Axel / Armingier, Gerhard (2008), Aufbau, Durchführung und Leistungsmessung eines CPFR-Pilotprojekts im Handel, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jahrgang 60, Mai 2008, S. 214-240
- Wiedmann, Thomas / Minx, Jan (2007), A Definition of ‘Carbon Footprint‘, ISA<sup>UK</sup> Research Report 07-01