https://doi.org/10.20378/irbo-51540

Welche Sendungen werden gebündelt? – Ein simulationsgestützter Vergleich unterschiedlicher Auswahlstrategien der Versandstrombündelung bei begrenzter Sammelkapazität

Jonas Wiese

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Produktion und Logistik,
Otto-Friedrich-Universität Bamberg, jonas.wiese@uni-bamberg.de

1 Einleitung und Motivation 102
2 Literaturüberblick und Ableitung von Forschungsfragen 103
3 Die Bündelungsstrategien 106
4 Modellentwicklung 108
5 Simulationsergebnisse 113
6 Zusammenfassung und Empfehlungen 117
7 Literatur 118

Abstract:

Innovative Liefer- und Lagerkonzepte wie Just-in-Time, Just-in-Sequence und Vendor Managed Inventory sowie Produktionsstrategien wie Make-to-Order führen in Verbindung mit der einhergehenden Verkürzung der Lieferzeit zu einer wachsenden Anzahl an Einzelsendungen. Durch Bündelungsstrategien im Versand werden passende Einzelsendungen zu großen, ökonomischeren Sammelpaketen zusammengefügt. Zahlreiche Forschungsbeiträge zeigen, dass Versandbündelung ein geeignetes Instrument darstellt, um zum Einen Kosten zu reduzieren und zum Anderen die ökologische Effizienz zu verbessern. Im Sinne einer nachhaltigeren Logistik werden durch bessere Auslastung Ressourcen sparsamer genutzt und die Belastung der Umwelt pro Einzelsendung reduziert. Die Autoren in diesem Forschungsbereich fokussierten sich bisher überwiegend auf die Untersuchung des optimalen Zeitpunktes für den Versand des Sammelpaketes. Dieser Beitrag jedoch beschäftigt sich mit einer noch unbeachteten Frage der Versandstrombündelung: Welche Sendungen sollen bei begrenzter Sammelkapazität für die Bündelung ausgewählt werden? Im Rahmen der Forschungsarbeit werden sieben alternative Entscheidungsstrategien entwickelt und deren Leistungsfähigkeit mithilfe einer Simulationsstudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass unter Berücksichtigung einer hohen Anzahl von Einzelsendungen auch bei stark eingeschränkter Bündelungskapazität signifikante Kostenersparnispotentiale vorhanden sind. Für die bestmögliche Ausnutzung dieser Sparpotentiale ist ein aufwendiger, dynamischer und flexibler Auswahlprozess notwendig. Alternative, einfachere und damit weniger Ressourcen bindende Auswahlverfahren produzieren unter bestimmten Voraussetzungen jedoch ebenfalls akzeptable Lösungen. Basierend auf den Ergebnissen der Simulationsstudie werden deshalb unterschiedliche Implementierungsempfehlungen für die Umsetzung der Entscheidungsstrategien abgeleitet.

1 Einleitung und Motivation

Supply Chain Management kann als koordinierendes und kollaboratives Management eines wertschöpfenden Netzwerkes, dessen Prozesse und Institutionen durch Produkt-, Informations- und Finanzströme miteinander verknüpft sind, definiert werden.[1] Zunehmend wird mit dem Konzept des Supply Chain Managements auch häufig die Nachhaltigkeit verbunden.[2] Die Knappheit der natürlichen Ressourcen und die globale Erwärmung stellen zwei der wichtigsten zukünftigen Herausforderungen dar, die nachhaltige Lösungen erfordern. Der Begriff der "Nachhaltigkeit" wird in unterschiedlichen Fällen und verschiedenen Kontexten verwendet, jedoch bleibt seine Definition oft unscharf.[3] Der häufig zitierte Ansatz der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung definiert, dass die heutigen Bedürfnisse befriedigt werden müssen, ohne dass dabei den zukünftigen Generationen die Möglichkeit genommen wird, ihre jeweiligen Bedürfnisse zu erfüllen.[4] Um diesem Anspruch gerecht zu werden, ist es notwendig, die wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Ziele zu integrieren. Während die gemeinsame Verfolgung aller Ziele als beste Möglichkeit erachtet werden kann, ist es aus praktischen Gründen opportun diese Dimensionen getrennt zu betrachten.[5]

Der vorliegende Artikel fokussiert auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit und bewegt sich deshalb im Rahmen der Wertschöpfungsnetzwerke in den Konzepten des "Green Supply Chain Management" und der "Green Logistics". Beide verfolgen das Ziel, die Umweltauswirkungen von wertschöpfenden Tätigkeiten zu reduzieren, ohne die Leistung, das bedeutet Kosteneffizienz, Qualität und Kundenzufriedenheit zu mindern.[6] Murphy und Poist (2000) weisen darauf hin, dass Recycling, die Wiederverwendung von Materialien und die Senkung des Verbrauchs die am häufigsten verwendeten Methoden sind, um dieses Ziel zu erreichen.

Die Bündelung des Versandstroms kann als Zusammenfassung von mehreren kleinen Lasten zu einer einzigen, größeren und damit umweltfreundlicherer Last definiert werden.[7] Da sie somit auch zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs beiträgt, wird die Versandstrombündelung als ökologische Transport-Methode angesehen.[8]

Aufgrund weit verbreiteter und erfolgreicher Konzepte, wie Just-In-Time (JIT), Just-In-Sequence (JIS), Make-To-Order Produktion (MTO) und Vendor Managed Inventory (VMI), die als gemeinsame Anforderung eine kurze Lieferzeiten haben, erhalten viele Kunden mehrere kleine Sendungen von einem einzigen Lieferanten an einem Tag.[9] Vor dieser Situation stand auch ein Unternehmen aus der Gesundheitsbranche, das im Rahmen eines Beratungsprojektes in der Industrie untersucht wurde, und für die spätere Entwicklung der Entscheidungsalternativen prägend war. Jenes Unternehmen vertreibt mehr als 120.000 Produktvarian-

---

1 Vgl. Lummus und Vokurka (1999); Mentzer et al (2001).
2 Vgl. u.a. Piplani et al (2008); Seuring/Müller (2008); Carter/ Rogers (2008).
3 Vgl. Goodland/ Daly (1996).
4 Vgl. WCED (1987), S. 43.
5 Vgl. Goodland/Daly (1996), S. 1002.
6 Vgl. Srivastava (2007). S. 68.
7 Vgl. Çetinkaya (2005), S. 4.
8 Vgl. Merrick/Buchbinder (2010), S. 749.
9 Vgl. Chen et al (2005), S. 198; Mutlu/Çetinkaya (2010), S. 844.

ten an seine Kunden, in dem Fall entweder Sanitätshäuser oder Apotheken. Je nach aktueller Marktnachfrage und dem jeweiligen gewählten Bestellkonzept, tätigen die meisten Kunden mehrere Aufträge beim Unternehmen im Tagesverlauf. Um die Durchlaufzeiten zu minimieren, wird jede Bestellung einzeln verpackt, gelagert und versendet. Eine Analyse der Versandaufträge des Unternehmens ergab, dass ein Kunde so bis zu 14 kleine Paketsendungen an einem einzigen Werktag bekommt. Gebündelt wären es in so einem Fall nur drei große Pakete gewesen.

Der vorliegende Artikel ist wie folgt strukturiert. Nach der Analyse der vorhandenen Literatur über das Konzept der Versandbündelung und einer klaren Darstellung der Ziele dieses Beitrags, entwickeln wir ein Simulationsmodell, das die Leistung von sieben unterschiedlichen Bündelungsmöglichkeiten untersucht. Abschließend erfolgt eine Diskussion der theoretischen und praktischen Implikationen.

2 Literaturüberblick und Ableitung von Forschungsfragen

Erwähnenswert nach einer gründlichen Literaturrecherche ist die Tatsache, dass sich viele Publikationen mit der Idee beschäftigen, mithilfe der Bündelung generell Skaleneffekte zu realisieren. Im Interesse der Kürze und Genauigkeit dieser Arbeit, werden im Folgenden aber nur Beiträge berücksichtigt, die sich direkt mit der Bündelung des Versandstroms befassen. Eine umfassendere Literaturanalyse wird beispielsweise von Çetinkaya (2005) durchgeführt. Masters (1980) war einer der ersten Autoren, der das Problem erkannte, dass Hersteller und Händler immer häufiger eine große Anzahl von kleinen Aufträgen zu erfüllen haben. Da die Kunden zudem auf ein hohes Servicelevels bestehen, entscheiden sich die meisten Unternehmen kleine Lieferungen trotz höherer Transportkosten zu versenden. Interessant ist daher die Beziehung zwischen dem Servicelevel, quantifiziert durch Lieferzeiten, und den Versandkosten näher zu untersuchen. Masters verwendet eine Monte Carlo-Simulation, um die Auswirkungen der Versandstrombündelung auf die logistische Leistung zu analysieren. Er kommt zu dem Schluss, dass die Bündelung von Sendungen auf der einen Seite zwar die Kosten senkt, auf der anderen Seite aber die mittlere Lieferzeit und damit Auftragsabwicklungszeit erhöht. Die Leistung der Bündelung ist stark abhängig von externen Faktoren, wie der Gesamtzahl der Bestellungen oder der mittleren Bestellmenge, und internen Faktoren, wie z. B. der maximal möglichen Aufbewahrungszeit[10]. Diese Ergebnisse wurden in großen Teilen von Jackson mit einer statischen Simulation (1981) bestätigt. Ein weiterer kritischer Parameter ist die Aufbewahrungszeit, da deren Erhöhung die Kosten auf jeden Fall senkt.[11] Ergänzend dazu setzen Closs und Cook (1987) ein dynamisches Simulationsmodell ein, das mehrere Sammelpunkte, stochastisch verteilte Ankunftszeiten der Bestellungen und Lieferzeiten berücksichtigen.

Aufbauend auf diesen frühen Beiträgen entwickelten Higginson und Buchbinder (1994) ein Simulationsmodell, welches die Auswirkungen von zeitbasierten, mengenbasierten und hybriden Verfahren zur Auslösung des Versands der gebündelten Sendungen auf Stückkosten und Lieferverzögerungen vergleicht. Zeitbasierte Lösungen setzen die gesammelten Sendungen an einem vorbestimmten Zeitpunkt frei, während die mengenbasierten Ansätze sich auf eine be-

[10] Aufbewahrungszeit ist der Zeitraum von Beginn der Bündelung bis zur Versendung
[11] Vgl. Jackson (1981), S. 135.

stimmte Mengen- bzw. Gewichtsgrenze beziehen. Hybride Verfahren kombinieren die beiden genannten Konzepte, so dass der Versand der Sendungen abhängig davon ist, ob der Zeitpunkt oder die Mengengrenze zuerst erreicht wird. Die Ergebnisse zeigen, dass es dabei kein dominierendes Verfahren gibt, die optimale Wahl aber auf jeden Fall von den jeweiligen Zielen bezüglich der Kosten und des Kundenservices abhängt. Da diese Parameter von Fall zu Fall erheblich variieren ist es den Autoren nicht möglich eine allgemeingültige Entscheidungsregel zu präsentieren. Sie kommen jedoch zu dem Schluss, dass die mengenbasierte Politik die zeitbasierte sowie die hybride Politik hinsichtlich der Kosten bei vielen Gelegenheiten übertrifft. Bezüglich der Lieferverzögerung ist die hybride Strategie den anderen beiden Ansätzen überlegen.

Während Simulationsstudien verschiedene Szenarien prüfen und bewerten können, ist es damit nicht möglich optimale Lösungen zu identifizieren. Deshalb entwickelten mehrere Autoren zusätzlich analytische Modelle, die sich vor allem in den Annahmen bezüglich der Nachfrage und den Ankunftszeiten, sowie den eingesetzten Versandverfahren, den Verkehrsträgern und den Lösungsmethoden unterscheiden.

Higginson und Buchbinder (1995), zwei frühe Vertreter der Literatur in diesem Themenbereich, kamen aufgrund der zufälligen Bestellmengengrößen und Ankunftszeiten zu dem Schluss, dass eine einheitliche optimale Versandgröße für die betriebliche Praxis nicht sinnvoll sein kann. Deshalb bestimmten die Autoren mithilfe eines sequentiellen Markov-Entscheidungsprozesses, wann eine Sendung bei minimalen Kosten zu versenden ist. Bei dieser Gelegenheit untersuchten sie die Auswirkungen des Transports mit einem Third Party Logistics Provider sowie mit eigenen Fahrzeugen. Çetinkaya und Buchbinder (2003) erweitern diesen Ansatz, indem sie sowohl die kostenminimale Gewichtsgrenze für die mengenbasierte Lösung als auch die kostenminimale Aufbewahrungszeit für beide Fälle bestimmen. Dieser Artikel wird von Mutlu et al. (2010) mit der fehlenden Betrachtung der kostenminimalen Lösung für die hybride Politik ergänzt.

Die bis hier angeführten Artikel konzentrieren sich bei der Bündelung ausschließlich auf die Versandperspektive. Allerdings erkennen einige Autoren starke Interdependenzen mit der Bestandspolitik in VMI-Bereichen und entwickeln integrierte Modelle. Çetinkaya und Lee (2002) stellen ein Optimierungsmodell vor, das Bestands- und Transportkosten bei einem Third Party Lagerhaus berücksichtigt. Die Autoren nehmen an, dass das Lager wie ein Binnenmarkt mit einer deterministischen Anforderungsrate funktioniert und nutzen Algorithmen, um die kostenminimale Anzahl von Versandlagern und Nachbestellungen zu bestimmen. Çetinkaya et al. (2006) vergleichen in diesem Kontext verschiedene Versandalternativen und stellen fest, dass die mengenbasieren Lösungen den zeitbasierten Strategien bezüglich der Kosten überlegen sind. Mutlu und Çetinkaya (2010) präsentieren ein integriertes Modell für zeit- und mengenbasierte Bündelungsverfahren. Für die abgeleitete nicht-lineare und nicht-differenzierbare Kostenfunktion bieten sie algorithmische Lösungsansätze.

Schließlich fügten Merrick und Buchbinder (2010) dem Themenbereich eine grüne Dimension hinzu, indem sie die Umweltauswirkungen verschiedener Versandpolitiken erforschten. Das Modell von Higginson und Buchbinder (1994) erweiterten sie mit der Betrachtung der CO2-Emissionen. Die Autoren bestätigen, dass das Bündeln von Sendungen generell ein geeignetes Verfahren für die grüne Logistik ist. Doch sowohl bei mittleren als auch langen Auf-

bewahrungszeiten in Verbindung mit hohen Bestellankunftsraten ist das gleichzeitige Erreichen von niedrigen CO2-Emissionen und Kosten nicht möglich.

Um die oben dargestellte Literatur zu strukturieren, bietet sich die von Higginson und Buchbinder (1994) entwickelte Taxonomie der strategischen Entscheidungen bei der Versandstrombündelung an. Für einen ganzheitlichen Ansatz muss man dementsprechend die folgenden fünf Fragen beantworten:[12]

- Welche Sendungen werden gebündelt?
- Wann werden die gebündelten Sendungen freigegeben?
- Wo wird die Bündelung durchgeführt?
- Wer, das heißt welche Partei, führt die Bündelung durch?
- Wie, das heißt mit welchen spezifischen Techniken, wird gebündelt?

Die meisten vorhandenen Publikationen gehören dabei zur zweiten Frage, wann die Sendungen freizugeben sind. Doch bevor diese Frage beantwortet werden kann, ist es notwendig zu wissen, welche Sendungen überhaupt gebündelt werden sollen, gerade wenn die Bündelungsressourcen, d. h. der Raum und das Personal, knapp sind. Diese Probleme lassen sich vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) mit ihrer charakteristisch eingeschränkten Ressourcenbasis finden.[13] Trotz großer Bedeutung für viele Unternehmen wurden die Fälle der Kapazitätsbeschränkungen bis jetzt ignoriert (Vgl. Tab. 1).

Im Gegensatz zu den früheren Publikationen ist der Zweck dieses Artikels, sich mit der ersten Frage, d. h. welche Sendungen werden gesammelt, zu befassen und brauchbare Empfehlungen über die zur Verfügung stehenden Bündelungsmöglichkeiten zu geben, die die Kapazitäten effizient ausnutzen. Bereits Higginson und Buchbinder (1995) formulierten in ihren Forschungsfragen die Notwendigkeit, dass die Frage nach „was wird gebündelt“ nicht ignoriert werden sollte. Im Detail werden die folgenden Fragestellungen untersucht:

1.) Welche umsetzbaren Bündelungsverfahren gibt es? Welche Vorteile und Nachteile zeigen die jeweiligen Alternativen?

2.) Wie ist die Leistung der identifizierten Bündelungsstrategien unter verschiedenen Szenarien?

3.) Welche Empfehlungen können für die betriebliche Praxis gegeben werden?

---

[12] Vgl. Higginson/Buchbinder (1994), S. 87.

[13] Vgl. u.a. Bell et al (1991); Bonaccorsi (1992); Etemad (1999); McNaughton/Bell (2000); Miesenböck (1988).

Entscheidungs-problem	***Artikel***
Was?	-
Wann?	*Masters (1980); Jackson (1981); Higginson and Bookbinder (1994); Higginson and Bookbinder (1995); Bookbinder and Higginson (2002); Çetinkaya and Lee (2002); Çetinkaya and Bookbinder (2003); Çetinkaya et al. (2006); Mutlu and Çetinkaya (2010); Mutlu et al. (2010); Merrick and Bookbinder (2010)*
Wo?	*Closs and Cook (1987)*
Wer?	-
Wie?	-

Tabelle 1: Welche Entscheidungsprobleme wurden bereits verarbeitet?

Es folgt die Betrachtung des ersten Problems und im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Alternativen bei der Wahl der Bündelungsstrategie vorgestellt.

3 Die Bündelungsstrategien

3.1 Die Entwicklung der Bündelungsstrategien

Die Versandbündelung benötigt Platz und Personal, die in vielen Fällen, v.a. bei kleinen und mittleren Unternehmen begrenzt sind. Die Entscheidung über die genaue Verteilung der Kapazität stützt sich auf zwei Dimensionen. Erstens ist es notwendig zu entscheiden, ob ein Vorauswahlverfahren eingesetzt wird oder nicht, und wenn es eine Vorauswahl gibt, auf welchen Grundsätzen diese durchgeführt wird. Zweitens stellt sich die Frage, wie effektiv die verfügbare Kapazität ausgenutzt wird. Um diese beiden Dimensionen zu berücksichtigen werden zweistufige Bündelungsstrategien entwickelt.

Dimension 1: Vorauswahlregel

Die Vorauswahl versucht den Entscheidungsprozess im Voraus durch die Festlegung klarer Prinzipien bei der Auswahl der zu bündelnden Sendungen zu vereinfachen. Die Prinzipien beruhen auf den Nachfrageeigenschaften der Kunden. Es gibt eine Unterscheidung zwischen einer mengenbasierten, einer schwankungsbasierten und einer hybriden Methode.

Die mengenbasierte Bündelungspolitik folgt dem Grundprinzip, dass die Kunden mit den meisten Sendungen das größte Bündelungspotenzial besitzen und deshalb auf jeden Fall gesammelt werden sollten. Diese Alternative wird durch die Ergebnisse von Masters (1980) und Jackson (1981) beeinflusst, die herausfanden, dass die Bündelungsleistung stark abhängig von der Gesamtzahl der Bestellungen und der Größe der Bestellmenge ist. Im Gegensatz dazu zielt eine schwankungsbasierte Politik vorzugsweise auf Kunden mit einem konstanten Nachfrageverlauf und einer damit sicheren Vorhersagbarkeit. Die hybride Politik kombiniert die beiden anderen Strategien, d.h. die Kunden mit den meisten Sendungen und gleichzeitig mit einem niedrigen Variationskoeffizienten der Nachfrage werden gesammelt.

Wenn sich das Management gegen eine Vorauswahl entscheidet, wird die Auswahl der relevanten Kunden jede Periode in einem "ad hoc"-Stil durchgeführt. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Menge und den Versandzeitpunkt jeder Sendung im Voraus zu wissen. Die kurzfristigen Nachfragedaten werden schnell analysiert, um die Kunden, die das höchste Einsparungspotenzial durch Bündelung vorweisen, zu sammeln.

Ein Argument für die Verwendung einer Vorauswahl ist die reduzierte Komplexität bei der Planung und ein geringerer Aufwand. Nach der einmaligen Auswahl und Einrichtung der Vorauswahlregel, bleibt diese unverändert. Diese Vereinfachung führt aber auch zu höheren Kosten. Da die Vorauswahlregeln auf Vergangenheitsdaten basieren, leidet die Bündelungsleistung unter Prognosefehlern. Ohne Vorauswahl müsste jedoch für jede Sammelperiode eine Entscheidung bezüglich der Bündelung getroffen werden, was mit einem höheren Rechenaufwand verbunden ist und in der Praxis nur mit Unterstützung einer entsprechenden Software bearbeitet werden kann.

Dimension 2: Zuteilung von Kapazität

Die zweite Dimension bezieht sich auf die Verteilung der verfügbaren Kapazität. Auch hier gibt es zwei Entscheidungsalternativen: statische oder dynamische Kapazitätszuteilung.

Die erste Option stellt im vor dem Planungszeitraum eine einmalige Beziehung zwischen einer Sammelstellen und einer bestimmten Versandadresse her. So impliziert dieser statische Ansatz eine vorläufige Bestimmung der Lage und Größe der jeweiligen Sammelstelle, die über den gesamten Zeitraum fix bleibt. Der einfachste Weg, um den verfügbaren Speicherplatz aufzuteilen, ist, jedem Kunden seine Kapazität in Abhängigkeit seiner prognostizierten durchschnittlichen Nachfragemenge pro Bestellperiode zuzuweisen.

Im Gegensatz zu den oben genannten statischen Richtlinien basiert ein dynamisches Verfahren auf der tatsächlichen Bestellmenge. So können unterschiedliche Versandadressen an einer Sammelstelle an unterschiedlichen Tagen innerhalb des Planungszeitraums gebündelt werden. Die Entscheidung über die jeweilige Kapazitätsverteilung erfolgt nun zu jeder einzelnen Bestellperiode anstatt nur einmal zu Beginn des Planungszeitraums (statische Ansatz). Die Bündelungskapazität wird dann jeweils in Abhängigkeit des realisierbaren Einsparungspotenzials pro Kapazitätseinheit verteilt. Dieses Prinzip ist von den Maßnahmen des Revenue Managements bezüglich des Ziels der Deckungsbeitragsmaximierung gut bekannt.[14]

Es muss beachtet werden, dass beide Zuteilungskonzepte mit Nachteilen verbunden sind. Das statische Verfahren ist zwar einfach zu implementieren und erfordert wenig administrativen Aufwand, die Bündelungsleistung leidet jedoch unter der Unfähigkeit auf Nachfrageschwankungen sowie neue Kunden zu reagieren. Dagegen kann eine dynamische Planung auf solche kurzfristigen Veränderungen schnell reagieren, hier fehlt es aber an der operativen Anwendbarkeit, wenn die Bündelung der Sendungen manuell erfolgt. Unterschiedliche Speicherorte ermöglichen zudem keine eindeutige Kennzeichnung von den jeweiligen Sammelpunkten, wodurch eine Gewöhnung an konstante Arbeitsabläufe und somit eine Steigerung des Effizienzniveaus verhindert wird. Darüber hinaus erfordert das dynamische Verfahren kurzfristige und zuverlässige Daten über die genauen Liefermengen und -termine. Das Erheben und Auf-

[14] Vgl. u.a. Talluri/van Ryzin (2004); Quante et al (2009).

bereiten solcher Daten ist für viele Unternehmen, gerade auch kleine und mittlere, eine große Herausforderung. Zudem erfordern die kurzen Entscheidungszyklen einen höheren Rechenaufwand, der durch eine geeignete Softwarelösung aufgefangen werden muss.

3.2 Ableitung von alternativen Bündelungsstrategien

Zusammengefasst können somit vier Verfahren für die Vorauswahl und zwei Optionen für die Kapazitätszuteilung identifiziert werden. Die Kombination der beiden Dimensionen ergibt acht alternative Bündelungsstrategien, von denen die folgenden sieben sinnvoll anwendbar sind:

ID	***Description***
PQS	*Vorauswahl (mengenbasiert) und statische Kapazitätsaufteilung*
PQD	*Vorauswahl (mengenbasiert) und dynamische Kapazitätsaufteilung*
PDS	*Vorauswahl (schwankungsbasiert) und statische Kapazitätsaufteilung*
PDD	*Vorauswahl (schwankungsbasiert) und dynamische Kapazitätsaufteilung*
PHS	*Vorauswahl (hybrid) und statische Kapazitätsaufteilung*
PHD	*Vorauswahl (hybrid) und dynamische Kapazitätsaufteilung*
NoPD	*Keine Vorauswahl und dynamische Kapazitätsaufteilung*

Tabelle 2: Zusammenfassung der Bündelungsstrategien

Eine Modellierung und Simulation stellt in diesem Kontext eine adäquate Methode zur Beurteilung und zum Vergleich der entsprechenden Entscheidungsalternativen dar, da mithilfe von Simulationen der komplexe Entscheidungsprozess realistisch erfasst und präsentiert werden kann und somit valide Ergebnisse erzeugt werden können. Darüber hinaus wurde das Instrument der Simulation schon erfolgreich in vorherigen Studien zur Versandbündelung angewendet.[15]

4 Modellentwicklung

4.1 Die Herausforderungen der Modellierung

Die Entwicklung des einstufigen Simulationsmodells, das die vorgestellten Bündelungsstrategien evaluiert, orientiert sich erneut am Rahmen von Higginson und Buchbinder (1994), um systematisch die notwendigen Modellannahmen zu beschreiben:

- die Bündelung erfolgt durch den Hersteller (Wer?),
- in der Versandabteilung seines Unternehmens (Wo?),
- am Ende jedes Werktags (Wann?);

[15] Vgl. u.a. Masters (1980); Jackson (1981); Closs/Cook (1987); Higginson/Buchbinder (1994); Merrick/Buchbinder (2010).

- die gebündelten Sendungen werden verpackt, aufbewahrt und an einen Logistikdienstleister übergeben, der die Pakete ausliefert (Wie?).

Die Simulation ermittelt die Gesamtersparnisse der jeweiligen Bündelungsstrategie und macht diese dadurch vergleichbar. Für die Implementierung des Modells waren vier große Herausforderungen zu bewältigen:

i. die Modellierung der Kundennachfrage,
ii. die Modellierung der Vorauswahl-Alternativen,
iii. die Modellierung der Kapazitätszuteilung, und
iv. die Schaffung der Vergleichbarkeit.

Herausforderung 1: die Modellierung der Kundennachfrage

Die große Mehrheit der vorhandenen Publikationen verwendet eine normal verteilte Nachfrage $D \sim N(\mu, \sigma^2)$ für alle Kunden, mit der mittleren täglichen Nachfragemenge μ und der Varianz σ^2. Um an dieser Stelle die Geschäftspraxis noch exakter darstellen zu können, werden die Parameter-Einstellungen für jeden Kunden abhängig von seiner Segmentzugehörigkeit individuell bestimmt.

Die Aufteilung der Kunden auf die einzelnen Segmente erfolgt zum einen mithilfe der bekannten ABC-Analyse, die die einzelnen Gruppen $i = \{1,2,3\}$ gemäß den jeweiligen Auftragsvolumen abgrenzt. Es gibt Kunden mit (1) hohem, (2) mittlerem und (3) geringem Auftragsvolumen. Die tatsächliche Klassifizierung wird durch die Anteile der Gesamtnachfrage (p_i^{ABC}), für die ein gewisser Prozentsatz der Kunden (s_i^{ABC}) verantwortlich zeichnet, bestimmt.

Zum anderen gibt es zusätzlich drei Kundensegmente $j = \{1,2,3\}$, die die unterschiedlichen Schwankungen in den Nachfrageverläufen berücksichtigen. Es gibt Kunden mit (1) geringer, (2) mittlerer und (3) hoher Schwankung. Methodisch basiert diese Segmentierung auf der XYZ-Analyse, die in der Lagerhaltung weit verbreitet ist und bestimmt wird durch den Anteil an der Kundengesamtheit (p_j^{XYZ}), dem jeweils ein mittlerer Variationskoeffizient (vc_j^{XYZ}) zugeordnet wird.

Folglich gibt es insgesamt neun Kundengruppen (3 * 3). In jeder Klasse wird die mittlere tägliche Bestellmenge der Kunden wie folgt berechnet:

$$\mu_i = \frac{etd}{nrd} \cdot \frac{p_i^{ABC}}{C \cdot s_i^{ABC}} \tag{1}$$

mit der geschätzten Gesamtnachfrage in dem jeweiligen Planungszeitraum (etd), der Anzahl der Arbeitstage pro Periode (nrd), und der Gesamtzahl der Kunden (C).

Der Variationskoeffizient ist als Verhältnis der Standardabweichung zum Mittelwert definiert. Daher kann die Varianz der Normalverteilung folgendermaßen bestimmt werden.

$$\sigma_j^2 = \left(vc_j^{XYZ} \cdot \mu_i\right)^2 . \tag{2}$$

Da der hier zugrunde liegende Gesamtbedarf ein Prognosewert und damit unsicher ist, muss zudem der Prognosefehler betrachtet werden. Ein bekannter Messwert ist der Mean Percentage Error (MPE). Ein MPE von -50% zeigt z. B., dass die Nachfrage um 50% unterschätzt

wurde und in der Tat doppelt so hoch wie prognostiziert ist. Im Gegensatz entspricht ein MPE von +50% einer Überschätzung der Nachfrage um 50%.

Dementsprechend wird der tatsächliche tägliche $t = \{1,...,T\}$ Bedarf eines Kunden $c = \{1,...,C\}$ wie folgt berechnet:

$$d^{c,t} \sim N\left(\left(\frac{\mu_i}{MPE+1}\right),\left(vc_j \cdot \frac{\mu_i}{MPE+1}\right)^2\right) \tag{3}$$

Die Erwartungswerte der Normalverteilung bekommen eine untere Intervallgrenze bei Null, um negative Werte zu verhindern.

Herausforderung 2: Modellierung der Vorauswahl-Verfahren

Generell bedeutet eine Vorauswahl, dass die Kunden in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden. Je nach gewählter Strategie ist das Bewertungskriterium entweder die mittlere tägliche Bestellmenge (mengenbasierte Regel), der Variationskoeffizient (schwankungsbasierte Regel) oder der Quotient aus beiden (hybride Regel). Dem daraus resultierenden Ranking folgend wird die erforderliche Kapazität für jeden Kunden gemäß seiner mittleren täglichen Bestellmenge kumuliert. Solange die kumulierte Kapazität die insgesamt verfügbare Kapazität unterschreitet, solange werden die Kunden für die tägliche Bündelung berücksichtigt.

Herausforderung 3: Modellierung der Kapazitätszuteilung

Im statischen Fall wird jedem Kunden, dessen Sendungen gebündelt werden, die Kapazität (cap^c) zur Verfügung gestellt, die seiner prognostizierten mittleren Nachfrage (μ_i) entspricht. Wenn die tatsächliche tägliche Bestellmenge des Kunden größer ist, wird der Überschuss einzeln gesendet. Im gegenteiligen Fall, wenn die tatsächliche Nachfrage kleiner ist, wird nur diese Menge gebündelt, aber der verbleibende Raum kann nicht für andere Kunden genutzt werden.

Der dynamische Fall basiert auf der realen statt der prognostizierten Nachfrage. Daher wird die Kapazität nach den jeweiligen Einsparpotenzialen aufgeteilt. Das Verfahren ähnelt dem der Vorauswahl Regeln. Zu Beginn einer jeden Bestellperiode werden die kurzfristig bekannten Lieferdaten verwendet, um für jeden Kunden die realisierbaren Einsparungen ($\Delta TC^{c,t}$), die als Frachtkostendifferenz im Fall der Bündelung und im Fall der Einzelsendungen definiert sind, zu berechnen. Mit Bezug auf das zugrunde liegende Fallbeispiel wird angenommen, dass ein Paketdienstleister die Sendungen ausliefert. Die fälligen Portogebühren ($P(q)$) sind jeweils abhängig von der Liefermenge:[16]

[16] Vgl. Mutlu/Çetinkaya (2010).

$$P(q)=\begin{cases} 0 & q=0 \\ r_1 & 1\le q<W_1 \\ r_2 & W_1\le q<W_2 \\ \vdots & \\ r_Z & W_{Z-1}\le q<W_Z \\ \vdots & \\ \left\lfloor \frac{q}{W_Z}\right\rfloor \cdot r_Z + P\left(\mathrm{mod}\left[\frac{q}{W_Z}\right]\right) & q\ge W_Z \end{cases} \tag{4}$$

Dementsprechend können die realisierbaren Einsparungen eines Kunden wie folgt ausgedrückt werden:

$$\Delta TC^{c,t}\left(d^{c,t}\right)=d^{c,t}\cdot r_1-P(q=d^{c,t}) \tag{5}$$

Dem daraus resultierenden Ranking nach wird die erforderliche Kapazität so lange zugeteilt, bis sie erschöpft ist.

Herausforderung 4: Vergleichbarkeit schaffen

Bisher ist die "Bündelungsleistung" nicht definiert worden, obwohl diese wesentlich für den Vergleich und die Auswertung der sieben vorgeschlagenen Bündelungsstrategien ist. Die Leistung wird als die tatsächlich resultierende Gesamtersparnis (TS) der jeweiligen Bündelungsstrategie innerhalb des Planungszeitraums definiert, was der Summe aller erfolgten täglichen Einsparungen eines jeden Kunden entspricht:

$$TS=\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T} d^{c,t}\cdot r_1-\left(P(q=cq^{c,t})+\left(d^{c,t}-cq^{c,t}\right)\cdot r_1\right) \tag{6}$$

4.2 Die Implementierung des Modells

Nach der Bewältigung aller Herausforderungen und der Festlegung aller notwendigen Einstellungen für das Grundmodell, wird das Simulationswerkzeug AnyLogic 6.5 genutzt, um ein diskretes ereignisorientiertes Modell zu konstruieren. Die AnyLogic-Software bietet verschiedene standardisierte, vordefinierte Modellbausteine und bietet eine visuelle und animierte Entwicklungsumgebung, was den Entwicklungsprozess deutlich beschleunigte. Darüber hinaus erwies sich AnyLogic als sehr flexibel bezüglich der Erweiterbarkeit. Durch die Java-Grundlage des Programms, ist eine Erweiterung durch benutzerdefinierten Java-Code möglich und es gibt mehrere Optionen für den Import und Export von Daten.

Allgemeine Parameter und experimentelles Design

Weiterhin ist es notwendig, einige grundlegende Parameter, die bei jedem Simulationslauf fixiert bleiben (siehe Tabelle 3), zu definieren.

Parameter	***Beschreibung***	***Wert***
nrd	*Ein Planungszeitraum besteht aus 20 Arbeitstagen.*	*20 [Tage]*
C	*Die Anzahl der Kunden, die Bestellungen während des Zeitraums durchführen.*	*200 [Kunden]*
etd	*Prognostizierte Gesamtzahl der Bestellungen aller Kunden während des Planungszeitraums. Die Nachfrage ist über die Arbeitstage gleich verteilt.*	*100000 [Bestellungen]*
Volumen/Gewicht pro Bestellung	*Jede Bestellung beansprucht eine Kapazitätseinheit mit einem spezifischen Volumen bzw. Gewicht (vge).*	*1 [vge]*

Tabelle 3: Grundlegende statische Simulationsparameter

Zur Beurteilung und zum Vergleich der Bündelungsstrategien wird, wie bereits erwähnt, die Gesamtersparnis genutzt. Der genaue Betrag hängt von der Anzahl der gebündelten Sendung und den Portogebühren ab. Für das vorliegende Modell werden sechs verschiedenen Paketgrößen $z = \{1,2,3,4,5,6\}$ verwendet. Die entsprechenden Versandtarife von United Parcel Service, die für diese Analyse verwendet wurden, sind in Tabelle 4 zu finden.[17]

Paketgröße z	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Maximale Kapazität W_z	*1 [vge]*	*4 [vge]*	*7 [vge]*	*10 [vge]*	*14 [vge]*	*20 [vge]*
Porto r_z [18]	*$6.65*	*$6.70*	*$7.90*	*$9.10*	*$11.85*	*$14.20*

Tabelle 4: Paketgrößen und Paketgebühren von UPS

Wichtig sind im Folgenden die vier Variablen, mit denen ein vollständiges faktorielles Experiment durchgeführt wird: die relative Aufnahmekapazität, der Prognosefehler, die Kundenstruktur sowie der Nachfrageverlauf.

1. **Relative Bündelungskapazität** (0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1). Die relative Bündelungskapazität wird als Anteil von der prognostizierten mittleren Nachfrage pro Werktag gemessen und stellt die Kapazitätsbeschränkung dar, die von grundlegender Bedeutung für dieses Modell ist. Je niedriger der Wert des Parameters, desto weniger Kapazität und / oder Personal steht zur Verfügung.

2. **Prognosefehler MPE** (-0,25, 0, 0,25). Mit dem MPE wird die Unsicherheit der Prognose gemessen, die entscheidenden Einfluss auf die Bündelungsstrategien mit Vorauswahl und / oder auf die statische Kapazitätszuteilung hat.

[17] Vgl. UPS (2011), S. 4.
[18] Service Option: Standard Single, Zone 1.

3. **Kundenstruktur** (traditionell verteilt, gleichmäßig verteilt). Für die auf dem Pareto-Prinzip basierende ABC-Analyse wird für das traditionelle Szenario die allgemein angewandte 80-20 Regel für A-Kunden hergenommen. Folglich zeichnen 20% der Kunden für 80% des gesamten Auftragseingangs verantwortlich. Analog folgen daraus eine 15-30 und 5-50 Regel für B- bzw. C-Kunden (Sterling 1994). Um den Einfluss einer solchen Kundensegmentierung auf die Bündelungsleistung zu untersuchen, ist das alternative Szenario eine gleichmäßig verteilte Kundenstruktur.

4. **Nachfragestruktur** (traditionell verteilt, nur X, nur Y, nur Z). Um die heterogenen Schwankungen in den Nachfrageverläufen der Kunden zu berücksichtigen, werden die Kunden in drei Gruppen mit jeweils unterschiedlichen Variationskoeffizienten unterteilt. Für X-Kunden mit einer stabilen Nachfrage wird ein mittlerer Variationskoeffizient von 12,5% angenommen. Y-Kunden unterliegen einem mittleren Variationskoeffizienten von 37,5%. Die Z-Kunden weisen schließlich einen mittleren Variationskoeffizienten von 75% aus.[19] Um unterschiedliche Nachfrageverläufe darzustellen, werden in den einzelnen Szenarien unterschiedliche Gruppeneinteilungen vorgenommen. Neben einer traditionellen in der Literatur zu findenden Verteilung (10%, 40%, 50%) werden zusätzlich drei exklusive Szenarien angenommen, in denen die gesamte Population jeweils nur aus X-, Y-oder Z-Kunden besteht.

Daher werden insgesamt 500 Szenarien (10 * 5 * 2 * 5) betrachtet, in denen die sieben potenziellen Bündelungsstrategien verglichen werden. Für jede Parametereinstellung gibt es 100 Simulationsdurchläufe.

5 Simulationsergebnisse

Tabelle 5 zeigt die durchschnittlichen Gesamteinsparungen der sieben Entscheidungsalternativen abhängig von der relativen Bündelungskapazität. Bevor die detaillierte Betrachtung beginnt, ist es opportun, drei allgemeine Ergebnisse zu diskutieren: Erstens bietet jede Bündelungsstrategie erhebliche Kosteneinsparungen. Zweitens wachsen die Einsparungen proportional zum Anstieg der zur Verfügung stehenden Bündelungskapazität bei allen Strategien. Drittens erweist sich die aufwendigste Bündelungsstrategie NOPD als die beste Alternative unabhängig von den Parametereinstellungen. Hier sind die positiven Ergebnisse besonders gut zu erkennen, so erreicht eine geringe relative Bündelungskapazität von nur 10% bereits 43% des gesamten Einsparpotenzials. Falls die Kapazität auf 20% erhöht wird, können schon über 60% realisiert werden.

[19] Vgl. Hofmann et al (2011), S. 36; Gleißner/Möller (2011), S. 78; Tschandl et al (2007), S. 58

Strategie \ rel. Kapazität	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
PQS	42.405	100.364	156.085	210.312	264.588	319.292	373.757	427.396	476.002	503.451
PDS	49.265	102.995	156.222	207.967	259.345	310.028	360.682	410.351	459.961	497.507
PHS	50.459	105.604	159.936	213.705	267.123	320.567	374.483	427.443	475.639	503.222
PQD	51.898	122.743	191.120	256.928	323.293	389.213	454.092	513.563	561.756	593.253
PDD	54.497	114.008	173.755	232.655	292.393	352.123	412.808	473.617	534.997	585.829
PHD	56.678	120.202	184.419	249.318	314.889	380.931	447.342	508.719	559.359	592.848
NoPD	256.982	362.889	415.604	451.449	479.559	504.127	535.399	557.185	577.174	594.903

Tabelle 5: Durchschnittliche realisierte Gesamtersparnisse TS

Außerdem lassen sich die Leistungen der vorgeschlagenen Vorauswahl-Verfahren sehr gut vergleichen. Dabei ist es bemerkenswert, dass die pragmatische Lösung der mengenbasierten Auswahl sich als schlechteste Alternative bei niedrigen Kapazitätsleveln entpuppt, sich aber mit zunehmender Kapazität verbessert. Darüber hinaus zeigt sich, dass ein hybrides Verfahren zwar nicht immer am besten abschneidet, aber in allen Situationen zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Dieser Effekt kann durch die Tatsache, dass eine hybride Politik die Vorteile der anderen beiden Alternativen verbindet (siehe Figure 3), erklärt werden. Da dieses Verfahren somit sehr robuste Ergebnisse liefert, kann die hybride Regel bei Implementierung einer Vorauswahl-Regel ohne Einschränkung empfohlen werden.

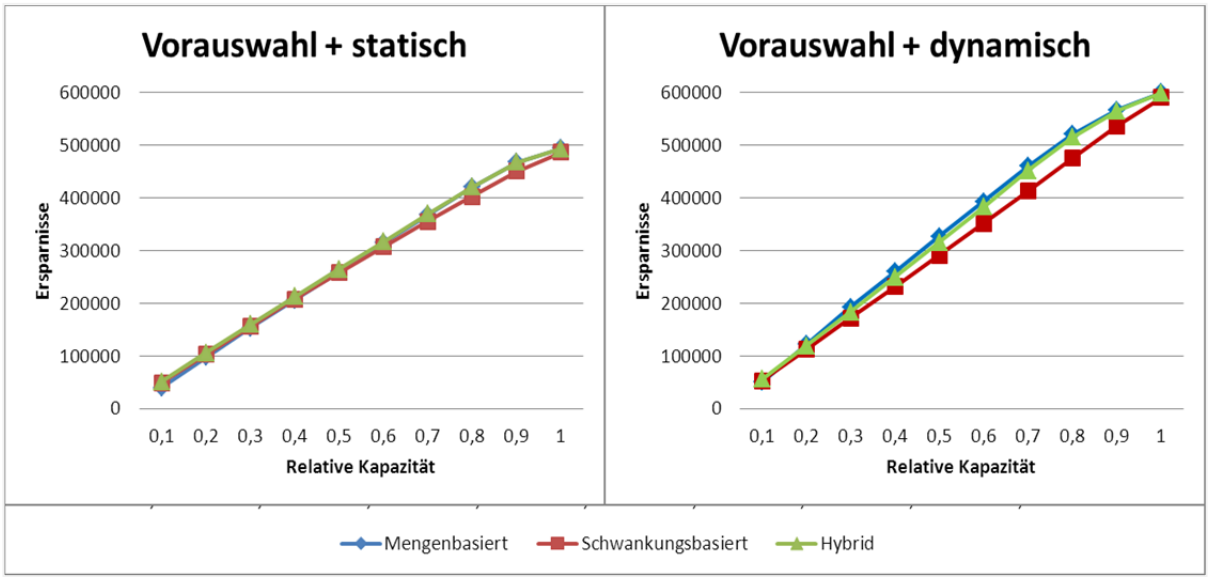

Figure 1: Vergleich der Vorauswahlstrategien

Um die Unterschiede zwischen der besten und den verbleibenden Alternativen zu analysieren, wird die Politik NOPD als Benchmark genutzt. Dies führt zu Abb. 2, die deutlich aufzeigt, dass die sechs übrigen Alternativen bei sehr begrenzter Kapazität deutlich schlechtere Leistungen bringen. Oder anders formuliert: die Vereinfachung der Bündelungsstrategie durch eine Vorauswahl kostet einen hohen Preis. Dies ist vor allem eine Herausforderung für Unternehmen mit beschränkten Ressourcen und Budgets, die sich den erforderlichen Erwerb einer Software-Lösung für die erfolgreiche Umsetzung der Strategie NOPD nicht leisten können.

Auch eine dynamische Kapazitätszuteilung kann die Nachteile der Vorauswahl bei niedrigen Leistungsstufen (siehe Abb. 2) nicht entscheidend kompensieren.

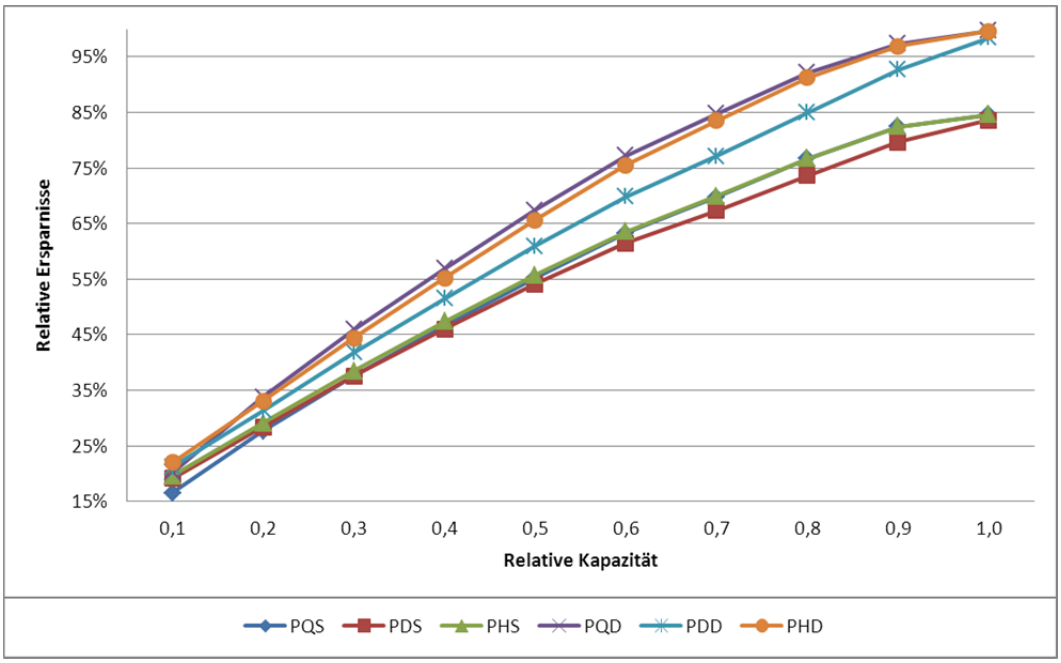

Figure 2: Relative Gesamtersparnisse der Bündelungsstrategien

Um die Unterschiede zwischen statischen und dynamischen Kapazitätszuteilungen besser untersuchen zu können, werden die Ergebnisse der drei Vorauswahl-Verfahren im Folgenden aggregiert. Figure 3 zeigt die Leistung der beiden Zuteilungsverfahren bezogen auf die gesamtbeste Strategie (NOPD). Ein Vergleich der drei MPE Parametereinstellungen (-25%, 0%, 25%) macht den Unterschied deutlich. Je negativer der Prognosefehler ist, desto besser behaupten sich die Strategien mit einer dynamischen Kapazitätszuteilung bezogen auf ihre statischen Pendants. Im Gegensatz dazu kommen die statischen Verfahren bei einem positiven MPE zu ähnlich guten Ergebnissen wie die dynamischen Varianten.

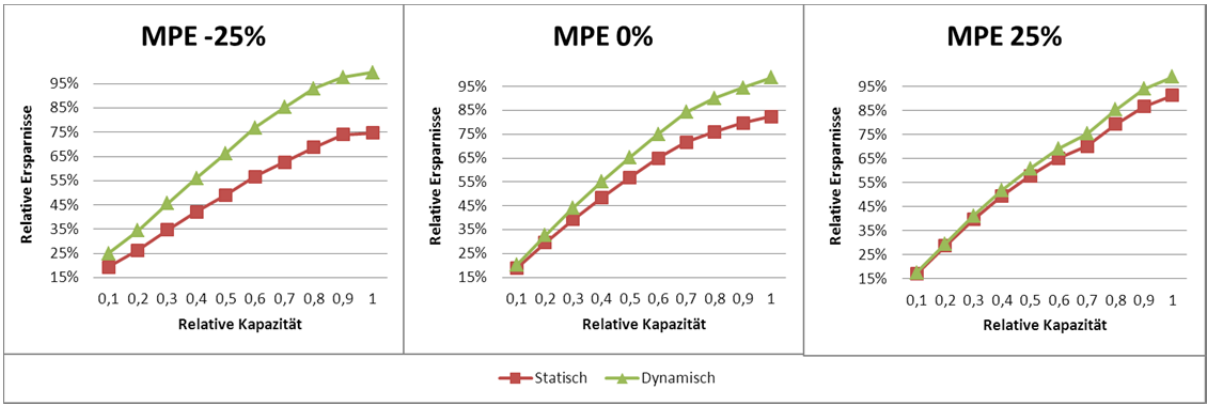

Figure 3: Vergleich der statischen und dynamischen Kapazitätszuteilung

Statische Verfahren verbessern ihre Leistung bei einem positiven MPE, während ein negativer MPE das Ergebnis verschlechtern würde. Für die dynamischen Verfahren ist die Wirkung genaue umgekehrt (Figure 4). Daraus lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen. Erstens schaden schlechte Prognosen somit nicht unbedingt der Bündelungsleistung. Stattdessen hängt es immer von der Art des Prognosefehlers und dem angewendeten Verfahren ab. Zwei-

tens, wenn die Nachfrage eher überschätzt (MPE > 0%) wird, schneiden die statischen Lösungen ähnlich gut ab wie die komplizierteren dynamischen Gegenstücke.

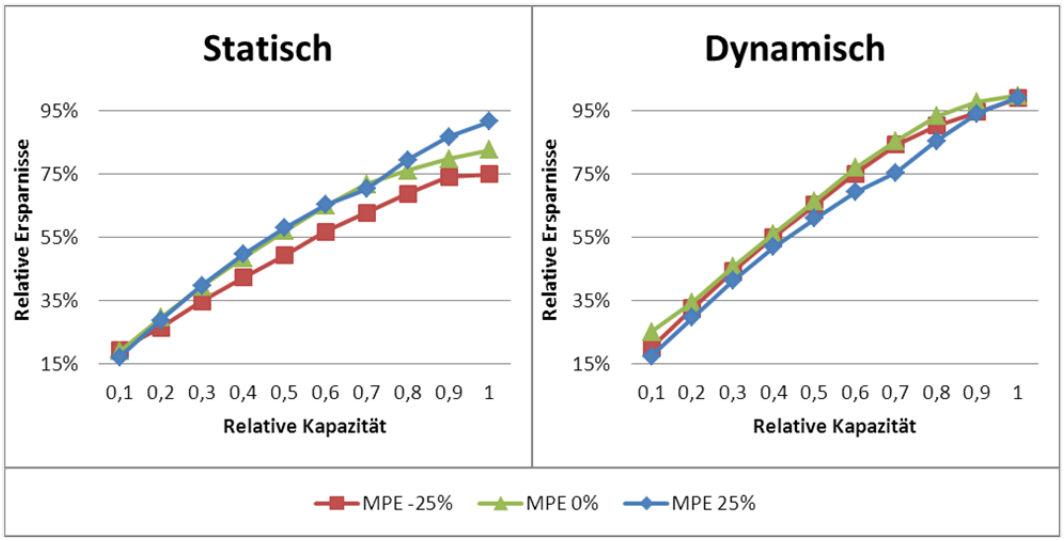

Figure 4: Vergleich der statischen und dynamischen Kapazitätszuteilung in Abhängigkeit des Prognosefehlers MPE

Weiterhin wurde der Einfluss der Kundenstruktur auf die Bündelungsleistung mit zwei verschiedenen Szenarien untersucht: eine traditionelle Pareto-basierte und eine gleichmäßig verteilte Kundenstruktur. Figure 5 vergleicht die Szenarien und zeigt, dass die Unterschiede nur gering sind. Unternehmen mit vielen kleinen Kunden haben demnach die gleichen Bündelungseinsparpotenziale wie Unternehmen mit vielen großen Kunden.

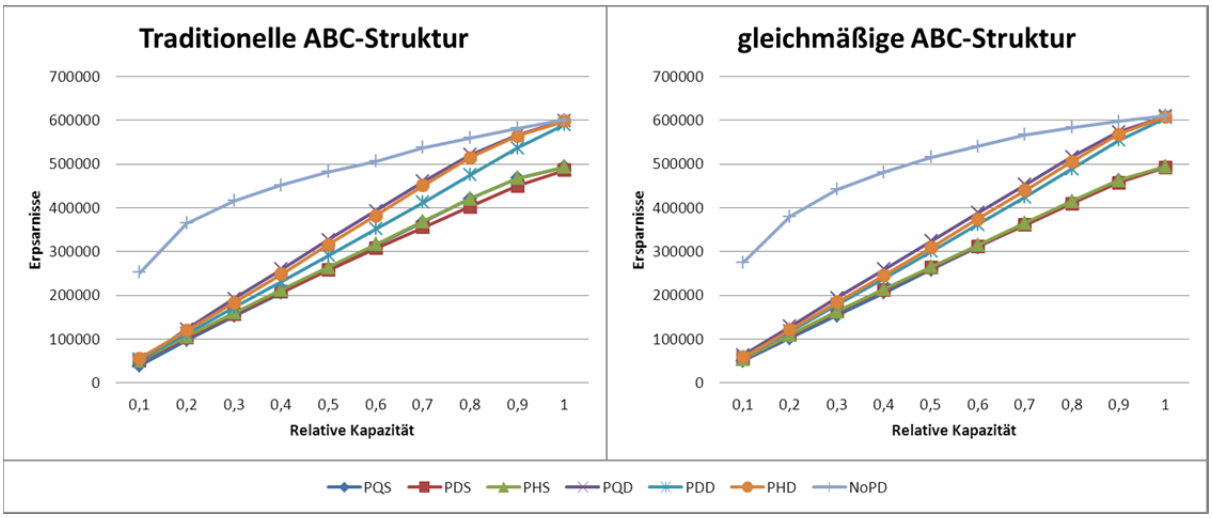

Figure 5: Vergleich der Bündelungsleistungen in Abhängigkeit von der Kundenstruktur

Im Gegensatz zur Kundenstruktur, hat die Variable des Nachfrageverlaufs der Kunden einen erheblichen Einfluss auf die Bündelungsleistung. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen mit statischer Vorauswahl, während die realisierten Einsparungen bei den dynamischen Strategien stabil bleiben. Je höher der Anteil von X-Kunden mit einem niedrigen Variationskoeffizienten der Nachfrage ist, desto besser schneiden die statischen Verfahren im Vergleich zu den dynamischen Lösungen ab (siehe Figure 6).

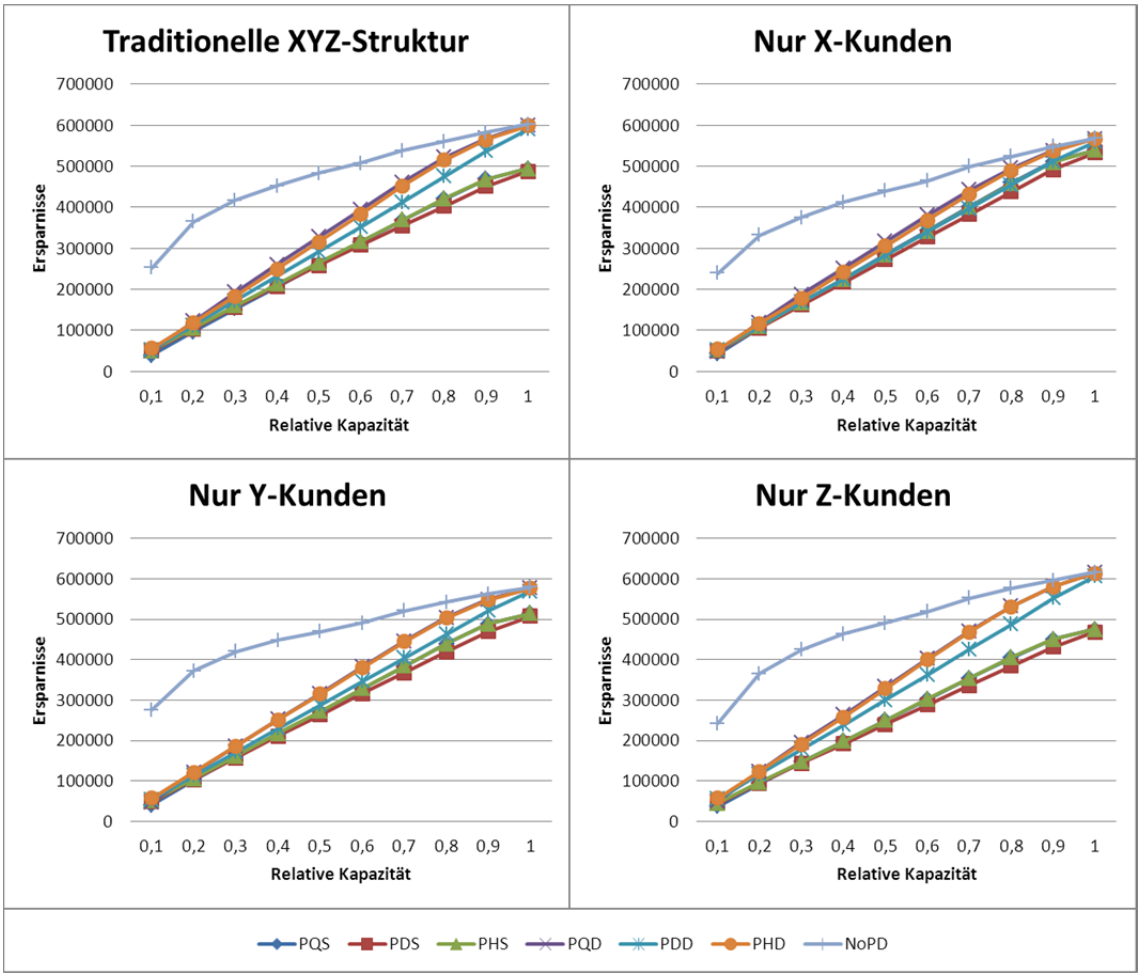

Figure 6: Vergleich der Bündelungsleistungen in Abhängigkeit von den Nachfrageschwankungen

6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Literatur über die Bündelung des Versandstroms konzentriert sich auf die Frage, wann die gebündelte Sendung verschickt werden soll. Dies ist in diesem Kontext der erste Artikel, der die Frage beantwortet, "was bzw. welche Sendungen" gebündelt werden. Diesem Entscheidungsproblem liegt eine limitierte Bündelungskapazität zugrunde, die ein wichtiger Faktor für viele Unternehmen ist. Vor allem KMUs sind mit ihren charakteristisch eingeschränkten Ressourcen betroffen.

Der Artikel präsentiert sieben einsetzbare Bündelungsstrategien und überprüft ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich verschiedener Kapazitäten, Prognosefehler, Kundenstruktur- und Nachfragestruktur-Szenarien. Basierend auf den Ergebnissen im vorherigen Abschnitt werden drei wichtige Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung betont. Erstens führt auch eine durch Kapazität limitierte Bündelung von Sendungen unabhängig von der implementierten Strategie zum Ziel der Kostensenkung. Dass die realisierten Einsparungen dabei mit zunehmender verfügbarer Bündelungskapazität wachsen, ist keine Überraschung. Zweitens ist die Strategie mit dem größten Implementierungsaufwand, nämlich Alternative Nummer 7 ohne Vorauswahl und mit dynamischer Kapazitätszuteilung, die wirksamste Lösung in allen möglichen Szenarien. Der relative Vorteil kommt vor allem bei geringen Kapazitäten zum Tragen. Den Ent-

scheidungsträgern muss bewusst sein, dass pragmatische Lösungen, die in der betrieblichen Praxis häufig bevorzugt werden, einen hohen Preis kosten. Drittens muss beachtet werden, dass die Leistung der erwähnten pragmatischen Alternativen, mit einem Vorauswahl-Verfahren und einer statischen Kapazitätszuteilung, mit einem Kapazitätsanstieg zunimmt und dass diese Lösungen dann sehr ordentliche Ergebnisse liefern, wenn ein Unternehmen einen großen Anteil an X-Kunden mit einem stabilen Nachfrageverlauf hat oder einen positiven Prognosefehler.

Diese Ergebnisse dienen als Basis, um Empfehlungen für die betriebliche Praxis zu entwickeln. Da zunächst alle Bündelungsstrategien helfen, die Kosten zu senken, können Unternehmen auch mit der Implementierung einer pragmatischen Lösung starten, z. B. mit einem Vorauswahl-Verfahren und einer statischen Kapazitätszuteilung. Der erste Erfolg in Kombination mit den potenziell möglichen zusätzlichen Einsparungen mithilfe einer anspruchsvolleren Lösung, kann die Aufmerksamkeit des oberen Managements sichern und langfristig den Weg ebnen für weitere Veränderungen. In diesem Fall bietet sich bei Unternehmen geringen Bündelungskapazitäten ein Ausbau dieser Engpässe an, oder eine geeignete Software zu entwickeln, die es ermöglicht, die insgesamt beste Alternative (keine Vorauswahl und dynamische Kapazitätszuteilung) zu implementieren.

Dieser Artikel soll ein weiterer Schritt sein, um die gesamte Bandbreite der Versandprobleme abzudecken und neue Impulse für diesen Forschungszweig zu liefern. Um diese Entwicklung weiter zu fördern, wird auf drei interessante Forschungsansätze hingewiesen.

Erstens wäre es interessant, wie sich die alternativen Bündelungsstrategien verhalten, wenn sie nicht nur im Hinblick auf ihre wirtschaftliche, sondern auch auf ihre ökologische Leistung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck ist es notwendig, das Simulationsmodell mit den Auswirkungen von CO2-Emissionen zu erweitern. Zweitens lässt sich diese Simulationsstudie mit analytischen Modellen ergänzen, die Unternehmen bei der Identifizierung einer optimalen Bündelungsstrategie, z.B. im Sinne der Bestimmung einer gewinnmaximalen Bündelungskapazität, unterstützen. Drittens sollte sich zukünftige Forschung um eine ganzheitliche Bündelungsstrategie bemühen, d. h. der Bündelungsprozess sollte möglichst gemeinsam mit Produktions- und Versandstrategien untersucht werden, um besonders geeignete Kombinationen zu identifizieren.

7 Literatur

Bell, J./Murray, M./Madden, K. (1991): Developing expertise: an Irish perspective, in: Journal of Small Business Management, 10 (2), S. 37-53.

Bonaccorsi, A. (1992): On the relationship between firm size and export intensity, in: Journal of International Business Studies, 23 (4), S. 605-635.

Bookbinder, J.H./Higginson, J.K. (2002): Probabilistic modeling of freight consolidation by private carriage, in: Transportation Research Part E, 38 (5), S. 305-318.

Carter, C.R./Rogers, D.S. (2008): A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38 (5), S. 360-387.

Çetinkaya, S. (2005): Coordination of Inventory and Shipment Consolidation Decisions: A Review of Premises, Models, and Justification, in: Applications of Supply Chain Management and E-Commerce Research, edited by J. Geunes/E. Akçali/P.M. Pardalos/H.E. Romeijn/Z.-J.M. Shen, S. 3-51, New York.

Çetinkaya, S./Bookbinder, J.H. (2003): Stochastic models for the dispatch of consolidated shipments, in: Transportation Research Part B, 37 (8), S. 747-768.

Çetinkaya, S./Lee, C.-Y. (2002): Optimal Outbound Dispatch Policies: Modeling Inventory and Cargo Capacity, in: Naval Research Logistics, 49 (6), S. 531-556.

Çetinkaya, S./Mutlu, F./Lee, C.-Y. (2006): A comparison of outbound dispatch policies for integrated inventory and transportation decisions, in: European Journal of Operational Research, 171 (3), S. 1094-1112.

Chen, F.Y./Wang, T./Xu, T.Z. (2005): Integrated Inventory Replenishment and Temporal Shipment Consolidation: A Comparison of Quantity-Based and Time-Based Models, in: Annals of Operations Research, 135 (1), S. 197-210.

Closs, D.J./Cook, R.L. (1987): Multi-Stage Transportation Consolidation Analysis Using Dynamic Simulation, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 17 (3), S. 28-45.

Etemad, H. (1999): Globalization and small and medium-sized enterprises: Search for potent strategies, in: Journal of Global Focus, 11 (3), S. 85-105.

Gleißner, H./Möller, K. (2011): Case Studies in Logistics, Wiesbaden.

Goodland, R./Daly, H. (1996): Environmental Sustainability: Universal and Non-Negotiable, in: Ecological Applications, 6 (4), S. 1002-1017.

Higginson, J.K./Bookbinder, J.H. (1994): Policy recommendations for a shipment-consolidation program, in: Journal of Business Logistics, 15 (1), S. 87-112.

Higginson, J.K./Bookbinder, J.H. (1995): Markovian decision processes in shipment consolidation, in: Transportation Science, 29 (3), S. 242-255.

Hofmann, E./Maucher, D./Piesker, S./Richter, P. (2011): Ways Out of the Working Capital Trap, Heidelberg et al.

Jackson, G.C. (1981): Evaluating order consolidation strategies using simulation, in: Journal of Business Logistics, 2 (2), S. 110-138.

Lummus, R.R/Vokurka, R.J. (1999): Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines, in: Industrial Management & Data Systems, 99 (1), S. 11-17.

Masters, J.M. (1980): The effects of freight consolidation on customer service, in: Journal of Business Logistics, 2 (1), S. 55-74.

McNaughton, R.B./Bell, J.D. (2000): Capital structure and the pace of SME internationalisation, paper presented at the 3rd International Entrepreneurship Conference on Globalisation and Emerging Businesses, Montreal.

Mentzer, J.T./DeWitt, W./Keebler, J.S./Min, S./Nix, N.W./Smith, C.D./Zacharia, Z.G. (2001): Defining supply chain management, in: Journal of Business Logistics, 22 (2), S. 1-25.

Merrick, R.J./Bookbinder, J.H. (2010): Environmental assessment of shipment release policies, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 40 (10), S. 748-762.

Miesenbock, K.J. (1988): Small Business and Exporting: A Literature Review, in: International Small Business Journal, 6 (2), S. 42-61.

Murphy, P.R./Poist, R.F. (2000): Green logistics strategies: An analysis of usage patterns, in: Transportation Journal, 40 (2), S. 5-16.

Mutlu, F./Çetinkaya, S. (2010): An integrated model for stock replenishment and shipment scheduling under common carrier dispatch costs, in: Transportation Research Part E, 46 (6), S. 844-854.

Mutlu, F./Çetinkaya, S./Bookbinder, J.H. (2010): An analytical model for computing the optimal time-and-quantity-based policy for consolidated shipments, in: IIE Transactions, 42 (5), S. 367-377.

Mutlu, F./Çetinkaya, S. (2010): An integrated model for stock replenishment and shipment scheduling under common carrier dispatch costs, in: Transportation Research Part E, 46 (6), S. 844-854.

Piplani, R./Pujawan, N./Ray, S. (2008): Sustainable Supply Chain Management, in: International Journal of Production Economics, 111 (2), S. 193-194.

Quante, R./Meyr H./Fleischmann M. (2009): Revenue management and demand fulfillment: Matching applications, models, and software, in: OR Spectrum, 31(1), S. 31-62.

Seuring, S./Müller, M. (2008): From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management, in: Journal of Cleaner Production, 16 (15), S. 1699-1710.

Srivastava, S.K. (2007): Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, in: International Journal of Management Reviews, 9 (1), S. 53-80.

Sterling, J.U. (1994): Managing the Performance of Logistics Operations, in: The Logistics Handbook, edited by J.F. Robeson and W.C. Copacino, S. 199-240, New York

Talluri, K./G. van Ryzin (2004): The Theory and Practice of Revenue Management. Norwell, Massachusettes

Tschandl, M./Bäck, S./Ortner, W./Peßl, E./Schentler, P./Schweiger, J. (2007): PEM: Increasing Efficiency and Effectiveness of Procurement-Processes, in: Innovative Logistics Management, edited by W. Kersten, T. Blecker, and C. Herstatt, S. 53-65

UPS (2011): UPS Rates - Sending - Effective from 3 January 2011. http://www.ups.com/media/de/de/tariff/tariff-pdf/export.pdf.

WCED (1987): *Our Common Future – The World Commission on Environment and Development*. Oxford et al.: Oxford University Press.