

Simulation zur Bestimmung des Leistungsgewinns bei kombiniertem Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien – in Abhängigkeit von Layout und Auftragslast

***Determine the Performance Benefit by Combining Multiple Order
Picking Strategies using Simulation***

Jörg Zellerhoff, Michael ten Hompel
Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen,
Technische Universität Dortmund, Dortmund (Germany)
joerg.zellerhoff@flw.mb.tu-dortmund.de, tenHompel@iml.fhg.de

Abstract: This paper examines the performance benefit gained by combining different storage and order picking policies. The authors use simulation to analyze the dependencies on order picking layout, order structure and picking strategies. The results indicate that multi-order-picking has the greatest potential for decreasing the order picking time. By adding further picking strategies the performance is increased by a diversifying amount. This makes it necessary to consider the ratio between cost and benefit for each individual case.

1 Einleitung

Im Warenfluss vom Produzenten zum Verbraucher bilden Lager- und Distributionssysteme die Kernelemente. Sie unterliegen immer steigenden Anforderungen an Schnelligkeit, Qualität und Kostenminimierung der logistischen Leistung, um die Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten. Innerhalb der Lager- und Distributionssysteme wird die Kommissionierung als arbeitsintensivster und zeitkritischster Prozess beurteilt (TEN HOMPEL, SCHMIDT 2007; TOMPKINS u.a. 2003).

Bei der Kommissionierung werden ausgehend von einem Kundenauftrag die geforderten Mengen der bestellten Produkte aus dem Lager entnommen und kundenspezifisch zusammengefasst (siehe auch VDI 3590, Blatt 1). Durch die Kombination aus steigenden Anforderungen und arbeitsintensivstem Prozess wird die Kommissionierung als einer der wichtigsten Bereiche zur Effizienzverbesserung gesehen.

Dieser Beitrag fokussiert die manuelle, auftragsweise Kommissionierung. Eine Systematisierung der verschiedenen Ausprägungsformen von Kommissioniersystemen bietet (z.B. AIF 2010). Die Leistung in manuellen Kommissioniersystemen ist

abhängig von der Kommissionierzeit. Während Greif-, Basis- und Totzeiten im Allgemeinen geringes Rationalisierungspotenzial bieten, können Wegzeiten durch Kommissionierstrategien deutlich reduziert werden. Kommissionierstrategien werden eingesetzt, um eine kurze Route für Touren durchs Lager zu bestimmen (Wegstrategien), um beim Multi-Order-Picking Sammelaufträge aus Kundenaufträgen mit gleichen oder ähnlichen Haltepunkten zu bilden (Batchalgorithmen) oder die Bereitstellenheiten optimiert den Lagerplätzen zuzuordnen (ABC-Zonung, Clusterbildung usw.).

In der Praxis werden diese Strategien zumeist in Kombination eingesetzt. In diesem Beitrag wird deshalb dargestellt, welche Leistungsgewinne bei kombiniertem Einsatz mehrerer Kommissionierstrategien erreicht werden können und inwieweit diese Leistungsgewinne von der spezifischen Auftragslast und dem Layout eines Kommissioniersystems abhängen. Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe der Simulation.

2 Stand der Technik

Während die Auftragslast eines Kommissioniersystems aus Sicht der Intralogistik nicht veränderbar ist, kann sowohl auf das Layout, wie auch auf den Einsatz von Kommissionierstrategien Einfluss genommen werden. Eine Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen befassen sich daher mit der Suche nach dem optimalen Layout, der besten Wegstrategie, der besten Lagerplatzzuordnung und dem besten Batchalgorithmus beim Multi-Order-Picking (eine Übersicht bietet bspw. ROODBERGEN u.a. 2007). Veröffentlichungen zu dieser Thematik fokussieren im wesentlichen Aspekte zur Umsetzung bzw. Implementierung der genannten Strategien in Kommissioniersysteme. Zur Untersuchung des Leistungsgewinns bei kombiniertem Strategieeinsatz wird aber ein allgemeingültiges Verfahren zur Leistungsermittlung benötigt.

Einen Überblick der publizierten analytischen Verfahren zur Leistungsermittlung in der manuellen Kommissionierung bietet SADOWSKY (2007). Er entwickelt, motiviert durch die Einschränkungen der bestehenden Berechnungsverfahren, eine allgemeingültige Lösung für den Fall, dass die Zugriffshäufigkeiten innerhalb der Kommissioniergasse einer beliebigen Verteilungsfunktion genügen und eine beliebige Anzahl an Positionen in einem Kommissionierauftrag vorliegt. Allerdings werden nur Wegstrategien mit geometrischen Heuristiken (vgl. Tab. 1) unterstützt. Auch Quergänge, Multi-Order-Picking und eine Lagerplatzzuordnung im Segmentssystem (vgl. Tab. 1) können nicht berechnet werden.

Ein analytischer Ansatz zur Abschätzung der Kommissionierzeit wird durch CHEW und TANG (1999) publiziert. Hierbei ist eine Betrachtung des Multi-Order-Picking für Batchbildung nach dem First-Come-First-Serve-Verfahren möglich. Aufgrund diverser Einschränkungen besitzt dieser Ansatz nur Gültigkeit für ein kleines Spektrum an Systemen und Auftragslasten.

Weitere Ansätze zur Abschätzung der Kommissionierzeit werden von Le Duc und De Koster veröffentlicht. Sie erweitern den Ansatz von Chew und Tang, so dass Lagerplatzzuordnungen im Streifensystem mit einem Quergang berechnet werden können (LE DUC, DE KOSTER 2005). Zusätzlich publizieren sie einen Ansatz, der Batchbildung in Lägern mit maximal einem Quergang unterstützt. Dieser Ansatz

wird aber nur in Kombination mit Schleifenstrategie und zufälliger Lagerplatzvergabe beschrieben (LE DUC, DE KOSTER 2007).

Da ein allgemeingültiger analytischer Berechnungsansatz nicht existiert und aufgrund der Problemkomplexität und sich gegenseitig beeinflussender Faktoren mindestens sehr aufwendig hergeleitet werden müsste, wird die Simulation als Methode genutzt. Mit Hilfe der Simulation ist es prinzipiell möglich sämtliche Parametervariationen zu betrachten. In PETERSEN und AASE (2004) sowie in CHEN u.a. (2010) wird ein ähnlicher Ansatz verfolgt. Allerdings lassen die Ergebnisse ihrer Simulationsexperimente aufgrund diverser Einschränkungen keine allgemeingültige Aussage zu. Es besteht damit die Notwendigkeit, ein erweitertes Simulationsmodell zu entwickeln.

Im Gegensatz zu den Modellen von PETERSEN und AASE (2004) bzw. CHEN u.a. (2010) bestehen die signifikantesten Erweiterungen in der Möglichkeit beliebige Layouts (Quergänge, unterschiedliche Fachtiefen innerhalb einer Gasse) abzubilden. Weiterhin ist die Verteilung der Zugriffshäufigkeiten auf Artikel beim Generieren von Aufträgen frei wählbar. Zusätzlich soll auch der Leistungsgewinn von Kommissionierstrategien untersucht werden, die in bisherigen Berechnungsansätzen und Simulationsexperimenten nicht thematisiert wurden (Querverteilung von Bereitstellungseinheiten, Bereitstellung von TOP-Artikeln an der Basis – siehe dazu auch Tab. 1).

Kommissionierstrategie		Ziel	Beschreibung
Wegstrategien	Schleifenstrategie, Stichgangstrategie, Kürzeste-Wege-Strategie	Für die anzulaufenden Positionen einer Kommissioniertour wird von der Basis aus eine wegoptimale Rundreise gesucht.	Schleifen- und Stichgangstrategie gehören zu den geometrischen Heuristiken. Die Kürzeste-Wege-Strategie nutzt eine numerische Heuristik zur Wegfindung, die keine geometrische Regelmäßigkeit aufweist (z.B. Savings-Verfahren).
Lagerplatz-zuordnungen	zufällige Verteilung, Streifensystem, Segmentsystem	Verkürzung der durchschnittlichen Wege der Kommissionierer durch Lagerung von zugriffstarken Artikeln in Basisnähe.	Im Streifensystem liegen zugriffstarke Artikel am Gassenanfang – zugriffsschwache Artikel am Gassenende. Im Segmentsystem liegen zugriffstarke Artikel in einer Gasse nahe der Basis – zugriffsschwache Artikel liegen in einer von der Basis entfernten Gasse.
Multi-Order-Picking		Durch Erhöhung der Positionsanzahl pro Kommissioniertour werden die Wege pro Position verringert.	Batchalgorithmen fassen Kundenaufträgen mit gleichen oder ähnlichen Haltepunkten zu einem Kommissionierauftrag zusammen.
Querverteilung der Bereitstellungseinheiten		Ziel der Querverteilung ist es, denselben Artikel an mehreren Entnahmeorten bereitzustellen.	Sind mehrere Bereitstellungseinheiten eines Artikels im Lager, so bestehen bei einer Querverteilung alternative Anfahrpunkte für Batchbildung und Wegeplanung.
TOP-Artikel an Basis		Die umsatzstärksten TOP-Artikel werden direkt an der Basis bereitgestellt.	Hierdurch kann neben einer Reduzierung der Kommissionierwege oft auch der Nachschub optimiert werden.

Tabelle 1: Im Simulationsmodell untersuchte Kommissionierstrategien

3 Simulationsmodell

Die charakteristischen Merkmale des entwickelten Simulationsmodells werden im Folgenden beschrieben.

Das Kommissionierlager besteht aus parallelen Regalgassen. Die Lagermittel (Palettenregal mit Bodenzeilenbereitstellung, Fachbodenregal, Durchlaufregal) sind individuell anpassbar und können innerhalb einer Gasse variieren. Die Definition beliebiger Layouts ist möglich (Anzahl Gassen, Gassenlänge, Anzahl Fächer, Fachabmaße, Anzahl Ebenen, Anzahl und Lage der Quergänge, Gangbreite usw.). An beiden Stirnseiten der Gassen befinden sich Kopfgänge.

Der Kommissionierer beginnt und beendet jede Kommissioniertour an der Basis. Diese ist mittig vor dem vorderen Stirngang platziert. Für die Übernahme und die Abgabe von Aufträgen an der Basis wird eine zufallsverteilte Zeit benötigt.

Der Kommissionierer nutzt entweder einen Kommissionierwagen und bewegt sich zu Fuß oder er fährt mit einem Horizontalkommissionierer. Die Entnahme einer Auftragsposition wird über eine zufallsverteilte Wartezeit abgebildet. Die Kommissionierung erfolgt nach dem Sort-While-Pick-Prinzip. Unabhängig von der Anzahl gleichzeitig bearbeiteter Aufträge wird für die Abgabe in den Auftragsbehälter ebenfalls eine zufallsverteilte Abgabezeit benötigt, welche allerdings nicht von der Batchgröße abhängig ist. Es hat sich gezeigt, dass im industriellen Umfeld die Identifizierungszeit bei heutigen Put-to-Light-Kommissionierwagen nahezu unabhängig von der Anzahl an Auftragsbehältern ist. Allerdings nimmt die Anzahl an Auftragsbehältern pro Kommissioniertour Einfluss auf die Kommissionierqualität (AIF 2010).

Je nach Vorgabe können Artikel einen oder mehrere Bereitstellplätze im Kommissionierlager belegen. Bei mehreren Bereitstellplätzen pro Artikel kann die Strategie der Querverteilung eingesetzt werden (vgl. Tab. 1).

Zur Untersuchung der Kommissionierstrategien ist ein parametrierbares Simulationsmodell erforderlich. Wie Abbildung 1 darstellt, wird dies durch die Verknüpfung von drei Komponenten erreicht. Im Modellgenerator können sämtliche Parameter zu Systemlayout, Systemlast und dem Einsatz von Kommissionierstrategien festgelegt werden. Im Anschluss wird mit dem Modellgenerator mittels Codegenerierung ein ausführbares AutoMod-Simulationsmodell erzeugt, welches alle zuvor festgelegten Eigenschaften besitzt.

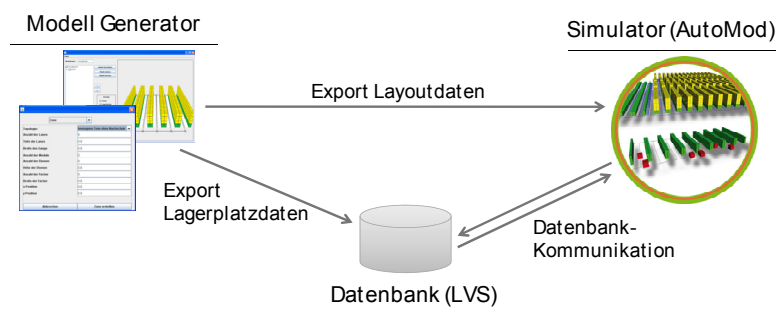


Abbildung 1: Komponenten bei der Simulation

	Systemgröße	Layout			Lagertechnik	Fortbewegung
	Bereitstell-einheiten	Gassen	Quer-gänge	Gassen-länge		
Referenzsystem 1	3.200	8	-	20,0m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 2	3.200	8	1	22,5m	Fachbodenregal	zu Fuß
Referenzsystem 3	4.960	20	2	126,3m	Paletten in Bodenzeilen	Horizontal-Kommissionierer
Referenzsystem 4	12.288	8	1	98,5m	Fachbodenregal	Horizontal-Kommissionierer

Tabelle 2: Ausgewählte exemplarische Referenzsysteme

Hierbei wird unter anderem das erforderliche Wegenetz für den Kommissionierer mit entsprechenden Haltepunkten für den Zugriff auf alle Lagerfächer bei der Codegenerierung auf Grundlage des definierten Layouts erstellt. Zusätzlich wird eine Microsoft Access-Datenbank generiert, in der alle notwendigen Daten hinterlegt sind. Mithilfe dieser Datenbank und dem generierten AutoMod-Modell werden die Simulationsexperimente in AutoMod durchgeführt.

4 Auswertung und Ergebnisse

Um die Einflussgrößen auf die Effizienz von Kommissionierstrategien im Rahmen der Simulationsexperimente zu identifizieren, wurden verschiedene Parameterkombinationen untersucht. Praxisrelevante Layoutvarianten und Auftragslasten wurden in Simulationsexperimenten mit sämtlichen Kombinationen an Kommissionierstrategien analysiert. Eine Übersicht hierzu bietet AIF (2010). Auch für die detaillierte Auswertung der Simulationsexperimente und eine Beschreibung der daraus abzuleitenden Handlungsempfehlungen für die Industrie sei auf AIF 2010 verwiesen. Dieses Kapitel bietet eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Simulationsstudie bezogen auf Referenzsystem 1 (siehe Abb. 2). Die Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die hier genannten Einsparungspotenziale aus Referenzsystem 1 auch als guter Richtwert für andere Systemlayouts und Auftragsstrukturen gelten. Abbildung 2 veranschaulicht, dass bei den exemplarisch ausgewählten Referenzsystemen die prozentualen Leistungsgewinne durch Strategien und Strategiekombinationen ähnliche Ausprägungen haben.

Die optimale Wegstrategie ist immer die "Kürzeste-Wege-Strategie" (KW-Strategie). Die Wegzeitersparnis pro Position liegt bei einem Wechsel von Stichgangstrategie zur KW-Strategie bei $\approx 15\%$, bei einem Wechsel von Schleifenstrategie zu KW-Strategie bei $\approx 20\%$. Kann in dem Kommissioniersystem aus unterschiedlichen Gründen keine KW-Strategie realisiert werden, so hängt die Wahl zwischen Schleifenstrategie und Stichgangstrategie von der Anzahl der Anfahrpunkte auf einer Kommissioniertour ab. Bei Aufträgen mit wenigen Positionen sollte die Stichgangstrategie bevorzugt werden. Erhöht sich die Anzahl an Positionen, so ist die Schleifenstrategie der Stichgangstrategie ab einem bestimmten Punkt überlegen (ca. sieben Positionen in Referenzsystem 1).

Bei Betrachtung der Lagerplatzzuordnung kann die zufällige Einlagerung der Bereitstelleneinheiten als Referenzwert angesehen werden. Für die Höhe der Wegzeiteinsparungen bei Verwendung einer ABC-Zonung konnte die Verteilung der Zugriffshäufigkeiten auf die Artikel als wichtiger Parameter identifiziert werden. Ausgehend von einer normalen Verteilung in der 80 % der Zugriffe auf 20 % der Artikel erfolgen (80/20) zeigt eine ABC-Zonung im Segmentsystem einen Wegzeitgewinn von \varnothing 40 % pro Position im Vergleich zur zufälligen Einlagerung. Unter gleichen Voraussetzungen liegt der Wegzeitgewinn für eine ABC-Zonung im Streifensystem bei \varnothing 30 %. Allerdings ist bei einer Zonung im Segmentsystem auch die Gefahr der gegenseitigen Behinderung von Kommissionierern am größten, da die zugriffstärksten Artikel in einer Gasse gebündelt werden.

Variiert die Verteilung der Zugriffshäufigkeit, so ergibt sich keine Änderung der Allgemeinaussage, dass ein Segmentsystem leistungsstärker ist als ein Streifensystem. Es verändert sich ausschließlich die Ausprägung der Wegzeitgewinne.

Beim Multi-Order-Picking wird als Referenzwert für die Wegzeiteinsparung die Einzelbearbeitung der Aufträge (Single-Order-Picking) herangezogen. Als Ergebnis stellt sich zunächst heraus: Je höher die Anzahl an Aufträgen pro Kommissioniertour, desto höher auch die Wegzeiteinsparung durch diese Kommissionierstrategie. Im Vergleich zur Einzelbearbeitung liegt die Wegzeiteinsparung bei der Bearbeitung von drei Aufträgen gleichzeitig (Batchgröße 3) bereits bei \varnothing 55 %. Werden 13 Aufträge gleichzeitig bearbeitet, so steigt die Reduzierung der Wegzeit unter gleichen Voraussetzungen im Mittel auf fast 85 %. Damit ist das Multi-Order-Picking die bisher effizienteste betrachtete Kommissionierstrategie.

Die Kommissionierstrategie zur Lagerung der zehn TOP-Artikel an der Basis bewirkt bei einer 80/20-Verteilung eine Wegzeitreduzierung von \varnothing 10 %. Bei einer 80/5-Verteilung wird eine Wegzeitreduzierung von \varnothing 30 % erreicht. Allgemein zeigen weitere Experimente, dass die Wegzeitreduzierung bei dieser Kommissionierstrategie abhängig von der Ausprägung der Verteilung der Zugriffshäufigkeiten ist. Je stärker die Verteilung ausgeprägt ist, desto größer die Wegzeitreduzierung.

Mit der Querverteilung von Bereitstelleneinheiten (zwei Einheiten pro A-Artikel) wird eine Wegzeitreduzierung von \varnothing 11 % gegenüber der "benachbarten" Lagerung zweier gleicher A-Artikel erreicht. Bei einer Querverteilung mit 3 Einheiten pro A-Artikel wird eine Wegzeitreduzierung von \varnothing 14 % erreicht. Diese Kommissionierstrategie zeigt sich daher im Vergleich als nicht besonders effektiv, zumal in Verbindung mit Multi-Order-Picking der Steuerungsalgorithmus deutlich komplizierter wird. Weitere Experimente zu dieser Strategie lassen aber vermuten, dass durch effizientes Verteilen der Bereitstelleneinheiten im Lager weitere Wegzeitreduzierungen möglich sind.

Nach der separaten Betrachtung der einzelnen Kommissionierstrategien sollen im Folgenden beispielhaft die verschiedenen Kombinationen von Strategien untersucht werden. Für eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse sei auch hier auf AIF (2010) verwiesen.

Wird Multi-Order-Picking und Lagerplatzzuordnung kombiniert eingesetzt, so verringert sich der Effekt der Lagerplatzzuordnung, da beide Kommissionierstrategien auf eine Bündelung der Entnahmeorte abzielen. Im Referenzsystem 1 bewirkt Batchgröße 9, wie in Abbildung 2 dargestellt, eine Wegzeiterparnis von \varnothing 77 % im

Vergleich zur Einzelbearbeitung. Mit dem Einsatz eines Segmentsystems wird eine Wegzeitersparnis von $\approx 40\%$ im Vergleich zur zufälligen Einlagerung erreicht. Werden beide Strategien kombiniert, so entsteht eine Wegzeitersparnis bei Batchgröße 9 und Segmentsystem von $\approx 85\%$.

Zusätzlich zum Multi-Order-Picking und der Lagerplatzzuordnung werden in Abbildung 2 die Querverteilung der Bereitstelleneinheiten und die Lagerung von TOP-Artikeln an der Basis in die Betrachtung von Kombinationen von Kommissionierstrategien mit einbezogen (Kennlinie: *Alle Strategien kombiniert*). Die $\approx 85\%$ Wegzeitreduzierung durch Batchgröße 9 und Segmentsystem können so allerdings nur auf $\approx 87\%$ gesteigert werden.

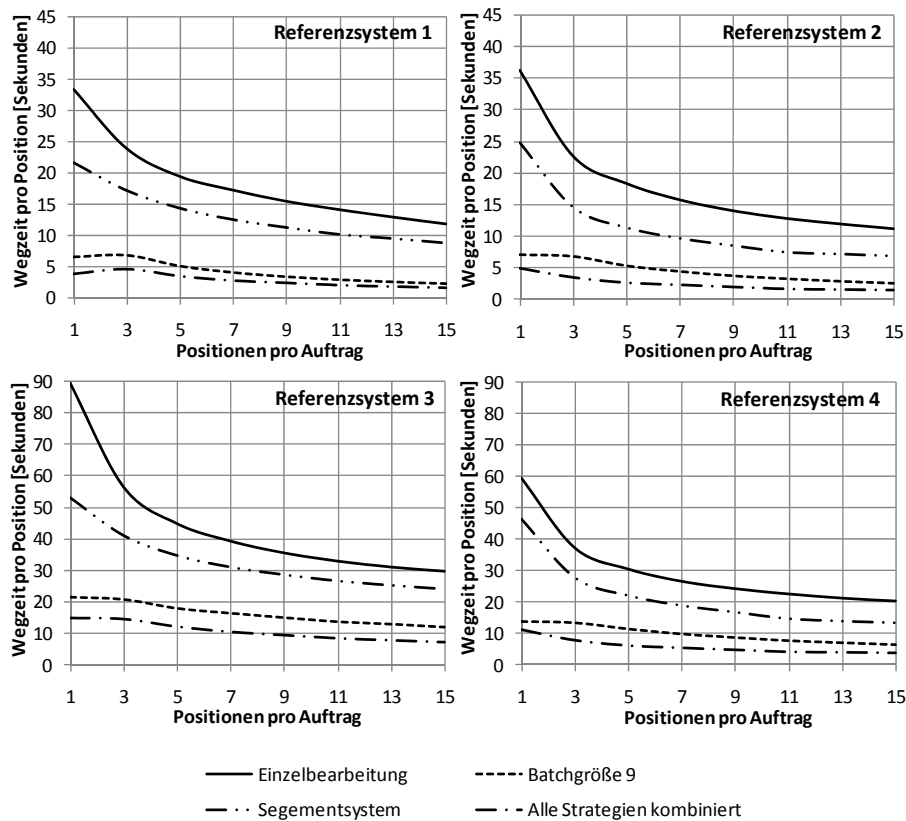


Abbildung 2: Beispielhafte Auswertung der Wegzeit

5 Fazit

Die Leistung von Kommissionierstrategien wird im Wesentlichen durch die Einflussgrößen der Auftragsstruktur und des Systemlayouts bestimmt. Die Auftragsstruktur schwankt in vielen Branchen kurzfristig, während das Systemlayout nur durch mittelfristige Umstrukturierungen angepasst werden kann. Die Simulationsexperimente zur Leistungsbestimmung der Kommissionierstrategien in Abhängigkeit der Einflussgrößen haben gezeigt, dass unabhängig von deren Ausprägung für

jedes System eine allgemeine Handlungsempfehlung formuliert werden kann. Daraus hat sich ergeben, dass in jedem Fall Multi-Order-Picking mit maximal möglicher Batchgröße eingesetzt werden sollte. Die Kombination mit einer zusätzlichen Kommissionierstrategie führt darüber hinaus immer zu einer Leistungssteigerung. Allerdings ist beim Einsatz von Strategiekombinationen zu beachten, dass abhängig von der Ausprägung der Einflussgrößen der Nutzen einer zusätzlichen Strategie und der Aufwand für deren Umsetzung in einem ungünstigen Verhältnis stehen können. Deshalb wurde aus den Ergebnissen der Simulationsstudie ein kennzahlbasierter Auswahlalgorithmus entwickelt, der abhängig von aktuellen Einflussgrößen die beste Kombination von Kommissionierstrategien vorgibt (AIF 2010).

Literatur

- AIF – Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.: Strategien für die flexible, auftragsweise Kommissionierung mit integrierter Prüfung. Abschlussbericht AiF-Vorhaben Nr. 15811 N, TU Dortmund, 2010.
- CHEN, C.-M.; GONG, Y.; DE KOSTER, R.; VAN NUEN, J.: A Flexible Evaluative Framework for Order Picking Systems. In: *Production and Operations Management*, Oxford, 19(2010)1, S. 70-82.
- CHEW, E. P.; TANG, L. C.: Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. In: *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, 112(1999)3, S. 582-597.
- LE DUC, T.; DE KOSTER, R.: Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. In: *International Journal of Production Research*, Oxfordshire, 43(2005)17, S. 3561-3581.
- LE DUC, T.; DE KOSTER, R.: Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. In: *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, 176(2007)1, S. 374-388.
- PETERSEN, C. G.; AASE, G.: A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. In: *International Journal of Production Economics*, Amsterdam, 92(2004)1, S. 11-19.
- ROODBERGEN, K. J.; DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.: Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, 182(2007)2, S. 481-501.
- SADOWSKY, V.: Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen. Dortmund: Dissertation, TU Dortmund, 2007.
- TEN HOMPEL, M.; SCHMIDT, T.: *Warehouse-Management Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen*. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, Y. A.; BOZER, Y. A.; FRAZELLE, E. H.: *Facilities Planning*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003.