

D. Ahr · R. Fahrion  
M. Oswald · G. Reinelt  
Editors

# Operations Research Proceedings 2003

Selected Papers  
of the International Conference  
on Operations Research (OR 2003)

Heidelberg, September 3-5, 2003

With 137 Figures  
and 51 Tables

Heidelberg 2004:



Springer, pp. 47-54

# Artikelanordnungsmuster bei Mann-zur-Ware-Kommissionierung

Karl Dörner<sup>1</sup>, Michael Reeh<sup>1</sup>, Christine Strauss<sup>1</sup> und Gerhard Wäscher<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Betriebswirtschaftslehre, Universität Wien  
{karl.doerner,christine.strauss}@univie.ac.at, Michael.Reeh@gmx.net

<sup>2</sup> Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Management Science,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Gerhard.Waeschler@ww.uni-magdeburg.de

**Zusammenfassung** Der vorliegende Beitrag präsentiert die Ergebnisse einer Analyse zur Wahl eines geeigneten Artikelanordnungsmusters (Längs-, Quer-, Radialanordnung) bei gegebenen, in der Praxis häufig anzutreffenden Problemparametern. Die numerischen Ergebnisse zeigen für ein gegebenes Lagersystem, dass die Festplatzlagerung einem chaotischen Lager vorzuziehen ist und dass durch die Wahl bestimmter Artikelanordnungsmuster in Abhängigkeit von der verwendeten Routingstrategie Vorteile durch reduzierte Kommissionierwege erzielt werden können.

## 1 Einführung

Das Kommissionieren ist eine Lagerhausfunktion, welche die Entnahme von gelagerten Artikeln und ihr Zusammenführen gemäß vorgegebener Kundenaufträge zum Gegenstand hat. Bei einem Mann-zur-Ware-Kommissioniersystem sind die Artikel typischerweise in parallelen Gängen angeordnet, und das Kommissionierpersonal entnimmt die durch Kommissionieraufträge vorgegebenen Waren auf einem Rundweg an den jeweiligen Stellplätzen. Grundsätzlich lassen sich drei operative Entscheidungsfelder mit starken Interdependenzen identifizieren: (1) Artikelanordnung in Abhängigkeit von Artikelzugriffshäufigkeiten und Artikelvolumen (Storage), (2) Zusammenfassung mehrerer Kundenaufträge zu Kommissionieraufträgen (Batching) und (3) Bestimmung eines Wegs, den der Kommissionierer durch das Lager nimmt, um die Artikel entsprechend des Kommissionierauftrags zu entnehmen (Routing) [1,11].

Dieser Beitrag berücksichtigt sämtliche Entscheidungsfelder und analysiert die Eignung unterschiedlicher Artikelanordnungsmuster (Längs-, Quer-, Radialanordnung) bei verschiedenen ausgeprägten Artikelzugriffshäufigkeiten, variierter Gassenanzahl und verschiedenen Routingverfahren („Largest Gap“ und „S-Shape“). Als weitere Einflußgrößen werden das Fassungsvermögen des Kommissioniergeräts, der Auslastungsgrad des Lagers und die Größe der Kundenaufträge berücksichtigt. Ferner wird als Auftragsbildungsverfahren ein savingsbasiertes Batchingverfahren angewendet [3].

Nach einer Beschreibung der Grundstruktur von Mann-zur-Ware-Kommissioniersystemen werden in Kapitel 2 die in der Analyse verwendeten Verfahren jeweils für die drei operativen Entscheidungsfelder erläutert, der Artikelanordnung, der Auftragsbildung und der Tourenplanung. Kapitel 3 beschreibt den Aufbau der numerischen Experimente, deren Zielsetzungen und das Testdesign. Kapitel 4 beinhaltet die Ergebnisse und ihre Interpretation für die hier behandelten Routingverfahren „S-Shape“ und „Largest Gap“, sowie die Formulierung grober Entscheidungsregeln, die unter vergleichbaren Voraussetzungen als Entscheidungsunterstützung herangezogen werden können.

## 2 Problemstellung und Lösungsverfahren

### 2.1 Grundstruktur von Mann-zur-Ware-Kommissioniersystemen

Ein in der Praxis häufig anzutreffender Lagertyp besitzt typischerweise einen Blockaufbau und geht von einem rechteckig angelegten Entnahmebereich mit nur je einem Quergang an der Front- und Rückseite aus (Abb. 1). Der Zu- und Abgang vom Lager wird auch I/O-Punkt genannt und befindet sich in der unteren Ecke gegenüber dem Gang zwischen den ersten beiden Regalzeilen. Der Kommissionierer beginnt an dieser Stelle die Kommissioniertour und kehrt am Ende hierher zurück.

Der eigentliche Kommissioniervorgang basiert auf einer Reihe von Kundenaufträgen, die aus einzelnen Positionen bestehen. Eine Position bezeichnet einen Artikel(typ) sowie die vom Kunden gewünschte Menge. Es wird davon ausgegangen, dass die Menge der Kundenaufträge vorab bekannt ist (off-line Problem). Aus der Menge der Kundenaufträge werden Kommissionieraufträge (Pick-Listen) erstellt, die der Kommissionierer am Beginn einer Tour übernimmt und aus der die Menge der Artikel, deren Stellplätze und die Entnahmereihenfolge ersichtlich ist. Er benützt ein Kommissioniergerät bestimmter Größe um die entnommenen Artikel zu transportieren und mehrere Stellplätze aufsuchen zu können, bevor er sich wieder zum I/O-Punkt begibt. Es wird ferner angenommen, dass die Gänge einerseits schmal genug sind, so dass der Kommissionierer links und rechts der Gänge die Waren ohne nennenswerte Positionsänderung entnehmen kann, andererseits auch breit genug sind, um ein Überholen oder Begegnen zuzulassen.

Als Zielsetzung wird hier die Minimierung der Strecke gewählt, die zurückgelegt werden muss, um eine gegebene Menge von Kundenaufträgen abzuarbeiten. Zur Erreichung dieser Zielsetzung kann die Planung und Ausführung der beschriebenen Abläufe in drei Entscheidungsfelder (Artikelanordnung, Auftragsbildung, Tourenplanung) gegliedert werden.

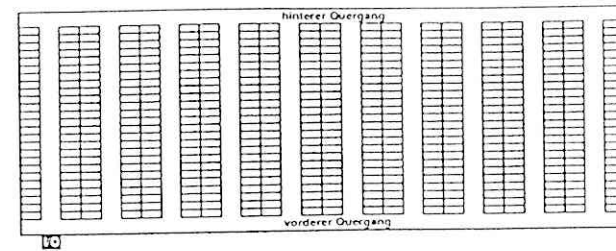


Abbildung 1. Lagerlayout eines Standard-Kommissioniersystems

### 2.2 Operative Entscheidungsfelder in der Kommissionierung und ihre Lösungsansätze

**Artikelanordnung (Storage)** Beim Problem der Artikelanordnung sollen bei gegebenem Lagerlayout, gegebenen potenziellen Stellplätzen und gegebenen Kundenaufträgen eine Zuordnung der Artikel zu Stellplätzen gefunden werden, so dass die vom Kommissionierer zurückzulegende Strecke minimal ist. Strategien der Stellplatzzuordnung unterscheiden zwischen Festplatzlagerung und chaotischer Artikelanordnung, wobei erstere auf die längerfristig gültige Bestimmung eines Stellplatzes für jeden Artikel abzielt, während die Problemstellung bei chaotischer Stellplatzvergabe die Auswahl eines freien Stellplatzes für einen zu lagernden Artikel beinhaltet. Das Problem der Artikelanordnung steht in engem Zusammenhang mit der Bildung von Kommissionieraufträgen und der Tourenplanung. Es wird davon ausgegangen, dass das Artikelanordnungsproblem mindestens NP-schwer ist [11]. Daher kommen für reale Probleme vor allem Heuristiken in Betracht, welche die Artikel entsprechend ihrer Zugriffshäufigkeit zu Stellplätzen nach dem Kriterium der Entfernung vom I/O-Punkt zuordnen. In der Praxis wird die Orientierung an den Entfernungen durch die Verwendung von Anordnungsmustern überlagert, die Zonen festlegen, innerhalb derer die Artikel entsprechend einer Längs-, Quer- oder Radialanordnung gelagert werden [5,6].

**Auftragsbildung (Batching)** Strategien der Auftragsbildung haben die Umwandlung von Kundenaufträgen in Kommissionieraufträge zum Ziel. Zwischen Einzelauftragskommissionierung, bei der jeder Kundenauftrag einem Kommissionierauftrag entspricht, und der Auflösung von Kundenaufträgen zum Zweck der Kommissionierung mit anschließender Rücktransformation sind als Mischform die Aufspaltung eines Kundenauftrags und die Gruppierung mehrerer Kundenaufträge zu einzelnen Kommissioniertouren verbreitet. Die letztgenannte Form ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Das Problem der Auftragsbildung beinhaltet unter dem Aspekt der Wegeminimierung die Aggregation vorliegender Kundenaufträge zu Kommissionieraufträgen bei gegebener Stellplatzzuordnung, gegebenem Fassungsvermögen des Kommissioniergeräts und unter der Prämisse, dass einzelne Kundenaufträge

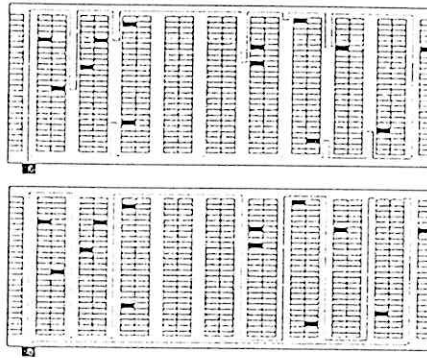


Abbildung 2. Funktionsweise von „Largest Gap“ (o.) und „S-Shape“ (u.)

ungeteilt in einem Kommissionierauftrag integriert werden sollen. Da dieser Problemtyp ebenfalls NP-schwer ist, kommt heuristischen Verfahren zentrale Bedeutung zu [2,9]. Im Rahmen dieser Analyse wird das savingsbasierte EQUAL-Verfahren angewandt [3].

**Tourenplanung (Routing) Strategien**, die darauf abzielen, in welcher Reihenfolge die Artikel an den einzelnen Standorten zu entnehmen sind, lassen sich in exakte und heuristische Verfahren einteilen. Exakte Verfahren bestimmen individuelle Touren, bei denen für jeden einzelnen Kommissionierauftrag die Entnahmereihenfolge bestimmt wird, während standardisierte Touren einem Routingmuster folgen. Im Folgenden werden standardisierte Touren betrachtet. Zwar ist Bestimmung einer Tour formal gesehen ein Rundreiseproblem, das in seiner Ursprungsform NP-schwer ist, jedoch ist dieses spezielle Problem wegen der Stellplatzanordnung in Gängen mit polynomialen Aufwand lösbar [8]. Es ist festzustellen, dass keine Standardverfahren zur Verfügung stehen und sich Verfahren für individuelle Implementierungen für Praktiker als zu schwierig darstellen. Daher haben einfache Verfahren wie das Largest Gap-Verfahren und das S-Shape-Verfahren besondere Verbreitung gefunden [4,10].

Abbildung 2 zeigt exemplarisch ein Standardlager mit 10 Gassen mit je 50 Stellplätzen und einem Zugang links vorne. Dunkle Rechtecke repräsentieren Stellplätze, die aufgrund des Kommissionierauftrags besucht werden müssen. Das S-Shape-Verfahren (Abb. 2 unten) sieht charakteristischerweise vor, dass der Kommissionierer nicht wendet, sondern die Gasse, die er betreten hat, auf der gegenüberliegenden Seite verlässt, während das Largest Gap-Verfahren (Abb. 2 oben) Wendemanöver in fast allen Kommissioniergängen vorsieht [3].

### 3 Numerische Experimente – Ziel und Testdesign

Das Ziel der Analyse war die Evaluation der Anordnungsmuster, Längs-, Quer- und Radialanordnung, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Einflüsse aller Entscheidungsfelder (Artikelanordnung, Auftragsbildung und Tourenplanung). Konkret wurden für das Auftragsbildungsverfahren EQUAL die Auswirkungen der Routingverfahren „S-Shape“ und „Largest Gap“ auf die Wahl der Artikelanordnung analysiert. Im Gegensatz zu Petersen und Schmenner [6], die die Zusammenhänge von Anordnungsmuster, Artikelanordnung und Routingverfahren analysieren, wird hier zusätzlich die Auftragsbildung berücksichtigt. Ausgehend von einem rechteckigen Standard-Mann-zur-Ware-Kommissioniersystem mit einer Lagerkapazität von 500 Stellplätzen werden drei unterschiedliche Layouts des Lagers analysiert, die durch die Anzahl der Gassen (5, 10 und 25 Gassen mit je 50, 25 bzw. 10 Artikel pro Seite in jeder Gasse) bestimmt werden. Zur Evaluation der Längs-, Quer- und Radialanordnung wurde ein Problemgenerator implementiert, der über zwei unabhängige Zufallszahlenströme Kundenaufträge und Artikelanordnungen erzeugt. Aus der paarweisen Kombination von 10 verschiedenen Kundenauftragsbeständen und 10 verschiedenen Artikelanordnungen ergeben sich jeweils 100 Probleminstanzen [7]. Folgende Einstellungen der Problemparameter wurden getestet:

- Anzahl Stellplätze: 500
- Größe der Kundenaufträge:  $U$  [5, ..., 25]
- Gassenanzahl: 5, 10 und 25
- Artikelzugriffshäufigkeit:  $x^3$  (60% der Zugriffe auf 20% der Artikel)
- Lagerauslastung: 80%, 90% und 100%
- Kapazität des Kommissioniergeräts: 30, 45, 60 und 75 Artikel
- Größe der Auftragsbestände: 10, 25, 50 und 100 Kundenaufträge

Für jedes der beiden Routingverfahren werden neun Ausprägungen der betrachteten Zielgröße (Länge der Kommissioniertour) angegeben, welche jeweils die Kombination einer von drei verschiedenen Lagerformen (5, 10 und 25 Gassen) mit einer von drei verschiedenen Artikelanordnungsmustern (Längs-, Quer- und Radialanordnung) bewerten. Da jede dieser neun Ausprägungen jeweils eine Aggregation über drei verschiedene Auslastungsgrade des Lagers, vier verschiedene Kapazitäten des Kommissioniergeräts und vier verschiedene Größen von Auftragsbeständen darstellt, wurden je Routingverfahren daher 43.200 Probleminstanzen bewertet; jede Ausprägung bedeutet also eine Aggregation über 4.800 Probleminstanzen. Als Messgröße dient die durchschnittliche relative Verbesserung der Ergebnisse, die gegenüber chaotischer Artikelanordnung erreicht werden.

### 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen sind jeweils getrennt nach den beiden Routingverfahren „Largest Gap“ und „S-Shape“ (Abb. 3) dargestellt.

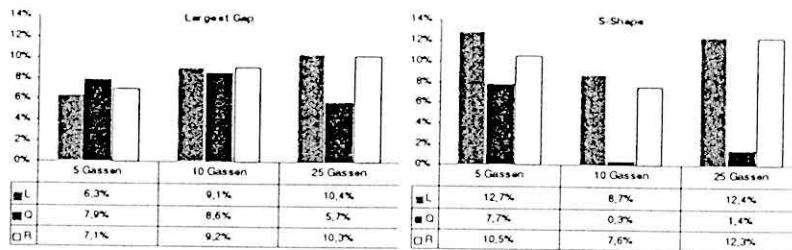


Abbildung 3. Mittlere, relative Wegeinsparung durch Artikelanordnungsmuster gegenüber chaotischem Lager bei Verwendung von „Largest Gap“ (links) bzw. „S-Shape“ (rechts) als Routingverfahren

Das relative Verbesserungspotenzial, das gegenüber chaotischer Stellplatzvergabe im Mittel erzielt werden kann, wird durch die Säulenhöhen visualisiert.

#### 4.1 Artikelanordnung bei Routingverfahren „Largest Gap“

Bei der Anwendung des Largest Gap-Verfahrens sind bei einem Lager mit 5 Gassen fast 8% relative Einsparung bei Queranordnung gegenüber einer chaotischen Stellplatzvergabe möglich. Der Vorteil von Largest Gap, das gänzliche Traversieren einer Gasse zu vermeiden, bringt in Kombination mit langen Gassen und einer Queranordnung ein etwas höheres Einsparungspotenzial als die Längsanordnung mit 6,3% und die Radialanordnung mit 7,1%. Bei 10 Gassen zeigen alle drei Anordnungsmuster annähernd gleiches Verbesserungspotenzial von ungefähr 9% gegenüber chaotischem Lager. Bei 25 Gassen und gleichzeitig abnehmender Gassenlänge bieten querangeordnete Artikel nur noch eine Verbesserung von 5,7%, da der Kommissionierer gezwungen ist, jede Gasse vom vorderen Quergang aus zu betreten und deshalb jeweils ein Wendemanöver durchführt. Die Wegstrecke, die eventuell im Inneren der sehr kurzen Gasse eingespart werden kann, verliert im Verhältnis zum Wendemanöver an Bedeutung. Hingegen ermöglichen längs- und radialangeordnete Artikel auch hier jeweils Wegeinsparungen von etwas mehr als 10%.

#### 4.2 Artikelanordnung bei Routingverfahren „S-Shape“

Da das S-Shape-Verfahren vorsieht, jede Gasse, in der ein Artikel zu kommissionieren ist, zur Gänze zu durchlaufen, profitiert dieses Verfahren von der Längsanordnung mit über 12% Wegeinsparung besonders bei ungerader Gassenanzahl, da die Wahrscheinlichkeit relativ hoch ist, dass in der letzten Gasse keine Artikel zu kommissionieren sind und somit das Betreten dieser letzten (ungeraden) Gasse und das damit verbundene Wendemanöver wegfällt. Bei 10 Gassen führt der Wegfall des Kommissionierens in der letzten Gasse oft zu einem Wendemanöver, das einen Teil der Wegersparnis wieder egalisiert. Die Queranordnung erweist sich in Verbindung mit „S-Shape“ verglichen mit den

anderen Anordnungsmustern am wenigsten effektiv. Im Vergleich zu chaotischer Einlagerung kommt es zwar bei geringer Gassenanzahl zu einer Einsparung von immerhin fast 7%, weil die Artikel mit großer Zugriffshäufigkeit unmittelbar beim vorderen Quergang liegen und der Kommissionierer schon nach kurzer Strecke wenden kann. Im Gegensatz dazu ist bei zufälliger Stellplatzvergabe die Wahrscheinlichkeit höher, dass Artikel zu kommissionieren sind, die wesentlich weiter im Inneren der Gasse liegen. Bei fixer Anzahl der Stellplätze bedeutet eine höhere Gassenanzahl gleichzeitig eine entsprechend verringerte Gassentiefe. Bei 25 Gassen beträgt die Gassentiefe nur noch 10 Stellplätze (statt 50 Stellplätzen bei 5 Gassen) und verringert somit das Wegeinsparungspotenzial deutlich auf 1,5%.

## 5 Schlussfolgerungen und Resümee

Die vorliegende Arbeit analysiert die Vorteilhaftigkeit von Artikelanordnungsmustern, nämlich der Längs-, Quer- und Radialanordnung, im Vergleich zu chaotischer Stellplatzvergabe an Hand eines exemplarischen Standard-Kommissionierlagers. Numerische Ergebnisse mit unterschiedlichen Kundenauftragsstrukturen, Auslastungsgraden, und Kapazitäten zeigen unter Berücksichtigung der Auftragsbildung das Verbesserungspotenzial gegenüber chaotischer Einlagerung getrennt nach zwei in der Praxis weit verbreiteten Routingverfahren, dem Largest Gap und dem S-Shape-Verfahren, dass Festplatzlagerung einem chaotischen Lager prinzipiell vorzuziehen ist. Ferner machen sie deutlich, dass das Ausmaß der Vorteilhaftigkeit von unterschiedlichen Anordnungsmustern bei einem Lagersystem des hier betrachteten Typs von dem angewendeten Routingverfahren abhängig ist. Bei Verwendung von „Largest Gap“ in eher schmalen Kommissionierlager mit wenigen, aber langen Gassen erweist sich die Queranordnung etwas vorteilhafter, während in breiten Kommissionierlager mit vielen, aber kurzen Gassen die Längs- oder Radialanordnung vorzuziehen ist. Ferner kann gezeigt werden, dass sich bei Verwendung von „S-Shape“ die Längsanordnung in allen untersuchten Lagerlayouts den anderen beiden Mustern gegenüber überlegen erweist, hingegen die Queranordnung den beiden anderen Anordnungsmustern deutlich unterlegen ist.

Generell kann festgestellt werden, dass Anordnungsmuster zu Wegeinsparungen zwischen 6,3% und 12,7% führen, mit Ausnahme der Queranordnung bei „S-Shape“ und geringer Gassentiefe. Die Längs- und Radialanordnung scheinen robuster als die Queranordnung zu sein, da sie meist entweder gleiche oder bessere Ergebnisse als die Queranordnung liefern.

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich als grobe Entscheidungsregel einige Aussagen formulieren: für ein Lagersystem des hier betrachteten Typs und unter Verwendung des Routingverfahrens „S-Shape“, kann durch Längs- oder Radialanordnung bei größerer Gassenanzahl durchschnittlich eine Wegeinsparung von rund 9% bis 13% erzielt werden; eine Queranordnung nach Zugriffshäufigkeit klassifizierter Artikel hat kaum Einsparungspotenzi-

al. Erfolgt die Routenwahl hingegen nach dem Largest Gap-Verfahren, so ist nur bei wenigen, langen Gassen die Queranordnung vorzuziehen und lässt bei vergleichbarer Problemstellung eine Einsparung von rund 8% erwarten. Hingegen ist bei größerer Gassenanzahl der Längs- oder der Radialanordnung der Vorzug zu geben und eine Wegersparnis ebenfalls in einer Größenordnung von 9% bis 10% zu erzielen. Da weitere Tests gezeigt haben, dass auch bei Verwendung des äußerst einfachen, in der Praxis weit verbreiteten Batchingverfahrens, First Come First Serve, im Durchschnitt Einsparungen erzielt werden können, die rund 2 Prozentpunkte unter den hier mit dem savingsbasierten EQUAL gezeigten Ergebnissen liegen. Die Aussagen bezüglich Qualität und Vorteilhaftigkeit einzelner Anordnungsmuster im gegenseitigen Vergleich treffen daher bei First Come First Serve grundsätzlich ebenso zu wie bei Verwendung von EQUAL.

## Literatur

1. Caron F., Marchet, G., Perego, A. (1998): Routing Policies and COI-Based Storage Policies in Picker-to-Part Systems. *International Journal of Production Research* 36, 713-732
2. de Koster, M.B.M., van der Poort, E.S., Wolters, M. (1999): Efficient Order Batching Methods in Warehouses. *International Journal of Production Research* 37, 1479-1504
3. Dörner, K., Reeh, M., Strauß, C., Wäscher, G. (2004): Evaluation von Artikelanordnungsmustern in der Mann-zur-Ware-Kommissionierung. Working Paper, Fakultät für Wirtschaftswissenschaft, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2004
4. Hall, R.H. (1993): Distance Approximations for Routing Manual Pickers in a Warehouse. *IIE Transactions* 24, 76-87
5. Petersen II, C.G. (1999): The Impact of Routing and Storage Policies on Warehouse Efficiency. *International Journal of Operations and Production Management* 19, 1053-1064
6. Petersen II, C.G., Schmenner, R.W. (1999): An Evaluation of Routing- and Volume-based Storage Policies in an Order Picking Operation. *Decisions Sciences* 30, 481-501
7. Rardin, R.L., Uzsoy, R. (2001): Experimental Evaluation of Heuristic Optimization Algorithms: A Tutorial. *Journal of Heuristics* 7, 261-304
8. Ratliff, H., Rosenthal, A. (1983): Orderpicking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research* 31, 507-521
9. Rosenwein, M.B. (1994): An Application of Cluster Analysis to the Problem of Locating Items within a Warehouse. *IIE Transactions* 26, 101-113
10. Roodbergen, K.J. (2001): Layout and Routing Methods for Warehouses. Doctoral Dissertation, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), Erasmus University, Rotterdam (ERIM Ph.D. Series Research in Management 4, TRAIL Thesis Series No. T2001/3)
11. Wäscher, G. (2003): Order Picking: A Survey of Planning Problems and Methods. In: Dyckhoff, H., Lackes, R., Reese, J. (Hrsg.): *Supply Chain Management and Reverse Logistics*, Springer, Berlin et al. 2003, 315-339