Slotting Strategien zur Wegoptimierung in dynamischen Logistikzentren

Monika Kofler [a], Andreas Beham [a], Stefan Wagner [a], Michael Affenzeller [a] und Werner Achleitner [b]

[a] Fakultät für Informatik, Kommunikation und Medien, FH OÖ Studienbetriebs GmbH, Softwarepark 11, 4232 Hagenberg, Austria

[b] Rosenbauer International AG, Paschinger Strasse 90, 4060 Leonding, Austria

KURZFASSUNG/ABSTRACT:
Seit über fünfzig Jahren entwickeln Forscher Verfahren zur Optimierung von Lagerbelegungen. Untersucht wurden u.a. die komplexen Wechselwirkungen von Lagerbelegung mit Layout und Bediengeräten, Batching und Zonenkommissionierung sowie unterschiedlichen Routingstrategien. Kaum Beachtung fand hingegen die zeitliche Dynamik von logistischen Prozessen. Durch saisonale Schwankungen in Produktsortiment und Bestellmengen und die immer kürzeren Produktlebenszyklen kann eine einmal optimierte Lagerbelegung mitunter innerhalb weniger Wochen dramatisch an Effizienz verlieren. Logistikleiter müssen daher periodisch die Teilebelegung im Lager evaluieren und Umlagerungen anstoßen. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie für ein Beispielszenario durch tägliche Umlagerung einer kleinen Anzahl von Produkten iterativ eine gute Lagerbelegung hergestellt werden kann. Dieser iterative Ansatz wird mit sogenannten Re-Warehousing Verfahren verglichen, welche umfassende Umlagerungen erfordern. Zur Bewertung der generierten Belegungen werden die Wege evaluiert, die zur Erfüllung der Kommissionieraufträge zurückgelegt werden müssen.

1 EINLEITUNG

Zunehmender Wettbewerbsdruck zwingt produzierende Unternehmen dazu, vorhandenes Optimierungspotenzial zu nutzen, um eine Senkung der Kosten bzw. Kapitalbindung zu erzielen. In vielen Lager- und Distributionssystemen stellt die Kommissionierung den arbeitsintensivsten Prozess in der logistischen Kette dar. Bei der Kommissionierung werden ausgehend von einem Kunden- oder internen Produktionsauftrag die geforderten Mengen aus dem Lager entnommen und bereitgestellt. Studien zeigen, dass die Wegzeit in typischen Distributionszentren mit manuellen (Mann-zur-Ware) Kommissioniersystemen über 50% der gesamten Bearbeitungszeit eines Auftrags verursacht [1].

Bereits seit den 1960er Jahren wird in der wissenschaftlichen Forschung daher ein besonderer Fokus auf die Synchronisation von Lagerplatzvergabe und Kommissionierung gelegt, um durch eine intelligente Lagerplatzvergabe Produkte über möglichst kurze Wege und damit sehr effizient ein- und auslagern zu können. Die Zuweisung von Produktion zu Lagerplätzen wird gemeinhin als Slotting bezeichnet. In der Praxis sind chaotische Lagerung, Lagerung nach ABC-Klassifizierung oder die Verwendung einer umschlagsorientierten Belegungsstrategie wie der Cube per Order Index (COI) [2] gängig. Darüber hinaus existiert aber eine Vielzahl von anderen Verfahren, darunter verschiedene Clustering Verfahren, der Minimum Delay Algorithmus [3], Order Oriented Slotting, Correlated Slotting usw., die jedoch außerhalb der wissenschaftlichen Community noch nicht weit verbreitet sind. Diese basieren in der Regel auf heuristischen und evolutionären Optimierungsverfahren, da die Problemkomplexität von realen Logistikzentren, mit tausenden Produkten und Lagerplätzen und zahlreichen Randbedingungen, mit exakten Verfahren der Mathematik und Informatik nicht mehr in vernünftiger Zeit lösbar sind. Umfangreiche Reviews über Slotting Verfahren findet man z.B. in [4] und [5].

2 PF/PA SLOTTING

In diesem Beitrag wird ein neues Verfahren namens PF/PA Slotting vorgestellt, bei dem die Zuordnung von Produkten zu Lagerplätzen nach zwei Kriterien erfolgt: Entnahmehäufigkeit und Teileaffinität. Die Entnahmehäufigkeit bezeichnet, wie häufig ein Produkt in einem gewissen Betrachtungszeitraum kommissioniert wurde. Häufig entnommene Produkte sollen in günstigeren Lagerzonen positioniert werden, die sich etwa durch kurze Wege zum Sammelplatz oder ergonomische Aspekte (schwere Produkte in Bodennähe), auszeichnen. Produkte, die häufig gemeinsam kommissioniert werden, bezeichnet man als „affin“. Um das auftragsorientierte Abarbeiten von Kundenbestellungen möglichst

effizient zu gestalten, sollen affine Teile als zweites Optimierungsziel möglichst nah beieinander gelagert werden. Dazu werden für jedes Produkt im Lagerbestand zwei Kennzahlen berechnet:

(1) Der Pick Frequency Score (PF) multipliziert die mittlere Distanz des Produkts zum Sammelplatz mit dessen relativer Entnahmehäufigkeit. Die mittlere Distanz wird betrachtet, da ein Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt mehr als einen Lagerplatz haben kann.

(2) Der Part Affinity Score (PA) multipliziert die mittlere Distanz zwischen zwei Produkten, berechnet über alle möglichen Lagerplatzpaare, mit der relativen Teileaffinität, d.h. dem Anteil der Aufträge, die beide Produkte enthalten.

Aufbauend auf den in (1) und (2) spezifizierten Kennzahlen für die Positionierung eines einzelnen Produkts lässt sich die Gesamtbewertung einer Lagerbelegung folgendermaßen definieren:

$$\text{PF/PA} = \alpha * \sum_{i=1}^{n} PF(p_i) + \beta * \sum_{i=1}^{n} PA(p_i) \qquad (1)$$

In Gleichung (1) bezeichnet n die Anzahl der Produkte im Lager und p_i das $i$te Produkt. Die PF und PA Scores werden jeweils über alle Produkte aufsummiert und anschließend, gewichtet mit den zwei Parametern α und β, addiert, um den PF/PA Score einer Lagerbelegung zu erhalten. Über die Parameter α und β kann gesteuert werden, ob der Fokus der Bewertung auf der Teileaffinität oder der Entnahmehäufigkeit liegen soll. Eine detaillierte mathematische Formulierung des PF/PA Scores ist in [6] zu finden, zum ersten Mal vorgestellt wurde PF/PA Slotting in [7].

3 OPTIMIERUNG

Der PF/PA Score ist ein Indikator für die Güte einer Lagerbelegung. Um nun tatsächlich die Optimierung eines – bestehenden oder neuen – Lagers zu realisieren, gibt es verschiedenste Optimierungsalgorithmen. Man unterscheidet dabei insbesondere zwischen zwei großen Gruppen von Verfahren, genannt *Re-Warehousing* und *Healing*.

Die meisten in der wissenschaftlichen Literatur behandelten Slotting Verfahren werden den *Re-Warehousing* Verfahren zugeordnet. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in der Regel eine große Menge von Umlagerungen zur Herstellung der neuen Belegung erfordern. Re-Warehousing Verfahren eignen sich daher besonders gut, um eine Anfangsbelegung für neue Lagerflächen zu berechnen sowie für periodische Konsolidierungsaktionen, z.B. im Zuge der Inventur. In den normalen operativen Betrieb lässt sich Re-Warehousing allerdings kaum integrieren, da Hunderte oder Tausende Artikel bewegt werden müssen. In dynamischen Lagerszenarien mit einem saisonal wechselnden Produktsortiment und/oder variablen Umschlaghäufigkeiten kann eine einmal aufwändig hergestellte Belegung zudem schnell wieder suboptimal werden.

Für den Leiter eines Logistikzentrums ist es daher mitunter interessanter, eine gute Lagerbelegung iterativ über einen längeren Zeitraum herzustellen. *Healing*-Ansätze generieren pro Aufruf nur eine kleine Menge an Umlagerungen, welche bei freien Mitarbeiterkapazitäten jederzeit abgearbeitet werden können. Healing Strategien sind für volatile Szenarien sehr gut geeignet, da die Optimierung regelmäßig neu gestartet wird und daher auf saisonale Änderungen schnell reagiert werden kann.

In diesem Beitrag werden die in Tabelle (1) aufgelisteten Re-Warehousing und Healing Ansätze verglichen. Chaotische Belegung, Cube per Order Index und Minimum Delay Algorithm werden als Konstruktionsheuristiken eingesetzt, welche ein Lager komplett neu befüllen und daher zu den Re-Warehousing Verfahren zählen.

Der PF/PA Score wird mit zwei verschiedenen Algorithmen gekoppelt: Einerseits verwenden wir PF/PA mit Lokaler Suche, einem gierigen Optimierungsverfahren, das pro Iteration Zehntausend zufällige Produkt-Paare probeweise vertauscht werden und dann den besten Zug auswählt, sofern dieser die aktuell beste Lösung weiter verbessert. Lokale Suche eignet sich sehr gut als Healing-Verfahren. Andererseits verwenden wir Simulated Annealing [8], ein Optimierungsverfahren, das vom Abkühlungsverhalten von Metallen inspiriert ist. Dieses tauscht ebenfalls zufällig Produkte, erlaubt aber im Gegensatz zu lokaler Suche, dass man sich von einer guten Belegung wieder entfernt und manchmal „schlechte“ Täusche akzeptiert. Dadurch verfügt Simulated Annealing über einen Mechanismus, um aus lokalen Optima wieder zu entkommen und potentiell bessere Lösungen zu finden.

Eine genauere Beschreibung der Algorithmen und ihre Konfiguration findet man in [6].

Tabelle 1. Re-Warehousing und Healing Ansätze, die in diesem Beitrag verglichen werden.

Typ	Kürzel	Beschreibung
Re-Warehousing	Random	Chaotische Belegung
	COI	Cube-Per-Order-Index: positioniert schwere und häufig entnommene Teile in günstigen Lagerbereichen
	MDA	Minimum Delay Algorithm: versucht "Verspätung" von Kommissionier-aufträgen zu minimieren
	PF SA	Simulated Annealing mit Optimierung auf Entnahmehäufigkeit
	PA SA	Simulated Annealing mit Optimierung auf Teileaffinität
	PF/PA SA	Simulated Annealing mit Optimierung auf PF/PA Score
Healing	PF LS Sampling	Lokale Suche mit Optimierung auf Entnahmehäufigkeit
	PF/PA LS Sampling	Lokale Suche mit Optimierung auf PF/PA Score

4 TESTSZENARIO UND ERGEBNISSE

Die in Tabelle (1) genannten Verfahren wurden mit realen Daten aus dem Logistikzentrum der Rosenbauer International AG getestet, welche über einen Zeitraum von vier Monaten erfasst wurden. Diese umfassen 2.174 Aufträge und 4.107 einzelne Produktentnahmen für 1.700 Produkte aus dem Klein- und Mittelteilelager. Für die wissenschaftliche Aufbereitung des Problems wurden jedoch gewisse Vereinfachungen angenommen: So ist das Lagerlayout im Szenario rechteckig mit einer identen Anzahl von Lagerplätzen pro Regal (170) und je fünf Regalebenen. Es wird jeweils nur ein Produkt pro Lagerplatz abgelegt, gemischte Lagerung ist nicht möglich. Außerdem wird angenommen, dass jedes Produkt auf jedem Lagerplatz abgelegt werden kann und nur ein Behältertyp verwendet wird. Die anonymisierten und adaptierten Testdaten sind als Benchmark[1] online frei verfügbar. Alle Tests wurden mit HeuristicLab [9], einem Open Source Framework für heuristische Optimierung, durchgeführt.

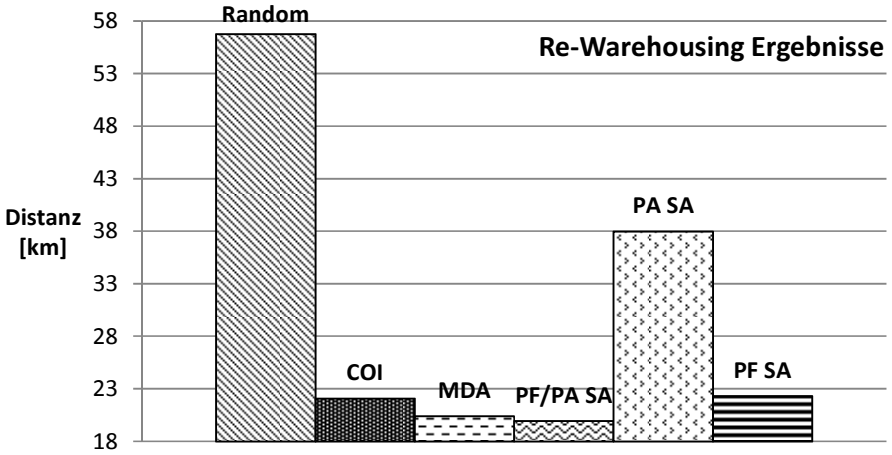

Abbildung 1. Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Re-Warehousing Verfahren: Die chaotische Belegung (Random) liefert das schlechteste Ergebnis, gefolgt von der Optimierung nach Teileaffinität alleine (PA SA). Wenn stattdessen z.B. PF/PA Slotting verwendet wird, kann die zurückgelegte Strecke bei der Kommissionierung um 65% gegenüber der chaotischen Belegung reduziert werden.

In Abbildung (1) werden die Ergebnisse der Re-Warehousing Ansätze verglichen. Der eigenentwickelte Ansatz der Autoren (PF/PA SA) erzielt die besten Ergebnisse und reduziert die Strecke, die das Lagerpersonal zur Kommissionierung der Aufträge benötigt um fast 65% gegenüber der chaotischen Belegung. MDA, welches ebenfalls – allerdings indirekt – Teileaffinität und Entnahmehäufigkeit berücksichtigt, ist mit 64% Verbesserung ähnlich gut. COI und PF SA optimieren die Belegung nur im Hinblick auf die Entnahmehäufigkeit (und Gewicht) und konnten eine Verbesserung von gut 60% erzielen. Da im Beobachtungszeitraum sehr viele Produkte (45%) aus dem Lager überhaupt nie ent-

[1] Download Testdaten: http://dev.heuristiclab.com/trac/hl/core/wiki/AdditionalMaterial

nommen wurden, war abzusehen, dass diese Verfahren ebenfalls gut funktionieren würden. Sehr gut ersichtlich ist auch, dass eine reine Optimierung nach Teileaffinität (PA SA) viel schlechtere Ergebnisse liefert, da Produkte zwar zusammengruppiert werden, die relative Positionierung der Gruppen in einer adäquaten Distanz zum Übergabeplatz aber nicht erfolgt. In Abbildung (2) wird das Ergebnis des PF SA Algorithmus als Beispiel auch visuell dargestellt.

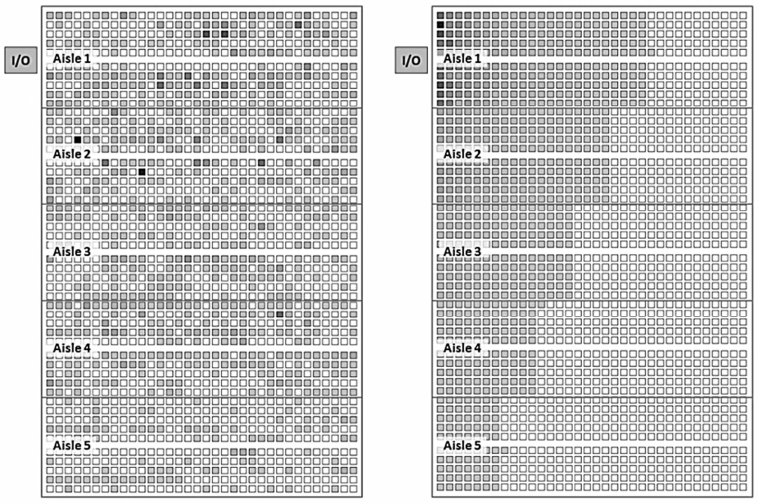

Abbildung 2. *Links:* Visualisierung der anfänglichen, chaotischen Belegung. Das Lager wird in Vogelperspektive dargestellt, wobei die Regale links und rechts vom Gang nach außen aufgeklappt sind. Die einzelnen Lagerplätze sind farblich nach der Entnahmehäufigkeit der darauf liegenden Teile markiert – je dunkler, desto öfter wird das Teil kommissioniert. Der Übergabeplatz (I/O) befindet sich links oben vor der ersten Gasse. *Rechts:* Ergebnis des *PF SA* Algorithmus, der die Produkte nach Entnahmehäufigkeit anordnet. Häufig kommissionierte Teile (= dunkel) werden nun auf Lagerplätzen positioniert, die eine geringe Distanz zum Übergabeplatz haben.

In Abbildung (3) werden die Re-Warehousing Ergebnisse schließlich noch mit zwei Healing-Strategien verglichen, wobei aus der Grafik ersichtlich ist, dass durch Vertauschung einer relativ geringen Anzahl von Produkten bereits eine erhebliche Produktivitätssteigerung erreicht werden kann. So reichen 10 Vertauschungen (= Bewegung von 20 Produkten), um die Kommissionierwege um 11% zu reduzieren. Mit 30 Vertauschungen können die Kommissionierwege um 22% verkürzt werden. Mit 100 Vertauschungen reduzieren sich diese dann schon um 40% obwohl nur 12% der Produkte im Lager bewegt werden. Wenn man Healing Iterationen oft genug durchführt, kann man sogar ein ähnlich gutes Ergebnis wie bei den Re-Warehousing Verfahren erreichen, allerdings nähert sich der Aufwand ebenfalls an. Die Ergebnisse für die Optimierung nach Entnahmehäufigkeit (PF LS Sampling) und Entnahmehäufigkeit/Teileaffinität (PF/PA LS Sampling) unterscheidet sich übrigens nur marginal und auch erst in den späteren Optimierungsphasen. Nach 700 Vertauschungen beträgt der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren nur etwa 1.5km.

5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wurde mit dem PF/PA Score eine neue Formel zur Bewertung von Lagerbelegungen vorgestellt, die sowohl Entnahmehäufigkeit wie auch Teileaffinität berücksichtigt. Weiters wurde gezeigt, dass für ein gegebenes Beispielszenario schon wenige Umlagerungen ausreichen, um die Fahrtwege bei der Kommissionierung beträchtlich zu verkürzen. Um das volle Optimierungspotential auszureizen, müssen allerdings sehr viele Teile umgelagert werden. Ob sich dies rechnet, hängt vor allem von der Dynamik des betrachteten Lagerszenarios ab. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurde PF/PA Slotting in der Re-Warehousing Variante bereits in der Praxis für die Befüllung eines neuen Lagers erfolgreich eingesetzt. Auf wissenschaftlicher Seite entstand eine Kooperation mit einer Forschungsgruppe aus den Niederlanden, die mit Order Oriented Slotting [10] einen ähnlichen Optimierungsansatz verfolgt und diesen nun gemeinsam weiterentwickeln will.

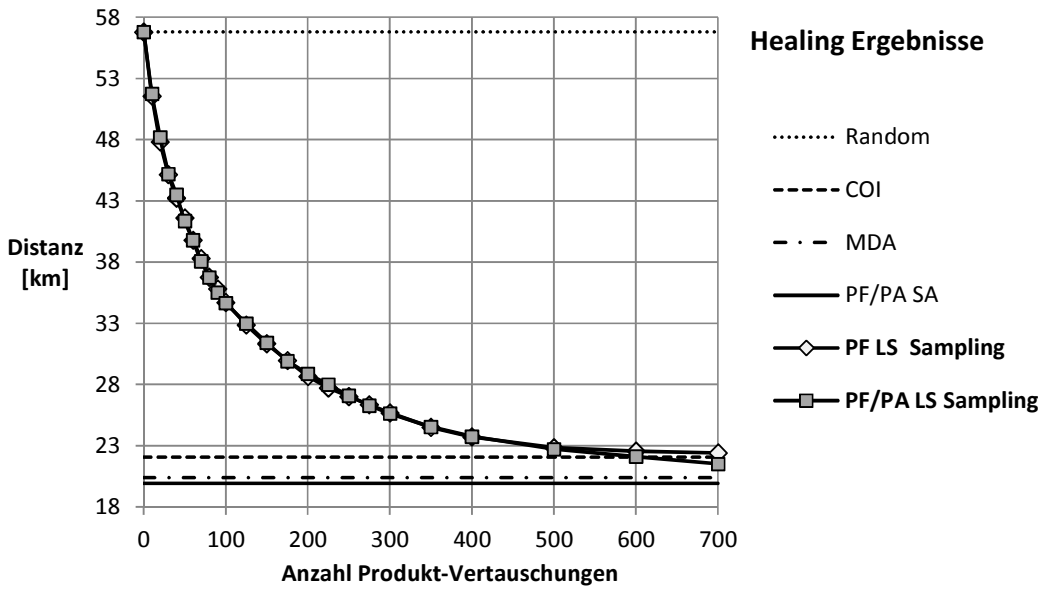

Abbildung 3. Gegenüberstellung der Ergebnisse von zwei Healing Verfahren: LS Sampling PF verwendet nur die Entnahmehäufigkeit als Zielfunktion, LS Sampling PF/PA auch die Teileaffinität. Als Vergleichswerte werden die Re-Warehousing Ergebnisse (Random, COI, MDA, PF/PA SA) ebenfalls dargestellt.

ACKNOWLEDGEMENTS

Die präsentierten Forschungsergebnisse entstanden im Rahmen des Josef Ressel-Zentrums Heureka! (http://heureka.heuristiclab.com), welches von der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und dem BMWFJ gefördert wird.

LITERATURVERWEISE

[1] Tompkins, J. und White, J. und Bozer, Y. und Frazelle, E. und Tanchoco, J. und Trevino, J. (1996): „Facilities planning“, Wiley, New York.

[2] Heskett, J. (1963): “Cube-per-order index - a key to warehouse stock location”, Transportation and Distribution Management 3 (April), S. 27–31.

[3] Wutthisirisart, P. (2010): “Relation-based item slotting”, Masterarbeit, University of Missouri.

[4] Gu, J. und Goetschalckx, M. und McGinnis, L.F. (2007): “Research on warehouse operation: A comprehensive review,” European Journal of Operational Research, Vol. 177, No. 1, S. 1-21.

[5] deKoster, R. und Le-Duc, T. und Roodbergen, K.J. (2006): “Design and control of warehouse order picking: A literature review”, European Journal of Operational Research, Vol. 182, S. 481-501.

[6] Kofler, M. und Beham, A. und Wagner, S. und Affenzeller, M. und Achleitner, W. (2011): Re-warehousing vs. healing: Strategies for warehouse storage location assignment”, Proceedings of the IEEE 3rd International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (Lindi 2011), Budapest, Ungarn, S. 77-82

[7] Kofler, M. und Beham, A. und Wagner, S. und Affenzeller, M. und Reitinger, C. (2010): “Re-assigning storage locations in a warehouse to optimize the order picking process”, Proceedings of the 22th European Modeling and Simulation Symposium (EMSS 2010), Fez, Marokko.

[8] Kirkpatrick, G.C.D. und Vecchi, M.P. (1983): “Optimization by simulated annealing”, Science, Vol. 220, S. 671–680.

[9] Wagner, S. (2009): “Heuristic optimization software systems - modeling of heuristic optimization algorithms in the heuristiclab software environment”, Dissertation, Institut für Formale Modelle und Verifikation, Johannes Kepler University, Linz.

[10] Mantel, R. und Schuur, P. und Heragu, S. (2007): “Order oriented slotting: a new assignment strategy for warehouses”, European Journal of Industrial Engineering, Vol. 1, No. 3, S. 301-316.