

Analyse des Einflusses einer ergonomischen Lagerplatzvergabe auf die physische Belastung in der Kommissionierung mittels ema-Simulationssoftware

Tim STEINEBACH, Timo KREMER, Verena KLAER

*Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

Kurzfassung: Die Lagerplatzvergabe (LPV) ist eines der wichtigsten Planungselemente in der manuellen Person-zur-Ware Kommissionierung. In etablierten Planungsmodellen zur LPV bleiben menschliche Faktoren, wie z.B. physische Belastungen, jedoch meist unberücksichtigt. In dieser Arbeit werden auf Basis der NIOSH Lifting Equation ergonomische Kennwerte für einzelne Pickvorgänge berechnet, welche in einen Algorithmus für eine LPV eingehen. Die hierdurch erhaltene „ergonomische Lagerplatzvergabe“ wird anschließend auf einen realen Logistik-Datensatz eines Automobilherstellers angewandt und mithilfe des Simulationsprogramms „Editor menschlicher Arbeit“ (ema) mit einer etablierten, wegstreckenminimierenden Lagerplatzvergabestrategie verglichen. Die durchgeführten Berechnungen mit dem im ema implementierten EAWS-Verfahren zeigen, dass die Ergonomiekennwerte durch die entwickelte LPV-Strategie für alle Menschmodelle um über 9 % reduziert werden konnten. Gleichzeitig müssen jedoch geringere Durchlaufzeiten in Kauf genommen werden.

Schlüsselwörter: manuelle Kommissionierung, Lagerplatzvergabe, Editor menschlicher Arbeit

1. Motivation

Die Relevanz der Untersuchung der Ergonomie in der Kommissionierung wird durch die Tatsache, dass die Entnahme von Artikeln in den meisten Lagerhäusern nach wie vor manuell durchgeführt wird, bekräftigt (Napolitano 2012, Michel 2017). Insbesondere die Lagerplatzvergabe (LPV) besitzt ein großes Potential, physische Belastungen in der Intralogistik zu reduzieren und damit ergonomische Bedingungen signifikant zu verbessern (Battini et al. 2016).

Etablierte LPV-Strategien konzentrieren sich meist darauf, die Wege, die der Kommissionierer zurücklegen muss, zu minimieren. Somit können Zeit und letztlich Kosten eingespart werden (Franzke 2017). Allerdings werden die biomechanischen Belastungen des Kommissionierers bei den etablierten Methoden im Allgemeinen nicht, nur indirekt oder unzureichend berücksichtigt (Andriolo et al. 2016, Grosse et al. 2015).

Dennoch gibt es seit einigen Jahren erste Ansätze zur Integration menschenbezogener Parameter in die Lagerplatzvergabe. Günthner et al (2014) schlugen in ihrem Forschungsbericht eine Lagerfachzuordnung vor, die auf dem Multipla-Tool (Kugler et al. 2010) bzw. der Leitmerkmalmethode (BAUA 2001) basiert. Eine Evaluierung dieser LPV-Methode wurde nicht durchgeführt.

Otto et al. (2017) haben für ihr mathematisches LPV-Optimierungsproblem ebenfalls die NIOSH Equation genutzt, es allerdings um einen Zoning-Ansatz erweitert, so dass das Problem NP-schwer wird. Ferner wurden zeitliche Parameter nicht berücksichtigt.

Andere Ausarbeitungen bezogen ökonomische Auswirkungen direkt mit ein. So fanden Petersen et al. (2005) heraus, dass die Verwendung des „Golden Zone-Ansatzes“ zu einer Reduzierung der benötigten Kommissionierzeit führt - jedoch ohne hierbei Belastungs-Kennwerte in ihre Überlegungen einfließen zu lassen. Ein dazu widersprüchliches Ergebnis ist in der Arbeit von Larco et al. (2017) zu finden. Sie schlossen aus ihren empirischen Daten, dass ein Trade-Off zwischen der Reduzierung der Kommissionierzeit und der Platzierung von Stock Keeping Units (SKU) in ergonomisch günstigen Lagerplätzen existiert. Die ergonomische Variante nahm mehr Zeit in Anspruch, da sich die Wegstrecke des Kommissionierers durch die Zuordnung von häufig gegriffenen SKU in ergonomisch günstige Lagerplätze vergrößerte.

Battini et al. (2016) haben statt der biomechanischen Belastung den Energieumsatz in ihrer Ausarbeitung verwendet, um pareto-effiziente Lösungen für ergonomische und ökonomische Parameter zu finden.

In diesem Beitrag soll eine ergonomische Lagerplatzvergabe auf Basis der NIOSH Lifting Equation (Waters et al. 1994) entwickelt und in Bezug auf die resultierenden Belastungen sowie die Durchlaufzeiten im Vergleich zu einer wegstreckenminimierten LPV per Computersimulation evaluiert werden. Hierfür wird beispielhaft ein Datensatz eines Ersatzteillieferanten aus der Automobilindustrie genutzt und in den Editor menschlicher Arbeit (ema, Leidholdt et al. 2016) implementiert.

2. Methodik

Methodisch gliedert sich die vorliegende Arbeit in zwei Schritte. Zunächst muss ein Algorithmus entwickelt werden, anhand dessen SKU ihren Lagerplätzen in einem vorgegebenen Lagerlayout zugeordnet werden. Anschließend soll diese LPV mittels einer ema-Simulation mit einer wegstreckenoptimierenden Strategie verglichen werden.

2.1 *Verwendeter Lagerplatzvergabe-Algorithmus*

Der verwendete Algorithmus soll auf der NIOSH Lifting Equation basieren, welche entwickelt wurde, um Grenzlasten beim Heben bestimmen zu können und berücksichtigt sowohl biomechanische als auch energetische Kriterien (Waters et al. 1994). Ein Vorteil ist außerdem die sehr weite Verbreitung des Verfahrens, sodass es in einigen englischsprachigen Ländern als „Quasi-Industriestandard“ angesehen wird (Schaub 1997).

Zunächst wird nach NIOSH das „recommended weight limit“ (RWL) berechnet, welches sich aus verschiedenen Einflussfaktoren eines Hebevorgangs zusammensetzt, wie z.B. horizontaler und vertikaler Lastabstand, Asymmetrie und Frequenz des Hebens sowie Greifbedingungen. Das Verhältnis des tatsächlich zu hebenden Lastgewichts und des RWL ergibt schließlich den Lifting Index (LI), welcher möglichst kleiner als eins sein sollte, um das Risiko von Erkrankungen im Lendenwirbelbereich zu reduzieren.

Der Lifting Index kann nun für jedes SKU, das einem Lagerplatz zugeordnet werden soll, bei bekannter Zugriffshäufigkeit und Lastgewicht für jede Regalebene berechnet werden. Hierbei wird sich je nach Greifhöhe der entsprechenden Regalebene ein

anderer LI ergeben. Die berechneten LI für jedes SKU i und jede Regalebene j können nun in ein Optimierungsmodell eingesetzt werden, welches die Summe aller einzelnen LI minimiert:

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J LI_{i,j} \cdot x_{i,j} \quad (1)$$

Die Binärvariable x_{ij} nimmt dabei den Wert eins an, wenn SKU i der Regalebene j zugeordnet wird. Nebenbedingungen des Optimierungsproblems stellen sicher, dass pro Regalebene nur eine bestimmte Anzahl an SKU Platz findet und dass jedes SKU genau einer Regalebene zugeordnet wird (Steinebach 2020).

2.2 Beschreibung des simulierten Fallbeispiels

Um den ergonomischen Lagerplatzvergabealgorithmus zu evaluieren und damit dessen Wirksamkeit zu testen, wird ein „one-block“-Lagerlayout ausgewählt. Hierzu werden vier Fachbodenregale mit je fünf Regalebenen modelliert, die hintereinander aufgestellt werden. Sie werden durch einen 1,50 m breiten Gang voneinander getrennt. Auf eine Regalebene jedes Regals passen drei SKU, sodass in dem gewählten Lagerlayout insgesamt 60 verschiedene SKU Platz finden.

Für die Wahl der SKU wurde auf einen Datensatz aus der Ersatzteillogistik eines Automobilherstellers zurückgegriffen mit Lastgewichten zwischen 0,5 - 27,8 kg (Median = 7,3 kg) und Zugriffshäufigkeiten zwischen 1 - 11 Picks (Median = 2 Picks). Insgesamt müssen von dem Kommissionierer 124 Picks in der Simulation durchgeführt werden. Das Volumen der SKU wurde auf 0,3 m x 0,3 m x 0,3 m standardisiert.

Als technisches Hilfsmittel wurde ein Kommissionierwagen ohne elektrischen Antrieb gewählt. Um potentielle Effekte durch eine bestimmte Batching- oder Routingstrategie zu verhindern, wird jedes SKU vom Kommissionierer einzeln aus dem Lager per Wagen geholt und zum Depot gebracht, ohne Aufträge zu größeren Batches zu bündeln.

2.3 Implementierung in den Editor menschlicher Arbeit

Der Editor menschlicher Arbeit ist ein Softwareprogramm zur digitalen Planung von Arbeitsprozessen (Leidholdt et al. 2016). Integriert ist eine Bewertung der physischen Belastung auf Basis des EAWS-Verfahrens (Schaub et al. 2013). Die Berechnung der benötigten Zeit für etwaige simulierte Prozesse wird mittels MTM-UAS bestimmt. Damit können die beiden Untersuchungsziele, physische Belastungen und benötigte Kommissionierzeit, in ema analysiert werden.

Zum Konfigurieren von verschiedenen Szenarien werden 3D-Modelle genutzt, die direkt in einer Benutzeroberfläche erstellt werden können. Dafür stellt ema verschiedene Objekte, wie z.B. Regale, in Datenbanken bereit. Zusätzlich ist es möglich, verschiedene Menschmodelle (5., 50. sowie 95. Perzentil, männlich und weiblich, deutsch) in die Simulation zu integrieren.

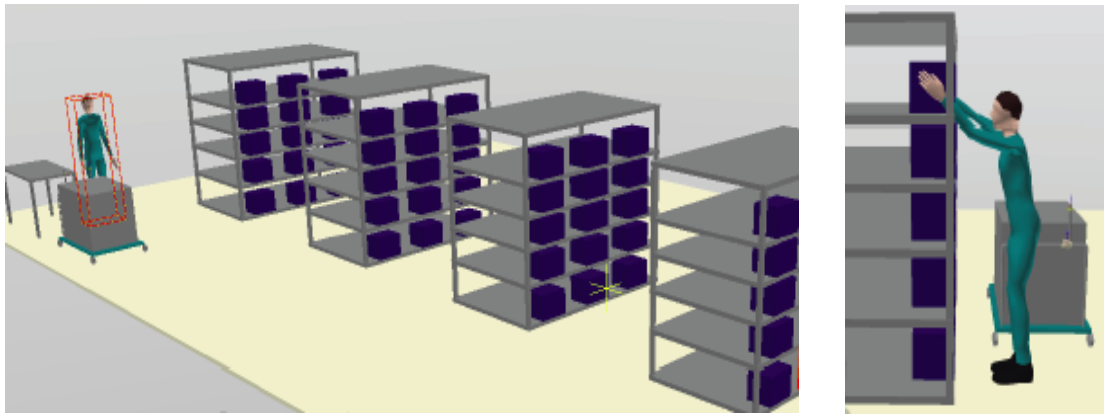


Abbildung 1: Lageraufbau (links) und ein beispielhafter Greifvorgang (rechts) mit einem männlichen 95. Perzentil Menschmodell.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse der ema-Simulation bezüglich der EAWS- und MTM-Analyse für das jeweils männliche und weibliche 5., 50. und 95. Perzentil dargestellt.

Die EAWS-Werte liegen zwischen 54,5 und 84 Punkte für die wegstrecken-minimierte LPV. Bei Anwendung der ergonomischen LPV verringern sich die Werte auf 49 bis 75,5 Punkte und sind damit um 8,9 bis 11,4 % geringer.

Die Durchlaufzeiten rangieren zwischen 60,1 und 63,7 Minuten bei der wegstreckenminimierten LPV bzw. zwischen 65,6 und 69,5 Minuten bei der ergonomischen Lagerplatzvergabe. Die Durchlaufzeiten erhöhen sich damit um 8,7 bis 9,4 % bei Anwendung der hier entwickelten Lagerplatzvergabe.

Tabelle 1: Ergebnisse der EAWS- und MTM-Analyse durch die ema-Simulation

		EAWS		Durchlaufzeit [s]	
		Wegstrecke minimiert	Ergonom. optimiert	Wegstrecke minimiert	Ergonom. optimiert
95.P.	Mann	56,5	51,5	3609	3950
	Frau	75	68	3603	3936
50.P.	Mann	54,5	49	3604	3937
	Frau	81	73,5	3728	4054
5.P.	Mann	61,5	54,5	3713	4045
	Frau	84	75,5	3824	4167

Insgesamt liegen fast alle hier ermittelten Werte nach EAWS im roten Bereich und erhalten damit eine hohe Risikobewertung. Wie erwartet ergeben sich höhere Belastungswerte für die weiblichen Menschmodelle. Außerdem sind insbesondere für sehr kleine Menschen (5. Perzentil) sehr hohe EAWS-Werte zu verzeichnen.

4. Diskussion

Dem hier simulierten Beispiel lässt sich entnehmen, dass sich die physischen Belastungen beim Kommissionieren durch eine ergonomische Lagerplatzvergabe signifikant reduzieren lassen. Dies liegt insbesondere daran, dass sich SKU mit hohen Lastgewichten und hohen Zugriffshäufigkeiten in ergonomisch besser zugänglichen Regalebene und damit nach NIOSH weniger belastenden Höhen befinden. Artikel, die hingegen unkritisch sind, werden somit in ergonomisch ungünstigen Lagerplätzen vorgehalten. Beim 50. Perzentil Mann kann somit sogar von einem „roten“ in einen „gelben“ Arbeitsplatz gewechselt werden.

Ein genauerer Blick auf die EAWS-Punkte bestätigt, dass die ergonomische Verbesserung vor allem durch eine Änderung der Lastenhandhabung erreicht wird. Bei allen Menschmodellen kommen die meisten Punkte aus der Unterkategorie „Umsetzen“. Beim 50. Perzentil Mann sind z.B. bei der wegstreckenminimierten LPV 43 der 54,5 Punkte in dem Belastungsmerkmal „Umsetzen“ zu finden (9,5 Punkte für Ziehen/Schieben, 2 Punkte für Körperstellungen). Während sich beim direkten Vergleich zwischen der wegstreckenminimierten und ergonomischen LPV die Punkte aus den Belastungskategorien „Ziehen/Schieben“ bzw. aus der „Körperstellungen“ allenfalls marginal ändern, sind vor allem Unterschiede beim „Umsetzen“ festzustellen.

Auf der anderen Seite erhöht sich die benötigte Kommissionierzeit. Dies liegt daran, dass in dieser Strategie häufig gegriffene SKU nicht zwingend in der Nähe des Depots gelagert sind, sondern in ergonomisch günstigen Höhen angeordnet werden. Diese Lagerplätze sind jedoch gegebenenfalls weiter vom Depot entfernt, sodass ein größerer Laufweg für den Kommissionierer entsteht.

Der sich durch die ergonomische LPV ergebende Anstieg der Durchlaufzeit fällt durch die fehlende Routenoptimierung und das ausbleibende Auftragsbatching, größer aus, als dies in der Realität der Fall wäre. Durch eine Berücksichtigung dieser beiden Planungsmechanismen sollten sich die Durchlaufzeiten von wegstreckenminimierter und ergonomischer LPV annähern.

Dennoch lässt sich ein Zielkonflikt zwischen den beiden Größen „physische Belastung“ und „Durchlaufzeit“ feststellen. Eine Verbesserung der Ergonomie geht demnach mit einer Erhöhung der Durchlaufzeit einher. Diese Erkenntnisse stimmen mit jenen von Larco et al. (2017) überein. Es muss somit entschieden werden, ob man bereit ist, zugunsten besserer ergonomischer Bedingungen auf einen bestimmten Grad der Kommissionierleistung zu verzichten.

Grundsätzlich unterliegt diese beispielhafte Simulation einer Reihe von Limitationen. Zum einen basiert sie auf einem ergonomischen LPV-Algorithmus, dessen Eingangswerte mittels NIOSH Equation berechnet wurden. Die NIOSH Lifting Equation wurde jedoch für langsam ausgeführte und gleichförmige Bewegungen entwickelt (Waters et al. 1994), welche in der Kommissionierung meist nicht gegeben sind. Zudem werden in diesem Algorithmus einzelne Greifvorgänge bewertet und deren Summe anschließend minimiert, während nach NIOSH eigentlich nur identische Gewichte gehoben werden, sodass eine Summenbildung aus Einzelvorgängen nicht angedacht ist. Es würde sich also anbieten, den Algorithmus auf einem alternativen Belastungsbewertungsverfahren zu basieren, wie beispielsweise auf dem EAWS-Verfahren oder dem biomechanischen Modell „der Dortmunder“ (Jäger et al. 2000). Zudem wurde als Vergleichsstrategie eine Wegstreckenoptimierung gewählt – es sind jedoch auch andere in der Praxis etablierte LPV-Strategien denkbar, wie bspw. der Cube Order Index.

5. Fazit und Ausblick

In diesem Artikel wurde ein Lagerplatzvergabealgorithmus auf Basis von Bewertungen von Hebevorgängen nach der NIOSH Lifting Equation vorgestellt und evaluiert. Es konnte mittels einer ema-Simulation und dem hier integrierten EAWS-Verfahren gezeigt werden, dass die physische Belastung durch die Anwendung des Algorithmus um mindestens 9% für alle Menschmodelle reduziert wird. Gleichzeitig erhöhte sich jedoch die benötigte Kommissionierzeit.

Die Simulation in diesem Beitrag wurde nur mit einem bestimmten Lagerlayout und SKU-Portfolio sowie ohne Auftragsbatching bzw. Routingstrategien ausgeführt. Deshalb bietet es sich für zukünftige Studien an, diese weiteren Einflussfaktoren gezielt zu variieren und den Einfluss auf die untersuchten Zielgrößen zu analysieren.

6. Literatur

- Andriolo A, Battini D, Persona A, Sgarbossa F (2016) A new bi-objective approach for including ergonomic principles into EOQ model. *International Journal of Production Research*, 54 (9):2610-2627.
- Battini D, Glock CH, Grosse EH, Persona A, Sgarbossa F (2016) Human energy expenditure in order picking storage assignment: A bi-objective method. *Computers & Industrial Engineering*, 94:147-157.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) und Länderausschuss für Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik (2001) Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten und Tragen (Formblatt).
- Franzke T (2017) Der Mensch als Faktor in der manuellen Kommissionierung: Eine simulations-basierte Analyse der Effizienz in Person-zur-Ware-Kommissioniersystemen. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Grosse EH, Glock CH, Jaber MY, Neumann WP (2015) Incorporating human factors in order picking planning models: Framework and research opportunities. *International Journal of Production Research*, 53 (3): 695-717.
- Günthner WA, Deuse J, Rammelmeier T, Weisner K (2014) Entwicklung und technische Integration einer Bewertungsmethodik zur Ermittlung von Mitarbeiterbelastungen in Kommissioniersystemen.
- Jäger M, Luttmann A, Gollner R, Laurig W (2000) Der Dortmunder: Biomechanische Modellbildung zur Bestimmung und Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei Lastenhandhabungen. Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. 105–124.
- Kugler M, Bierwirth M, Schaub KH, Sinn-Behrendt A, Feith A, Ghezel-Ahmadi K, Bruder R (2010) Ergonomie in der Industrie - aber wie? Handlungshilfe für den schrittweisen Aufbau eines einfachen Ergonomiemanagements.
- Larco JA, De Koster R, Roodbergen KJ, Dul J (2017) Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions. *International Journal of Production Research*, 55(21): 6407-6422.
- Leidholdt W, Fritzsche L, Bauer S (2016) Editor menschlicher Arbeit (ema). *Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*, Springer, 355-362.
- Michel R (2017) 2017 Warehouse/DC Operations Survey. In the thick of e-commerce adjustments. *Logistics Management*, 56 (11):52-58.
- Napolitano M (2012) 2012 warehouse/DC operations survey: Mixed signals. *Modern Materials Handling*, 51 (11):48-56.
- Petersen CG, Siu C, Heiser DR (2005) Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10): 997-1012.
- Schaub KH (1997) Ergonomische Grundlagen-Gestaltung vorwiegend körperlicher Arbeit. *Software-Werkzeuge zur ergonomischen Arbeitsgestaltung*. Institut für Arbeitsorganisation. 232-282.
- Schaub KH, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2013) The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14 (6):616-639.
- Steinebach T (2020). Der Einfluss einer ergonomischen Lagerplatzvergabe auf die menschliche Beanspruchung und Leistung in der manuellen Kommissionierung. Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress.
- Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A (1994) Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. 1-164.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de