

DURCHGÄNGIGE ERMITTLUNG DER MITARBEITERBELAS- TUNG IN DER KOMMISSIO- NIERUNG – VON DER VIRTUAL REALITY PLANUNG BIS ZUR VISUALISIERUNG ÜBER AUG- MENTED REALITY

Florian Kammergruber, Dennis Walch, Steghafner Andreas, Willibald Günthner
TU München

LEBENS LAUF



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Florian Kammergruber

TU München, wiss. Mitarbeiter

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Boltzmannstr. 15, 85748, Garching

Telefon: 089 289 15955

Telefax: 089 289 15922

E-Mail: kammergruber@fml.mw.tum.de

seit 2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, fml - Lehrstuhl für
Fördertechnik Materialfluss Logistik

2008

Materialmanager bei der MAN Nutzfahrzeuge AG in München

2006

Auslandspraktikum bei BDP International Inc. in Philadelphia, USA

2003-2007

Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der TU Ilmenau

DURCHGÄNGIGE ERMITTLUNG DER MITARBEITERBELASTUNG IN DER KOMMISSIONIERUNG – VON DER VIRTUAL REALITY PLANUNG BIS ZUR VISUALISIERUNG ÜBER AUGMENTED REALITY

Florian Kammergruber, Dennis Walch, Andreas Steghafner, Willibald Günthner

1. Einführung

Die Kommissionierung stellt eine der wichtigsten Aufgaben in der Logistik dar. Man versteht darunter die Zusammenstellung von Teilmengen auf Grund von Anforderungen aus einer Gesamtmenge. Exemplarisch ist dies beim täglichen Einkauf im Supermarkt zu sehen. Die Zusammenstellung des Einkaufs erfolgt anhand einer Einkaufsliste, anhand der man sich am Gesamtsortiment des Supermarktes bedient.

In der manuellen Kommissionierung eines Vertriebslagers ist die Bearbeitung der Kundenaufträge mit einer großen Vielfalt an Körperhaltungen und Lastgewichten bei den vorkommenden Hebevorgängen für die Mitarbeiter verbunden. Hinzu kommen unberechenbare Auftragschwankungen, die die Tagesleistung des Kommissionierers beeinflussen und eine pauschalisierte ergonomische Bewertung des Arbeitsplatzes nicht zulassen. Die hohe körperliche und physische Belastung bei dieser Tätigkeit stellt ein gesundheitliches Risiko für die Arbeiter dar. Daher ist es notwendig Transparenz über die Belastungssituation der Mitarbeiter zu schaffen, um auf Belastungsgrenzen reagieren zu können. Hierbei ist es denkbar, dass ein Arbeiter, der bereits einen hohen Wert für die körperliche Belastung aufweist (z.B. durch Kommissionieren schwerer Artikel), mit einem Arbeiter mit einer weniger belastenden Tätigkeit (z.B. an einer Verpackungsstation) den Arbeitsplatz tauscht. Der Belastungswert könnte somit als eine Art Regler für die Jobrotation dienen. Während technische Hilfsmittel den Arbeitsprozess erleichtern, können arbeitsorganisatorische Maßnahmen so für eine Belastungsverteilung sorgen.

2. Ergonomie in der Logistik

Der demographische Wandel steht auch der operativen Logistik bevor. Mit steigendem Alter nehmen die körperlichen Einschränkungen und der Krankenstand in Zusammenhang mit Muskel-Skelett-Erkrankungen zu [1]. In der operativen Logistik tritt dieses Phänomen häufig zu Tage, da das Kommissionieren und das Verpacken von Waren

immer noch stark von körperlicher Arbeit in Form der Lastenhandhabung geprägt sind. Für technische oder arbeitsorganisatorische Maßnahmen ist die Belastungssituation der Mitarbeiter in den Betrieben jedoch intransparent. Zwar gibt es eine Vielzahl an Arbeitsanalyseverfahren, dennoch werden die vorhandenen Methoden nicht konsequent eingesetzt. Dies liegt an der fehlenden Praktikabilität der Verfahren, die oft kein optimales Verhältnis zwischen Aufwand und Aussagekraft bieten. Zudem sind die existierenden Screening-Verfahren (z.B. ABA-Tech, EWAS, APSA) meist auf die Ergonomiebewertung in der Montage ausgerichtet. Die ungleichmäßige Verteilung der zu handhabenden Lasten sowie die inhomogenen Abläufe in der Logistik erfordern aber eine Methodik, die einen Einsatz sowohl in der Planung technischer Logistiksysteme (z.B. einem Lager) als auch im laufenden Betrieb ermöglicht. Insbesondere Letzteres ist in Form einer fortlaufenden Belastungsermittlung sinnvoll, welche die bisherige Aussagekraft der Momentaufnahmen einer Arbeitsanalyse steigert. Das Personalwesen kann dadurch auch eine bessere Zuordnung von Fähigkeitsprofil der Mitarbeiter und Anforderungsprofil des Arbeitsplatzes erreichen. Die flexible Einsetzbarkeit der Logistiker ist heutzutage nach wie vor unerlässlich, um komplexe Logistiksysteme zuverlässig zu betreiben. Entsprechend wird von Unternehmen mehr und mehr nach Lösungen gesucht, die den Logistiker bei seiner Arbeit unterstützen.

Die in der Praxis genutzte Leitmerkmalmethode [2] ermöglicht die Analyse der objektiv vorhandenen Arbeitsbelastung beim Heben und Tragen von Lasten. Sie erlaubt eine Bewertung auf eine Tätigkeit, die typischen für die Logistik typisch ist. Für ihre Berechnung hat der Arbeitsplatzplaner bei der Beobachtung des realen Arbeitsprozesses die vier Leitmerkmale (Last-, Haltungs-, Ausführungsbedingungs- und Zeitwichtung) zu charakterisieren. So gilt es die typische Körperhaltung sowie die Ausführungsbedingungen (Greifbarkeit etc.) zu identifizieren und die umgesetzte Last und deren Anzahl an Hebevorgängen auszuwerten. Den Leitmerkmalen sind anschließend Punktwerte nach den Vorgaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

zuzuordnen. Das Ergebnis der Methode stellt einen Risikowert dar, der eine Einstufung der am Arbeitsplatz vorherrschenden Belastung ermöglicht. Die Bewertung der Leitmerkmale lässt sich bei Montagearbeitsplätzen wegen des geringen Teilespektrums und dem begrenzten Arbeitsbereich meistens sehr einfach durchführen. In der Logistik, z.B. bei der Kommissionierung, ist eine eindeutige Zuordnung wegen der breiten Kombinationsmöglichkeiten zwischen eingenommener Haltung und umzusetzendem Lastgewicht nicht möglich.

Am Lehrstuhl fml der TU München wurde deshalb die für die Handhabungsvorgänge in der Logistik geeignete Leitmerkmalmethode für den Einsatz in der manuellen Kommissionierung qualifiziert [3]. Eine Inter- sowie Extrapolation der Zeit- und Lastwichtung ermöglicht eine mathematische Formalisierung, die auch die oft sehr hohen Pickzahlen in der Kommissionierung berücksichtigt. Nach der Grundform der Leitmerkmalmethode ist das für die Tätigkeit repräsentative Lastgewicht zur Belastungsberechnung zu wählen. Mit Hilfe der neuen Methodik lässt sich jeder Hub als eine eigene Tätigkeit betrachten, der durch das Gewicht der Ware, die eingenommene Körperhaltung und die Ausführungsbedingungen charakterisiert ist. Jede Teiltätigkeit wird schließlich auf einen Vorgang mit definierter Haltung, Last und Ausführungsbedingung normiert, so dass die Belastung des realen Umsetzvorgangs dem normierten Vorgang äquivalent ist.

3. Belastungsabschätzung in der Virtual Reality

Die Technologie der Virtuellen-Realität (VR) spielt bei der Planung von Logistiksystemen eine wichtige Aufgabe, da diese wie keine andere in der Lage ist, den Nutzer durch visuelle Informationsdarbietung und intuitive Interaktionsmechanismen bei seinen Tätigkeiten zu unterstützen. Die Vorteile der VR liegen dabei vor allem in der Bearbeitung komplexer, geometrisch-räumlicher Aufgabenstellungen, wie z.B. in der Einrichtungsplanung in der Logistik, und die Integration der späteren Nutzer in die Planung. So kann beim Einsatz der VR-Technologie eine Qualitätssteigerung im Entscheidungsfindungsprozess und eine wesentliche Verbesserung des Planungsgegenstandes erreicht werden. Im Rahmen der digitalen Fabrik ist die VR dem Planer in informatorischer und auch ergonomischer Hinsicht behilflich, um die schwer abzuschätzenden körperlichen Belastungen und Vorgänge insbesondere der Logistik in interdisziplinären Projekten aufzuzeigen und zu verbessern. Der Logistiker ist durch seine Flexibilitätseigenschaften mit gängigen Methoden nur schwer zu Simulationszwecken in Planungshilfsmitteln abzubilden bzw. in die Planung mit einzubeziehen [4]. Erleichtert wird dies mit einer Planung durch VR. Durch die VR-Planung ist es dem Menschen möglich, eine dreidimensionale vom Computer generierte Welt interaktiv zu erleben. Er kann daher verstärkt in die Planung integriert werden. Komplexe Prozesse lassen sich so mittels geeigneter Interaktionstechniken unter ergonomischen Aspekten analysieren. Dadurch lassen sich aus Sicht der Planung Probleme frühzeitig erfassen und lösen. Dies führt zur Verkürzung der Planungszeit und zur Vermeidung von Fehlern bei der Realisierung des geplanten Systems.

Der Ansatz der „erweiterten Leitmerkmalmethode“ ist bereits in die Planungsphase mit der VR-Simulation integrierbar. Mit der am Lehrstuhl fml an der TU München vorhandenen, menshintegrierten Simulation von Kommissioniersystemen [5] lassen sich mit VR-Unterstützung frühzeitig Aussagen über die später im Lager vorhandene Belastung bei Mitarbeitern treffen. Dabei kann eine typische Mann-zur-Ware-Kommissionierung nachgestellt und vom Menschen „getestet“ werden, indem er die virtuelle Logistikumgebung begeht und einen Arbeitsprozess ausführt. Die Haltungen des Nutzers während der virtuellen Kommissionierung werden aufgenommen und die daraus zu erwartenden Belastungen im später zu realisierenden Lagersystem ermittelt. Beachtung findet beispielsweise welche Haltungen – Verdrehung des Rumpfes oder Beugung des Körpers – bei der virtuellen Entnahme der Artikel vorherrschen. Mit den getroffenen Erkenntnissen sind rechtzeitig ergonomische Maßnahmen für das geplante Lagersystem umsetzbar. Später ist dies im realisierten Lager oft nicht mehr oder nur mit hohem (finanziellen) Aufwand möglich.

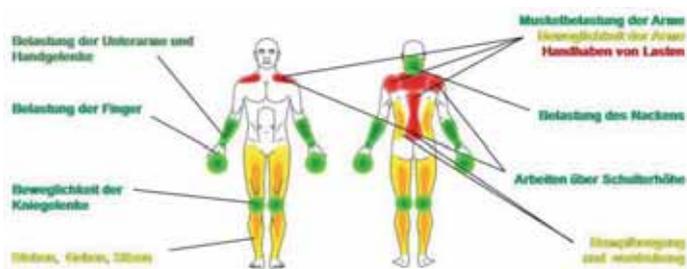


Abbildung 1: Ergebnis einer Arbeitsanalyse in der Kommissionierung

Die Summe der normierten Teiltätigkeiten entspricht dann einem Gesamtrisikowert, der die Belastung der heterogenen Teiltätigkeiten, beispielsweise in der Kommissionierung, widerspiegelt (Abbildung 1). Aufgrund der informationstechnischen Abbildbarkeit der entstandenen Berechnungsmethodik für die Leitmerkmalmethode lassen sich zahlreiche Einsatzfälle erschließen. Die entstandene Berechnungssystematik lässt sich sowohl für die Belastungsabschätzung bei der Entwicklung von Lagersystemen als auch für die fortlaufende Belastungsermittlung in der Logistik einsetzen.

4. Augmented Reality zur Visualisierungsunterstützung

Speziell bei der Kommissionierung kommt es aufgrund des hohen Angebotspektrums an Verkaufsgütern zu einer sehr stark schwankenden Auftragslast innerhalb mehrerer Arbeitstage. Um eine ausreichende Flexibilität in logistischen Systemen zu erreichen, ist der Einsatz von Menschen unabdingbar. Bei realisierten Kommissionierlagern ist die aufwandsarme Erfassung und Bewertung von tatsächlich gegebenen physischen Belastungen wichtig, um die entstehenden gesundheitlichen Risiken zu vermeiden.

Ein gutes Beispiel für einen Arbeitsplatz, der gut für eine Visualisierungsunterstützung geeignet ist, stellt die Mann-zur-Ware-Kommissionierung dar. Ein Kommissionierer in der Getränkeindustrie hebt im Verlauf eines Arbeitstages oftmals mehrere Tonnen an Last. Um gesundheitliche Schäden auf Grund dieser Last zu vermeiden, ist es sinnvoll, die körperliche Belastung kontinuierlich zu erfassen, um das Erreichen kritischer Werte zu verhindern. Dies ist vor allem erforderlich, wenn bereits sämtliche konstruktiv-ergonomische Maßnahmen im realisierten Lager ausgereizt sind. Eine körperliche Entlastung des Mitarbeiters ist dann nur noch durch Jobrotation bzw. der Zuteilung zu leichteren Tätigkeiten möglich. Um den geeigneten Zeitpunkt dafür zu finden, soll eine „Online-Gefährdungsbeurteilung“ bezüglich der körperlichen Belastung beim Kommissionieren mit Hilfe der Augmented Reality (AR) realisiert werden. Eine kontinuierliche Transparenz bezüglich der Belastung des Kommissionierers erlaubt es, möglichst schnell auf Belastungsspitzen zu reagieren. Um dies zu erreichen, soll zum einen auf Grundlage der Leitmerkalmethode die körperliche Belastung beim Kommissionieren fortlaufend erfasst werden. Zum anderen soll sich die gewonnene Information dem Kommissionierer in möglichst optimaler Weise mit Hilfe von AR übermitteln lassen.



Abbildung 2: Pick-by-Vision mit integrierter Belastungsanzeige

Abbildung 2 zeigt das am Lehrstuhl entwickelte Pick-by-Vision-System [6] ohne Tracking. Dem Kommissionierer werden die benötigten Daten, wie Lagerort oder Menge, statisch auf das Display vor dem Auge projiziert. Die

Quittierung der Entnahme eines Artikels erfolgt über einen Druckknopf. Ansonsten kann der Kommissionierer seine Hände frei nutzen. Die Kommunikation des Systems mit dem Warehouse Management System findet in Echtzeit über ein Funknetz statt.

Das Pick-by-Vision ermöglicht es, die Mitarbeiter in Echtzeit über ihren eigenen Belastungszustand zu informieren. Diese Transparenz spiegelt die Offenheit eines Unternehmens sowie die Fürsorge gegenüber seinen Mitarbeitern wider. Es hilft somit eine Vertrauensbasis zu schaffen und sowohl die Zufriedenheit als auch die Motivation der Mitarbeiter zu erhöhen.

Die AR-Anzeige soll das Überschreiten bestimmter Belastungsgrenzen (geringe Belastung -> erhöhte Belastung -> hohe Belastung) beispielsweise durch Farben oder Skalenstriche verdeutlichen. Hierbei ist zu beachten, dass diese Grenzen personenabhängig (Alter, Konstitution,...) sind und die Anzeige individuell anpassbar sein muss. Für die Entwicklung des Anzeigeconzepts wurde ein möglichst systematisches Vorgehen gewährleistet und sämtliche Lösungsmöglichkeiten betrachtet, wie in Abbildung 3 dargestellt. Für die Realisierung der Anzeige können Unterschiede in Form, Größe, Position und Farbgestaltung in Frage kommen.

Eigenschaft	Realisierungsmöglichkeiten				
Form	35 <small>Text bzw. Zahl</small>	 <small>Balken</small>	 <small>Punkte</small>	 <small>Tortendiagramm</small>	 <small>Form mit "Aussage"</small>
Größe	klein		mittel		groß
Position	zentral		an einer Seite		in einem Eck
Farbgestaltung	einfarbig			mehrfarbig	
Anzeigezeit	permanent			temporär	

Abbildung 3: Variationsmatrix zur Erstellung des Anzeigeconzepts

Die gezeigten Realisierungsmöglichkeiten wurden am Lehrstuhl fml mit der Berechnungsmethodik nach der Leitmerkalmethode für die operative Logistik zu Demonstrationszwecken in das Pick-by-Vision integriert. Bei der Visualisierung mit AR werden die Belastungsdaten der Mitarbeiter anhand der hinterlegten Daten im Warehouse Management System ermittelt. Anhand dieser Daten weiß das System an welcher Position die Artikel liegen und von welcher erwarteten Haltung aufgrund der unterschiedlichen Positionierungen der Waren ausgegangen werden kann. Der Mitarbeiter erhält zusätzlich zu den Auftragsdaten seinen aktuellen Status in Bezug auf die Belastung beim Handhaben von Lasten mitgeteilt. Dies entspricht seiner Tagesexposition, die er bis zum aktuellen Zeitpunkt erreicht hat. Die Abbildung 4 zeigt die hierzu bereits am Lehrstuhl fml realisierten unterschiedlichen Darstellungsarten.



Abbildung 4: Anzeigekonzepte zur Darstellung der körperlichen Belastung für das Pick-by-Vision

Während der Kommissionierung trägt der Mitarbeiter ein Head Mounted Display, das ihm neben den erforderlichen Daten für die Kommissionierung nun zusätzlich seinen tagesaktuellen Belastungszustand zur Verfügung stellt. Die Darstellung lässt sich ebenso an jedem anderen Bildschirm visualisieren. Im Fall des Pick-by-Vision legt nicht der Personaleinsatzplaner oder Meister die Jobrotation fest, sondern der Kommissionierer organisiert mit seinen Kollegen selbst, wann ein Wechsel der Arbeit erforderlich ist. Dabei wechselt er nach belastender Aufgaben an einen Arbeitsplatz, bei dem eine Tätigkeit mit geringerer körperlicher Belastung erforderlich ist z.B. Bedienung eines Gabelstaplers.

5. Motion Capturing zur Belastungsermittlung

Eine weitere Technologie zur Online-Belastungsermittlung in der Logistik stellt das Motion Capturing (MoCap) dar. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Ansatz mit dem Warehouse Management System und den angenommenen Haltungen, erlaubt die MoCap-Technologie eine reelle Echtzeit-Aufnahme der Haltungen der Arbeiter. Das MoCap ermöglicht es, die Haltungen exakt aufzunehmen und die für die Berechnung der körperlichen Belastung relevanten Gelenkwinkel und Haltungsdauern zu bestimmen.

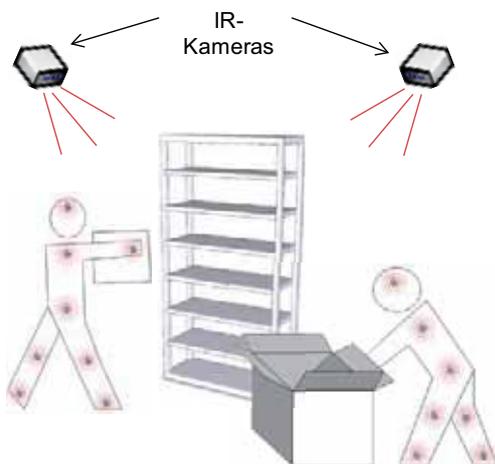


Abbildung 5: Einsatz von Motion Capturing in der Logistik

Die Abbildung 5 zeigt wie die Mitarbeiter mit Targets für das MoCap ausgestattet sind. Diese Aufnahmemethode eignet

sich nur für bestimmte Kommissionierszenarios, bei denen mit Infrarotkameras zur Bewegungsaufnahme gearbeitet werden kann. Die von den Kameras aufgenommenen Bewegungen lassen sich dann auf ein biomechanisches Modell des Menschen übertragen, so dass sich die belastenden Haltungen in Echtzeit erfassen lassen. Durch die Haltung und die Haltungsdauer kann das System dann die Belastung des Mitarbeiters berechnen.

Durch das häufige Bücken sowie Tragen von Paketen besteht in der Logistik jedoch die Gefahr, dass die Infrarottargets verdeckt und diese somit die Verbindung zu den Kameras verlieren. Diese Problematik lässt sich durch Kopplung der passiven Targets mit Inertialsensoren lösen. Dabei werden die Inertialsensoren immer bei Sichtkontakt der optischen Marker zu den Infrarotkameras des Trackingsystems zurückgesetzt.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Bereits in der Planungsphase logistischer Systeme lässt sich in Kombination von Prozessbeschreibungen und der Einsatz von VR die Mitarbeiterbelastung abschätzen. Der Planer erfährt frühzeitig die spätere körperliche Belastung und kann die Kommissioniersystemgestaltung unter dem Aspekt der Ergonomie verbessern. Mit dem beschriebenen Ansatz wird damit zunächst der Präventivgedanke verfolgt, hohe körperliche Belastung zu vermeiden. Nach der Realisierung des Lagers, ist die Transparenz über die Belastungssituation der Mitarbeiter im realen Arbeitsprozess gefragt. Mit dem im Pick-by-Vision dargestellten Beispiel einer Online-Belastungsermittlung und -visualisierung ist der erste Schritt zu einer besseren Transparenz für manuelle Tätigkeiten getan. Die Anzeige der Belastung kann zu einer Sensibilisierung bezüglich der Gesundheit am Arbeitsplatz führen und die Arbeiter zu Verbesserungsvorschlägen anregen. Durch eine Selbstorganisation der Kommissionierer zum Belastungsausgleich durch Jobrotation wird der Planungsaufwand zum Personaleinsatz reduziert.

In einem weiterführenden, mit dem Dortmunder APS initiierten, Forschungsprojekt wird ein neues Verfahren zur Arbeitsanalyse in der operativen Logistik entwickelt. Dort sind, über das Handhaben von Lasten hinaus, weitere für die in der Logistik relevante Belastungsparameter zu definieren und Möglichkeiten zu eruieren, die ein aufwandsarmes Monitoring gewährleisten. Dabei soll zudem in relevanten Kommissionierszenarios der Einsatz von Motion Capturing zur Erfassung von Belastungsparametern geprüft werden. Ziel ist es, die Transparenz über die Belastungssituation und -verläufe der Mitarbeiter durch technische Integration und Visualisierung zu erhöhen. Die Abschätzung von dauerhaften Schädigungen der Mitarbeiter soll zur Reduktion von typischen, in der Logistik auftretenden Berufskrankheiten und zur Vermeidung von gesundheitlichen Schädigungen beitragen.

Langfristig soll so der Erhalt der Erwerbsfähigkeit der Logistiker unterstützt werden, so dass auch in Zukunft eine leistungsfähige Belegschaft zur Verfügung steht.

7. Literatur

[1]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2007, Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2007.

[2]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), 2001, Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. Schmergow: Druckhaus Schmergow.

[3]

Walch, D.; Günthner, W. A., 2009, Belastungsermittlung für Handhabungsprozesse in der Logistik – Ein Beitrag zur altersgerechten Arbeitsgestaltung. In: Industrial Engineering – Fachzeitschrift des REFA-Verbandes, 62. Jahrgang, Ausgabe 3, Darmstadt, ISSN 1866-2269; S. 30-33.

[4]

Kammergruber, F.; Günthner, W.A., 2010, Virtuelle Logistikplanung. In: Virtual Reality Magazin, Ausgabe 1+2, S. 24-26

[5]

Wulz, J., 2008, Menschintegrierte Simulation in der Logistik mit Hilfe der Virtuellen Realität. Dissertation, Garching, ISBN 978-3-9811819-3-7

[6]

Günthner, W. A.; Blomeyer, N.; Reif, R.; Schedlbauer, M., 2009, Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung, Abschlussbericht Forschungsvorhaben AiF-FV-Nr. 14756 N