

# Belastungsermittlung für Handhabungsprozesse in der operativen Logistik

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels wird in den kommenden Jahrzehnten ein Engpass zwischen arbeitsfähigen operativen Logistikern und Logistikarbeitsplätzen adäquater Anforderungen entstehen. Die auf die Bedürfnisse der Logistik angepasste Leitmerkalmethode dient der schnellen Belastungsermittlung für die Lasthandhabung eines heterogenen Teilespektrums, um frühzeitig Maßnahmen für eine altersgerechte Arbeitsgestaltung abzuleiten und den Erhalt der Erwerbsfähigkeit von Logistikern zu sichern.

Walch D.; Günthner, W. A.

In den kommenden Jahren wird aufgrund der demographischen Entwicklung die Überalterung der Gesellschaft und somit auch der Erwerbstätigkeiten weiter voranschreiten. Im operativen Bereich von Produktion und Logistik ist diesbezüglich mit der sinkenden körperlichen Belastbarkeit und dem zunehmenden Krankenstand älterer Beschäftigter zu kämpfen. Als häufigste Ursache von Ausfallzeiten ist die Erkrankung des Muskel-Skelett-Systems zu nennen, die auch eine sinkende Produktivität der Mitarbeiter zur Folge haben kann. Insbesondere das Handhaben von Lasten in Kombination mit Bück- und Beugevorgängen, wie sie in der stark durch körperliche Arbeit geprägten operativen Logistik vorkommen (z.B. Kommissionierung und Verpackung), stehen im Zusammenhang mit einer hohen Belastung der Wirbelsäule. Arbeitsanalyseverfahren bieten eine Möglichkeit, die auftretende Belastung zu ermitteln und gegebenenfalls Maßnahmen für eine „gesunde“ Beanspruchung der Mitarbeiter abzuleiten, bei der langfristig keine Gesundheitsschädigung durch die Arbeitsaufgaben zu erwarten ist. Leider sind derzeit keinerlei Verfahren verfügbar, die für die Anwendung in der operativen Logistik geeignet sind und gleichzeitig einen praktikablen Erhebungsaufwand aufweisen. Der folgende Beitrag stellt eine Methodik vor, die, basierend auf der Leitmerkalmethode (LMM), eine einfache Lösung für die Belastungsermittlung für Handhabungsvorgänge in der operativen Logistik bietet. Exemplarisch soll hierbei das Heben von Lasten in der Kommissionierung bewertet werden.

## Heutige Arbeitsanalyseverfahren nicht für die operative Logistik geeignet

Während für die Montage bereits zahlreiche Bewertungsmethoden zur Ermittlung der Belastung existieren, sind derzeit nur in Ansätzen Verfahren für die operativen Logistik verfügbar (z.B. Bosch-Verfahren zur Bewertung von Milkruns [1]; Wirbelsäulenbelastung in der Kommissionierung nach Goldscheid [2]). Grund hierfür stellt die Inhomogenität in den Handhabungsprozessen aufgrund des großen Artikelspektrums dar, wie es sich bspw. in der Kommissionierung zeigt. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin empfiehlt zur praxisingerechten Analyse der objektiv vorhandenen Arbeitsbelastung die Leitmerkalmethode (LMM) [3]. In ihrer Grundform berücksichtigt die LMM für das Heben von Lasten vier Leitmerkmale: Häufigkeit der umzusetzenden Last (H), Lastgewicht (L), Körperhaltung (K) und Ausführungsbedingungen (A). Den vier Merkmalen sind je nach Anzahl der Hebevorgänge, der typischen Last (z.B. 10 bis 20kg), der Art der Haltung und Ausführung Punktwerte (Wichtungen) zugeordnet. Auf Basis der Merkmale kann nach der Formel A

$$H \times (L + K + A) = RW$$

ein Risikowert (RW) berechnet werden, der eine Einschätzung in Bezug auf die auftretende Beanspruchung liefert. Dabei wird das Verfahren den Anforderungen der operativen Logistik insofern nicht gerecht, als dass sich eine zusammenfassende Bewertung von Teiltätigkeiten (z.B. das Heben leichter Lasten in stark gebeugter Haltung in Kombination mit dem Heben schwerer Lasten in aufrechter Haltung) problematisch gestaltet bzw. nicht möglich ist. Sich

unterscheidende Lastwerte und/oder auftretende Körperhaltungen dürfen gemittelt bzw. bei starken Unterschieden, die Teiltätigkeiten nur getrennt betrachtet werden. Im Nachfolgenden soll eine Methode beschrieben werden, die im Rahmen des Forschungsverbundes FitForAge entwickelt worden ist und eine bessere Aussage in Form eines Gesamtrisikowertes für sich unterscheidende Teiltätigkeiten der Kommissionierung nach der LMM ermöglicht.

### Vorgehen zur Berechnung des Gesamtrisikowertes über einen Normvorgang

Das Vorgehen zur Ermittlung eines Gesamtrisikowertes für sich nach Last und Körperhaltung unterscheidender Teiltätigkeiten (tt) gliedert sich in vier wesentliche Schritte:

- (1) Datenaufnahme und -aufbereitung hinsichtlich der Hubhäufigkeit in den zu definierenden Lastklassen
- (2) Definition der Teiltätigkeiten durch Zuordnung der in den Lastklassen eingenommenen Körperhaltungen
- (3) Berechnung einer zur Belastung der Teiltätigkeiten äquivalenten Gesamtbelastung nach der modifizierten Leitmerkmalmethode
- (4) Interpretation des Gesamtrisikowertes

(1) Im ersten Schritt ist die Anzahl an Hebevorgängen je Lastklasse für einen Referenztag zu ermitteln (Abbildung 1). Hierzu kann oftmals auf Daten aus einem WMS zurückgegriffen werden, die über die Anzahl an Picks pro Kommissionierer und Tag Aussage geben können. Eine Prozessaufnahme ist zusätzlich erforderlich um prozessbedingte Mehrfachhübe zu berücksichtigen. Es bietet sich an, zunächst eine Zeitraumbetrachtung durchzuführen, um bei starken Auftragsschwankungen einen Referenztag mit großem Auftragsvolumen des Kommissionierers auszuwählen. Um den Berechnungsaufwand gering zu halten, sollten ca. fünf für das zu pickende Teilespektrum des Referenztages repräsentative und sinnvolle Lastklassen gebildet werden. Hierzu ist vorab eine Aufstellung der Gewichtsverteilung des Teilespektrums (in ganzen Kilogramm) nützlich. Abschließend ist die im Mittel auf den Kommissionierer wirksame Last je Lastklasse (M-Wert) zu berechnen.

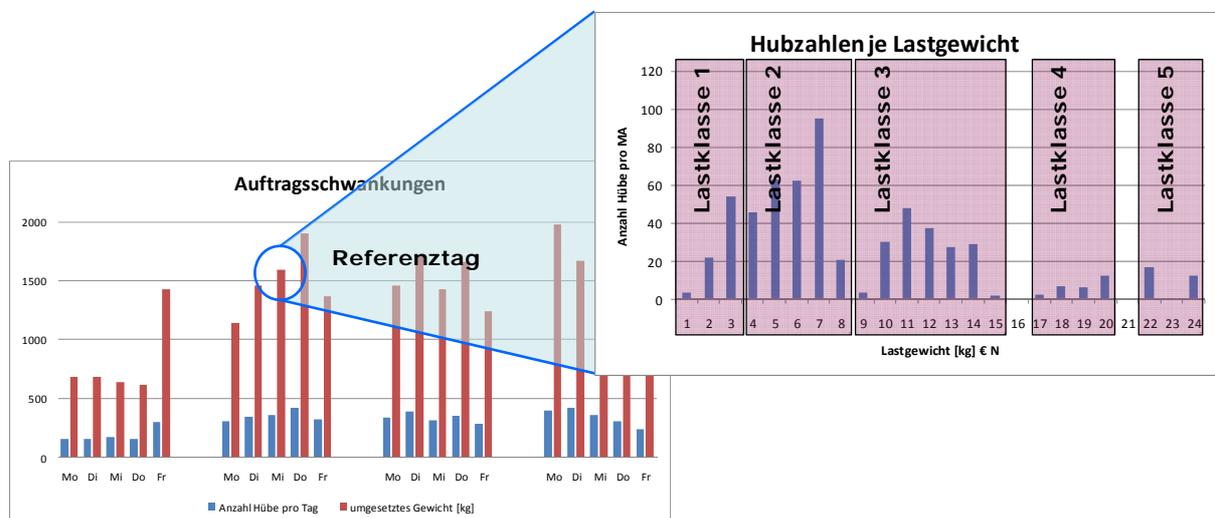


Abbildung 1: Auswahl eines Referenztages hoher Belastung und Ermittlung der Lastklassen

(2) Im zweiten Schritt sind die Lastaufnahme- und abgabehöhen zu ermitteln und die bei der Abgabe und Aufnahme eingenommenen Körperhaltungen des Kommissionierers zuzuordnen, die in Kombination mit den Hubhäufigkeiten je Lastklasse aus (1) die Teiltätigkeiten definieren (vgl. Abbildung 3). Eine Datenauswertung zu den Entnahmeorten bzw. Lagerfächern aus dem WMS gepaart mit einer Prozessbetrachtung liefert die Verteilung der Körperhaltungen. Die Haltung hängt dabei oft von der Anthropometrie des Kommissionierers sowie der Lagergeometrie (z.B. auch der Greiftiefe) ab. Die Körperhaltung "weites Vorneigen mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers" nach der LMM tritt

typischerweise in der Kommissionierung nicht auf. Ebenso sind die Ausführungsbedingungen meist als „gut“ zu bewerten und somit vernachlässigbar.

(3) Als Zwischenresultat des dritten Schrittes liegen nach der Leitmerkmalmethode die Einzelrisikowerte für jede Teiltätigkeit vor. Eine genauere Berechnung gegenüber den Vorgaben der BAUA lässt sich durch Interpolation der Zeit- und Lastwichtung erzielen (Abbildung 2).

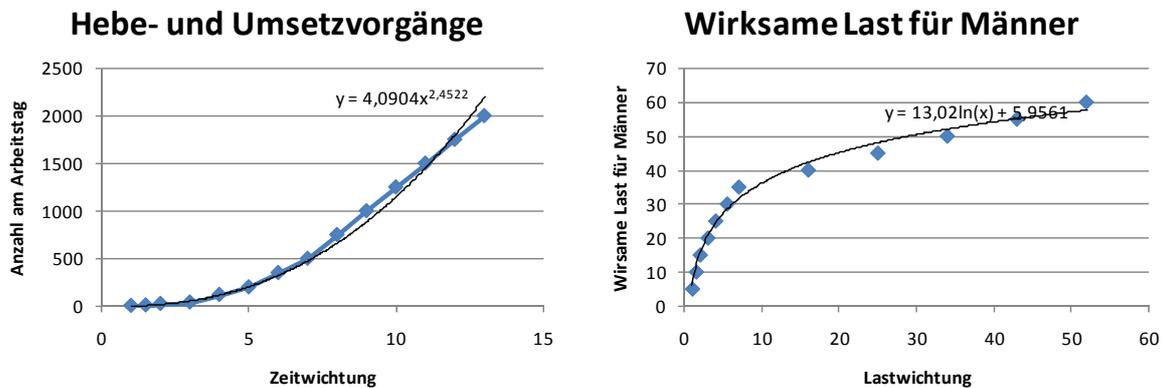


Abbildung 2: Interpolation und Formeln zur Ermittlung der genauen Zeit- und Lastwichtung

Da eine Aufsummierung der Einzelrisikowerte nicht zulässig ist, muss der Gesamtrisikowert über eine Normierung der Teiltätigkeiten bzw. deren normierter Hubhäufigkeiten erfolgen. Hierbei macht man sich zunutze, dass verschiedene Teiltätigkeiten, den gleichen Einzelrisikowert ergeben. Beispielsweise ergeben nach der Formel A 200 Hübe einer Last von 10kg in tiefer Beugung einen Risikowert von  $5 \times (1,5 + 4 + 0) = 27,5$ . Dieser Einzelrisikowert wird bei aufrechter Haltung erst bei mehr als 1500 Hüben erreicht  $\left[ \frac{27,5}{(1,5+1+0)} = 9 \right]$ . Entsprechend ist für die Kombination der Teiltätigkeiten der Kommissionierung ein fiktiver Hebevorgang zu definieren, der sich zum Beispiel wie folgt darstellt:

- Lastgewicht von 15 kg für Männer;  $L = 2$
- Körperhaltung mit geringem Vorneigen;  $K = 2$
- Gute ergonomische Ausführungsbedingungen;  $A = 0$

Hiermit kann über die nach der Zeitwichtung H aufgelöste Formel A die normierte Zeitwichtung (NV-Zeitwichtung) für die Teiltätigkeiten auf Basis des Normvorgangs berechnet werden. Die normierte Zeitwichtung lässt sich wiederum nach dem formellen Zusammenhang in Abbildung 2 in normierte Hubzahlen umwandeln, die eine äquivalente Belastung der realen Teiltätigkeiten repräsentieren. Abschließend können die normierten Teiltätigkeiten (NV-Hübe) aufsummiert und der Gesamtrisikowert nach Formel A unter Einbezug der Wichtungen des Normvorgangs bestimmt werden (Abbildung 3).

Lastklasse	M-Wert	Haltungswicht. (K)	Hübe	Einzelrisiko	NV-Zeitwicht.	NV-Hübe	
...	...	...	...	...	...	...	...
3,0-7,9 kg	5,7 kg	1	76	6,47	1,62	13,61	Teiltätigkeit 4
3,0-7,9 kg		2	152	12,93	3,23	73,87	Teiltätigkeit 5
3,0-7,9 kg		4	76	16,26	4,07	129,38	Teiltätigkeit 6
8,0-14,9 kg	11,7 kg	1	31	5,76	1,44	10,29	Teiltätigkeit 7
8,0-14,9 kg		2	62	10,66	2,66	46,09	Teiltätigkeit 8
8,0-14,9 kg		4	31	12,54	3,13	68,54	Teiltätigkeit 9
...	...	...	...	...	...	...	...
Summe normierter Hübe						428	
Zeitwichtung der normierten Hübe (Ges.)						6,64	
Gesamtrisikowert auf Basis der NV						27	

Abbildung 3: Beispielwerte für die Berechnung der normierten Hubzahlen

(4) Im letzten Schritt kann die Interpretation des Gesamtrisikowerts (RWg) erfolgen, der eine Einschätzung der Beanspruchung des Mitarbeiters wiedergibt. Nach der LMM liegt für das Beispiel in Abbildung 3 eine wesentlich erhöhte Belastung vor, die eine körperliche Überbeanspruchung auch für normal belastbare Personen zur Folge haben kann (Risikowert im Intervall von 25 bis 50). Zusammengefasst sind folgende Eingabewerte zur Berechnung des Gesamtrisikowerts für das Umsetzen eines heterogenen Teilespektrums durch männliche Kommissionierer erforderlich:

$$RW_{tt} = \left( \frac{AA_{tt}}{4,0904} \right)^{\frac{1}{2,4522}} \times \left( e^{\frac{MW_{tt}-5,9561}{13,02}} + HW_{tt} \right)$$

$$AA_{nv} = 4,0904 \times \frac{RW_{tt}^{2,4522}}{4}$$

$$RW_g = \left( \frac{\sum AA_{nv}}{4,0904} \right)^{\frac{1}{2,4522}} \times 4$$

**RW<sub>tt</sub>** [Einzelrisikowert der realen Teiltätigkeit], **AA<sub>tt</sub>** [Anzahl Hübe der Teiltätigkeit], **MW<sub>tt</sub>** [mittlere wirksame Last je Lastklasse und Teiltätigkeit, M-Wert], **HW<sub>tt</sub>** [Haltungswichtung je Teiltätigkeit], **AA<sub>nv</sub>** [Anzahl Hübe des Normvorgangs], **RW<sub>g</sub>** [Gesamtrisikowert]

### Fazit und Ausblick

Mit der beschriebenen Methodik ist eine neue Form der Belastungsermittlung in der operativen Logistik möglich, die eine orientierende Aussage bei der Handhabung von heterogenen Lastspektrums sowie inhomogenen Prozessen liefert. Die exemplarisch an der Leitmerkmalmethodik für das Heben von Lasten aufgezeigte Methodik lässt sich entsprechend auf das Halten und Tragen sowie Schieben und Ziehen von Lasten nach der LMM anwenden. Ebenso kann der Betrachtungsgegenstand anderweitig gewählt werden. Neben der Arbeitsanalyse von Kommissionierern bietet sich bspw. auch für die Belastungsermittlung von Kommissionierzonen, Verpackern oder Verpackstraßen an. Der Einsatz der Methodik in Praxisuntersuchungen zeigt einen hohen Aufwand in der Datenaufnahme und -aufbereitung. Dieser ist jedoch unabhängig von der hier vorgestellten Methodik erforderlich, um sichere Aussagen treffen zu können. Eine Belastungsermittlung durch Einschätzung von Experten (Mitarbeiter, Meister, Arbeitssicherheit, Betriebsrat etc.)

zeigte eine große Abweichung zur errechneten Belastung, da häufig falsche Annahmen aufgrund fehlender Daten getroffen werden.

Die vom Lehrstuhl fml im Rahmen des Bayerischen Forschungsverbundes FitForAge ermittelten formellen Zusammenhänge durch Interpolation der Leitmerkmale führen zu genaueren Ergebnissen. Zudem ermöglichen die Formeln eine Integration der Belastungsermittlung in Warehouse Management Systeme, über die sich dann eine automatische Erfassung und Berechnung der täglich auftretenden Belastungen ermitteln lässt. Ebenso treibt der Lehrstuhl fml die Entwicklung eines Excel basierten Tools voran, das in Abhängigkeit der sich typischerweise nur geringfügig mit der Zeit verändernden Parameter Lagergeometrie und Gewichtsverteilung des Sortiments eine schnelle Belastungsermittlung von Kommissionierern gestattet. Ziel des Tools ist es, die Akzeptanz und den Einsatz der Arbeitsanalyse nach der Leitmerkmalmethode in der operativen Logistik zu steigern, um eine belastungsgerechte Arbeitsplatzgestaltung zu erreichen und so den Erhalt der Erwerbsfähigkeit der Mitarbeiter zu sichern.

- [1] Schaub, K.-H.; Erdmann, F.: „Integrative Grenzlastberechnung“ bei Bosch mit dem IGEEL Tool. In GfA (Hrsg.): Produkt- und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer. München: GfA-Press, 2008, ISBN 978-3-936804-06-5.
- [2] Goldscheid, C.: Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung in manuellen Kommissioniersystemen. Aachen: Shaker-Verlag, 2008, ISBN 978-3-8322-7439-9.
- [3] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. Schmergow: Druckhaus Schmergow, 2001.

**Autoren:**

Dipl.-Ing. Dennis Walch (wissenschaftlicher Angestellter)  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching b. München

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner (Ordinarius)  
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching b. München