

Auswirkungen von Aktionskräften beim Ziehen und Schieben auf die Wirbelsäulenbelastung am Beispiel der Intralogistik des Automobilbaus

Steffen CONRAD¹, Matthias JÄGER²

¹ AUDI AG, Werk Neckarsulm
NSU-Straße 1, 74148 Neckarsulm

² IfADo – Leibniz-Institut für Arbeitsforschung der TU Dortmund
Ardeystraße 67, 44139 Dortmund

Kurzfassung: Trotz zunehmender Automatisierung gehören manuelle Tätigkeiten, wie Ziehen und Schieben von schweren Lasten, nach wie vor zu den Kerntätigkeiten für Mitarbeiter der operativen Intralogistik. Dieser Beitrag beschreibt, wie auftretende Aktionskräfte bei dieser Tätigkeit durch Messungen ermittelt wurden. Weiterführend dienten diese Ergebnisse jeweils als Eingangsgröße für biomechanische Modellrechnungen mit dem Simulationswerkzeug „Der Dortmunder“, mit dem insbesondere die an der unteren Wirbelsäule wirkenden Reaktionskräfte berechnet wurden.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Logistik, Der Dortmunder, Wirbelsäulenbelastung, Ziehen und Schieben, Dortmunder Richtwerte

1. Ausgangslage und Vorgehen

Ziehen und Schieben von teils schweren Trailern gehören nach wie vor zu den logistischen Kerntätigkeiten. Auch in hochautomatisierten Fabriken von Premiumherstellern im Automobilbau ist die Arbeitskraft des Menschen, aufgrund seiner schnellen Entscheidungsfindung und Flexibilität, in diesen Bereichen derzeit nicht wegzudenken. Beim Ziehen und Schieben von Lasten kommen nach Glitsch et al. (2004) in der Regel große Muskelmassen (Rumpf, obere und untere Extremitäten) zum Einsatz. Diese Art der Lastenmanipulation fällt deshalb typischerweise in den Bereich schwerer dynamischer Arbeit. Aufgrund von plötzlichen Überlastungen können nach dem Bundesverband der Unfallkassen (2004) Schädigungen des Muskel-Skelett-Systems auftreten. Gerade Wirbelsäulenbeschwerden und -schädigungen sind nach Bokranz & Landau (2006) und dem Rat der Europäischen Gemeinschaft (2007) eine häufige Folge zu hoher Belastungen. Hecktor et al. (2014) stellen fest, dass vor allem beim Anschieben von Trailern hohe Körperkräfte entstehen können.

Um mögliche Überlastungen identifizieren zu können, wurden die Belastungen beim Ziehen und Schieben im AUDI-Werk Neckarsulm exemplarisch erhoben; dazu wurden in einem ersten Schritt die auftretenden Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben in einem Versuchsszenario ermittelt. Nach pilotartigen Messungen zur Prüfung der Messmethodik (mit ungeübten Probanden – diese Vorgehensweise hat sich im Nachhinein als ungeeignet erwiesen) erfolgten die maßgeblichen Erhebungen mit geübten Logistikfachkräften. Körperkräfte beim Ziehen und Schieben wurden zwar für berufsgruppenspezifische Fälle anderweitig erhoben (vgl. Backhaus et al. 2013, Glitsch et al. 2004, Brütting et al. 2015), doch wichen die Rahmenbedingungen (Größe der Trailer, Bodenbelag, Räder) von den aktuellen

soweit ab, dass eigene Versuche durchgeführt wurden. Die messtechnisch erhobenen Ergebnisse zu Aktionskräften dienen jeweils als Eingangsgröße für die Berechnung mehrerer Kenngrößen der Lendenwirbelsäulenbelastung. Analog zu früheren Erhebungen zur Belastung bei Lastenhandhabungen wurden die Werte der lumbosakralen Druckkraft mit wissenschaftlich begründeten Empfehlungen zur Maximalbelastung verglichen, wodurch Aussagen zur Beanspruchung bzw. zum Überlastungsrisiko von Logistikfachkräften abgeleitet werden können.

2. Ermittlung von Körperkräften beim Ziehen und Schieben

2.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden fünf geübte Logistikfachkräfte ausgewählt, die einen Trailer, versehen mit zwei dreiachsigen Kraftmessgriffen, durch einen Versuchsparcours bewegten. Das Gewicht des Trailers wurde stufenweise auf 300, 600 und 900 kg erhöht. Den skizzierten Versuchsaufbau mit ergänzenden Informationen zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

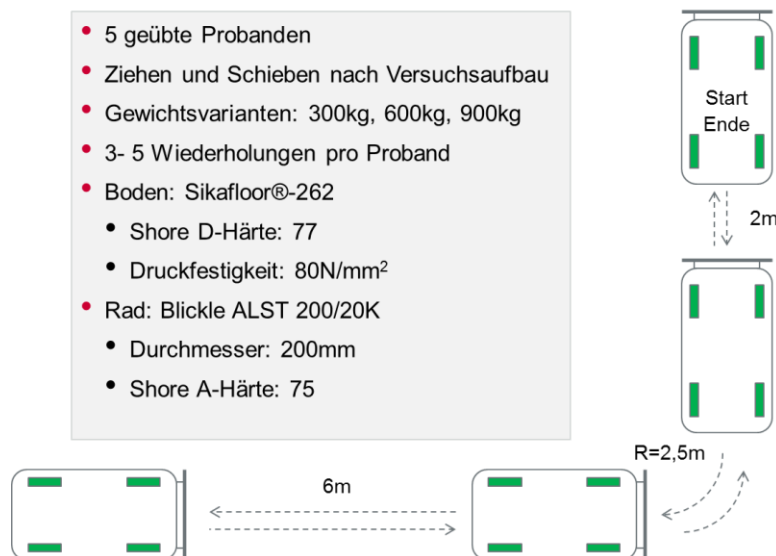


Abbildung 1: Versuchsparcours zur Ermittlung der Körperkräfte beim Ziehen und Schieben

2.2 Gemessene Aktionskräfte an den Händen

Die aus den Versuchen erzielten Aktionskraftverläufe zeigen beim Anfahren und Anhalten in allen Fällen Kraftspitzen. In Form einer Engpassbetrachtung dieses Prozesses werden zur weiteren Analyse diese Kraftmaxima herangezogen. Durch statistische Auswertungen konnten die nach Abbildung 2 dargestellten Erwartungsbereiche der Kraftmittelwerte der fünf geübten Logistikfachkräfte berechnet werden.

Die Lage der Anfahrkräfte beim Schieben und Ziehen befindet sich auf sehr ähnlichem Niveau. Die Stoppkräfte beim Ziehen liegen etwas unterhalb der beim Schieben. Die geringe Spannweite der Intervalle ist auf die konstante Ausführungsweise der geübten Probanden zurückzuführen. Durch vorausschauendes Handhaben der Trailer liegen die Stoppkräfte beim Anhalten immer unterhalb der Initialkräfte des Anfahrens.

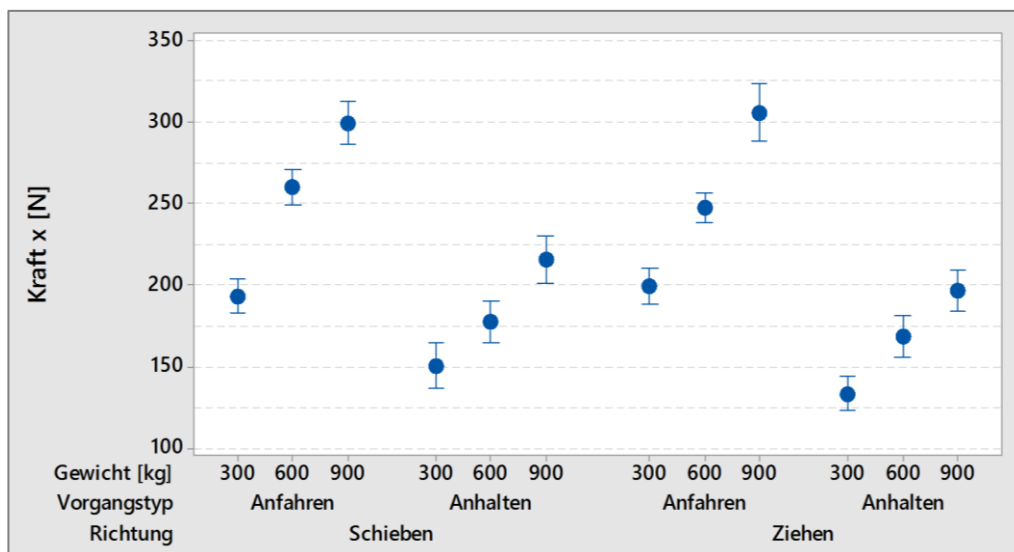


Abbildung 2: 95%iges Konfidenzintervall geübter Logistikfachkräfte für das Ziehen und Schieben, nach Anfahren und Anhalten sowie Gewichten unterteilt

2.3 Berechnete Reaktionskräfte an der Wirbelsäule

Die gemessenen Aktionskräfte wurden zur Untersuchung der Wirkung auf den Menschen verwendet – basierend auf biomechanischen Modellierungen mit dem Simulationswerkzeug „Der Dortmunder“ am IfADO. *Der Dortmunder* eignet sich für dreidimensionale dynamische Simulationen mit einem individuell adaptierbaren Menschmodell, wobei je nach zu analysierendem Belastungsfall externe Lasten und Aktionskräfte sowie die Körperhaltung und -bewegung mitberücksichtigt werden können (Jäger et al. 2000). Mit diesen Eingangsgrößen bestimmt *Der Dortmunder* beispielsweise Belastungswerte bzgl. der lumbosakralen Bandscheibe, die als Druck- und Scherkräfte sowie Beuge- und Torsionsmomente beschrieben werden.

Die Belastung setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen: Darunter fallen insbesondere das zu bewegende Lastgewicht, die Handhabungsart und Ausführungsweise sowie die Körperhaltung der ausführenden Person. Mit Bezug auf Lastgewicht und Handhabung wurden die Körperkräfte – d.h. die Aktionskräfte an den Händen – in den zuvor beschriebenen Versuchen ermittelt. Die Körperhaltungen wurden während des Versuchs durch eine Kamera erfasst. Die Berechnung der wirkenden Kräfte an der Wirbelsäule erfolgte unter Berücksichtigung der charakteristisch eingenommenen Körperhaltung bei den dabei jeweils maximal ausgeübten Aktionskräften.

Beim Schieben wird eine nach vorne geneigte Körperhaltung eingenommen. Beim Ziehen ist die Krafrichtung entgegengesetzt, deshalb wird vorzugsweise eine nach hinten lehrende Haltung eingenommen. Da sich die beiden Körperhaltungen stark unterscheiden, erfolgte die Untersuchung getrennt für das Ziehen und Schieben. Die Körperhaltung beim Ziehen-Anhalten und Schieben-Anfahren sowie beim Ziehen-Anfahren und Schieben-Anhalten sind hingegen sehr ähnlich. Aus diesem Grund wurden für die biomechanische Berechnung die Fälle ausgewählt, die bei gleicher Körperhaltung die höheren Kraftwerte in die horizontale Hauptkraftrichtung ergaben. Die kritischeren Fälle sind nach Abbildung 2 das Schieben-Anfahren und Ziehen-Anfahren. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt links die

eingenommene Körperhaltung eines Probanden beim Schieben und rechts die beim Ziehen. Neben der Momentaufnahme bei maximal ausgeübter Körperkraft sind die Skelettmodelle des *Dortmunder* aus je zwei Blickwinkeln dargestellt. Die Menschmodellierungen wurden entsprechend der Körperhaltung und Anthropometrie der Versuchsperson vorgenommen. Der Modellrechnung werden die über die Handkraftmessgriffe ermittelten Aktionskräfte an den Händen hinzugefügt.

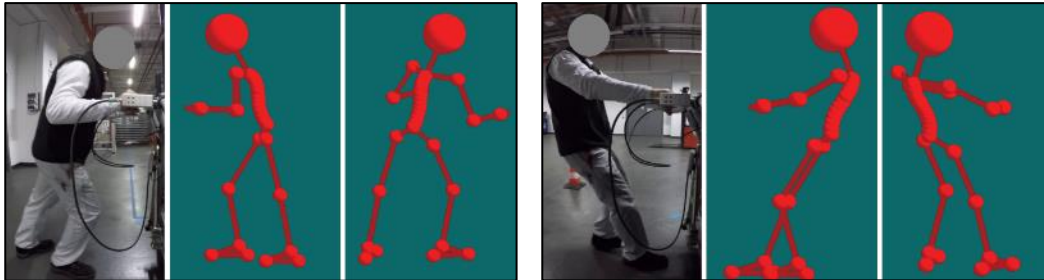


Abbildung 3: *Eingenommene Körperhaltung eines geübten Logistikmitarbeiters mit menschlichen Körpermodellen jeweils in 2 Ansichten, erzeugt mit "Der Dortmunder"; links: Schieben-Anfahren; rechts: Ziehen-Anfahren*

Für die in der Regel am höchsten belastete Bandscheibe der Lendenwirbelsäule, die zwischen dem fünften Lendenwirbel und dem Kreuzbein (L5-S1) liegt, ergeben sich Druckkräfte nach Tabelle 1. Neben den drei Gewichtsvarianten des Trailers wurde als Vergleichswert eine Körperkraft von 0 N bei 0 kg Trailergewicht angenommen. Durch diese Annahme wird die Belastung, die allein auf die Körperhaltung zurückzuführen ist, dargestellt.

Tabelle 1: *Bandscheibendruckkräfte auf L5-S1*

Gewicht des Trailers	Druckkräfte auf L5-S1	
	Schieben-Anfahren	Ziehen-Anfahren
0 kg	1,5 kN	0,6 kN
300 kg	1,0 kN	0,7 kN
600 kg	1,2 kN	0,8 kN
900 kg	1,0 kN	0,9 kN

Auffällig ist, dass die Druckkraft beim Schieben-Anfahren ohne Einwirkung einer äußeren Kraft am höchsten ist. Dies deckt sich mit Erkenntnissen von Jäger et al. (2004), bei denen sich die Druckkraft, hervorgerufen durch eine entgegengesetzte Wirkung von haltungsinduzierten Beuge- und schiebebedingten Aufrichtmomenten, verringert. Die Druckkraft bei 600 kg Trailergewicht liegt etwas über den Werten von 300 kg und 900 kg. Dies ist auf ein Aufstützen der Probanden bei dieser Gewichtsvariante zurückzuführen, was aufgrund der ohnehin niedrigen Werte eher unbedeutend ist.

Um eine Aussage über den Grad der Beanspruchung ableiten zu können, wurden die errechneten Werte mit den „Dortmunder Richtwerten“ nach Jäger et al. (2001) aus Tabelle 2 verglichen. Diese sind wissenschaftlich begründet und als empfohlene Richtwerte für die maximale Kompressionsbelastung der Lendenwirbelsäule zu

verstehen. Aufgrund der Tatsache einer abnehmenden Kompressionsfestigkeit von Bandscheiben und Wirbelkörpern mit zunehmendem Alter steigt die Beanspruchung bei älteren Menschen an – gleiche Belastung vorausgesetzt. Frauen sind tendenziell höher beansprucht und unterliegen (bei gleichen Belastungen) demzufolge einem höheren Überlastungsrisiko als Männer, da Wirbelkörper und Bandscheiben physiologisch bedingt schwächer ausgebildet sind (Jäger & Luttmann 2005).

Tabelle 2: Dortmunder Richtwerte nach Jäger et al. (2001)

Alter [Jahre]	Dortmunder Richtwerte [kN]	
	Frauen	Männer
20	4,4	6,0
30	3,8	5,0
40	3,2	4,1
50	2,5	3,2
≥60	1,8	2,3

Ein Vergleich der erhobenen Bandscheibendruckkräfte mit den Empfehlungen zur Maximalbelastung zeigt, dass kein berechneter Wert den niedrigsten Richtwert von 1,8 kN bei Frauen ab 60 Jahren überschreitet; daher kann die Tätigkeit des Ziehens und Schiebens nach den vorliegenden Gegebenheiten in ihrer Wirkung auf den Menschen als risikoarm hinsichtlich der induzierten Wirbelsäulenbelastung eingestuft werden. Zumal auch die Bandscheibenscherkräfte – wenn auch hier nicht explizit dargestellt – eher gering ausfallen. Die Ergebnisse zeigen insgesamt zudem, dass sich die ausführenden Probanden offensichtlich sehr geschickt im Umgang mit den zum Teil sehr schweren Trailern verhielten und ihr Körpergewicht zur Bewegungsauslösung bzw. zur Verzögerung der Trailer in den Ruhezustand zielbewusst zu nutzen wussten.

3. Zusammenfassung und Diskussion

In einem Versuchsszenario wurden Körperkräfte von geübten Logistikfachkräften ermittelt, wie sie im industriellen automobilen Umfeld auftreten. Die dabei quantitativ erhobenen Aktionskräfte an den Händen wurden anschließend mit einem Simulationswerkzeug zur Kennzeichnung der resultierenden Wirbelsäulenbelastung verwendet. Neben den von außen wirkenden (Aktions-)Kräften wurde die Körperhaltung zum Zeitpunkt der jeweiligen maximalen Kraftausübung mitbetrachtet. Die auf die unterste Bandscheibe wirkenden (Reaktions-)Kräfte wurden im letzten Schritt mit Richtwerten zu maximalen Druckkräften an der Lendenwirbelsäule verglichen: Der Vergleich lässt auf ein geschicktes Arbeiten mit eher niedrigem Überlastungsrisiko schließen. Gleichwohl sollten in weiterführenden Untersuchungen auch andere Kenngrößen der Lumbalbelastung wie Scherkräfte sowie Beuge- und Torsionsmomente hinsichtlich des biomechanischen Überlastungsrisikos miteinbezogen werden.

4. Literaturverzeichnis

- Backhaus, C.; Post, M.; Jubb, K.-H.; Ellegast, R.; Felten, Ch.; Hedtmann, J. (2013): Handkraftmessung beim Bewegen von zwei- und vierradrigen Müllgroßbehältern. In: Dokumentation des 59. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses; Chancen durch Arbeits-, Produkt und Systemgestaltung–Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen (23),
- Bokranz, R.; Landau, K. (2006): Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Brütting, M.; Herrmanns, I.; Nienhaus, A.; Ellegast, R. (2015): Muskel-Skelett-Belastungen beim Schieben und Ziehen von Krankenbetten und Rollstühlen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hg.): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress 25.-27.02.2015, Karlsruhe. Dortmund: GfA-Press.
- Bundesverband der Unfallkassen (2004): GUV-I 8607 - Handverzug von Flurförderzeugen Information. Physische Belastungen und Beanspruchungen beim Ziehen und Schieben.
- Glitsch, U.; Ottersbach, H.-J.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Feldges, W.; Schaub, K.; Berg, K.; Winter, G.; Sawatzki, K.; Voß, J.; Göllner, R.; Jäger, M.; Franz, G. (2004): BIA-Report 5/2004. Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. Hg. v. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) und Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA. Sankt Augustin (BIA-Report / Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA).
- Hecktor, K.; Schaub, Kh.; Jäger, M. (2014): Biomechanische Gefährdungsbeurteilung bei Montagearbeitsplätzen. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (68).
- Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.; Laurig, W.: Der Dortmunder - Biomechanische Modellbildung zur Bestimmung und Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei Lastenhandhabungen. In: S. Radandt, R. Grieshaber, W. Schneider (Hrsg.): Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen, Monade-Verlag, Leipzig 2000
- Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.: Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten – Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. Zbl. Arbeitsmed. 51 (2001)
- Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Gollner, R.; Luttmann, A. (2004): Belastung der Lendenwirbelsäule bei branchenübergreifend auftretenden Arbeitssituationen mit Lastenhandhabung. Kapitel IV-3.1. In: J. Konietzko, H. Dupuis und S. Letzel (Hg.): Handbuch der Arbeitsmedizin. 36. Erg.-Lfg. Landsberg: ecomed,
- Jäger, M.; Luttmann, A. (2005): Der "Dortmunder Denkansatz" zur biomechanischen Analyse der Wirbelsäulenbelastung bei Lastenhandhabung. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft (59),
- Rat der Europäischen Gemeinschaft: Richtlinie 90/269/EWG des Rates über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt, vom 02/2007.