

Bericht 1.1.60: Untersuchungen zur Belastung und  
Beanspruchung des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes beim  
Schieben und Ziehen von Lasten

Falk Mörl

18. April 2013

5

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Ziehen und Schieben sind häufige Lastmanipulationen im Arbeitsprozess. Über Belastungen und Beanspruchungen der Gelenke, deren passiver Strukturen und die antreibende Muskulatur beim Ziehen und Schieben ist wenig bekannt. Mit umfangreicher biomechanischer Methodik wurden Gelenkbelastungen abgeschätzt.

**Methodik:** Bei verschiedenen Zieh- und Schieb-Bewegungen, wurden Bewegungen, Kräfte und Muskelaktivität des linken Armes erfasst. Ein biomechanisches Modell des linken Armes wurde erstellt, welches die Messdaten als Input-Parameter nutzte, um invers-dynamisch Gelenkmomente zu berechnen.

**Ergebnisse:** Beim Ziehen und Schieben werden große Kräfte (bis zu 203 N) auf den Wagen übertragen, welche durch große Momente (bis zu 87 Nm) in der Schulter bereit gestellt werden. Frauen erzeugen im Median größere Drehmomente als Männer. Männer erzeugen erst bei größerer Belastung antreibende Drehmomente in den Armgelenken. Beim Schieben/Ziehen mit Griff auf Hüfthöhe wird die Belastung teilweise subjektiv höher empfunden, es können aber keine klaren Unterschiede zum Schieben/Ziehen mit Griff auf Ellbogenhöhe festgestellt werden. Die Aktivierungsmuster spiegeln die mechanische Belastung wider.

**Diskussion:** Der Nacken-Schulter-Arm-Komplex hat bei den Männern eher eine Übertragungs- und Steuerfunktion, wogegen die Frauen den Arm bereits bei leichten Belastungen zum Vortrieb einsetzen. Die Haupt-Vortriebskraft wird bei beiden Geschlechtern mit anderen Gelenken erzeugt. Ziehen und Schieben sollte besser mit einem Griff etwa auf Ellbogenhöhe ausgeführt werden.

**Schlüsselworte:** Ziehen, Schieben, Gelenkbelastung, invers-dynamisch, Drehmoment

# 1 Einleitung

Ziehen und Schieben sind häufige Belastungen im Arbeitsprozess, welche zu hohen Belastungen des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes führen. Wie hoch diese Belastungen sind, ist wenig untersucht. In der  
30 Literatur findet man vereinzelte Veröffentlichungen, welche Ziehen und Schieben als Belastung beschreiben und mit Beschwerden des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes in Zusammenhang bringen. Abschätzungen der wirkenden Belastungen während der Lastmanipulation und Beanspruchungen des antreibenden Nacken-Schulter-Arm-Komplex, werden nur selten beschrieben (Bos et al., 2002). Hoozemans et al. (2002) bringen die Häufigkeit von Belastungen durch Ziehen und Schieben mit Beschwerden des Nackens und  
35 des unteren Rückens in Zusammenhang. In einem weiteren Artikel zeigen Hoozemans et al. (2004), dass die wirkende Belastung nicht mit der Häufigkeit von Beschwerden in direktem Zusammenhang steht. Nur wenige Arbeiten schätzen äußere Belastung und intern wirkende Beanspruchungen ab (de Looze et al., 2000; Theado et al., 2007).

Projekt 1.1.60 hatte die Aufgabe, Kräfte an der Hand beim Schieben und Ziehen zu erfassen. Die Bewe-  
40 gungen des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes sollten dabei erfasst werden. Zusätzlich wurde die Aktivität ausgewählter Muskeln an Arm, Schulter und Rumpf gemessen. Die Messdaten wurden an ein biomechanisches Modell übergeben, welches Gelenkbelastungen berechnete. Die Gelenkbelastungen konnten mit den erfassten Muskelaktivitäten verglichen werden, um abzuschätzen, welche Muskeln bei den untersuchten Lastmanipulationen besonders beansprucht waren.

## 2 Methoden

### 2.1 Entwicklung des Versuchsaufbaus

Mit einfachen Vorversuchen wurde festgestellt, dass der im Vorgängerprojekt erstellte Testwagen mit Kraft-Mess-Handgriffen ohne Probleme eingesetzt werden konnte. Auch das Erfassen der Kraft-Daten mittels des EMG-Systems (Biovision, Wehrheim; GJB-Datenerfassung, Langewiesen) verlief reibungslos.

50 Etwas komplizierter gestaltete sich die Entwicklung des Setups zur Erfassung der Armbewegungen (Lukotronic, Steinbichler, Österreich): In Vorversuchen wurden Bewegungen des Armes über vier Marker

	n	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]
♀	10	40.9 (7.1)	75.2 (19.3)	165 (5)
♂	10	28.5 (5.9)	83.5 (12.4)	182 (4)

**Tabelle I:** Anzahl, Alter, Gewicht und Größe der ProbandInnen als Mittelwert und Standardabweichung.

(Acromion, Ellbogen, Handgelenk, Handrücken) und die Position des Kraftmessgriffes mit drei Markern erfasst. Dies war mit einer Messfrequenz von mehr als 100 Hz möglich. Um dreidimensionale Positionen des Armes für ein Modell nutzen zu können, liefern aber 2 Marker pro Segment (z.B. Oberarm) eine zu ungenaue Schätzung zur Bestimmung von Gelenkzentren. Daher wurde ein Marker-Setup mit 3 Markern pro Armsegment entwickelt (mit drei Markern ist eine dreidimensionale Bestimmung der Raumlage möglich, mit zwei Markern nicht). Das Gesamt-Marker-Setup umfasste nun 12 Marker (3 auf dem Oberarm, 3 auf dem Unterarm, 3 auf der Hand und 3 auf dem Kraftgriff). Mit diesem Setup konnten Daten mit dem Kinematik-Messsystem mit 20 bis 30 Hz erfasst werden. Für eine sinnvolle Auswertung ist jedoch eine zeitliche Auflösung der Armbewegungen von mehr als 50 Hz besser. Nach Installation einer Verdunkelung im Labor konnte mit einer Messfrequenz von 100 Hz gearbeitet werden.

## 2.2 Probanden

Insgesamt wurden 27 ProbandInnen untersucht. Davon wurden 5 ProbandInnen im Rahmen der Vorversuche untersucht, welche aufgrund unterschiedlicher Setups nicht in die Auswertung gingen. Bei zwei weiteren Versuchspersonen kam es zu Datenverlust. Bei den Hauptversuchen wurden 10 Frauen und 10 Männer untersucht (Tab. I).

## 2.3 Versuche zum Ziehen und Schieben

Auf einem vom Kinematik-System erfassbaren Bereich von etwa 1,50 m (Weg des Ziehens/Schiebens) wurden unterschiedliche Varianten des Ziehens und Schiebens von den Versuchspersonen durchgeführt. Hierzu zählten

- Ziehen und Schieben des Wagens aus der Ruheposition
- schweres Ziehen und Schieben aus der Ruheposition

Körperregion	Muskeln
Arm	M.bizeps brachii M.trizeps
Schulter	M.pectoralis major (oberer Teil) M.deltoideus clavicularis M.deltoideus acromialis M.trapezius descendens M.trapezius ascendens M.latissimus dorsi
Rumpf	M.rectus abdominis M.obliquus internus M.obliquus externus M.erector spinae (L2)

**Tabelle II:** Erfasste Muskelpaare

- Schieben in Bewegung (hier nicht dargestellt)
- plötzliches Stoppen des Wagens (hier nicht dargestellt)

75 Der Wagen wiegt durch die Kraftmessgriffe, den Verstärker und Ausgleichgewichte etwa 50 kg. Schweres Ziehen und Schieben wurde durch Blockieren der Räder simuliert.

Alle Versuche wurden mit Handgriff-Position auf Hüfthöhe und auf Ellbogenhöhe durchgeführt. Jeder Einzelversuch wurde 5 mal durchgeführt. Die Versuchsreihenfolge war randomisiert.

## 2.4 Erfassung der Muskelaktivität

80 Bei allen Versuchspersonen wurden 12 Muskelpaare an Arm, Schultern und Rumpf elektromyografisch erfasst. Die Ableitung erfolgte bipolar mit einer Messfrequenz von 2048 Hz (Tab. II).

## 2.5 Kinematik, Krafterfassung, Synchronisation

EMG und Kraft auf der einen Seite und Kinematik auf der anderen wurden von zwei verschiedenen Messsystemen erfasst, welche mittels eines analogen Signals, welches auf beide Systeme gegeben wurde,  
85 synchronisiert wurden.

## 2.6 Biomechanisches Modell

Ein Computermodell des linken Armes wurde mit SimMechanics (1. Generation, MathWorks, Natick, USA) erstellt. Vor den Messungen wurden Segmentlängen und Segmentumfänge bei allen ProbandInnen gemessen und als Eingangsvariablen zur Berechnung der Segment-Dimensionen verwendet. Massen-  
90 schwerpunktlage und Trägheitstensor der Armsegmente wurden einer anthropometrischen Datenbank entnommen (NASA, 2000).

Das Schultergelenk des Modells ist im Raum fest aufgehängt. Die Winkel des Oberarms im Raum (Schulterwinkel), der Ellbogenwinkel und der Handgelenkwinkel dienten als Eingangsvariablen. Die gemessene Handkraft wurde in das Koordinatensystem des Modells gedreht, auf 100 Hz downgesampelt  
95 und diente ebenfalls als Eingangsvariable. Für Schultergelenk, Ellbogengelenk und Handgelenk wurden durch das Modell invers-dynamisch die Gelenkmomente berechnet, welche nötig waren, die vorgegebene Bewegung unter vorgegebenem Krafteinfluss auszuführen.

### 2.6.1 Koordinatensystem

Orientiert an einer Versuchsperson, welche mit der linken Körperseite zum Aufnahmesystem ausgerichtet  
100 ist, ist die Lage des Koordinatensystems wie folgt:

- X-Achse, nach hinten weisend (Ziehen)
- Y-Achse, von links nach rechts
- Z-Achse, nach oben

Als Handkräfte werden die vom Wagen auf die Hand wirkenden Kräfte dargestellt. Somit ist eine positive  
105 X-Kraft ein Schieben, eine negative X-Kraft ein Ziehen. Die am Wagen gemessenen Reaktionskräfte entsprechen den oben genannten Achsenlagen.

Momente um die Y-Achse wirken in der Sagittalebene (Hauptebene beim Schieben und Ziehen, z.B. Beugen und Strecken des Ellbogens). Momente um die X-Achse wirken in der Frontalebene, Momente um die Z-Achse in der Transversalebene.

## 110 2.6.2 Berechnung der internen Kinematik des linken Arms

Um sinnvolle Gelenkmomente durch das Modell berechnen zu lassen, ist es besser, interne Kinematik als Eingangsvariable zu nutzen, als die durch die Marker gemessene äußere Kinematik auf der Oberfläche des Arms. Die innere Lage der Knochen wurde berechnet, indem Linien auf der Oberfläche mittels linearer Regression aus den Markerkoordinaten berechnet wurden. Mit Information der Segment-Umfänge und bestimmter Oberflächenmarker (z.B. Ellbogenmarker) wurden die Oberflächenlinien ins innere des Segments verschoben. Schnittpunkte der inneren Linien definieren die Gelenkpositionen. Anhand der inneren Linien wurden körpereigene Koordinatensysteme erstellt, mit denen die Winkel zwischen den Armsegmenten berechnet wurden.

## 2.6.3 Datenbearbeitung

120 Als Eingangsvariable wurden die Gelenkwinkel interpoliert, da aufgrund von Markerverdeckungen die Datensätze nicht vollständig waren. Da bis zu sechs Marker für einen Winkel verrechnet wurden, war der Datenverlauf sehr verrauscht und wurde daher mit dem Savitzky-Golay Filter (3. Ordnung) <sup>1</sup> bearbeitet.

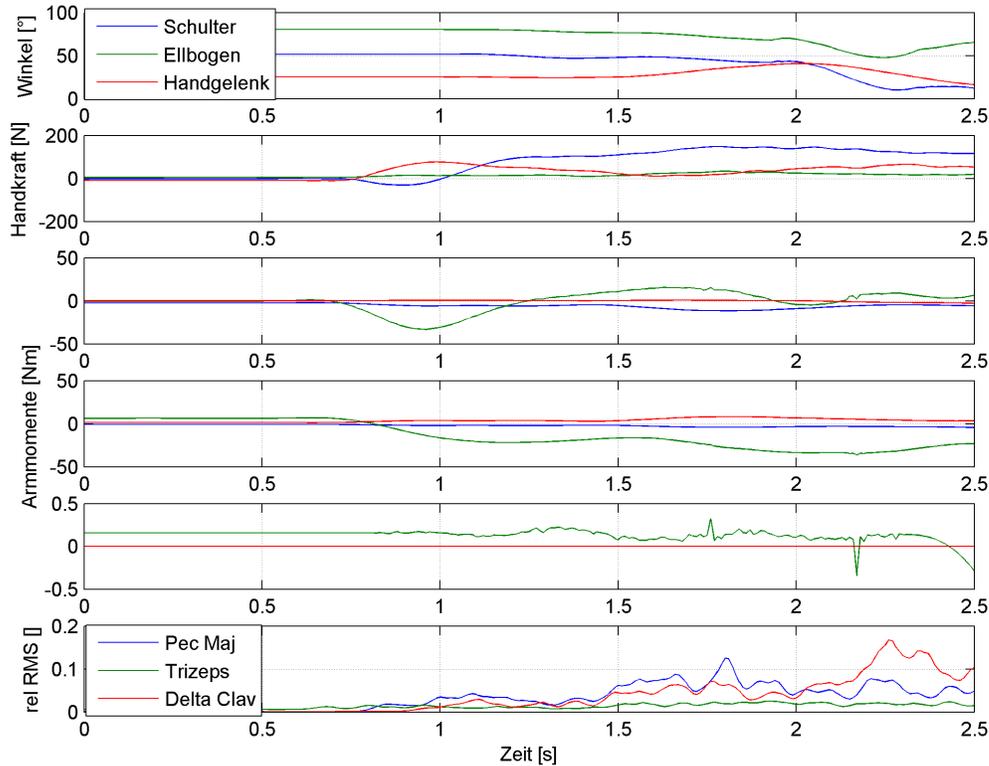
Die berechneten Drehmomente zeigten ebenfalls starkes Rauschen, was mit dem Savitzky-Golay Filter gemindert wurde.

125 Das Rohsignal des EMG wurde rektifiziert und danach die RMS (root mean square, ein Maß der Aktivierungs-Amplitude) berechnet. Die RMS wurde auf die maximale Aktivität des jeweiligen Muskels während eines Versuches normiert.

Winkel, Kräfte, EMG und Drehmomente wurden zeitsynchron abgelegt. Im Kraftsignal wurde bei jedem Versuch der Zeitpunkt gesucht, zu dem der Wert deutlich ansteigt. Dieser Zeitpunkt wurde als 130 Beginn des Schieb- oder Ziehvorgangs definiert. Maximal- und Durchschnittswerte von Handkraft, Gelenkmomenten, Winkeln und RMS wurden berechnet und statistisch auf Unterschiede geprüft. Weibliche und männliche Probanden wurden in verschiedene Gruppen aufgeteilt. Hauptuntersuchungsgegenstand waren Unterschiede zwischen einfachem und schwerem Schieben. Der Einfluss der Griffhöhe (Ellbogen-

---

<sup>1</sup>Kinematische Messdaten sind meist verrauscht, haben aber auch hochfrequente Anteile, welche tatsächlich von der gemessenen Bewegung stammen. Der Savitzky-Golay-Filter hat im Gegensatz zu Low-Pass- oder Butterworth-Filtern im Grenzbereich eine gute Performance. 3. Ordnung wurde mittels Fehler-Versuch und Erfahrung ausgewählt.



**Abbildung 1:** Daten eines schweren Schiebeversuches einer ausgewählten Versuchsperson im zeitlichen Verlauf: 1. Zeile - Armwinkel, 2. Zeile - Handkräfte, 3. bis 5. Zeile - Schultermomente, Ellbogenmomente, Handgelenkmomente, jeweils X (blau), Y (grün), Z (rot), 6. Zeile - ausgewähltes EMG

höhe oder Hüfthöhe) wurde ebenfalls geprüft.

## 135 3 Ergebnisse

### 3.1 Beispieldaten im zeitlichen Verlauf

Im Datenbeispiel (Abb. 1) kann in der zweiten Zeile (Kraftverlauf) gut der Zeitpunkt des Beginns des Schiebeversuches erkannt werden, da die Kraftwerte in allen drei Richtungen plötzlich ansteigen (0.75 s). Die Winkelverläufe des Armes (erste Zeile) zeigen zunächst keine Veränderungen, jedoch führt die

		♀	♂
Kraft [N]	Schieben	124.7	143.5
	Ziehen	99.9	163.4
	schweres Schieben	132.2	172.6
	schweres Ziehen	139.8	203.0
Schultermomente [Nm]	Schieben	41.7	50.0
	Ziehen	28.0	61.3
	schweres Schieben	56.1	87.2
	schweres Ziehen	28.9	78.2

**Tabelle III:** Maximalwerte der gemessenen und berechneten Belastungsparameter

140 wirkende Kraft zu einem deutlichen Anstieg der Gelenkmomente: Im Schultergelenk wurden bis zu 20 Nm (um Y-Achse) erzeugt, welche den Oberarm nach vorn gegen den Wagenriff drehten. Im Ellbogen wurden Streckmomente bis -35 Nm (um Y-Achse) erreicht. Das Schieben geschah so, dass kaum Drehmomente im Handgelenk auftraten. Der Schiebevorgang wurde durch Aktivierung der Schultermuskulatur erreicht. Insbesondere der große Brustmuskel und am Ende des Vorgangs der vordere Schultermuskel waren aktiv.

## 145 3.2 Belastungsstruktur

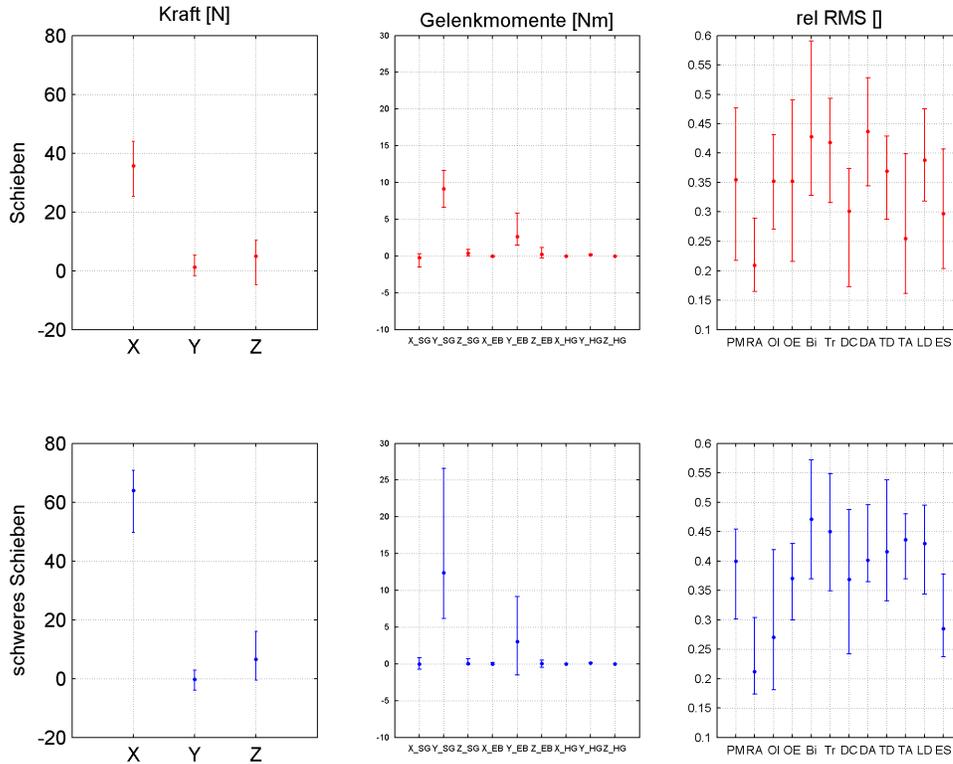
### 3.2.1 Maximale Belastungen

Der maximale Handkraftwert, welcher beim schweren Schieben gemessen wurde, beträgt 173 N. Beim schweren Ziehen wurden bis zu 203 N gemessen. Dies führte zu Schultermomenten beim schweren Schieben von bis zu 87 Nm und beim schweren Ziehen von bis zu 78 Nm. Alle Extremwerte aller untersuchten 150 Bewegungen sind in Tabelle III aufgelistet.

### 3.2.2 Unterschiede zwischen Schieben und schwerem Schieben

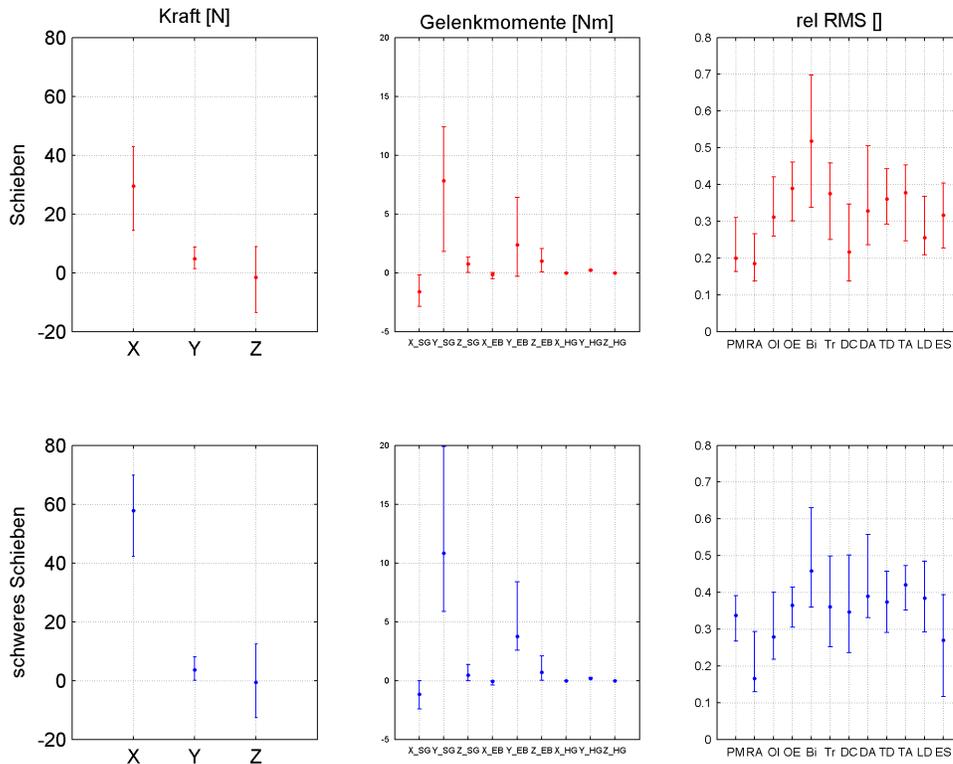
Ziehen und Schieben sind Vorgänge, in deren zeitlichem Verlauf (Abb. 1) nicht nur Maximalbelastungen vorkommen. Ein Zieh- oder Schiebvorgang aus der Ruheposition dauerte 0.75 bis 1.5 Sekunden. Da alle Versuchspersonen den gleichen Wagen zogen oder schoben, gibt ein mittlerer Wert einen besseren 155 Überblick über die gesamte Belastung. Alle folgenden Beschreibungen der Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchen und den Geschlechtern beziehen sich daher auf die Median-Werte.

Das schwere Schieben war für beide Geschlechter anspruchsvoller, was bereits beim Beobachten der



**Abbildung 2:** Mittlere Belastung beim Schieben (oben) und schweren Schieben (unten) der Frauen auf Ellbogenhöhe als Median und Quartile

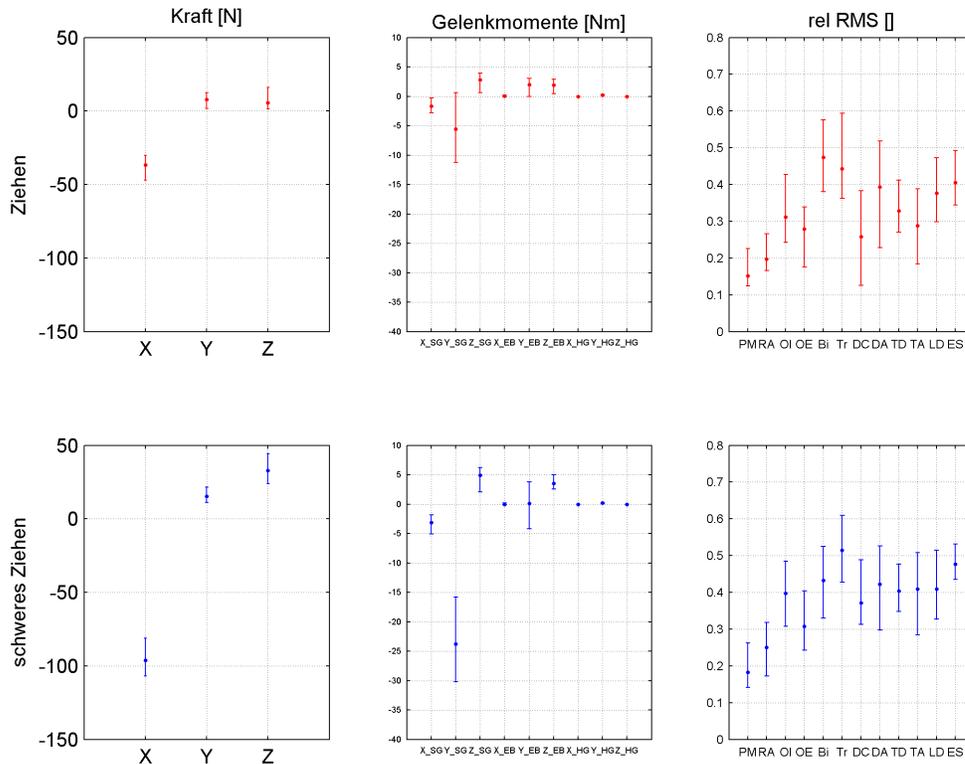
Schiebeversuche deutlich wurde. Beim Schieben schoben die Frauen den Testwagen mit 36 N in Schieberichtung (X) an, tendierten aber auch dazu, den Wagen mit 5 N etwas nach unten zu drücken. Das  
160 mittlere Schultermoment hatte einen Wert von 9 Nm und drehte den Oberarm nach vorn, im Ellbogen wurde mit 2.6 Nm ein Beugemoment erzeugt. Die Belastungsstruktur ist beim schweren Schieben vergleichbar, hatte aber vor allem bei den Kräften deutlich größere Werte: Die Schubkraft stieg auf 64 N. Die vertikale Kraft drückte den Wagen nach unten mit 6.5 N. Das den Oberarm nach vorn drehende Moment stieg auf 12.4 Nm und zeigte große Streuungen, vor allem hin zu großen Werten. Im Ellbogen  
165 wurde ein dem Schieben vergleichbares Beugemoment erzeugt, welches aber große Streuungen hatte. Ein Teil der Versuche wurde mit einem Streckmoment im Ellbogen durchgeführt (Abb. 2). Da die Momente



**Abbildung 3:** Mittlere Belastung beim Schieben (oben) und schweren Schieben (unten) der Männer auf Ellbogenhöhe als Median und Quartile

im Arm trotz größerer Kräfte am Wagen nicht deutlich größer wurden, kann gefolgert werden, dass beim schweren Schieben der Arm zwar mehr belastet wird, aber eher andere Körperregionen (welche hier nicht untersucht wurden) den Vortrieb erzeugten und der Arm eher als Kopplungs- und Steuerglied fungierte.

170 Die Männer erzeugten beim Schieben 29 N in Schubrichtung, mit -1.5 N bestand eine Tendenz, den Wagen geringfügig anzuheben. Dies resultierte in 7.8 Nm Schultermoment (nach vorn drehend) und 2.3 Nm Beugemoment im Ellbogen. Kräfte und Momente zeigten große Streuungen. Beim schweren Schieben erzeugten die Männer 58 N in Schubrichtung. Die dazu notwendigen Momente im Schultergelenk stiegen auf 11 Nm und im Ellbogen auf 3.8 Nm. Beide Momente zeigten zwischen den Versuchspersonen große  
175 Streuungen (Abb. 3). Die Breite der Verteilung der Momente und der geringe Anstieg der Momente von

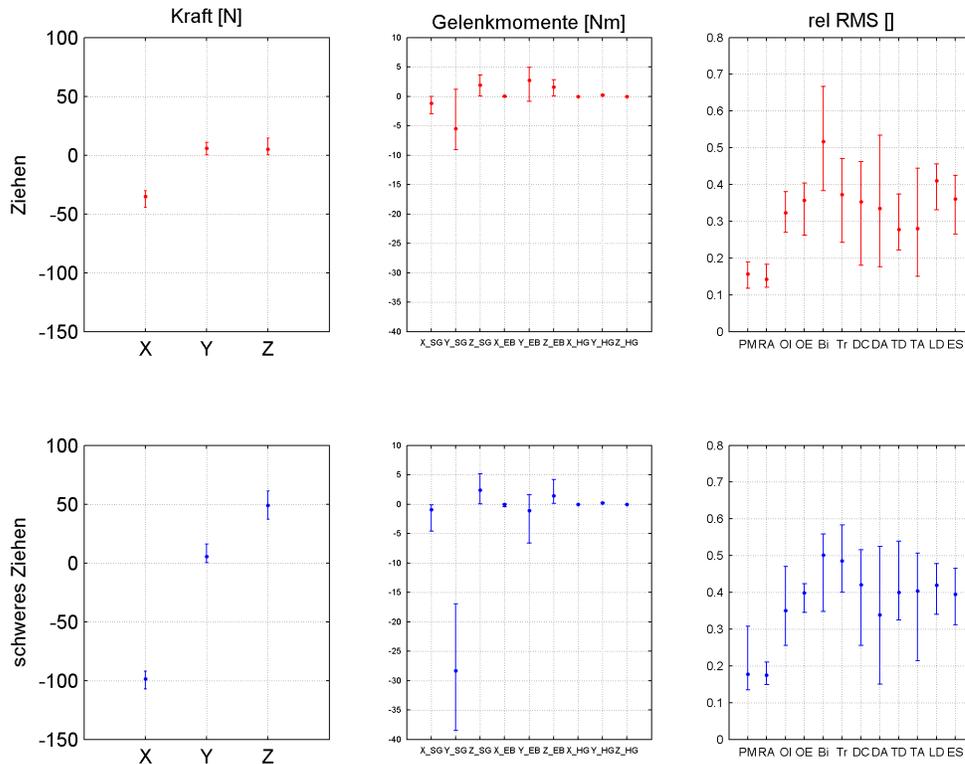


**Abbildung 4:** Mittlere Belastung beim Ziehen (oben) und schweren Ziehen (unten) der Frauen auf Ellbogenhöhe als Median und Quartile

Schieben zu schweren Schieben trotz deutlich größerer Kräfte lässt darauf schließen, dass der Nacken-Schulter-Arm-Komplex nicht vorrangig zum Antrieb des Wagens genutzt wurde.

### 3.2.3 Unterschiede zwischen Ziehen und schwerem Ziehen

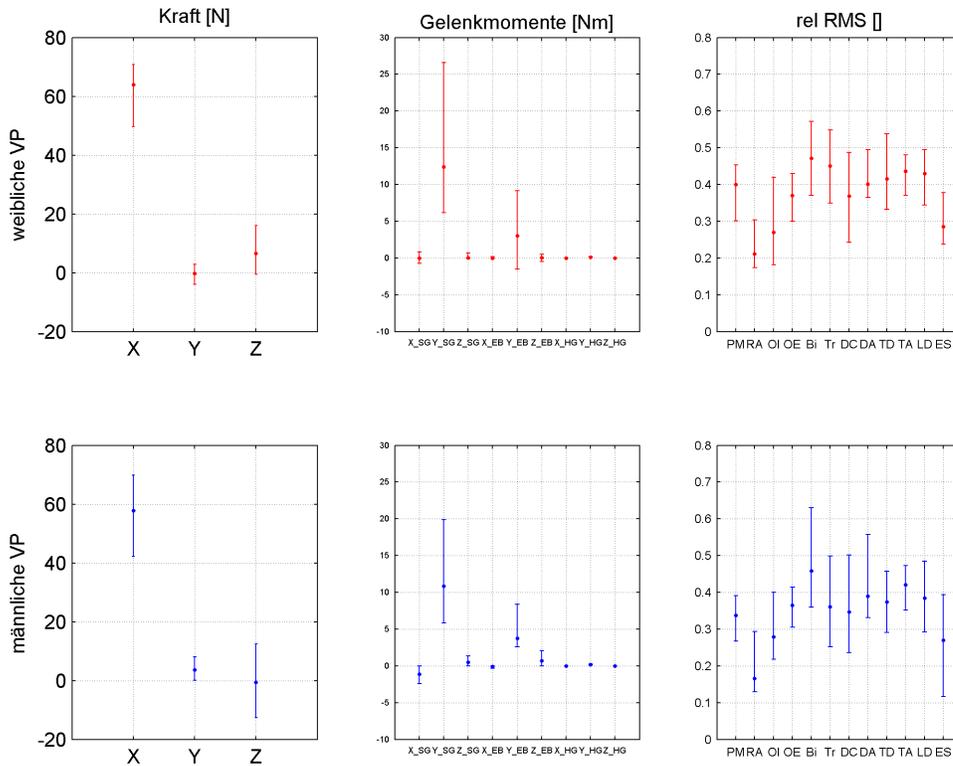
Beim Ziehen erzeugten die Frauen -36.6 N in Zugrichtung. Außerdem zog der linke Arm den Wagen tendenziell nach links (8 N, Y). Das Schultermoment um die Y-Achse lag bei -5.5 Nm (den Oberarm nach hinten drehend) und mit 2.8 Nm wurde ein den Oberarm nach links drehendes Moment um die Z-Achse erzeugt. Beim schweren Ziehen stieg die Zugkraft auf -96 N, der Wagen wurde vom linken Arm mit 15 N mehr nach links gezogen und mit 32 N nach unten gedrückt. Dazu wurde im Schultergelenk ein den



**Abbildung 5:** Mittlere Belastung beim Ziehen (oben) und schweren Ziehen (unten) der Männer auf Ellbogenhöhe als Median und Quartile

Arm nach hinten drehendes Moment mit -23 Nm erzeugt, das den Arm nach außen drehende Moment stieg auf 4.8 Nm (Abb. 4). Durch die in etwa dreimal so große externe Belastung beim schweren Ziehen reagiert der Nacken-Schulter-Arm-Komplex mit mehr als vierfachem Drehmoment im Schultergelenk. Der Nacken-Schulter-Arm-Komplex wird demnach beim schweren Ziehen deutlich zum Vortrieb genutzt, wenn auch andere, hier nicht untersuchte Körperregionen, den Hauptanteil zum Vortrieb bereit stellen.

Die Männer zogen mit -35 N am Wagen beim Ziehen. Andere Kraftkomponenten wurden kaum erzeugt. Dies wurde mit den Arm nach hinten drehendem Schultermoment (-5.5 Nm) und beugenden Ellbogenmomenten (2.7 Nm) bewerkstelligt. Beim schweren Ziehen wirkten -99 N in Zugrichtung und der Wagen wurde mit 49 N nach unten gedrückt. Dafür wurde im Schultergelenk ein nach hinten drehendes Moment



**Abbildung 6:** Mittlere Belastung beim schweren Schieben (Ellbogenhöhe) als Median und Quartile

(-28 Nm) erzeugt und im Ellbogen wurde im Median nichts getan, jedoch tendenziell gestreckt (Abb. 5). Das Schultergelenk der Männer war damit klar am Vortrieb des Wagens beteiligt, insbesondere beim schweren Ziehen. Wie bei den Frauen wurde die äußere Kraft verdreifacht, das den Arm nach hinten drehende Momente wurde mehr als vervierfacht.

### 3.2.4 Unterschiede zwischen den Geschlechtern

Exemplarisch sollen Geschlechtsunterschiede am schweren Schieben mit auf Ellbogenhöhe eingestelltem Griff dargestellt werden (Abb. 6). Interessant ist, dass die Frauen scheinbar größere Median-Kräfte und Median-Momente erzeugten als die Männer. Außerdem tendieren die Frauen dazu, den Wagen nach unten

		si(E)	si(H)	zi(E)	zi(H)	ssi(E)	ssi(H)	szi(E)	szi(H)
Kraft	X	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y	-	-	-	-	-	-	.003 ♀	<.001 ♀
	Z	-	-	-	<.001 ♂	<.001 ♂	-	.001 ♂	<.001 ♂
Moment, SG	X	-	.012 ♂	-	-	-	-	.03 ♀	.012 ♀
	Y	-	-	-	.036 ♂	-	-	-	.021 ♂
	Z	-	-	-	-	-	.042 ♀	.022 ♀	<.001 ♀
Moment, EB	X	-	-	-	-	-	-	-	.034 ♀
	Y	-	-	.028 ♂	-	-	-	-	-
	Z	-	-	-	-	-	-	.013 ♀	<.001 ♀
Moment, HG	X	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y	.031 ♂	.002 ♂	-	.006 ♂	.009 ♂	-	.017 ♂	.001 ♂
	Z	-	-	-	-	-	-	-	-

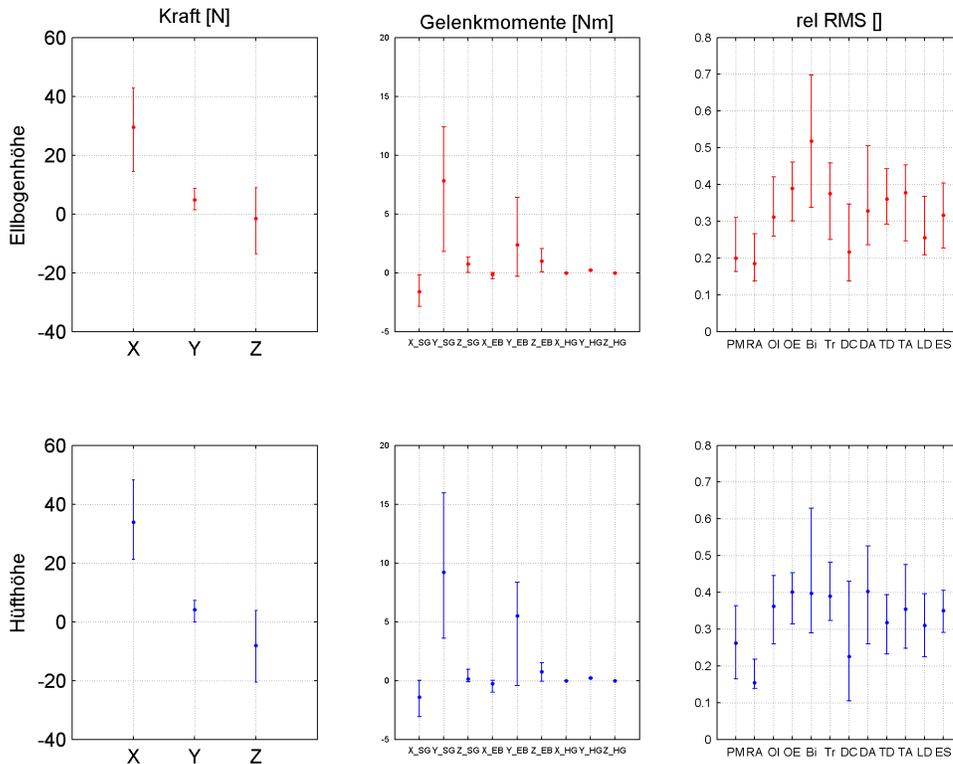
**Tabelle IV:**  $p$ -Werte des Wilcoxon-Rangsummentests ( $U$ -Test) und Geschlechtssymbol mit den größeren Absolutwerten beim Vergleich der gelisteten Parameter (Median-Werte) zwischen den Geschlechtern. Die untersuchten Bewegungen sind Schieben (si), Ziehen (zi), schweres Schieben (ssi) und schweres Ziehen (szi) jeweils auf Ellbogenhöhe (E) und Hüfthöhe (H).

zu drücken, wogegen die Männer dies nicht taten (Z-Kräfte). Generell erzeugten die Männer größere Handgelenksmomente und größere Werte der Z-Komponente der Handkraft. Beim schweren Ziehen hatten die Frauen größere Y-Komponenten der Kraft und größere Z-Komponenten der Momente. Alle statistischen Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei allen mittleren Werten aller Bewegungen sind in Tabelle IV zusammengefasst.

Generell ist die Belastungsstruktur zwischen den Geschlechtern vergleichbar. Teilweise nutzten die Männer größere mittlere Momente. Beim schweren Ziehen erzeugten die Frauen teilweise größere Momente als die Männer. Bezogen auf die Körpermaße (z.B. Körpergewicht) sind die Frauen damit relativ mehr belastet.

### 3.2.5 Unterschiede zwischen den Griffhöhen (Hüfthöhe vs. Ellbogenhöhe)

Mit Griff auf Hüfthöhe schoben die Männer beim Schieben den Testwagen mit einer etwas größeren Kraft an. Während der mittlere Kraftwert beim Schieben auf Ellbogenhöhe 30 N war, wurden beim Schieben auf Hüfthöhe 35 N erzeugt. Dies ist vor allem auf die Z-Komponente der Kraft zurückzuführen. Diese steigt von -1.5 N beim Schieben auf Ellbogenhöhe auf -8 N beim Schieben auf Hüfthöhe. Die Männer zeigten beim Schieben auf Hüfthöhe damit eine Tendenz, den Wagen hochzuziehen. Die daraus

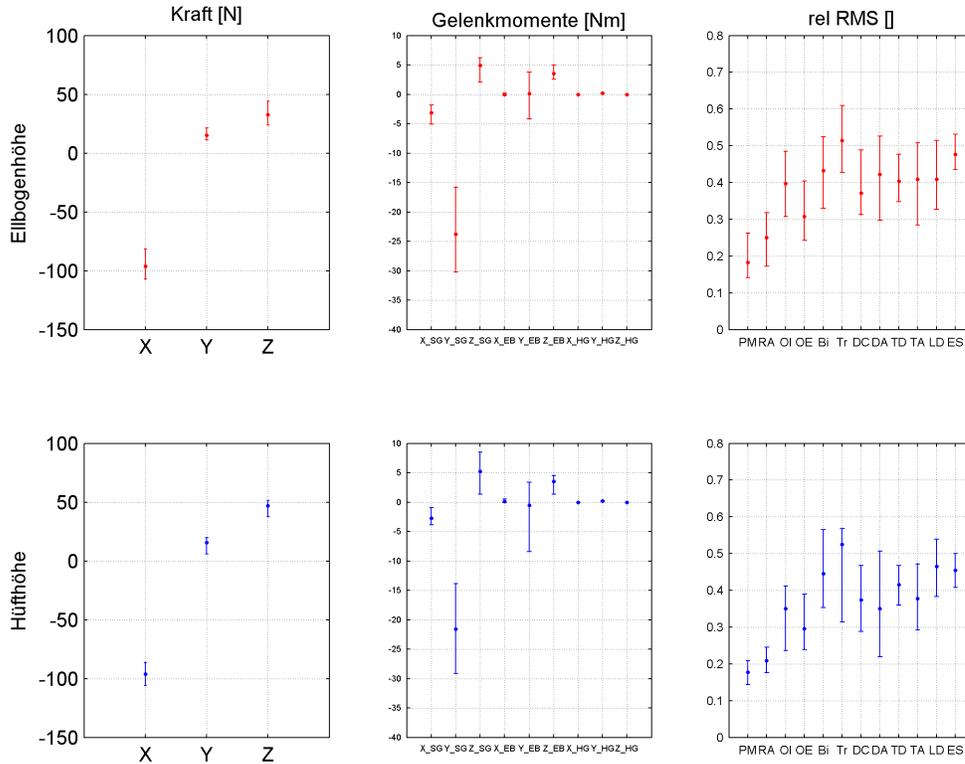


**Abbildung 7:** Mittlere Belastung der Männer beim Schieben auf Ellbogenhöhe (oben) und Hüfthöhe (unten) als Median und Quartile

resultierenden Gelenkmomente in Schultergelenk und Ellbogen stiegen dadurch leicht an. Die mittleren Schultermomente (Hauptanteil Y-Komponente) zeigten bei beiden Höhen große Streuungen. Ein klarer Belastungsunterschied konnte bei dieser Bewegung bei den Männern nicht ausgemacht werden (Abb. 7).

Bei den Frauen zeigte sich ein vergleichbares Bild: Die Handkraft wurde vor allem aufgrund der hochhebenden Anteile größer. Das Schulter- und Ellbogenmoment stiegen geringfügig an. Beim Schieben konnte auch bei den Frauen kein klarer Unterschiede zwischen den Griffhöhen festgestellt werden.

Mit Griff auf Ellbogenhöhe zogen die Frauen mit -96 N am Wagen und drückten ihn mit 32 N nach unten. Dies wurde mit einem den Oberarm nach hinten drehenden Moment von -24 Nm erreicht. Auf Hüfthöhe waren die Zugkräfte vergleichbar, wobei die den Wagen nach unten drückende Komponente



**Abbildung 8:** Mittlere Belastung der Frauen beim schweren Ziehen auf Ellbogenhöhe (oben) und Hüfthöhe (unten) als Median und Quartile

225 deutlich größer war (47 N). Die Gelenkmomente blieben dabei nahezu unverändert (Abb. 8). Daraus  
 kann gefolgert werden, dass die größere Belastung (Z-Komponente der Kraft) von anderen Körperteilen  
 bereit gestellt wurde.

Die Männer zeigten bei beiden Höhen während des schweren Ziehens nahezu vergleichbare Belas-  
 tungparameter. Auf Hüfthöhe wurde mehr Kraft eingesetzt um den Wagen nach unten zu drücken. Das  
 230 Schultermoment war beim schweren Ziehen auf Hüfthöhe jedoch etwas kleiner als auf Ellbogenhöhe, das  
 Ellbogenmoment ist auf Hüfthöhe im Median ein Streckmoment.

Zusammengefasst kann die augenscheinlich größere Belastung beim Schieben/Ziehen auf Hüfthöhe für  
 den Nacken-Schulter-Arm-Komplex nicht festgestellt werden. Die subjektiv geäußerte größere Belastung

erfolgt in anderen Körperregionen. Einzig die Steuerfunktion des Ellbogens wurde beim Hantieren auf  
235 Hüfthöhe verstärkt, da beim Schieben auf Hüfthöhe größere Beugemomente und beim Ziehen auf Hüfthöhe  
größere Streckmomente erzeugt wurden.

### 3.3 Kompensationsstrategien

#### 3.3.1 Schieben und schweres Schieben

Beim Schieben und schweren Schieben beanspruchten die Frauen mit mehr als 0.4 der relativen Maxi-  
240 malamplitude die Armmuskulatur (*M. biceps brachii* (Bi) und *M. triceps* (Tr)) und die seitliche Schul-  
termuskulatur (*M. deltoideus acromiales* (DA), Abb. 2). Hinzu kamen mit geringerer Aktivierung zum  
Vortrieb des Armes der Große Brustmuskel (*M. pectoralis major* (PM)), und der vordere Schultermuskel  
(*M. deltoideus clavicularis* (DC)). Auf der ventralen Rumpfseite wurden die schrägen Bauchmuskeln (*M.*  
*obliquus externus* (OE) und *M. obliquus internus* (OI)) beansprucht. Auch die dorsale Rumpfseite zeig-  
245 te mit den Schulterstabilisatoren (*M. trapezius descendens* (TD)) und dem Großen Rückenmuskel (*M.*  
*latissimus dorsi* (LD)) Aktivierung.

Beim schweren Schieben stiegen die Aktivierungen von PM, OE, Bi, Tr, TD, und LD, wogegen OI,  
DA und ES geringere Aktivierung zeigten.

Die Muskelaktivierung der Männer zeigt ein vergleichbares Muster, wobei Bi als einziger mit mehr  
250 als 0.4 beim Schieben aktiviert wird (Abb. 3). Beim schweren Schieben ist die Aktivierung von PM, DC,  
DA, TA und LD größer, wogegen der gerade Bauchmuskel (*M. rectus abdominis* (RA)) und ES geringere  
Aktivierung zeigten.

Beide Geschlechter setzten den Nacken-Schulter-Arm-Komplex bei Belastungssteigerung mehr ein.

#### 3.3.2 Ziehen und schweres Ziehen

255 Beim Ziehen wurden von den Frauen Bi, Tr und ES mehr als 0.4 anteilig aktiviert (Abb. 4). Auch eine  
recht große Aktivierung zeigte DA. Beim schweren Ziehen wurde die Aktivierung von Tr, OI, DA, DC,  
TD, TA, LD und ES größer, wogegen die Aktivierung des Bi abnahm.

Bei den Männern erreichten nur der Bi und der LD eine anteilige Aktivierung von mehr als 0.4 (Abb.

5). Beim Wechsel zum schweren Ziehen hatten auch OE, Tr, DC, TD und TA neben den eben genannten Muskeln relative Aktivierungen von mehr als 0.4. Die deutlich größere Belastung wird durch größere Muskelaktivierung kompensiert.

Beide Geschlechter reagieren bei Belastungssteigerung mit vermehrter Aktivierung der dorsalen Nacken- und Rückenmuskulatur. Auch der Einsatz der seitlichen Bauchmuskulatur wird vergrößert.

### 3.3.3 Frauen und Männer

Das Aktivierungsmuster von Frauen und Männern war beim schweren Schieben großteils vergleichbar (Abb. 6). Frauen aktivierten den PM mehr.

Auch beim Ziehen nutzen beide Geschlechter ein vergleichbares Aktivierungsmuster. Die Männer setzen die seitliche Bauchmuskulatur etwas mehr ein.

### 3.3.4 Griffhöhe

Die unterschiedlichen Griffhöhen führten zu einem vergleichbaren Aktivierungsmuster beim Schieben der Männer (Abb. 7). PM, OI, OE, LD und ES wurden beim Schieben auf Hüfthöhe etwas mehr aktiviert, was auf einen größeren Einsatz des Rumpfes schließen lässt.

Das schwere Ziehen auf Ellbogenhöhe und Hüfthöhe erzeugte bei den Frauen ein vergleichbares Aktivierungsmuster (Abb. 8). Auf Hüfthöhe wurden die Rückenmuskeln (LD und ES) mehr aktiviert, wogegen die PM, RA, OI und OE eine geringere Aktivierung zeigten. Dies lässt auf einen heftigeren Einsatz der dorsalen Rumpfmuskeln schließen.

Beide Aktivierungsmuster-Änderungen zeigen, dass beide Geschlechter beim hüfthohen Schieben oder Ziehen den Rumpf mehr beansprucht haben.

## 4 Diskussion

### 280 4.1 Anteil des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes am Vortrieb beim Schieben und Ziehen

Der Nacken-Schulter-Arm-Komplex hat nur einen Anteil am Vortrieb eines Wagens, welcher fast so schwer bzw. genau so schwer (z.B. bei kleinen Frauen) ist, wie die Person, welche ihn schiebt/zieht. Mit den Messdaten und den über das Modell kalkulierten Drehmomenten der Gelenke kann abgeschätzt werden, wie groß der Anteil des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes tatsächlich ist. Bei leichten Belastungen zeigten die Frauen nur geringe Momente in den Armgelenken. Erst beim schweren Schieben/Ziehen wurden große Gelenkmomente im Arm erzeugt. Die Männer ändern ihre Strategie beim schweren Schieben so gut wie nicht. Beim schweren Ziehen nutzen beide Geschlechter größere Schultermomente als beim Ziehen. Es ist zu bemerken, dass beim Wechsel zum schweren Schieben/Ziehen die gemessene äußere Belastung 50% größer war. Zusammengefasst wird der Nacken-Schulter-Arm-Komplex nur als *Nebenakteur* genutzt, welcher mit kleinen Momenten Kräfte an der Hand zum Vortrieb erzeugt. Bei leichter Belastung der Männer hat der Nacken-Schulter-Arm-Komplex nur eine *Steuer- und Übertragungsfunktion*, da nur kleine Momente in den Gelenken erzeugt wurden, der Wagen aber trotzdem angeschoben/gezogen wurde.

### 4.2 Ergonomie unterschiedlicher Griffhöhen

295 Ziehen und Schieben auf Hüfthöhe ist etwas belastender als Ziehen oder Schieben auf Ellbogenhöhe. Mechanisch kann dies mit Zunahme der Z-Komponente der wirkenden Kraft erklärt werden. Beim Schieben auf Hüfthöhe wird der Wagen von den Männern tendenziell angehoben. Beim Ziehen auf Hüfthöhe wurde der Wagen von den Frauen heftig nach unten gedrückt. Bei beiden Bewegungen wurde die größere Kraft anteilig durch ein größeres Moment im Ellbogen (Beugemoment) bewerkstelligt. Die subjektiv empfundene größere Belastung beim Schieben/Ziehen auf Hüfthöhe kann nicht eindeutig an einer Mehrbelastung des Nacken-Schulter-Arm-Komplexes gezeigt werden. Eine Belastungssteigerung im Rumpf ist zu vermuten, da beide Geschlechter beim Schieben/Ziehen auf Hüfthöhe anteilig die Rumpfmuskeln mehr aktivierten. Die Männer aktivierten die seitlichen Bauchmuskeln mehr, die Frauen zeigten größere Aktivierungen der

Rückenmuskeln. Beim Ziehen werden wahrscheinlich eher die Beine eingesetzt.

305 Beim Design von Wägen zur Lastmanipulation sollte die höhere Rumpf-Beanspruchung beachtet werden. Ideal wäre eine höhenverstellbare Griffposition. Ein eindeutiger Nachweis einer größeren Beanspruchung beim Schieben/Ziehen auf Hüfthöhe sollte mit einer Untersuchung der Beanspruchung/Belastung des Rumpfes durchgeführt werden.

### 4.3 Beanspruchung von Frauen und Männern

310 In der Regel haben Frauen aufgrund der kleineren Körpermaße einen mechanischen Nachteil, einen schweren Wagen zu schieben oder zu ziehen. In der Tat setzten sie anteilig die Arm-, Schulter- und Nackenmuskulatur mehr ein als die Männer. Dies führte teilweise zu größeren mittleren Handkräften und Armgelenkmomenten bei den Frauen im Vergleich zu den Männern. Im Gegensatz erzeugten die Männer immer größere Peak-Kräfte und Peak-Momente. Einzige Ausnahmen waren das Ziehen und schwere Ziehen mit  
315 Griff auf Hüfthöhe. Hier erzeugten die Männer größere mittlere Momente im Schultergelenk. Dies kann - großteils bedingt durch die bereits erwähnten Körpermaße-Unterschiede - auf Technik-Unterschiede zurück geführt werden. Frauen sind bereits beim (leichten) Schieben oder Ziehen mit dem ganzen Körper im Einsatz, so dass Momente im Arm zum Vortrieb beitragen müssen. Männer erzeugen den Impuls zum Vortrieb mit anderen Körperteilen und übertragen ihn mit den Armen auf den Wagen (Drehmomente  
320 schwanken um 0 Nm). Insbesondere beim Ziehen wird dies deutlich, da die Männer nur sehr kleine mittlere RMS-Werte der untersuchten Muskeln zeigten, wogegen die Frauen große Aktivierungen hatten.

Damit sind Frauen potentiell mehr gefährdet, Überlastungen im Nacken-Schulter-Arm-Komplex an Arbeitsplätzen, an denen häufiges Ziehen und Schieben vorkommt, zu erleiden. Mechanisch sollten von Frauen kleinere Lasten manipuliert werden. Bezüglich der Arbeitstechnik sollte geschult werden, den  
325 Impuls zum Vortrieb mit den großen Gelenken wie Hüfte und Knie zu erzeugen und mit den Armen auf den Wagen zu übertragen. Generell ist es bei großen Lasten ratsam, den Nacken-Schulter-Arm-Komplex nur zur Steuerung und Übertragung einzusetzen. Andere Körperteile wie Oberschenkel oder Hüfte können direkt Kräfte zum Schieben am Griff erzeugen. Bei einem Griff auf Ellbogen- oder gar Brusthöhe, sollten die Arme eng am Körper gehalten werden und keine bzw. geringe Momente zum Vortrieb erzeugen.

330 Andererseits kann auch die eher passive Ziehtechnik der Männer zu Beschwerden führen, da in Schlüs-  
selsituationen die passiven Strukturen belastet werden können. Die Männer sollten beim Ziehen die  
Nacken-Schulter-Arm-Muskulatur nicht vollständig ausschalten.

## Literatur

Bos, J., Kuijer, P. P. F. M., Frings-Dresen, M. H. W., 2002. Definition and assessment of specific occupa-  
335 tional based on a systematic literature search demands concerning lifting, pushing, and pulling. *Occup  
Environ Med* 59, 800–806.

de Looze, M., van Greuningen, K., Rebel, J., Kingma, I., Kuijer, P., 2000. Force direction and physical  
load in dynamic pushing and pulling. *Ergonomics* 43 (3), 377–90.

Hoozemans, M., Kuijer, P., Kingma, I., Van Dieen, J., De Vries, W., Van Der Woude, L., Veeger (H E  
340 J ), D., Van Der Beek, A., Frings-Dresen, M., 2004. Mechanical loading of the low back and shoulders  
during pushing and pulling activities. *Ergonomics* 47 (1), 1–18.

Hoozemans, M., van der Beek, A., Frings-Dresen, M., van der Woude, L., van Dijk, F., 2002. Pushing and  
pulling in association with low back and shoulder complaints. *Occup Environ Med* 59 (10), 696–702.

NASA, 2000. Man-systems integration standards, anthropometry and biomechanics. Tech. rep., National  
345 Aeronautics and Space Administration.

Theado, E., Knapik, G., Marras, W., 2007. Modification of an emg-assisted biomechanical model for pushing  
and pulling. *Int J Industrial Ergonomics* 37, 825–831.