



5 Untersuchung der Handhabung und der Muskel-Skelett-Belastungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys

5.1 Design der Laboruntersuchung

Aufgrund des hohen Untersuchungsaufwandes und der Komplexität der Untersuchungen konnte nur ein kleiner Personenkreis ($n = 25$) für die Laborstudie im BIA ausgewählt werden. Um dennoch zu einer repräsentativen Aussage zu gelangen, wurden vorab anhand der LTU-Daten die anthropometrischen Maße von rund 1 800 Flugbegleiter/-innen (weiblich: 1 401; männlich: 443) ausgewertet. Hierbei wurden die Populationen des weiblichen und des männlichen Flugbegleitpersonals anhand von Körpergröße und Gewicht erstellt. Zwischen dem 5. und dem 95. Perzentil der weiblichen Population wurden drei Bereiche gebildet, um kleine, mittlere und große Personen differenzieren zu können (Tabelle 5-1, siehe Seite 176 und Abschnitt 4.3). Hinsichtlich des Alters wurden die Personengruppen nicht differenziert. Als Vorgabe diente nur ein Bereich um den Mittelwert \pm einer Standardabweichung der LTU-Daten, damit das altersabhängige Kraftvermögen (siehe Abschnitt 4.5) die Auswertung der Laboruntersuchung nicht zusätzlich erschwert bzw. eine deutlich größere Stichprobengröße erfordert hätte. Bei der männlichen Population wurde nur eine mittlere Gruppe im Bereich des Mittelwertes \pm einer Standardabweichung berücksichtigt, um exemplarische Vergleichswerte zu erhalten. Die zu rekrutierenden Versuchspersonen wurden gleichmäßig zu je fünf auf die beteiligten Fluggesellschaften verteilt (Tabelle 5-2, siehe Seite 176).

Das als Querschnittstudie angelegte Versuchsdesign der Laboruntersuchung beinhaltete für jede Versuchsperson eine anthropometrische Vermessung, mehrere Maximalkraftmessungen zu Beginn (siehe Abschnitt 5.2.6) und 48 verschiedene Versuche der Trolley-Handhabung auf einer variablen Ebene. Bei den Versuchen wurden die Tätigkeit (Schieben, Ziehen), der Trolley-Typ (Fullsize, Halfsize), die Beladung (voll, mittel und leer) und die Neigung der Ebene (8° , 5° , 2° und 0°) variiert (Tabelle 5-3, siehe Seite 176).



Tabelle 5-1:

Perzentilverteilung der zu selektierenden ausgewählten Stichprobe für die Laboruntersuchung

Frauen	klein (5. bis 25. Perzentil)	mittel (25. bis 75. Perzentil)	groß (75. bis 95. Perzentil)
Größe [cm]	[163 bis 168)	[168 bis 174)	[174 bis 179]
Gewicht [kg]	[51 bis 56)	[56 bis 65)	[65 bis 72]
Alter [Jahre]*	[33 ± 6]	[33 ± 6]	[33 ± 6]

Männer	mittel**
Größe [cm]	[181 ± 5]
Gewicht [kg]	[76 ± 8]
Alter [Jahre]	[34 ± 6]

* Der Bereich entspricht dem geschätzten Mittel der Grundgesamtheit ± einer Standardabweichung

** Mittelwert ± eine Standardabweichung

Tabelle 5-2:

Verteilung der Versuchspersonen ($n = 25$) auf die beteiligten Fluggesellschaften

	LTU	DLH	HLF	EW	CLH	Σ
Frauen klein	2	1	1	2	1	7
Frauen mittel	1	1	2	2	2	8
Frauen groß	1	2	1	1	2	7
Männer	1	1	1			3
Σ	5	5	5	5	5	25

Tabelle 5-3:

Versuchsdesign der Laborstudie

Trolley-Typ	Fullsize (FS), Halfsize (HS)
Handhabung	Schieben, Ziehen
Neigungswinkel der Ebene	8°, 5°, 2°, 0°
Trolley-Massen:	
FS	90, 65, 40 kg
HS	60, 45, 30 kg
Anzahl Schiebe-/Ziehphasen pro Versuch	3
Anzahl der Personen (w/m)	25 (22/3)
Versuche pro Person	48
Gesamtzahl der Versuche	1 200



Ein Versuch bestand aus drei aufeinander folgenden Wiederholungen einer Tätigkeit über eine Strecke von etwa 2 m – entsprechend der Distanz von zwei Sitzreihen im Flugzeug –, die am häufigsten beim Service vorkommt. Zwischen den Wiederholungen waren jeweils ca. 5 Sekunden Pause vorgesehen, um ein möglichst reproduzierbares Bewegungsmuster zu gewährleisten, ohne eine zu starke Ermüdung im Verlauf eines Versuchs zu provozieren.

Aus dem Versuchsdesign ergibt sich damit für die 25 Versuchspersonen eine Gesamtzahl von 1 200 Versuchen mit 3 600 Schiebe- bzw. Ziehphasen. Dieser Umfang verdeutlicht, dass es notwendig war, die Anzahl der Versuchspersonen zu beschränken.

5.2 Aufbau und Durchführung der Laboruntersuchung

Zur Durchführung der Laboruntersuchung waren mehrere technische Einrichtungen und Messeinrichtungen zu entwickeln und aufzubauen:

- Nachbau und Einrichtung des Flugzeughodens einer Passagierkabine
- Trolley-Präparation mit praxisnah verteilter Beladung durch Zusatzmassen in diskreter Unterteilung der Gesamtmasse des Trolleys
- Entwicklung eines dreidimensionalen Handkraftmesssystems separat für jede Hand
- Integration einer Bodenreaktionskraft-Messplattform in die Flugzeughoden-nachbildung
- dreidimensionale Beschleunigungsmessung am Trolley
- individuelle Anpassung des Körperhaltungsmesssystems CUELA an die Flugbegleiter/-innen
- Aufbau von Messeinrichtungen zur Durchführung von Maximalkrafttests
- Messtechnik zur Erfassung anthropometrischer Daten



- ❑ Triggersystem zur Synchronisation der unterschiedlichen Messsysteme
- ❑ Programmentwicklungen zur Erfassung, Weiterverarbeitung und Analyse der gewonnenen Messdaten unter Einbeziehung vorhandener Messdatenverarbeitungs-Software.

Die Entwicklung und der Aufbau der Einrichtungen sind in den folgenden Abschnitten beschrieben. Die Untersuchung wurde in zwei Prüffeldern des BIA durchgeführt. In Abbildung 5-1 sind die meisten Laboreinrichtungen zu sehen. Die Maximalkraftmessungen wurden im mechanischen Spannungsfeld des BIA durchgeführt.

Abbildung 5-1:
Prüffeld mit Einrichtungen zur Durchführung der Schiebe- oder Ziehversuche



5.2.1 Aufbau und Einrichtung einer Flugzeugbodennachbildung

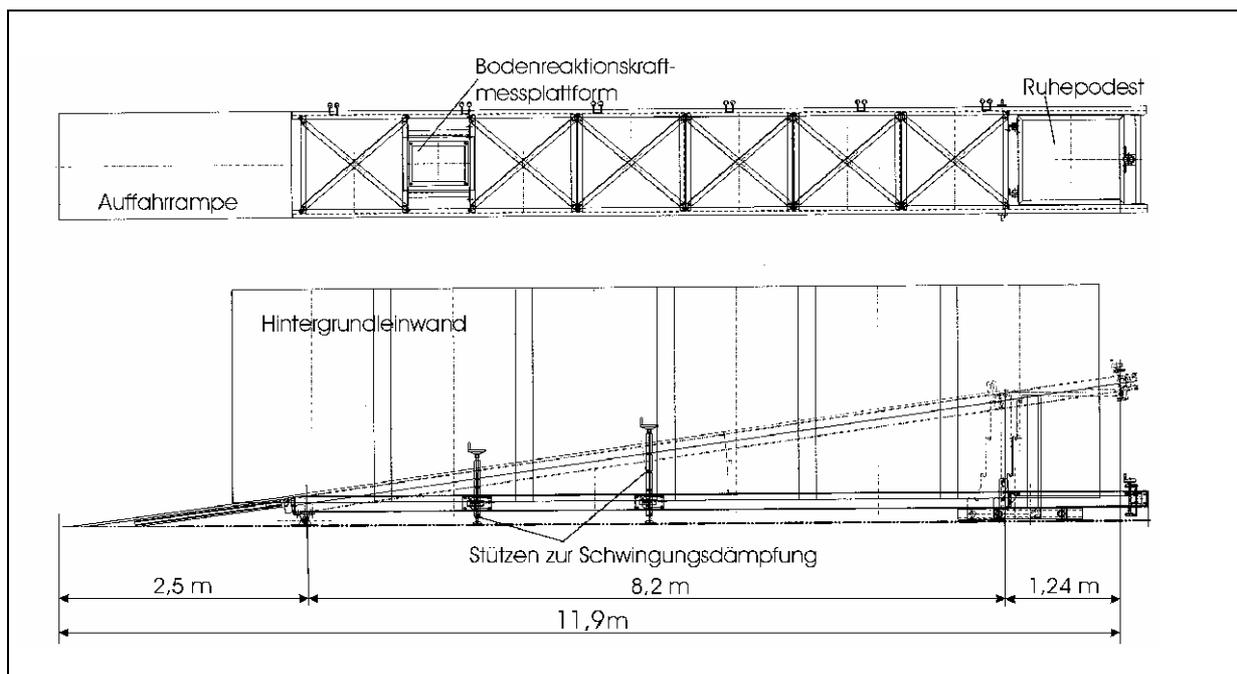
Die Recherche der Arbeitsbedingungen für das Servieren mit Trolleys hatte ergeben, dass die Flugzeugneigung beim Service in der Regel höchstens bis etwa 5° beträgt. In



der Diskussion mit den Fluggesellschaften wurden aber vereinzelt auch höhere Werte genannt, sodass für die Laboruntersuchung ein größeres Intervall für den einzurichtenden Neigungswinkel zu berücksichtigen war. Im Konzept der Laboruntersuchung wurden daher die Neigungswinkel 0° , 2° , 5° und 8° als diskrete Werte der Flugzeugbodenneigung festgelegt.

Die Bodenfläche zum Ziehen und Schieben wurde über eine Tragwerkskonstruktion von etwa 12 m Länge realisiert. In Abbildung 5-2 ist eine Konstruktionsskizze des Tragwerks in zwei Ansichten dargestellt.

Abbildung 5-2:
Konstruktionsskizze der Flugzeugbodennachbildung



Die Länge des Bereiches, auf dem die Schiebe- und Ziehtätigkeiten stattfanden, betrug etwa 8 m. Er schloss sich an eine Auffahrrampe an, die das Transportieren der ausgerüsteten Trolleys sowie das Positionieren der Probanden auf die im horizontalen Zustand etwa 30 cm hoch liegende Ebene gestattete. Im hinteren Teil des Tragwerks lief die geneigte Fläche in ein Ruhepodest aus, auf dem der Trolley nach dem Versuch



abgestellt wurde bzw. das Ausruhen der Probanden oder begleitender Personen möglich war.

Die variable Ebene wurde am Übergang zum Ruhepodest mit einem im Labor befindlichen Brückenkran auf die den Neigungswinkeln entsprechende Höhe angehoben und in einer mechanischen Arretierung fixiert. Im vorderen Bereich wurde eine Bodenreaktionskraft-Messplattform zur Erfassung der Startkräfte eben in die Bodenfläche eingelassen.

Die gesamte Ebene war mit einem Holzboden belegt, der aufgrund vieler Montagepunkte an der darunter liegenden Tragwerkskonstruktion weitgehend schwingsteif befestigt war. Zur weiteren Reduzierung von Schwingungseinflüssen wurde das gesamte Tragwerk zusätzlich mit zwei Stützenpaaren im vorderen und mittleren Bereich festgestellt. Der Holzboden wurde mit Teppichboden, wie er zur Belegung von Flugzeugböden verwendet wird, beklebt.

Durch eine Geländerkonstruktion wurden die Probanden abgesichert. Hinter dem außen liegenden Geländer wurde die gesamte Schiebe-/Ziehstrecke zur Verbesserung der foto- und filmtechnischen Arbeiten mit Hintergrundleinwänden abgedeckt. Auf dem Teppichboden wurden die Breite des Servierganges mit weißen Klebestreifen markiert und im vorderen Bereich die Lage der Bodenreaktionskraft-Messplattform gekennzeichnet. In Abbildung 5-3 (siehe Seite 181) ist das Tragwerk mit allen Elementen dargestellt.

Zur filmtechnischen Erfassung der Schiebe-/Ziehvorgänge wurde in einem seitlichen Abstand von etwa 3 m eine in Abstand und Neigung parallel verlaufende Tragkonstruktion zur Kameraaufnahme montiert. In Abbildung 5-4 (siehe Seite 181) ist dieser Aufbau dargestellt.

Die Kamera konnte bewegungsgedämpft mit dem Probanden mitgeführt werden, so dass ein optimaler Bildausschnitt mit großer Auflösung eingerichtet werden konnte.



Abbildung 5-3:
Nachgebildeter geneigter Flugzeugboden mit Fullsize-Trolley



Abbildung 5-4:
Tragwerksaufbau für Filmaufnahmen





5.2.2 Eigenschaften und Ausrüstung der Trolleys

Das Ziehen und Schieben von Trolleys wurde in dieser Untersuchung mit den genormten Trolley-Typen Halfsize und Fullsize durchgeführt (Abbildung 5-5). Der Halfsize-Trolley wird in der Regel als Getränke-Trolley und der Fullsize-Trolley hauptsächlich zum Servieren von Mahlzeiten eingesetzt. Jedoch kommt auch die umgekehrte Benutzung vor.

Abbildung 5-5:
Fullsize- und Halfsize-Trolley mit voller Beladung



Beim Fullsize-Trolley wurden 14 Einschübe für alle Tablettaufnahmen aus Holz derart gefertigt, dass die Gesamtmasse des voll geladenen Trolleys etwa 90 kg betrug. Um die definierten Ladungszustände von 65 kg und 40 kg Gesamtmasse einrichten zu können, wurden entsprechend viele Tablett von oben her entnommen. So verlagerte sich der Gesamtschwerpunkt der Ladung sehr praxisnah nach unten.

Da der Halfsize-Trolley in der Regel auf der oberen Deckfläche auch mit einem Zusatzbehälter für Flaschen beladen wird, wurde dort eine Zusatzeinrichtung für die Aufnahme von neun Flaschenattrappen adaptiert. Die inneren Tablettplatten, die aus Blech gefertigt worden waren, wurden von unten her so aufgefüllt, dass ein



praxisnahes Verhältnis zwischen dem oberen Flaschenträger und der inneren Tablettplattenzahl bestand. Mit diesen Kombinationen wurden die Gesamtmassen von 60 kg, 45 kg und 30 kg eingerichtet, wobei für die mittlere Beladungsstufe von 45 kg zwei Flaschenattrappen und jedes zweite Tablett entnommen wurden.

Konstruktionsmaße und Angaben zur Rollengeometrie der Trolleys sind in Tabelle 5-4 (siehe Seite 184) aufgeführt.



Tabelle 5-4:
Maße und Rollengeometrie der Trolleys

Maße des Fullsize-Trolleys										Maße des Halfsize-Trolleys									
Maße in mm	Abstand vom Boden	Abstand von Frontseite	h	h	H	L	B	Maße in mm	Abstand vom Boden	Abstand von Frontseite	h	h	H	L	B				
SP-FST - voll	--	--	580	--	--	340		SP-HST - voll	--	--	580	--	--	150					
SP-FST - halb	--	520	--	--	320	--	930	100	1030	805	305								
SP-FST - leer	660	--	--	260	--	--		SP-HST - halb	--	610	--	--	130	--	825	100	950	405	305
								SP-HST - leer	655	--	--	90	--	--					

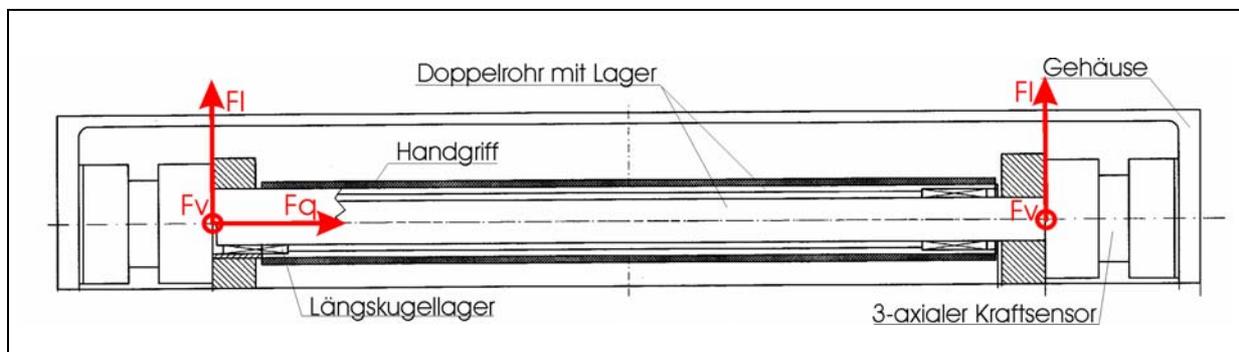
Geometrie der Rollen des Fullsize-Trolleys							Geometrie der Rollen des Halfsize-Trolleys						
Maße in mm	A	D	E	F	B	L	Maße in mm	A	D	E	F	B	L
FST - ziehen	45	650	220	40	305	805	HST - ziehen	15	300	220	40	305	405
FST - schieben	100						HST - schieben	70					



5.2.3 Dynamische Messung der Handkräfte am Trolley

Zur Erfassung der Schiebe- oder Ziehkräfte, mit der Flugbegleiter/-innen den Trolley bewegen, wurde für jede Hand eine separate Kraftmesseinrichtung entwickelt, die eine dreiaxiale Messung der dynamischen Handkraft gestattet. In der Skizze in Abbildung 5-6 sind die wesentlichen Konstruktionseigenschaften eines solchen Handgriffes dargestellt.

Abbildung 5-6:
Konstruktionsskizze des dreiaxialen Handkraftmesssystems



Die Kraftmesseinrichtung besteht aus einem winklig ausgeführten Aluminiumgehäuse mit einseitig abgeflachtem Rechteckquerschnitt und geschlossenen Böden. Die Wanddicke aller Flächen beträgt 10 mm. In beiden Seitenflächen sind mehrere langlochartige Durchbrüche zur Gewichtsreduzierung eingelassen. Die Gehäuseausführung besitzt bei minimaler Masse eine ausreichende Steifigkeit, um die Funktionalität der innen adaptierten Messensorik zu gewährleisten. Das Handgriffdesign ist auch in den Abbildungen 5-7 und 5-8 (siehe Seite 187 und 188) gut zu erkennen.

Der eigentliche Handgriff besteht aus einem Doppelrohr aus Edelstahl (innen/außen), wobei das äußere Rohr mit einer isolierenden und geringfügig dämpfenden Kunststoffhaut von etwa 1,5 mm überzogen ist. Innen- und Außenrohr werden zueinander über Längskugellager extrem präzise und nahezu reibfrei geführt. Beide Rohre besitzen am gegenüberliegenden Ende jeweils eine Flanschplatte zur Befestigung von Kraftmessensoren. Das jeweils andere Ende der Rohre ist mechanisch frei. Die



Innenflächen der Gehäuseböden und die Montageflächen der Rohrflanschplatten sind äußerst planparallel ausgeführt.

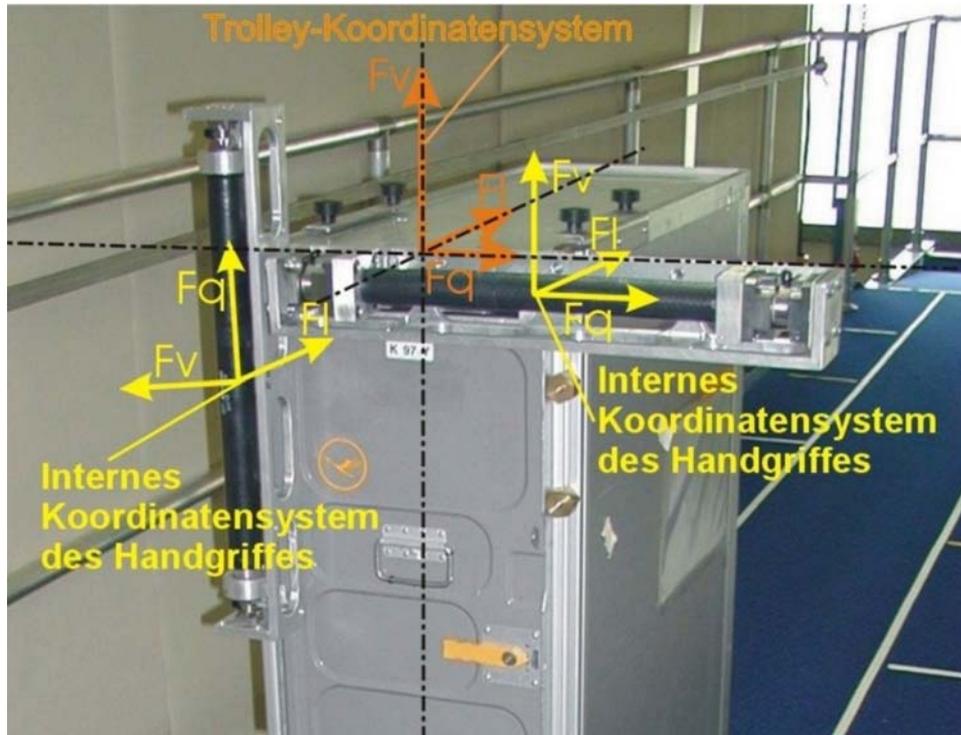
Zwischen den Flanschplatten der Rohrenden und den inneren Flächen der Gehäuseböden wurde auf jeder Seite eine dreiaxiale Kraftmesszelle montiert. Es wurden piezoelektrische Sensoren der Fa. Kistler-Instrumente eingesetzt. Die Planparallelität der Montageflächen lag innerhalb der diesbezüglichen Spezifikationsdaten der Sensoren. Im Bereich der auftretenden Kräfte beim Ziehen und Schieben war die Biegesteifigkeit der inneren Rohrkonstruktion so hoch, dass der dadurch auftretende Fehler vernachlässigbar war. Die angestrebte Messgenauigkeit der Handkraftmesseinrichtung wurde somit durch die erzielte Fertigungsgenauigkeit des Aluminiumgehäuses und der inneren Rohrkonstruktion sowie durch die eingesetzten Kraftmesssensoren vollständig erreicht.

Die Kraftsensoren sind so eingebaut, dass ein für den Handgriff festgelegtes Koordinatensystem für Längskraft (F_l), Vertikalkraft (F_v) und Querkraft (F_q) eingehalten wird. In Abbildung 5-7 sind die Koordinatensysteme der beidseitig montierten Sensoren eingezeichnet. Längs- und Vertikalkraft werden auf beiden Seiten gemessen. Die Querkraft, die im äußeren Rohr des Handgriffes entsteht, wird jedoch nur auf einer Seite gemessen. Hierdurch war eine eindeutige Kalibrierung dieser Kraftachse gegeben.

Die Komponenten der jeweiligen gesamten Handkraft werden somit vollständig durch Addition der zusammengehörenden beidseitig erfassten Längs- und Vertikalkräfte sowie durch die einseitig erfasste Querkomponente ermittelt. Weiterhin wurde aus den Längskraftkomponenten (in Schiebe- oder Ziehrichtung des Trolleys) und den Konstruktionsdaten des Kraftangriffspunktes der Angriffspunkt für die Gesamtkraft am Handgriff berechnet. Die Koordinaten des Kraftangriffspunktes wurden auf einen in der linken seitlichen Außenfläche liegenden definierten Koordinatenursprung bezogen. Die beiden Handgriffe konnten an den Außenlinien der Trolley-Vorderfläche je nach vom Proband gewählten Modus horizontal oder vertikal adaptiert werden. In Abbildung 5-7 ist eine solche typische Handgriffkonstellation dargestellt.



Abbildung 5-7:
Koordinatensysteme der Handkraftmessung am Trolley



Der Ursprung des Trolley-Koordinatensystems (rot markiertes System) befand sich in der Mitte der vorderen oberen Trolley-Kante. Bei dem quer liegenden Handgriff für die rechte Hand entspricht das Koordinatensystem (rechtes gelb markiertes System) der Definition des Ursprung-Koordinatensystems. Der linke Handgriff hingegen wurde um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht an der linken Außenlinie des Trolleys montiert. Sein inneres Koordinatensystem (linkes gelb markiertes System) war daher entsprechend verdreht. Die innere Vertikalkomponente entsprach der Querkomponente im Trolley-System und die innere Querkomponente des Handgriffes entsprach der Vertikalkomponente des Trolley-Systems.

Mit der geometrischen Vermessung der Handgriffpositionen – innerer Koordinatenursprung des Handgriffes – und der Ausrichtung im Trolley-Koordinatensystem wurde eine Umrechnung der Kraftkoordinaten und Angriffspunkte in das Trolley-Koordinatensystem durchgeführt. Entsprechend den vier möglichen Handgriffkonstellationen am Trolley gab es vier Umrechnungsalgorithmen für Kraftkomponenten und Angriffs-



punkte der Handkräfte in das Trolley-Koordinatensystem. Aus den dreidimensionalen Kraftkomponenten von linker und rechter Hand sowie den Kraftangriffspunkten am Handgriff wurde weiterhin die Gesamthandkraft und deren Angriffspunkt am Trolley berechnet.

Bei jedem Handgriff wurden die fünf Einzelkraftsignale über entsprechende Kabel zu einem Zwischenverteiler am Trolley geführt und dann mit einem etwa 20 m langen Schleppkabel an eine 10-kanalige Ladungsverstärkereinheit angeschlossen. In Abbildung 5-8 ist eine andere Handgriffkonstellation – linke und rechte Hand an den Seitenkanten des Trolleys – mit der gesamten Verkabelung dargestellt.



Abbildung 5-8:
Adaptiertes Handkraftmesssystem mit Verkabelung und Messstation

Im Hintergrund ist die digitale Messdatenerfassungsstation zu sehen. Die Ladungsmessverstärker wurden so eingestellt, dass für die Längs- und Vertikalkräfte ein Messbereich von etwa 1 000 N und für die Querkräfte von 300 N zur Verfügung stand. Die



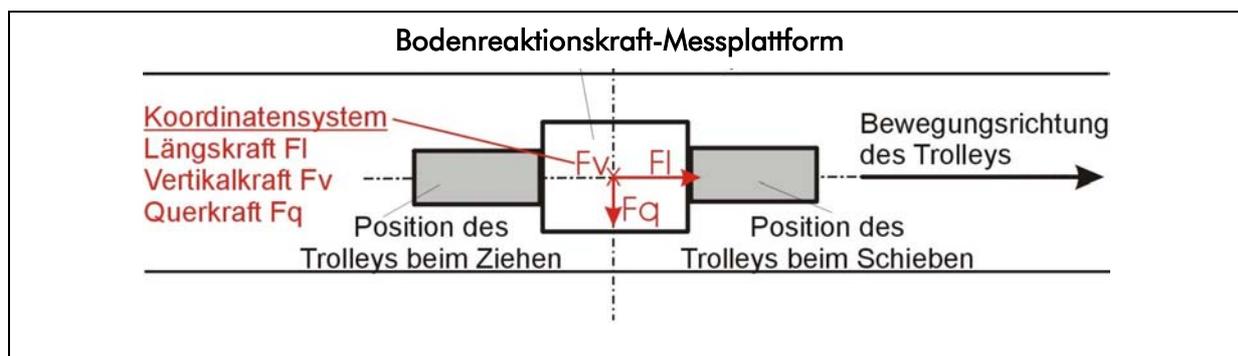
Abtastfrequenz pro Kanal betrug 50 Hz. Das Kraftmesssystem wurde zentral mit allen anderen Messsystemen getriggert. Die gesamte Messzeit betrug 45 Sekunden.

Zur Steuerung der Messdatenerfassung wurde ein Visual-Basic-Programm entwickelt, das gleichzeitig die Gesamtkraft- und Angriffspunktkoordinaten des Handgriffes aus den Einzelkomponenten im Trolley-System berechnete, sodass direkt nach dem Versuch eine Plausibilitätsprüfung der Handkräfte möglich war. Zum jeweiligen Versuch wurden alle Randdaten, die zur späteren Identifikation und Beurteilung des Versuches notwendig waren, mit abgespeichert. Alle gewonnenen Daten eines Zieh- oder Schiebeversuches wurden in einer spezifizierten Datei gespeichert, die von weiteren Programmen leicht zu importieren war. Insgesamt lagen nach Abschluss der Versuche 1 200 solcher Dateien vor.

5.2.4 Dynamische Messung der Bodenreaktionskraft beim Start eines Zieh- oder Schiebevorganges

Wie schon im Abschnitt 5.2.1 angedeutet, wurde in die geneigte Ebene eine Bodenreaktionskraft-Messplattform eingelassen, auf die der Proband trat, um den Schiebe- oder Ziehvorgang zu beginnen. Es wurde eine Messplattform der Fa. Kistler-Instrumente eingesetzt, die mit dem Programm „Bioware“ betrieben wurde. In Abbildung 5-9 sind die Lage der Messplattform und die Positionen des Trolleys je nach Schiebe- oder Ziehversuch zu sehen.

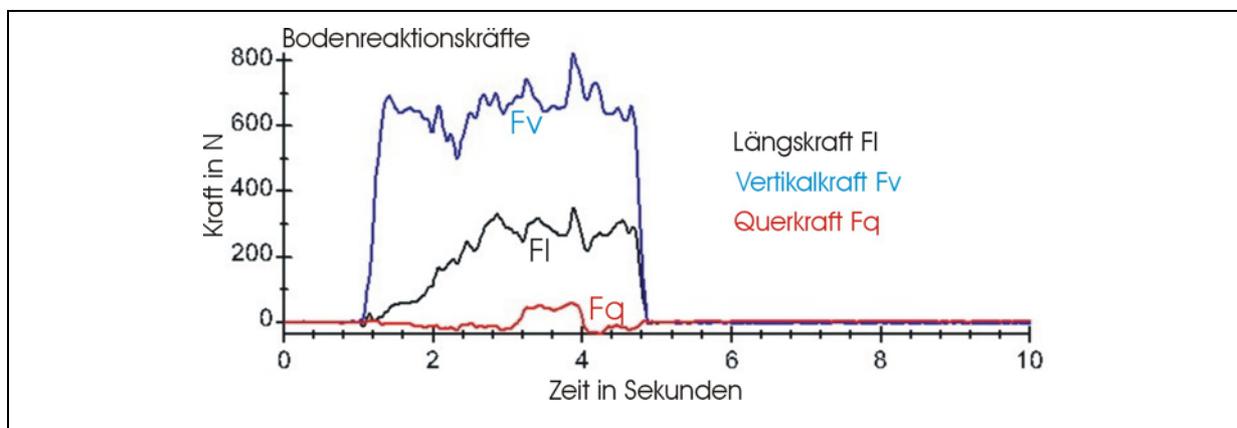
Abbildung 5-9:
Positionen des Trolleys beim Starten des Schiebe- oder Ziehversuches





Der Proband stand jeweils vor der gegenüber liegenden Kante der Plattform und betrat dann die Plattform, um von dort aus den Schiebe- oder Ziehvorgang zu beginnen. Zusammen mit den Handkräften wurde damit der gesamte äußere Kraftzustand, der auf den Probanden beim Anschieben oder Anziehen einwirkte, gemessen. In Abbildung 5-10 ist ein Diagramm einer typischen Messung der Bodenreaktionskräfte dargestellt.

Abbildung 5-10:
Diagramm mit dreidimensionaler Bodenreaktionskraft



Hierbei handelt es sich um einen Schiebeversuch. Im Boden baut sich sowohl in Längsrichtung als auch in vertikaler Richtung eine positive Kraftkomponente auf. Die Komponenten der Bodenreaktionskraft wurden zusammen mit den Handkräften in den gleichen Dateien gespeichert.

5.2.5 Beschleunigungsmessungen am Trolley beim Ziehen und Schieben

Bei allen Versuchen wurde mit einem dreiaxialen Beschleunigungssensor der Beschleunigungszustand des Trolleys im definierten Trolley-Koordinatensystem gemessen. Eingesetzt wurde ein Sensor der Fa. Kistler-Instrumente. Der Sensor wurde auf der oberen Trolley-Fläche und in der Nähe zum Handgriffsystem an der Trolley-Mittellinie adaptiert. Abbildung 5-11 (siehe Seite 191) zeigt den Sensor am Fullsize-Trolley.



Abbildung 5-11:
Adaptierter dreiaxialer Beschleunigungssensor am Fullsize-Trolley



Der Sensor hat einen Messbereich von ± 10 g und kann bis in den statischen Bereich (Messung der Erdbeschleunigung) eingesetzt werden. Der Beschleunigungssensor wurde mit einem dreikanaligen Brückenmessverstärkersystem betrieben. Die Beschleunigungssignale wurden zusammen mit den Kraftsignalen in der gleichen Datei abgespeichert.

5.2.6 Maximalkraftmessungen

Zur Abschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit des in der Laboruntersuchung eingesetzten BIA-Probandenkollektivs aus 25 Flugbegleiter/-innen und zu deren Einordnung in die Gesamtpopulation wurden seine Leistungsdaten sowie die im Design der Laboruntersuchung definierten anthropometrischen Kenngrößen analog den in Abschnitt 4.4.2 beschriebenen typisierten Maximalkraftmessungen zuzüglich einer weiteren Maximalkraftmessart erfasst. In Abbildung 5-12 (siehe Seite 192) sind die fünf Maximalkrafttestarten dargestellt.



Abbildung 5-12:
Maximalkrafttests des BIA-Probandenkollektivs



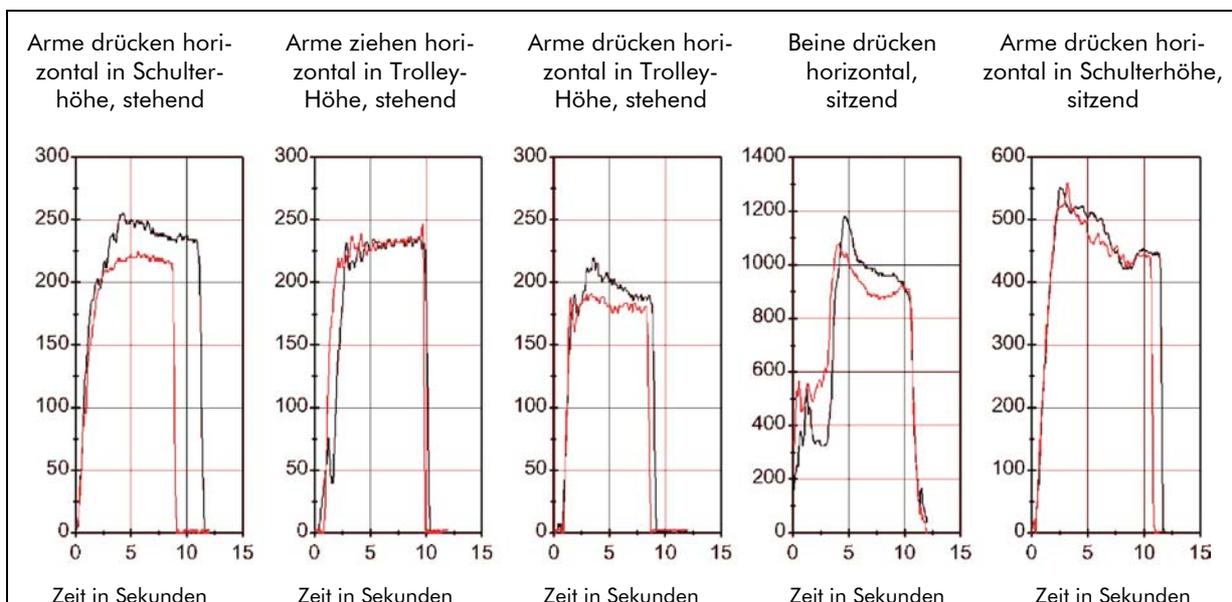
Zur Maximalkraftmessung an den oberen Extremitäten wurde eine einaxiale Kraftmesszelle mit vorgebautem rohrförmigen Handgriff genutzt. Zur Ermittlung der Maximalkraft der unteren Extremitäten in sitzender Position mit flach angelegtem Rücken-/Beckenübergang wurde ebenfalls ein einaxialer Kraftmesssensor mit vorgelagerter, keilförmig angestellter Angriffsfläche für die Füße eingesetzt. Die Probanden wurden in



allen Tests zum horizontalen Ziehen oder Schieben angehalten. Für die anschließenden Auswertungen kann von horizontal aufgebrauchten Schiebe-/Ziehkraften ausgegangen werden.

Die Maximalkraft wurde von den Probanden nach langsamem Anstieg auf das Maximalniveau etwa 5 Sekunden aufrechterhalten. Jeder Test wurde zweimal durchgeführt. In Abbildung 5-13 sind die Ergebnisse aller Maximalkraftmessungen einer Probandin dargestellt.

Abbildung 5-13:
Messsignale der Maximalkraftmessungen einer Probandin



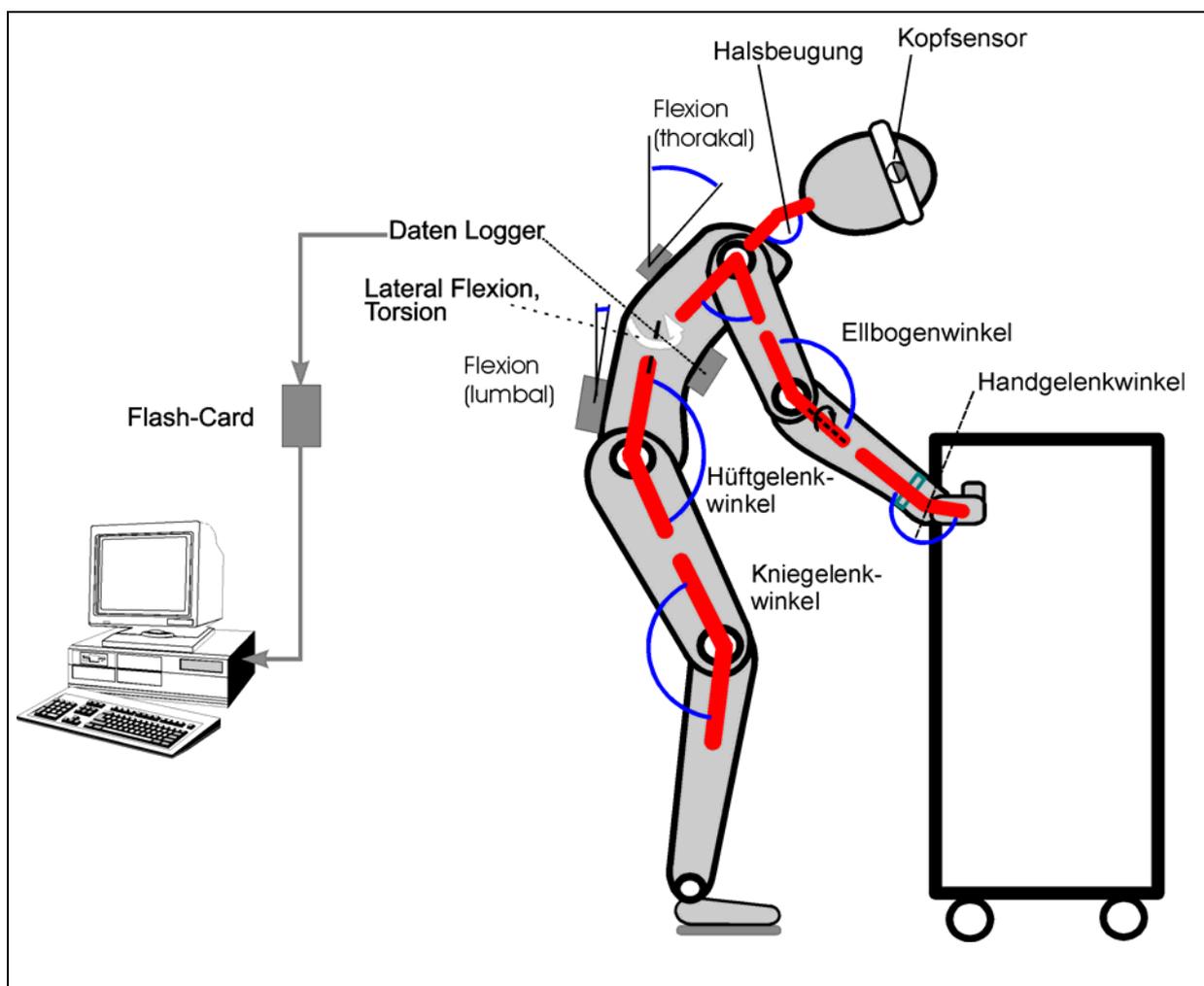
In den einzelnen Diagrammen sind jeweils beide Messsignale der verschiedenen Maximalkrafttests dargestellt. Aus jedem Messsignal wurde die maximale mittlere Kraft bei einem Zeitintervall von 1,5 Sekunden berechnet. Die beiden Werte wurden jeweils gemittelt, sodass für jeden Probanden fünf charakteristische Maximalkräfte für die weitere Analyse zur Verfügung standen. Das zweite und das dritte Diagramm von links zeigen die Maximalkrafttests, die den Tätigkeiten Ziehen und Schieben von Trolleys entsprechen.



5.2.7 CUELA-Messsystem

Zur Ermittlung der Körperhaltungen und der damit verbundenen Muskel-Skelett-Belastungen wurde das im BIA entwickelte CUELA-Messsystem (Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems [1]) eingesetzt. Hierbei liefern elektronische Neigungs- und Winkelsensoren, die an den Gelenken bzw. auf den Körpergliedern angebracht sind, die erforderlichen Lage- bzw. Winkelinformationen, um die Bewegungen des Menschen kinematisch rekonstruieren zu können. Das System ist modular konzipiert, sodass es für unterschiedliche Anforderungen leicht angepasst werden kann (Abbildung 5-14).

Abbildung 5-14:
Schematischer Aufbau und Funktionsweise des CUELA-Messsystems. Für die Ausgabe werden die Gelenkwinkel entsprechend der Neutral-Null-Methode umgerechnet.





Im vorliegenden Projekt wurde eine Konfiguration eingesetzt, die die Haltungserfassung der Beine, des Rückens, des Kopfes und der Arme ermöglichte. Entsprechend der Hauptbewegungsrichtungen wurden die Bewegungen der Gelenke in einer, zwei oder drei Ebenen (Freiheitsgrade) gemessen (Tabelle 5-5). Bei der Ergebnisausgabe werden die Gelenkwinkel entsprechend der Neutral-Null-Methode umgerechnet, d. h., für den aufrechten Stand mit herunterhängenden Armen sind alle Gelenkwinkel praktisch Null – eine Flexion wird dann durch positive Werte angezeigt.

Tabelle 5-5:
Übersicht über die mit dem CUELA-System erfassten Körperteile, Freiheitsgrade und eingesetzte Sensorik

Gelenk/Körperregion	Freiheitsgrad	Erfassender Sensor
Kopf	Neigung	Inklinometer
Halswirbelsäule (HWS)	Flexion/Extension	Inklinometer, Gyroskop
Brustwirbelsäule (BWS)	Flexion/Extension, Seitneigung	Inklinometer, Gyroskop
Lendenwirbelsäule (LWS)	Flexion/Extension, Seitneigung, Torsion	Inklinometer, Gyroskop, Potentiometer
Hüftgelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Kniegelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Schultergürtel	Elevation/Depression, Anterior/Posterior	Potentiometer
Schultergelenk	Flexion/Extension, Ab-/Adduction, Innen-/Außenrotation	Potentiometer
Ellbogengelenk	Flexion/Extension	Potentiometer
Unterarm	Pro-/Supination	Potentiometer
Handgelenk	Flexion/Extension, Radial-/Ulnarabduction	Potentiometer

Ferner beinhaltet das CUELA-System eine Speichereinheit mit einer Speicherkarte und eigener Batterieversorgung, die die Versuchsperson am Körper trägt (Abbildung 5-15, siehe Seite 196). Damit ist das personengebundene Messsystem völlig autark und kann je nach Speicher- und Batteriekapazität über viele Stunden Bewegungsdaten

aufzeichnen. Die Messfrequenz des Systems beträgt 50 Hz. Zusätzlich können externe Messsysteme über eine Triggerfunktion synchronisiert werden; im vorliegenden Projekt wurde diese Eigenschaft für die Handkraftmessung am Trolley eingesetzt (siehe Abschnitt 5.2.4). Nach erfolgter Messung kann die Speicherkarte unmittelbar von einem Computer zur weiteren Analyse ausgelesen werden. Eine zeitaufwändige Datenaufbereitung wie das manuelle Digitalisieren von Videoaufnahmen etc. entfällt völlig.

Abbildung 5-15:
Versuchsperson mit angelegtem CUELA-Messsystem



Zum CUELA-System gehört ferner die eigens dafür entwickelte Software WIDAAN, die zahlreiche Analysemöglichkeiten der aufgezeichneten Tätigkeiten erlaubt. So können zeitabhängige Kurvendarstellungen aller Sensorsignale (Gelenkwinkelverläufe), einfache statistische Analysen und ergonomische Bewertungen (OWAS-Methode [2]) erzeugt werden. Ferner ermöglicht eine dreidimensionale Computergrafik die animierte Darstellung der aufgezeichneten Körperhaltungen. Über den Import von extern



gemessenen Kraftsignalen lässt sich außerdem die Belastungssituation des Muskel-Skelett-Systems detailliert darstellen (Abbildung 5-16).

Abbildung 5-16:
Bildschirmansicht der Auswertungssoftware des CUELA-Messsystems.
Die grünen Pfeile stellen die Reaktionskräfte eines Trolleys beim Schieben dar.



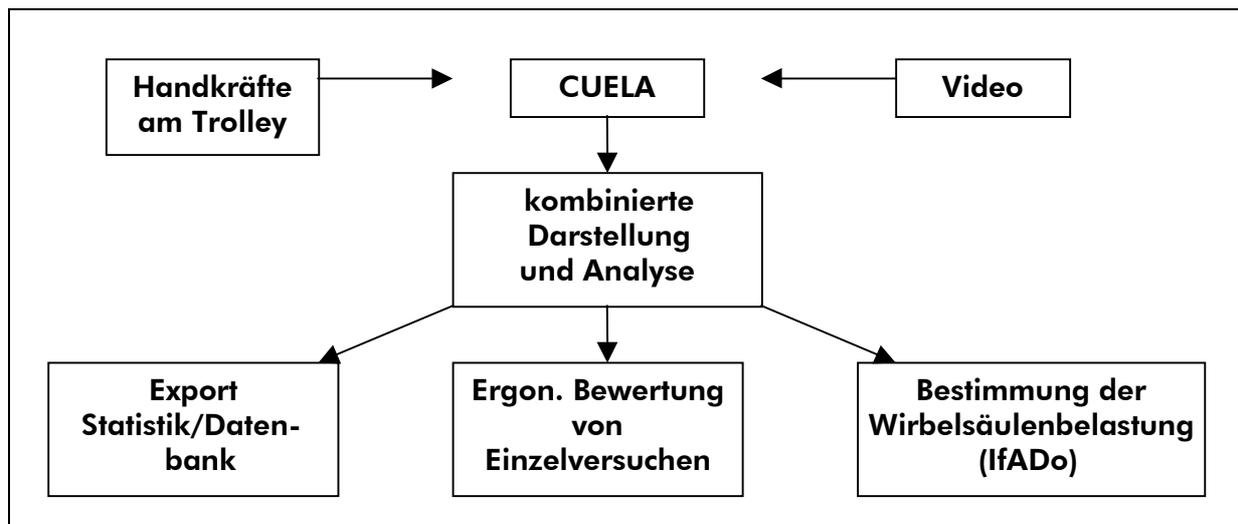
Die WIDAAN-Software bietet Exportschnittstellen, um die Daten weitergehenden statistischen Analysen zu unterziehen oder sie in einer Datenbank abzulegen (Abbildung 5-17, siehe Seite 198).

Zusätzlich wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes eine Schnittstelle geschaffen, die die Daten so aufbereitet, dass sie mit dem „Dortmunder“-Modell zur Bestimmung der Wirbelsäulenbelastung im Bereich L5-S1 weiterverarbeitet werden können (siehe



Kapitel 6). Somit fungierte das CUELA-Messsystem im vorliegenden Projekt als zentrales Bindeglied zwischen der Erfassung der Messdaten und den vertiefenden Analyse-möglichkeiten.

Abbildung 5-17:
Übersicht über die Einbettung des CUELA-Messsystems im Rahmen der Laboruntersuchung im BIA

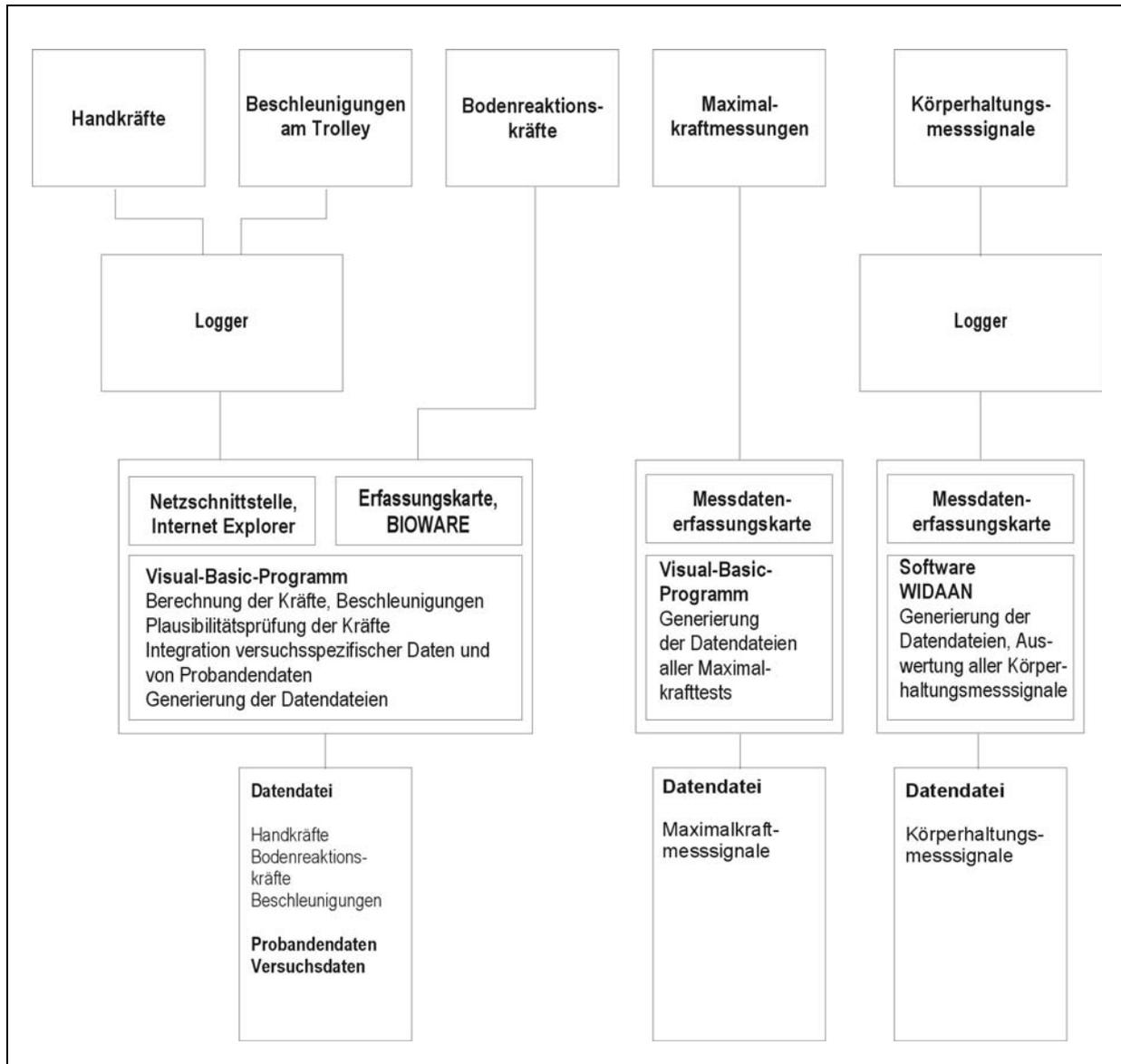


5.2.8 Messdatenerfassung und Auswertung

Die Messdatenerfassung innerhalb der Laboruntersuchung ist in Abbildung 5-18 (siehe Seite 199) dargestellt. Insgesamt gab es fünf verschiedene Sensorquellen: Handkräfte, Bodenreaktionskräfte, Beschleunigungen, Körperhaltungen und Maximalkräfte. Hinzu kamen alle spezifischen Daten zu den Probanden und zu den jeweils durchgeführten Schiebe- oder Ziehversuchen. Zur qualitativen Beurteilung der Versuche und der Identifikation von Messauffälligkeiten wurden zudem die foto- und filmtechnischen Aufnahmen aller Versuche ergänzt.



Abbildung 5-18:
Messkonzept der Laboruntersuchung



Die Handkräfte und die Beschleunigungssignale wurden während der Schiebe- oder Ziehphase in einem Datenlogger, die Bodenreaktionskräfte über eine Messdatenerfassungskarte im PC als Rohdaten zwischengespeichert. Alle Messsysteme wurden zu Messbeginn untereinander mit einem Trigger-Signal synchronisiert. Direkt nach dem Versuch wurden mit einem Visual-Basic-Programm alle Rohdaten eingelesen und die physikalischen Signalverläufe von Kräften, Beschleunigungen und Angriffspunkten berechnet. Alle Signale konnten zu einer Plausibilitätsprüfung auf dem Bildschirm



dargestellt werden. Zusammen mit den spezifischen Randbedingungen des jeweiligen Versuches und den anthropometrischen Daten des Probanden wurde danach eine Datei generiert, die im Header alle Kenndaten und nachfolgend spaltenförmig angeordnet alle Signalverläufe der physikalischen Größen enthielt. Bei den Maximalkrafttests wurden die Kraftsignale ebenfalls mit einer Messdatenerfassungskarte und einem Visual-Basic-Programm gemessen und in definierten Dateien abgespeichert. Die Körperhaltungsmesssignale wurden wie bei den Handkräften während der Messung auf einer Flashkarte/Logger zwischengespeichert. Nach dem Versuch wurden die Daten übertragen und ebenfalls eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Mit der Software WIDAAN wurde dann eine Datei der Körperhaltungsgrößen generiert. Insgesamt wurden 1 200 Dateien im Textformat jeweils für die Kräfte, Beschleunigungen und Angriffspunkte sowie für die Körperhaltungen und 250 Dateien der Maximalkräfte generiert. Die darauf folgende Messdatenauswertung stützte sich auf diesen Datenpool.

Die Messdaten wurden mit unterschiedlichen Programmen weiterverarbeitet. Dafür wurden weitere spezifische Anwendungsprogramme in Visual-Basic geschrieben und die Softwarepakete EXCEL, DIADEM und SPSS eingesetzt.

Die Kräfte und Beschleunigungen wurden zunächst mit einem Butterworth-Tiefpassfilter (Grenzfrequenz 10 Hz, Steilheit 48 dB/Oktave) zur Reduzierung von Störsignalen mit der Software DIADEM gefiltert. Mit spezifisch erstellten Visual-Basic-Algorithmen wurden dann die erforderlichen Auswertungen erstellt, z. B. der maximale Kraftmittelwert mit einem Zeitintervall von 1,5 Sekunden eines Kraftsignals. Da insgesamt 3 410 einzelne Schiebe- oder Ziehphasen vorlagen, mussten alle Auswertungsprozeduren mit Autosequenzen automatisiert bearbeitet werden. Nach Berechnung einzelner Auswerteparameter lagen Dateien vor, die mit der Statistik-Software SPSS ausgewertet werden konnten.

Die aufbereiteten Kraftmessdaten und die kinematischen Daten des CUELA-Systems wurden mit der WIDAAN-Software importiert und mittels des aufgezeichneten Trigger-Signals synchronisiert. Die Aktionskräfte wurden dabei in Reaktionskräfte konvertiert, um die Belastungsanalyse des Muskel-Skelett-Systems in der üblichen Form



vornehmen zu können. Das Koordinatensystem wurde analog Abschnitt 5.2.3 „Dynamische Messung der Handkräfte am Trolley“ beibehalten. Weitere Details zum CUELA-Messsystem und zur Datenauswertung sind in Abschnitt 5.2.7 „CUELA-Messsystem“ dargestellt.

5.2.9 Versuchsdurchführung

Mit der Laboruntersuchung im BIA konnte pro Tag eine Versuchsperson vermessen werden. Zu Beginn des Messtages wurde zunächst die Maximalkraftmessung entsprechend des Protokolls des IAD (siehe Abschnitt 4.4.2) durchgeführt. Parallel dazu wurden die anthropometrischen Daten, wie Körpergröße, -gewicht und Gliederlängen, erfasst (siehe Tabelle 5-6, Seite 202). Anschließend musste das CUELA-System auf die individuellen Verhältnisse der Versuchsperson angepasst werden, bevor mit den Schiebe- und Ziehversuchen auf der schiefen Ebene im Versuchslabor begonnen werden konnte. Ferner wurden auch die Kraftmessgriffe auf die bevorzugte Greifposition für die jeweilige Versuchskonstellation (Ziehen/Schieben bzw. Halfsize-Trolley/Fullsize-Trolley) eingestellt. Die Greifstellen wurden zusätzlich mit Klebeband markiert, um über die zugehörigen zwölf Versuche eine gleich bleibende Handhaltung am Trolley gewährleisten zu können.



Tabelle 5-6:
Übersicht über die Flugbegleiter/-innen, die an der Laborstudie teilgenommen haben

VP-Nr.	Airline	Geschlecht	Kategorie*	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Alter
01	LTU	w	klein	167	51	38
02	LTU	w	groß	176	64	32
03	LTU	w	klein	168	67	27
04	LTU	w	mittel	171	58	41
05	DLH	w	klein	165	50	35
06	DLH	w	groß	174	60	30
07	DLH	w	groß	175	63	36
08	DLH	w	mittel	171	55	34
09	HLF	w	groß	178	64	31
10	HLF	w	mittel	169	60	26
11	HLF	w	klein	163	56	36
12	HLF	w	mittel	174	67	28
13	EW	w	klein	163	57	32
14	EW	w	mittel	172	55	25
15	EW	w	klein	168	58	24
16	EW	w	mittel	165	62	29
17	EW	w	groß	175	62	25
18	CLH	w	mittel	168	59	36
19	CLH	w	mittel	170	57	40
20	CLH	w	groß	178	78	28
21	CLH	w	klein	167	60	32
22	CLH	w	groß	174	66	29
23	HLF	m	mittel	183	71	29
24	DLH	m	mittel	180	74	37
25	LTU	m	mittel	186	81	39

* Die Zuordnung erfolgte unter Berücksichtigung von Größe und Gewicht

Dem Versuchsdesign entsprechend bestand jeder Versuch aus drei nacheinander folgenden Schiebe- bzw. Ziehvorgängen über eine am Boden markierte Distanz von je ca. 1,7 m. Zwischen den Tätigkeitsphasen konnten die Versuchspersonen etwa 5 Sekunden pausieren. Die gesamte Messdauer für einen Versuch betrug maximal 45 Sekunden. Versuche, die eine längere Zeit in Anspruch genommen hätten, wurden durch den Versuchsleiter abgebrochen. Auch bei Versuchen, in denen die Versuchsperson offensichtlich körperlich überfordert war, wurde der Versuch unmittelbar



abgebrochen, um eine Überbelastung zu vermeiden. Alle abgebrochenen Versuche (Tabelle 5-7) wurden ausgesondert und in der weiteren statistischen Datenverarbeitung nicht berücksichtigt.

Tabelle 5-7:

Übersicht über abgebrochene Versuche wegen Überforderung bzw. Unzumutbarkeit, die als ungültige Versuche von der statistischen Analyse ausgeschlossen wurden.

Abkürzungen: S: Schieben, Z: Ziehen, FS: Fullsize, HS: Halfsize

Tätigkeit	Trolley	Masse [kg]	Neigung [°]	Anzahl
S	FS	90	8	7
Z	FS	90	8	13
Z	FS	65	8	4
Z	FS	90	5	1
S	HS	60	8	1
Z	HS	60	8	5
Z	HS	45	8	3
Z	HS	30	8	1
Z	HS	60	5	3
Z	HS	60	2	1

5.3 Ergebnisse der Laboruntersuchung

5.3.1 Aktionskräfte am Trolley beim Ziehen und Schieben

In den Tabellen und Diagrammen dieses Abschnittes werden Abkürzungen verwendet, die in Tabelle 5-8 (siehe Seite 204) beschrieben und erläutert werden.

Das Versuchsdesign sah insgesamt 1 200 Schiebe- und Ziehversuche vor. 190 dieser Versuche konnten nicht in die anschließende Analyse und Bewertung einbezogen werden, da die Schiebe- oder Ziehvorgänge durch besondere Umstände, z. B. Abbruch durch Überbelastung, nicht als praxisnahe Arbeitstätigkeit gewertet werden konnten. Da jeder Versuch in der Regel drei einzelne Schiebe- oder Ziehphasen



enthielt, ergaben sich somit unter Berücksichtigung der ungünstigen Versuche 3 410 auswertbare Schiebe- oder Ziehphasen.

Tabelle 5-8:
Abkürzungsverzeichnis für die in diesem Abschnitt verwendeten Größen

Größe	Beschreibung	Erklärung oder Beispiel
FS	Trolley-Art	Fullsize-Trolley
HS	Trolley-Art	Halfsize-Trolley
T	Schiebe- oder Ziehtätigkeit am Trolley	
ts	Tätigkeit Schieben	
tz	Tätigkeit Ziehen	
TB	Beladungszustand des Trolleys	FS-M40 oder m40: Fullsize-Trolley mit 40 kg Gesamtmasse FS-M65 oder m65: Fullsize-Trolley mit 65 kg Gesamtmasse FS-M90 oder m90: Fullsize-Trolley mit 90 kg Gesamtmasse HS-M30 oder m30: Halfsize-Trolley mit 30 kg Gesamtmasse HS-M45 oder m45: Halfsize-Trolley mit 45 kg Gesamtmasse HS-M60 oder m60: Halfsize-Trolley mit 60 kg Gesamtmasse
TM	Trolley-Masse	
w, WI	Neigungswinkel der Ebene	W0: Neigungswinkel der Ebene 0° W2: Neigungswinkel der Ebene 2° W5: Neigungswinkel der Ebene 5° W8: Neigungswinkel der Ebene 8°
N	Anzahl ausgewerteter Fälle	Fallanzahl für die jeweilige Messwertegruppe
MIN	Minimaler Wert	Kleinster Wert in der Messwertegruppe
MAX	Maximaler Wert	Größter Wert in der Messwertegruppe
SPW	Spannweite	Differenz zwischen größtem und kleinstem Messwert in der Messwertegruppe
MED	Median	Zentralwert, 50. Perzentil
MW	Mittelwert	Arithmetischer Mittelwert
STD	Standardabweichung	Streuungsmaß

In Tabelle 5-9 (siehe Seite 205) sind die Fallzahlen, die sich je nach Variation aus Trolley-Art, Tätigkeit, Beladungszustand des Trolleys und Neigungswinkel der Ebene ergaben, mit Summenbildung für die einzelnen Gruppenblöcke aufgeführt.



Tabelle 5-9:
Struktur der Fallzahlen nach Versuchsdesign

TB	w	FS			HS			Gesamt
		ts	tz	Gesamt	ts	tz	Gesamt	
m30	0				75	75	150	
	2				75	75	150	
	5				75	72	147	
	8				75	68	143	
	Gesamt				300	290	590	590
m40	0	75	75	150				
	2	75	74	149				
	5	75	75	150				
	8	75	75	150				
	Gesamt	300	299	599				599
m45	0				75	75	150	
	2				75	72	147	
	5				75	68	143	
	8				75	63	138	
	Gesamt				300	278	578	578
m60	0				75	75	150	
	2				75	72	147	
	5				75	66	141	
	8				69	58	127	
	Gesamt				294	271	565	565
m65	0	75	75	150				
	2	75	72	147				
	5	75	75	150				
	8	66	57	123				
	Gesamt	291	279	570				570
m90	0	75	75	150				
	2	75	75	150				
	5	72	71	143				
	8	41	24	65				
	Gesamt	263	245	508				508
Gesamt		854	823	1 677	894	839	1 733	3 410

Bei allen 1 200 Versuchen wurden die beschriebenen physikalischen Größen am Trolley und auf der Ebene in einem Messprotokoll aufgezeichnet. Ein typisches Messprotokoll ist in Abbildung 5-19 (siehe Seite 207) zu sehen. Es enthält außer den Signalverläufen auch die erforderlichen Kenndaten zur Identifizierung des Versuches.



Die beiden obersten Diagramme im Messprotokoll enthalten die Signalverläufe der Bodenreaktionskräfte (links) und des Angriffspunktes (rechts) auf der Plattform. Dann schließen sich die Kräfte und die Kraftangriffspunkte der linken Hand und der rechten Hand an. Darunter befinden sich die Kraftverläufe der Gesamtkräfte und -angriffspunkte. Als letztes sind die Signalverläufe der dreidimensionalen Trolley-Beschleunigungen dargestellt. Die drei einzelnen Schiebephasen sind jeweils gut zu erkennen. Die gesamte Schiebezeit betrug bis zum Stehen des Trolleys nach dem dritten Schieben etwa 35 Sekunden. Die Pausen zwischen den Schiebephasen betragen hier etwa 3 Sekunden.

Die Aktionskräfte der Einzelphasen wurden separat herausgegriffen. In Abbildung 5-20 (siehe Seite 208) sind die Aktionskräfte eines typischen Schieberversuches dargestellt. Im Diagrammkopf sind alle Randdaten zur Typisierung und Identifizierung aufgeführt. Bei der Darstellung handelt es sich um einen Schieberversuch mit dem Fullsize-Trolley bei 8° Neigungswinkel der Ebene und 65 kg Gesamtmasse des Trolleys. Weiterhin sind die Konstellation der Handgriffe und die vermaßten Greifpositionen der Probandin aufgeführt.

In der Abbildung folgen drei Diagrammpaare, links die Aktionskräfte und rechts die Kraftangriffspunkte, zunächst der linken Hand, dann der rechten Hand und unten die beider Hände. Da bei den Angriffspunkten der linken und rechten Hand ein dynamisches Signal nur in der Längsachse des Handgriffes erzeugt wurde, sind in den Diagrammen immer zwei konstante Linien zu sehen, die die feste Position des Handgriffes in diesen beiden Koordinatenachsen darstellen. Bei der Berechnung des Gesamtangriffspunktes können je nach Handgriffkonstellation alle drei Signalverläufe der Koordinatenachsen dynamischen Charakter haben. Die Koordinaten der Angriffspunkte sind im Trolley-Koordinatensystem angegeben.



Abbildung 5-19:
Messprotokoll eines Schiebeversuches

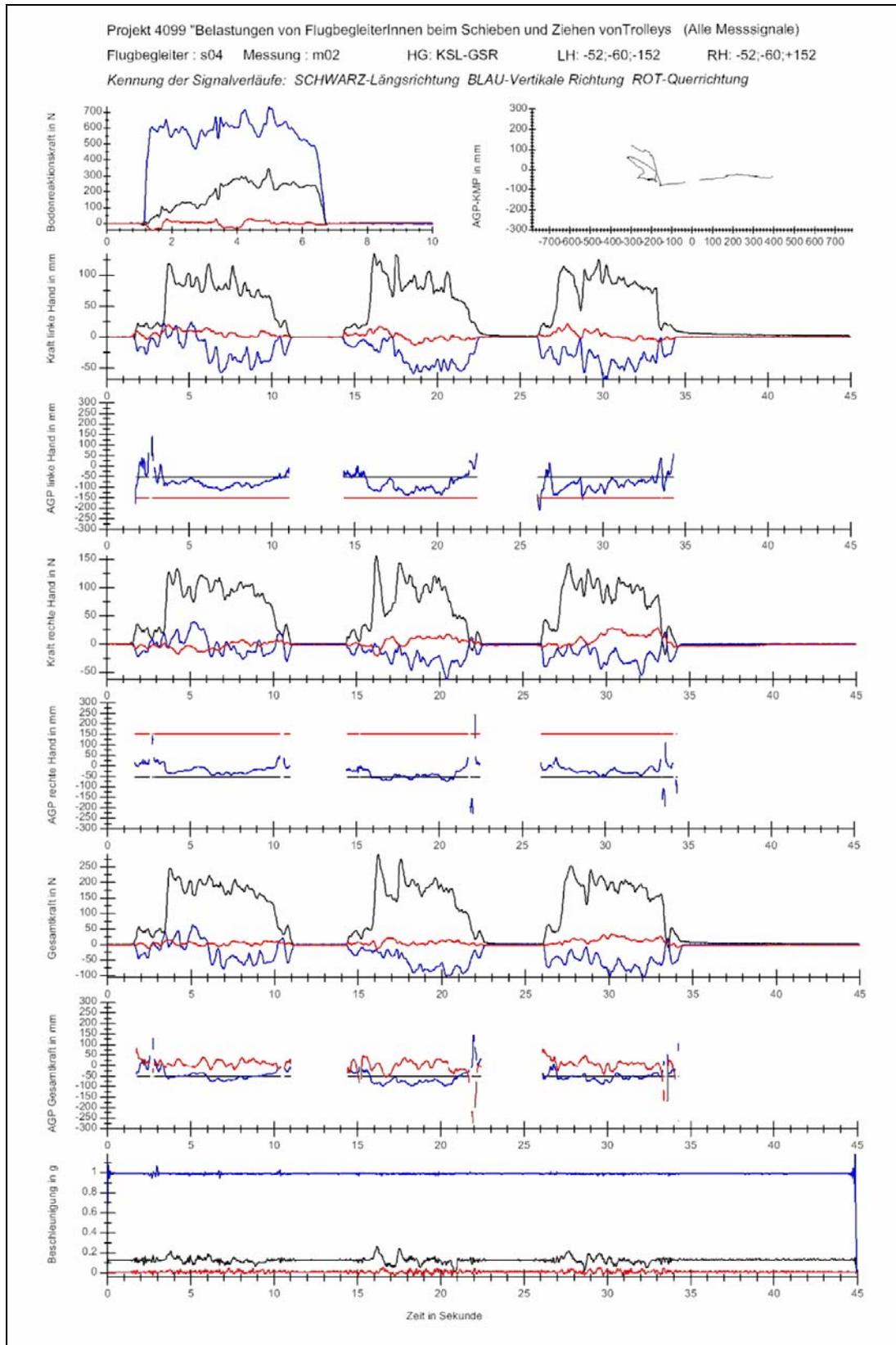
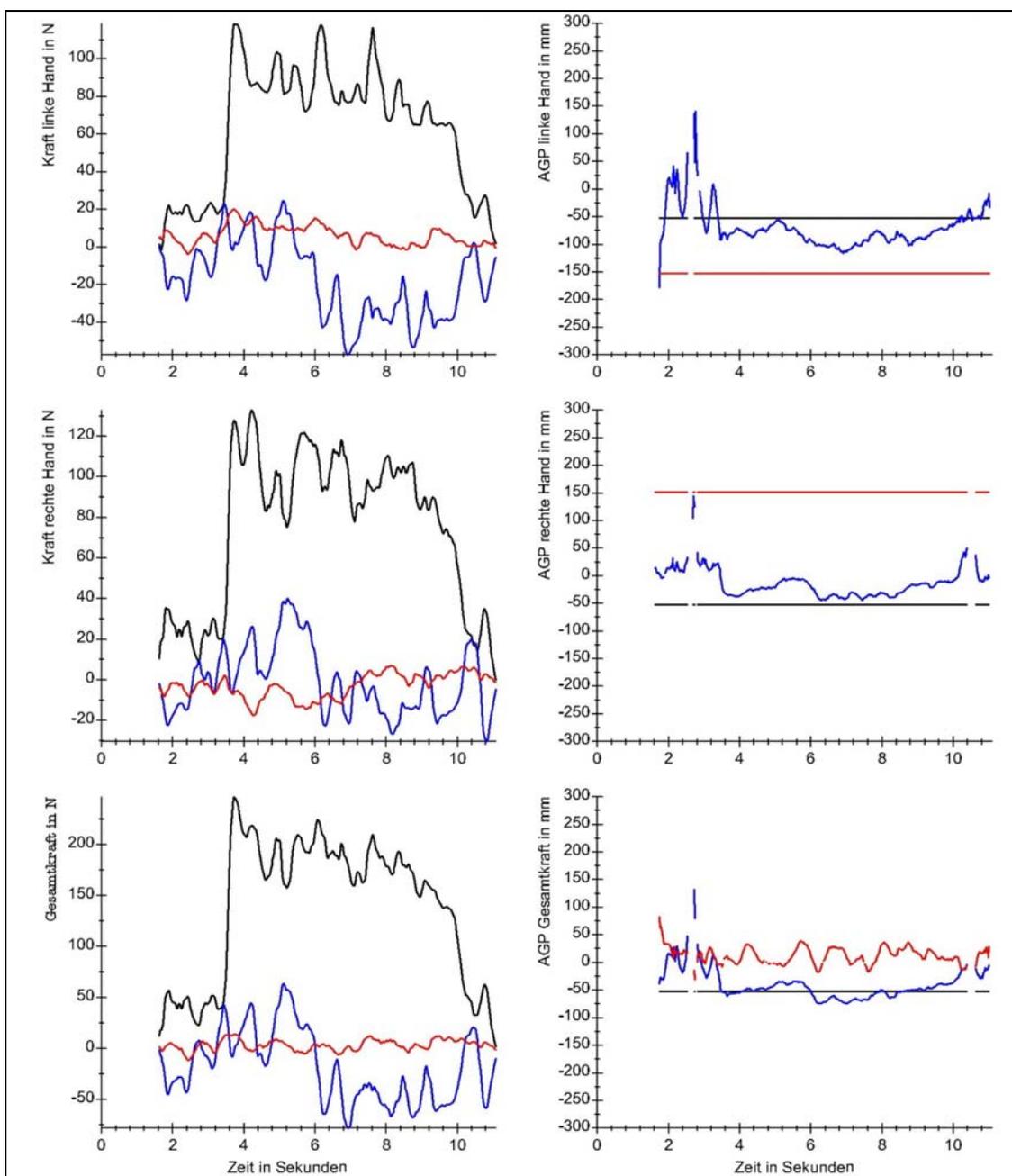




Abbildung 5-20:
Messprotokoll der Aktionskräfte

Versuchsbezeichnung:	s04m02_d_fstsw8m65_1
Alter Flugbegleiter/-in in Jahren:	41
Gewicht Flugbegleiter/-in in kg:	60,6
Körpergröße in cm:	174
Geschlecht:	w
Neigungswinkel der Ebene in Grad:	8
Trolley-Art (FS: Fullsize, HS: Halfsize):	FS
Gesamtmasse in kg:	68,7
Handgriff am Trolley: SOO, SLO, SOR, SLR, ZOO, ZLO, ZOR, ZLR:	SLR
Handgriff-Positionen: KSO, KSL - GSO, GSR:	KSL-GSR
Position der linken Hand (längs, vertikal, quer):	-52; -60; -152
Position der rechten Hand (längs, vertikal, quer):	-52; -60; +152

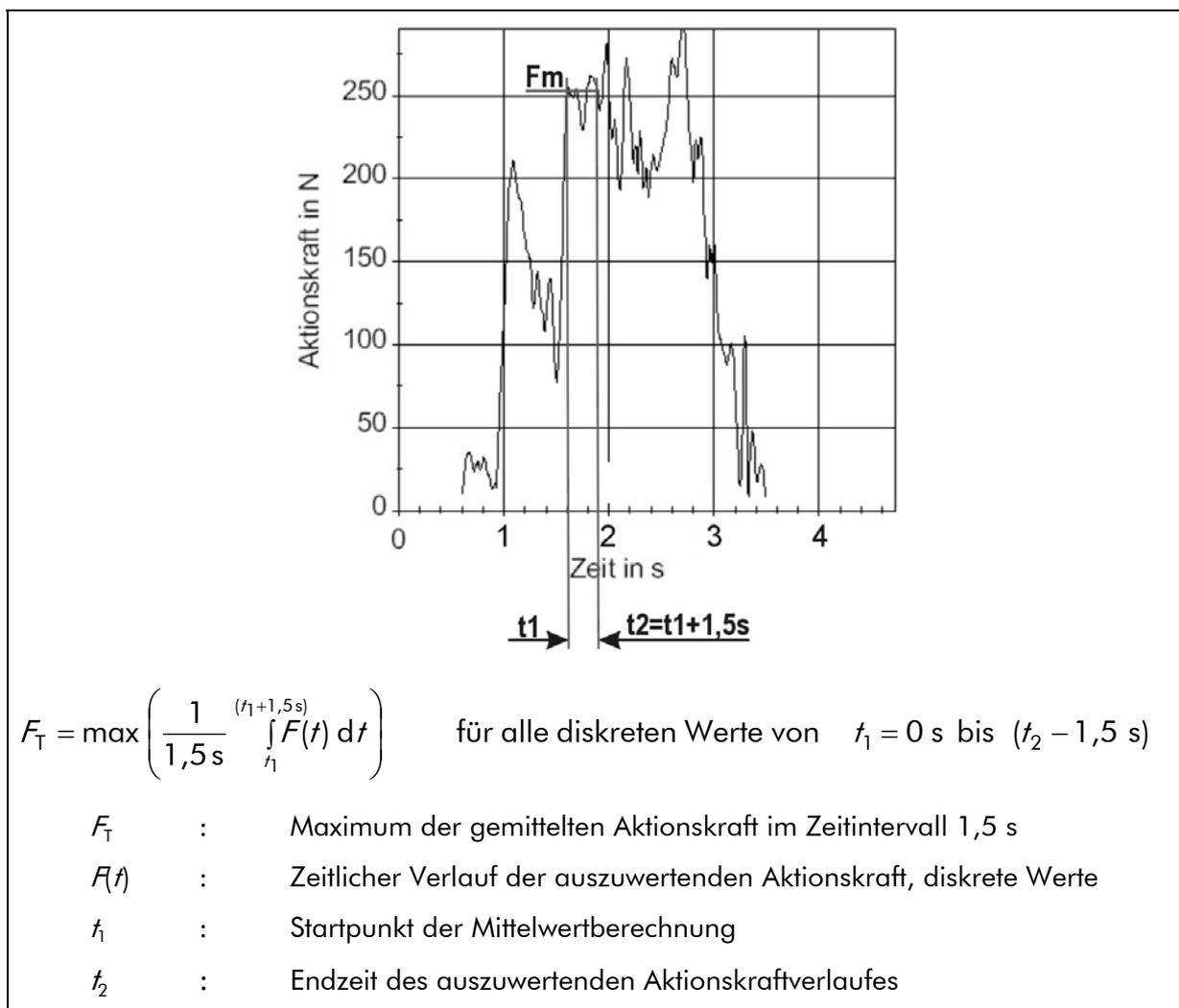
Kennung der Signalverläufe: SCHWARZ-Längsrichtung, BLAU-Vertikale Richtung, ROT-Querrichtung





Zur Ermittlung und Bewertung der Aktionskräfte am Trolley wurde ein Parameter des Signalverlaufes spezifiziert, der die Belastungen beim Ziehen und Schieben genauso wie bei den durchgeführten Maximalkraftmessungen am besten repräsentiert. Dieser Belastungsparameter wurde als der maximale mittlere Kraftwert mit einer Zeitdauer von 1,5 Sekunden in der gesamten Schiebe- oder Ziehphase definiert (siehe Abschnitt 4.4.2). In Abbildung 5-21 sind die Einzelheiten der Definition und des Berechnungsverfahrens aufgeführt.

Abbildung 5-21:
Definition des Kraftwertes, der die Belastung beim Ziehen und Schieben abbildet





In Abbildung 5-21 ist beispielhaft die Gesamtkraft eines Schiebeversuches dargestellt. Aus dem Signalverlauf wird das Maximum der gemittelten Aktionskraft F_T berechnet. Aus allen anderen Kraftsignalen der Schiebe- oder Ziehphase wird dann ebenfalls dieser Kraftmittelwert berechnet, wobei jedoch die Zeitgrenzen des Kraftintervalls der Gesamtkraft eingesetzt werden. Alle Aktionskräfte sind daher durch den jeweiligen maximalen Kraftmittelwert F_T bei gleichen Zeitgrenzen charakterisiert. Das ermittelte Kraftwertekollektiv (12 Werte der Komponenten und Summenkräfte) beschreibt somit den höchsten Belastungsbereich innerhalb der Aktionskräfte eines Schiebe- oder Ziehversuches und ermöglicht eine vergleichende Betrachtung der Aktionskräfte.

Dieses Berechnungsverfahren wurde bei allen Schiebe- oder Ziehphasen in dieser Weise angewandt. Die mittleren Aktionskräfte wurden zusammen mit den anderen Randbedingungen in einer Datei zusammengefasst, die zur weiteren statistischen Analyse genutzt wurde. Im Folgenden sind die statistischen Auswertungen aller Aktionskräfte in der Reihenfolge Gesamtkraft, Längskraft, Vertikalkraft und Querkraft dargestellt. Für jeden Krafttyp (F_{ges} , F_l , F_v , F_q) gibt es eine Tabelle der statistischen Maßzahlen und grafische Darstellungen in Form von Box-Plots zu den jeweiligen Untergruppen des Versuchsspektrums.

In den Tabellen 5-10 bis 5-14 (siehe Seite 212 bis 228) werden die statistischen Maßzahlen nach Tätigkeit, Beladungszustand und Typ des Trolleys sowie dem Neigungswinkel gruppiert jeweils für die linke Hand, rechte Hand und für beide Hände angegeben. Die grafische Darstellung der den Tabellen zugrunde liegenden Datengruppen erfolgt für jeden Krafttyp in sechs verschiedenen Box-Plots (Abbildungen 5-22 bis 5-30, siehe Seite 214 bis 230): Tätigkeit Schieben für linke Hand, rechte Hand und beide Hände sowie Tätigkeit Ziehen für linke Hand, rechte Hand und beide Hände.

Die Box-Plots wurden mit der Software SPSS erstellt. Im Box-Plot wird die einzelne Wertegruppe durch eine innere Box dargestellt, deren Grenzen vom 25. und 75. Perzentil der Verteilung gebildet werden, d. h., die Box enthält die inneren 50 % oder anders ausgedrückt den Interquartilbereich IQR der Verteilung. In der Box wird als Zentralwert dazu der Median angegeben. Der Median ist der 50. Perzentilwert und ein Mittelwert-



schätzer, der robust gegen Ausreißer oder Extremwerte ist. Bei der Analyse der einzelnen Wertegruppen werden die außerhalb der IQR-Box liegenden Werte mit einem speziellen Berechnungsverfahren überprüft und geschätzt, ob sie als Extremwerte oder Ausreißer charakterisiert werden müssen. Dies war häufig der Fall und auch zu erwarten. Bei den hier gezeigten Darstellungen wurden daher zur größeren Klarheit die identifizierten Extremwerte und Ausreißer ausgeblendet. Die Eckwerte der verbliebenen und zur Wertegruppe gehörig erkannten Einzelwerte sind im Box-Plot durch Whiskers gekennzeichnet. Sie entsprechen daher nicht den MIN/MAX-Angaben in den Tabellen, die die Extremwerte und Ausreißer mit einbeziehen, sondern zeigen eine geringere Streuung an. Drei Box-Plots für das Schieben und drei Box-Plots für das Ziehen sind jeweils in einer Abbildung zusammengefasst. Die dargestellte Kraft (linke Hand, rechte Hand und beide Hände) ist in der Bezeichnung der Y-Achse genannt.

Für alle Versuchskonstellationen sind in Tabelle 5-14 (siehe Seite 228) noch einmal alle Mediane der Längs-, Vertikal-, Quer- und Gesamtkräfte zusammengefasst.



Tabelle 5-10:
Statistische Daten der Gesamtkraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

T	TB	WI	Gesamtkraft linke Hand							Gesamtkraft rechte Hand							Gesamtkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
ts	m30	w0	75	13	56	43	35	34	8	75	15	66	51	40	41	9	75	27	112	85	76	74	16
		w2	75	18	59	41	39	39	8	75	17	68	51	46	46	10	75	34	123	89	84	84	17
		w5	75	30	65	35	44	45	8	75	31	80	49	54	55	11	75	60	138	78	95	98	17
		w8	75	16	79	63	50	51	11	75	16	97	81	62	62	14	75	32	168	136	110	111	23
	m40	w0	75	27	62	35	38	40	8	75	30	69	39	47	46	9	75	63	123	60	85	85	14
		w2	75	27	67	40	44	45	8	75	41	68	27	52	52	6	75	76	121	45	96	96	11
		w5	75	40	71	31	51	52	7	75	46	88	42	62	63	8	75	92	145	53	114	114	10
		w8	75	46	87	41	60	62	9	75	52	96	44	71	73	10	75	110	167	57	132	132	12
	m45	w0	75	19	68	49	46	45	10	75	19	81	62	52	51	12	75	37	137	100	96	95	20
		w2	75	20	74	54	54	53	11	75	21	86	65	59	59	13	75	41	153	112	110	110	21
		w5	75	30	86	56	63	62	10	75	35	102	67	71	70	12	75	65	177	112	129	130	21
		w8	75	31	99	68	70	70	12	75	36	114	78	82	81	15	75	67	199	132	149	148	23
	m60	w0	75	19	79	60	53	53	12	75	23	88	65	60	59	15	75	42	160	118	115	111	23
		w2	75	25	89	64	62	62	13	75	25	107	82	70	69	15	75	51	188	137	130	129	24
		w5	75	39	99	60	75	75	12	75	46	111	65	82	82	14	75	85	199	114	152	155	22
		w8	69	40	119	79	85	86	13	69	48	123	75	97	95	15	69	89	231	142	172	176	24
	m65	w0	75	38	98	60	56	57	10	75	38	89	51	63	64	10	75	88	178	90	117	120	16
		w2	75	54	107	53	67	68	10	75	55	110	55	75	74	10	75	113	217	104	139	141	15
		w5	75	60	105	45	84	83	9	75	71	122	51	94	93	10	75	142	204	62	176	175	12
		w8	66	72	154	82	98	99	13	66	85	168	83	109	110	17	66	180	321	141	204	208	22
m90	w0	75	50	102	52	74	75	10	75	54	127	73	78	79	13	75	126	190	64	154	153	15	
	w2	75	64	117	53	89	90	11	75	69	126	57	93	95	11	75	147	219	72	183	183	14	
	w5	72	72	160	88	109	110	14	72	95	203	108	120	124	20	72	201	305	104	229	232	23	
	w8	41	115	171	56	136	137	12	41	107	238	131	140	143	25	41	234	393	159	270	278	27	

(Fortsetzung nächste Seite)



Tabelle 5-10:
(Fortsetzung)

T	TB	WI	Gesamtkraft linke Hand							Gesamtkraft rechte Hand							Gesamtkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
tz	m30	w0	75	19	115	96	50	53	18	75	34	105	71	65	66	16	75	56	214	158	110	118	32
		w2	75	25	127	102	53	57	21	75	42	125	83	69	72	17	75	69	253	184	120	128	36
		w5	72	35	171	136	62	66	25	72	51	157	106	78	81	24	72	90	328	238	139	146	47
		w8	68	44	169	125	63	65	20	68	56	161	105	83	86	21	68	110	327	217	146	150	37
	m40	w0	75	0	67	67	27	27	9	75	28	69	41	39	41	8	75	51	122	71	67	67	10
		w2	74	0	43	43	36	34	8	74	35	97	62	47	49	10	74	67	104	37	82	83	7
		w5	75	0	66	66	46	44	11	75	42	110	68	59	61	11	75	88	144	56	103	105	10
		w8	75	0	89	89	58	57	14	75	52	140	88	69	72	16	75	108	187	79	126	128	14
	m45	w0	75	30	133	103	62	65	21	75	44	134	90	73	77	19	75	76	267	191	138	140	39
		w2	72	41	151	110	69	73	21	72	60	140	80	83	88	19	72	102	290	188	152	160	38
		w5	68	57	192	135	80	83	22	68	68	185	117	95	100	21	68	130	369	239	176	182	41
		w8	63	73	115	42	92	91	11	63	81	165	84	104	111	22	63	162	268	106	198	201	28
	m60	w0	75	41	147	106	71	76	22	75	53	136	83	85	87	20	75	99	283	184	158	162	41
		w2	72	54	158	104	82	85	21	72	69	156	87	98	101	21	72	129	313	184	180	185	41
		w5	66	73	188	115	96	98	17	66	80	156	76	113	113	20	66	163	281	118	206	209	30
		w8	58	84	143	59	113	112	15	58	95	194	99	127	134	26	58	188	336	148	250	244	34
	m65	w0	74	0	62	62	45	44	11	74	41	106	65	62	63	11	74	87	131	44	107	106	9
		w2	72	0	89	89	58	56	14	72	53	139	86	72	75	14	72	112	186	74	129	130	11
		w5	75	0	90	90	76	73	16	75	70	165	95	91	92	15	75	146	187	41	163	164	8
		w8	57	0	121	121	92	90	23	57	82	187	105	102	107	19	57	173	224	51	196	196	12
m90	w0	75	0	80	80	63	60	14	75	55	149	94	80	82	16	75	121	172	51	141	142	11	
	w2	75	0	94	94	79	75	18	75	74	182	108	95	98	18	75	138	195	57	173	172	11	
	w5	71	0	138	138	102	98	27	71	45	221	176	118	116	27	71	74	269	195	217	213	31	
	w8	24	109	153	44	134	133	12	24	105	145	40	128	128	11	24	243	282	39	259	261	12	



Abbildung 5-22:
Box-Plots der Gesamtkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Schieben

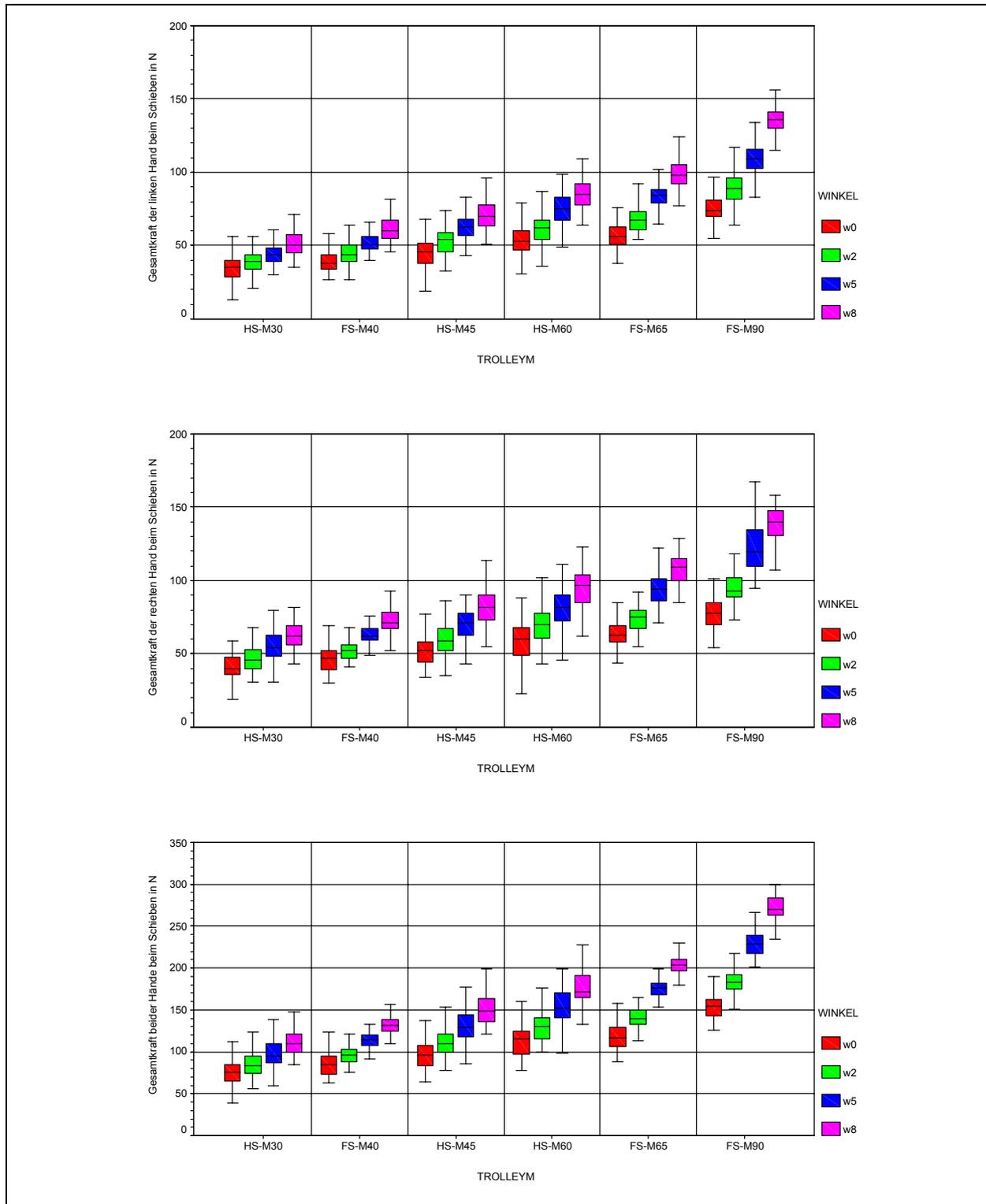




Abbildung 5-23:
Box-Plots der Gesamtkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

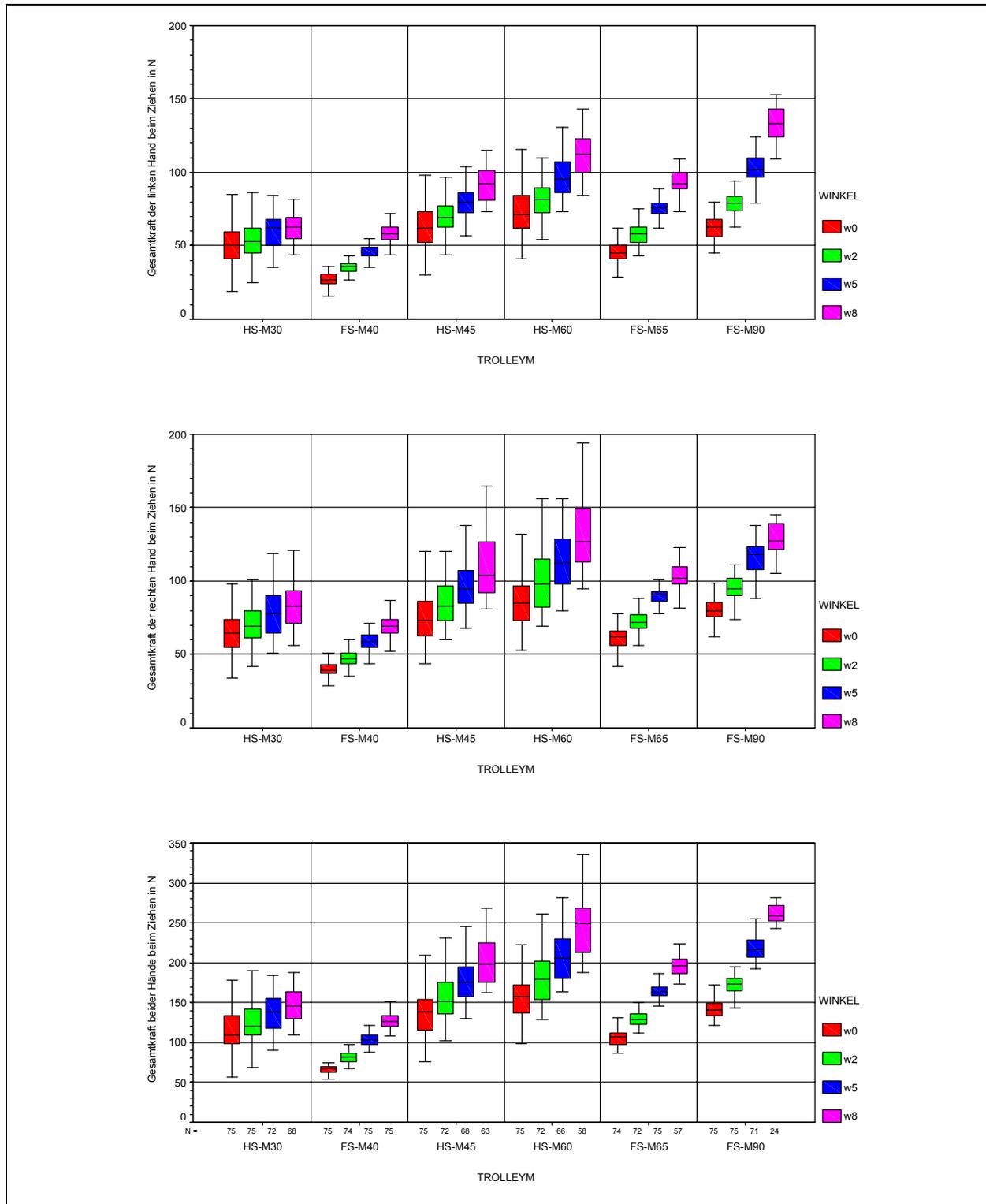




Tabelle 5-11:
Statistische Daten der Längskraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

T	TB	WI	Längskraft der linken Hand							Längskraft der rechten Hand							Längskraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
ts	m30	w0	75	-3	28	31	20	19	5	75	-1	35	36	26	25	6	75	-4	63	67	45	44	11
		w2	75	-13	30	43	23	23	7	75	-11	43	54	31	30	8	75	-24	66	90	55	53	13
		w5	75	14	39	25	31	30	4	75	21	53	32	42	40	6	75	34	86	52	71	70	9
		w8	75	-12	48	60	37	35	10	75	-9	62	71	48	47	12	75	-21	103	124	85	82	20
	m40	w0	75	0	38	38	28	28	6	75	1	52	51	36	36	8	75	1	84	83	66	64	11
		w2	75	21	51	30	35	35	6	75	33	59	26	45	44	5	75	61	102	41	79	80	8
		w5	75	24	63	39	44	44	6	75	28	70	42	57	55	8	75	52	126	74	101	100	11
		w8	75	25	74	49	52	52	7	75	46	86	40	66	66	8	75	82	160	78	118	118	11
	m45	w0	75	-5	40	45	31	30	7	75	-2	49	51	36	35	8	75	-7	81	88	66	65	15
		w2	75	-8	50	58	37	36	10	75	-1	59	60	44	42	11	75	-9	101	110	83	78	19
		w5	75	23	64	41	48	48	7	75	31	71	40	57	56	8	75	54	122	68	105	104	12
		w8	75	-32	69	101	56	53	14	75	-28	84	112	66	63	18	75	-60	143	203	124	116	31
	m60	w0	75	-5	53	58	37	36	11	75	-8	62	70	41	40	13	75	-13	106	119	79	76	22
		w2	75	-17	61	78	47	45	12	75	-9	72	81	55	50	14	75	-26	120	146	101	95	25
		w5	75	18	82	64	60	57	12	75	25	86	61	68	64	14	75	52	158	106	128	122	24
		w8	69	-49	100	149	70	65	23	69	-56	99	155	80	73	24	69	-105	190	295	151	138	45
	m65	w0	75	29	62	33	47	47	7	75	29	76	47	54	54	9	75	66	124	58	101	101	12
		w2	75	43	101	58	59	60	9	75	45	101	56	66	66	9	75	98	202	104	126	126	15
		w5	75	34	97	63	69	70	10	75	24	100	76	81	80	12	75	58	179	121	150	150	18
		w8	66	30	146	116	88	87	15	66	23	161	138	99	96	18	66	69	307	238	185	183	29
m90	w0	75	7	82	75	65	62	15	75	1	89	88	67	65	16	75	9	159	150	131	128	26	
	w2	75	23	108	85	77	78	15	75	36	111	75	84	81	15	75	76	197	121	164	159	24	
	w5	72	14	130	116	96	94	20	72	2	134	132	105	103	22	72	17	238	221	206	197	38	
	w8	41	-4	147	151	120	109	31	41	-3	147	150	119	113	30	41	-7	291	298	246	222	59	

(Fortsetzung nächste Seite)



Tabelle 5-11:
(Fortsetzung)

T	TB	WI	Längskraft der linken Hand							Längskraft der rechten Hand							Längskraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
tz	m30	w0	75	-53	-2	51	-15	-16	9	75	-65	-3	62	-15	-18	12	75	-117	-11	106	-30	-34	20
		w2	75	-60	-4	56	-20	-20	9	75	-66	-4	62	-20	-22	11	75	-127	-7	120	-39	-42	19
		w5	72	-107	-13	94	-26	-30	17	72	-110	-11	99	-28	-32	20	72	-216	-26	190	-54	-62	36
		w8	68	-74	-19	55	-32	-32	8	68	-108	-17	91	-36	-35	12	68	-182	-39	143	-66	-67	19
	m40	w0	75	-40	0	40	-19	-19	8	75	-61	-8	53	-27	-28	10	75	-83	-19	64	-48	-48	14
		w2	74	-39	0	39	-27	-26	9	74	-71	-10	61	-34	-35	10	74	-83	-15	68	-62	-60	15
		w5	75	-55	0	55	-34	-33	11	75	-85	-11	74	-42	-43	14	75	-108	-23	85	-79	-76	17
		w8	75	-73	0	73	-47	-44	13	75	-115	-23	92	-56	-55	16	75	-139	-48	91	-103	-100	17
	m45	w0	75	-85	-3	82	-24	-24	12	75	-96	1	97	-24	-25	14	75	-181	-2	179	-48	-50	25
		w2	72	-81	-13	68	-31	-31	10	72	-90	-9	81	-32	-33	12	72	-171	-27	144	-63	-64	21
		w5	68	-113	-15	98	-41	-40	13	68	-129	-5	124	-43	-41	15	68	-242	-20	222	-83	-81	27
		w8	63	-66	-28	38	-50	-50	9	63	-65	-27	38	-52	-51	9	63	-122	-57	65	-105	-100	17
	m60	w0	75	-61	-6	55	-33	-33	10	75	-70	-6	64	-35	-35	12	75	-131	-25	106	-66	-68	21
		w2	72	-94	-19	75	-44	-44	11	72	-106	-30	76	-44	-46	12	72	-201	-54	147	-88	-90	22
		w5	66	-71	134	205	-58	-48	29	66	-74	-7	67	-58	-53	14	66	-136	67	203	-116	-101	36
		w8	58	-85	-11	74	-69	-66	14	58	-82	-24	58	-71	-66	14	58	-162	-35	127	-142	-132	26
	m65	w0	75	-48	0	48	-34	-32	12	75	-97	-4	93	-45	-44	15	75	-110	-8	102	-78	-76	20
		w2	72	-64	1	65	-43	-39	16	72	-110	1	111	-55	-52	18	72	-127	2	129	-99	-92	27
		w5	75	-84	0	84	-63	-59	18	75	-154	-31	123	-70	-70	19	75	-173	-50	123	-136	-129	29
		w8	57	-101	0	101	-78	-73	23	57	-165	-47	118	-88	-86	24	57	-209	-96	113	-165	-160	28
	m90	w0	75	-75	0	75	-51	-46	17	75	-132	-22	110	-63	-62	20	75	-151	-40	111	-114	-108	28
		w2	75	-88	0	88	-65	-58	21	75	-167	-25	142	-77	-75	22	75	-187	-44	143	-142	-133	32
		w5	71	-125	0	125	-89	-81	27	71	-190	-17	173	-95	-92	30	71	-243	-45	198	-183	-172	45
		w8	24	-146	-30	116	-110	-111	25	24	-142	-28	114	-117	-109	25	24	-281	-58	223	-234	-221	45



Abbildung 5-24:
Box-Plots der Längskraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Schieben

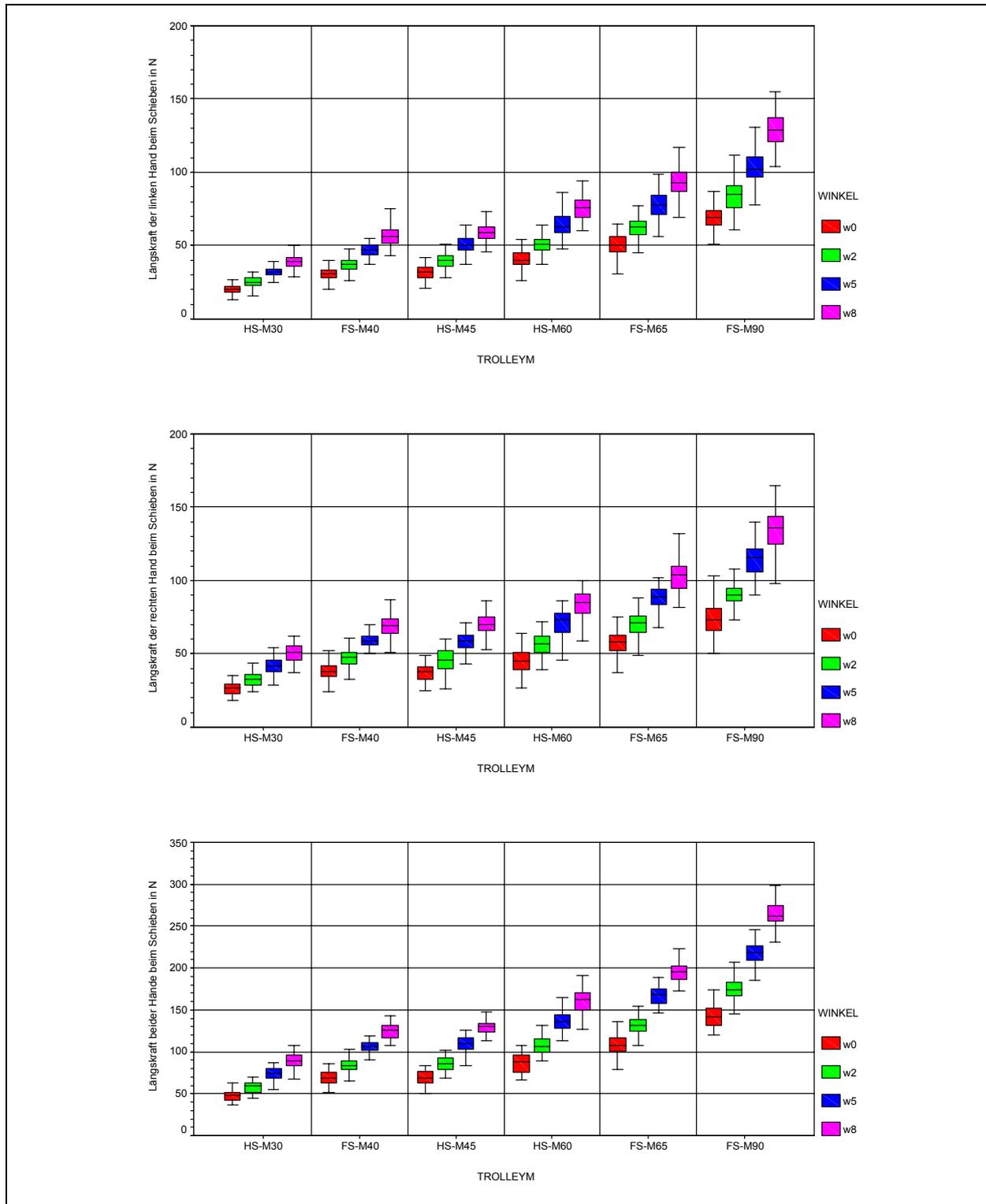




Abbildung 5-25:
Box-Plots der Längskraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

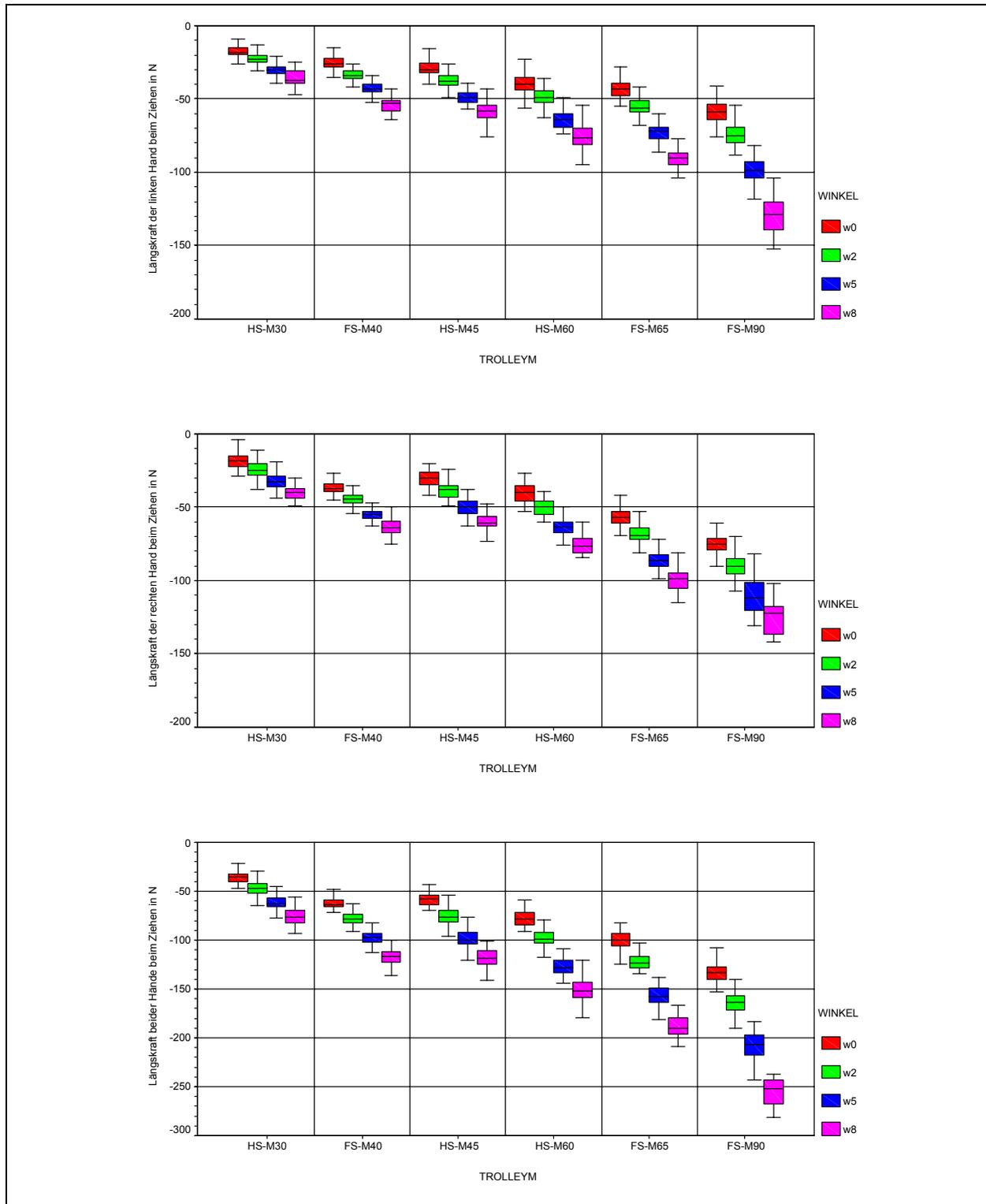




Tabelle 5-12:
Statistische Daten der Vertikalkraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

T	TB	WI	Vertikalkraft der linken Hand							Vertikalkraft der rechten Hand							Vertikalkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
ts	m30	w0	75	-47	-7	40	-24	-24	9	75	-51	-12	39	-27	-28	9	75	-91	-24	67	-53	-52	16
		w2	75	-48	-7	41	-26	-25	9	75	-56	-11	45	-27	-29	10	75	-95	-20	75	-54	-54	17
		w5	75	-56	-4	52	-26	-27	10	75	-67	-2	65	-28	-30	13	75	-122	-6	116	-54	-58	21
		w8	75	-65	7	72	-25	-27	15	75	-72	8	80	-29	-29	16	75	-136	15	151	-53	-57	29
	m40	w0	75	-45	10	55	-19	-20	11	75	-48	3	51	-19	-20	11	75	-93	2	95	-42	-40	19
		w2	75	-48	2	50	-21	-19	12	75	-44	15	59	-18	-17	12	75	-85	15	100	-38	-36	22
		w5	75	-42	31	73	-15	-12	15	75	-40	56	96	-11	-8	17	75	-74	84	158	-27	-20	30
		w8	75	-36	61	97	-9	-3	20	75	-23	60	83	-2	4	20	75	-50	96	146	-11	1	36
	m45	w0	75	-52	-10	42	-30	-29	10	75	-70	-11	59	-31	-32	12	75	-119	-26	93	-60	-62	21
		w2	75	-56	-8	48	-32	-31	12	75	-69	-7	62	-32	-33	12	75	-125	-28	97	-62	-64	21
		w5	75	-64	1	65	-33	-31	14	75	-66	17	83	-33	-32	17	75	-130	7	137	-65	-63	29
		w8	75	-75	29	104	-27	-27	20	75	-70	43	113	-30	-28	22	75	-145	62	207	-61	-56	39
	m60	w0	75	-57	-5	52	-28	-29	11	75	-65	-11	54	-30	-33	13	75	-119	-26	93	-61	-62	22
		w2	75	-66	-4	62	-31	-32	12	75	-81	1	82	-33	-34	15	75	-146	-13	133	-63	-67	25
		w5	75	-64	48	112	-28	-28	18	75	-74	20	94	-31	-30	19	75	-138	63	201	-62	-58	35
		w8	69	-61	34	95	-24	-21	20	69	-67	58	125	-25	-22	25	69	-125	79	204	-48	-44	42
	m65	w0	75	-43	18	61	-23	-20	12	75	-56	36	92	-18	-18	15	75	-99	54	153	-39	-39	26
		w2	75	-49	22	71	-19	-16	16	75	-40	33	73	-16	-12	17	75	-82	50	132	-36	-29	31
		w5	75	-41	61	102	-9	-3	22	75	-33	69	102	-4	3	25	75	-73	118	191	-10	-1	44
		w8	66	-30	91	121	6	10	25	66	-19	114	133	10	18	29	66	-33	180	213	20	28	51
m90	w0	75	-43	36	79	-19	-14	19	75	-42	86	128	-15	-11	22	75	-80	114	194	-36	-24	38	
	w2	75	-44	41	85	-15	-11	21	75	-44	63	107	-12	-6	23	75	-83	104	187	-26	-17	41	
	w5	72	-38	94	132	11	14	27	72	-35	148	183	15	24	35	72	-39	197	236	26	38	59	
	w8	41	-20	77	97	16	17	21	41	-11	181	192	18	22	32	41	-22	258	280	34	39	50	

(Fortsetzung nächste Seite)

Tabelle 5-12:
(Fortsetzung)

T	TB	WI	Vertikalkraft der linken Hand							Vertikalkraft der rechten Hand							Vertikalkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
tz	m30	w0	75	0	79	79	33	36	16	75	3	95	92	47	46	18	75	7	143	136	83	82	31
		w2	75	-3	82	85	37	36	18	75	-8	94	102	47	46	20	75	-11	153	164	86	82	35
		w5	72	4	103	99	39	43	20	72	11	113	102	49	53	22	72	15	196	181	85	96	39
		w8	68	8	101	93	36	39	15	68	18	121	103	48	53	22	68	26	192	166	85	91	33
	m40	w0	75	-11	39	50	1	3	8	75	-12	31	43	6	7	8	75	-19	65	84	10	10	15
		w2	74	-13	18	31	4	4	7	74	-16	32	48	7	8	9	74	-23	49	72	13	12	13
		w5	75	-17	35	52	8	8	9	75	-13	52	65	13	14	11	75	-13	83	96	20	22	17
		w8	75	-17	53	70	10	12	13	75	-14	62	76	19	20	13	75	-19	93	112	31	32	22
	m45	w0	75	-3	101	104	38	39	21	75	-10	102	112	49	48	22	75	-13	193	206	90	87	41
		w2	72	9	105	96	46	46	20	72	-2	109	111	57	56	22	72	8	199	191	100	102	40
		w5	68	-16	126	142	45	46	23	68	-15	123	138	59	59	28	68	-7	224	231	106	105	48
		w8	63	25	94	69	49	53	18	63	9	149	140	61	68	28	63	56	208	152	115	121	41
	m60	w0	75	11	111	100	46	48	20	75	2	127	125	58	57	24	75	19	238	219	103	105	41
		w2	72	24	124	100	55	56	21	72	20	129	109	69	70	24	72	51	237	186	124	126	40
		w5	66	5	128	123	58	57	25	66	-6	139	145	76	70	32	66	-1	260	261	129	128	54
		w8	58	-1	115	116	60	61	26	58	12	166	154	78	84	34	58	11	277	266	135	145	57
m65	w0	75	-12	26	38	6	6	7	75	-8	35	43	11	13	10	75	-20	57	77	19	19	15	
	w2	72	-12	31	43	8	8	9	72	-10	42	52	14	15	12	72	-14	73	87	23	24	17	
	w5	75	-26	34	60	9	10	12	75	-8	56	64	15	17	12	75	-22	88	110	27	27	21	
	w8	57	-13	46	59	12	13	13	57	-6	73	79	15	19	16	57	-16	119	135	32	32	26	
m90	w0	75	-14	36	50	12	11	9	75	-2	54	56	18	20	12	75	-2	86	88	30	31	17	
	w2	75	-22	40	62	12	13	13	75	-12	62	74	21	23	14	75	-34	88	122	38	36	24	
	w5	71	-18	57	75	15	18	16	71	-13	74	87	18	22	17	71	-17	122	139	36	39	29	
	w8	24	-17	42	59	17	13	16	24	-12	39	51	15	14	16	24	-29	72	101	28	27	29	



Abbildung 5-26:
Box-Plots der Vertikalkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Schieben

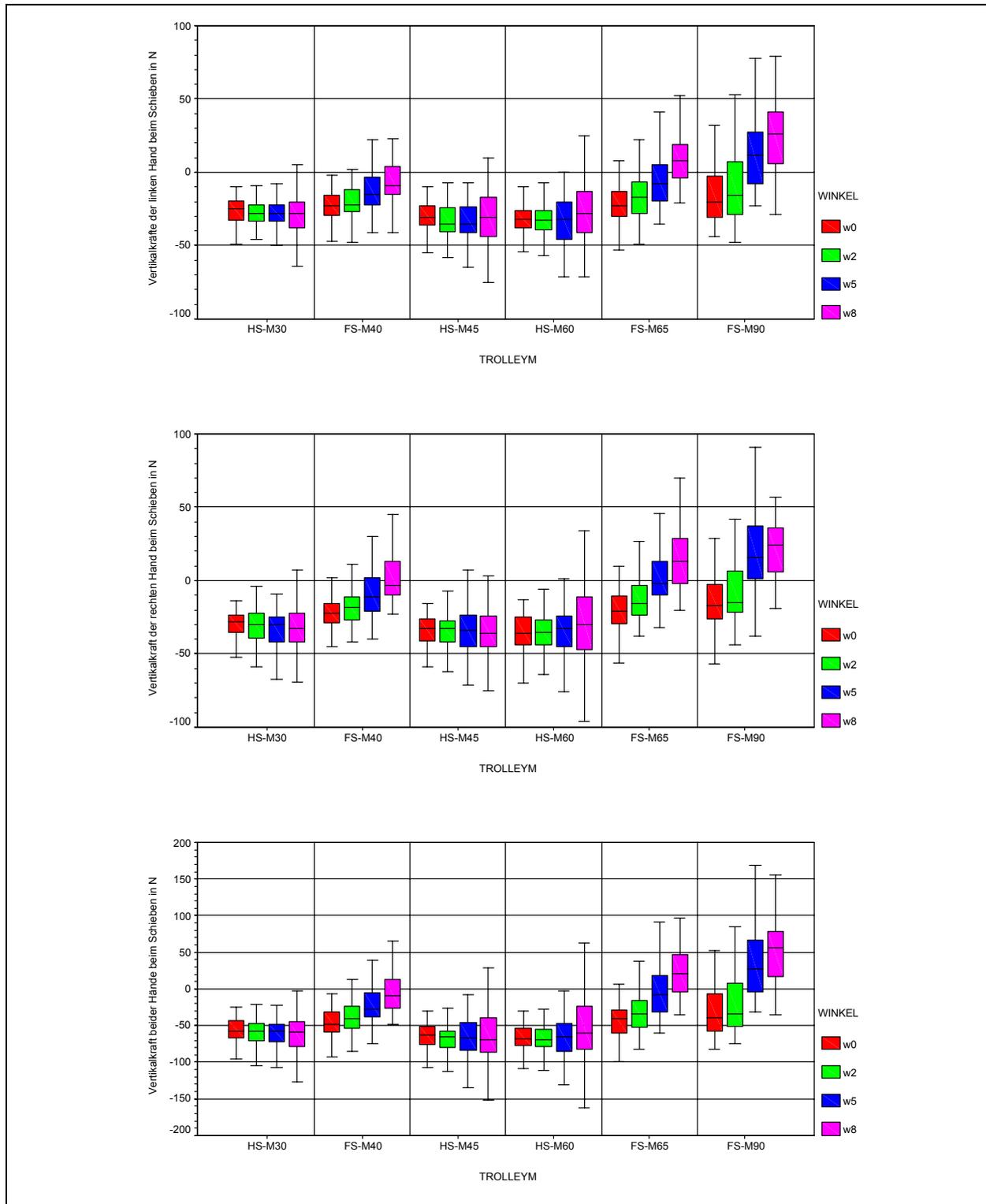




Abbildung 5-27:
Box-Plots der Vertikalkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

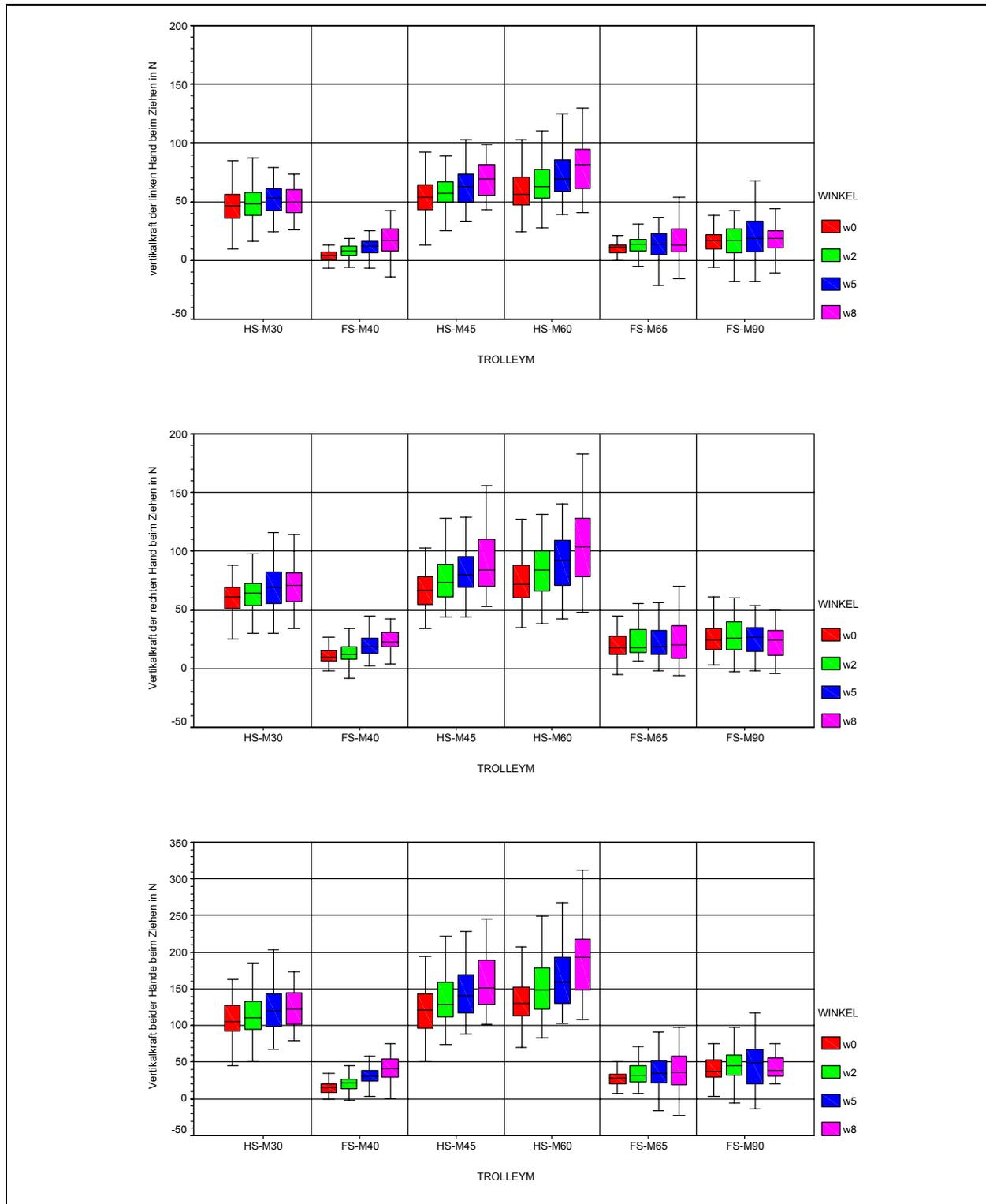




Tabelle 5-13:
Statistische Daten der Querkraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

T	TB	WI	Querkraft der linken Hand							Querkraft der rechten Hand							Querkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
ts	m30	w0	75	-4	13	17	3	3	3	75	-10	17	27	-4	-3	6	75	-7	18	25	-1	0	6
		w2	75	-2	12	14	3	3	3	75	-12	21	33	-5	-3	6	75	-9	24	33	-1	1	6
		w5	75	-3	14	17	4	5	4	75	-16	15	31	-5	-5	6	75	-8	18	26	-1	0	5
		w8	75	-2	21	23	5	6	5	75	-26	17	43	-5	-6	7	75	-9	22	31	0	0	5
	m40	w0	75	-5	12	17	2	3	3	75	-11	8	19	-2	-2	4	75	-10	11	21	0	0	4
		w2	75	-4	10	14	3	3	3	75	-10	4	14	-3	-3	4	75	-6	8	14	0	0	3
		w5	75	-3	13	16	3	4	3	75	-15	5	20	-2	-3	5	75	-8	11	19	1	1	3
		w8	75	-4	14	18	3	4	4	75	-19	8	27	-1	-3	6	75	-9	12	21	0	1	4
	m45	w0	75	-3	13	16	3	4	3	75	-15	21	36	-4	-3	7	75	-11	22	33	-1	1	6
		w2	75	-4	14	18	4	4	4	75	-16	18	34	-5	-5	7	75	-10	18	28	-1	0	6
		w5	75	-2	20	22	5	6	5	75	-26	20	46	-5	-4	9	75	-10	32	42	1	2	8
		w8	75	-4	29	33	5	7	8	75	-35	7	42	-5	-8	9	75	-14	13	27	-1	-1	5
	m60	w0	75	-15	16	31	4	4	5	75	-15	21	36	-6	-3	8	75	-23	26	49	0	1	9
		w2	75	-13	17	30	4	5	5	75	-19	28	47	-5	-4	9	75	-23	32	55	-1	1	9
		w5	75	-5	33	38	6	7	7	75	-34	19	53	-6	-7	9	75	-12	28	40	-1	0	8
		w8	69	-9	35	44	8	9	9	69	-36	27	63	-8	-9	11	69	-13	30	43	0	1	8
	m65	w0	75	-3	12	15	3	4	4	75	-15	7	22	-3	-3	5	75	-10	14	24	0	1	5
		w2	75	-8	14	22	4	4	5	75	-16	11	27	-2	-3	5	75	-15	19	34	2	2	5
		w5	75	-4	19	23	6	5	5	75	-19	9	28	-3	-4	7	75	-9	19	28	1	2	6
		w8	66	-6	20	26	6	6	6	66	-26	26	52	-1	-3	10	66	-12	41	53	1	4	10
m90	w0	75	-8	14	22	6	5	5	75	-23	8	31	-1	-3	7	75	-16	16	32	3	3	6	
	w2	75	-6	21	27	4	6	6	75	-20	13	33	0	-3	8	75	-15	27	42	3	3	7	
	w5	72	-10	26	36	9	8	8	72	-37	17	54	-5	-6	11	72	-20	25	45	1	2	9	
	w8	41	-31	34	65	8	8	12	41	-36	47	83	-4	-2	15	41	-11	34	45	3	6	11	

(Fortsetzung nächste Seite)

Tabelle 5-13:
(Fortsetzung)

T	TB	WI	Querkraft der linken Hand							Querkraft der rechten Hand							Querkraft beider Hände						
			N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD	N	MIN	MAX	SPW	MED	MW	STD
tz	m30	w0	75	-15	8	23	1	0	4	75	-25	4	29	-6	-6	5	75	-31	4	35	-4	-6	7
		w2	75	-15	7	22	2	0	5	75	-34	3	37	-7	-7	6	75	-29	4	33	-5	-6	7
		w5	72	-22	9	31	1	0	6	72	-28	2	30	-8	-9	6	72	-44	2	46	-6	-9	10
		w8	68	-27	8	35	2	1	5	68	-29	6	35	-8	-8	5	68	-54	11	65	-7	-7	9
	m40	w0	75	-4	10	14	2	2	2	75	-9	9	18	-1	-1	3	75	-7	11	18	0	0	3
		w2	74	-4	9	13	2	2	3	74	-10	18	28	-2	-2	4	74	-8	18	26	0	0	4
		w5	75	-4	11	15	1	1	3	75	-14	11	25	-3	-3	4	75	-14	8	22	-2	-2	4
		w8	75	-5	15	20	1	2	4	75	-18	13	31	-4	-5	5	75	-16	11	27	-3	-3	5
	m45	w0	75	-24	8	32	2	0	5	75	-24	6	30	-6	-7	5	75	-48	10	58	-5	-6	9
		w2	72	-22	7	29	2	0	5	72	-32	3	35	-7	-8	6	72	-45	5	50	-6	-8	9
		w5	68	-36	8	44	3	1	7	68	-36	3	39	-9	-9	6	68	-72	8	80	-7	-8	11
		w8	63	-5	9	14	2	2	3	63	-26	1	27	-10	-10	4	63	-25	3	28	-7	-8	5
	m60	w0	75	-21	14	35	2	1	6	75	-23	3	26	-7	-8	5	75	-43	6	49	-6	-8	8
		w2	72	-20	12	32	2	1	5	72	-28	5	33	-8	-8	6	72	-40	11	51	-5	-7	8
		w5	66	-28	13	41	4	2	6	66	-30	13	43	-10	-10	7	66	-55	20	75	-7	-8	10
		w8	58	-5	13	18	4	4	4	58	-19	15	34	-11	-11	6	58	-19	25	44	-8	-7	6
	m65	w0	75	-3	13	16	2	3	3	75	-9	6	15	-1	-1	3	75	-6	13	19	1	1	4
		w2	72	-7	11	18	2	2	3	72	-14	8	22	-2	-2	4	72	-14	16	30	0	0	5
		w5	75	-6	16	22	3	3	5	75	-19	6	25	-4	-5	5	75	-12	12	24	-2	-2	5
		w8	57	-8	14	22	2	2	5	57	-17	6	23	-6	-6	5	57	-16	13	29	-5	-4	6
m90	w0	75	-3	12	15	3	3	3	75	-18	7	25	-2	-2	4	75	-18	14	32	2	1	5	
	w2	75	-5	13	18	3	3	4	75	-15	10	25	-3	-3	5	75	-10	20	30	0	0	5	
	w5	71	-8	20	28	2	4	6	71	-23	7	30	-5	-6	6	71	-22	13	35	-3	-2	6	
	w8	24	-7	21	28	5	5	7	24	-19	8	27	-10	-8	8	24	-14	16	30	-5	-3	8	



Abbildung 5-28:
Box-Plots der Querkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Schieben

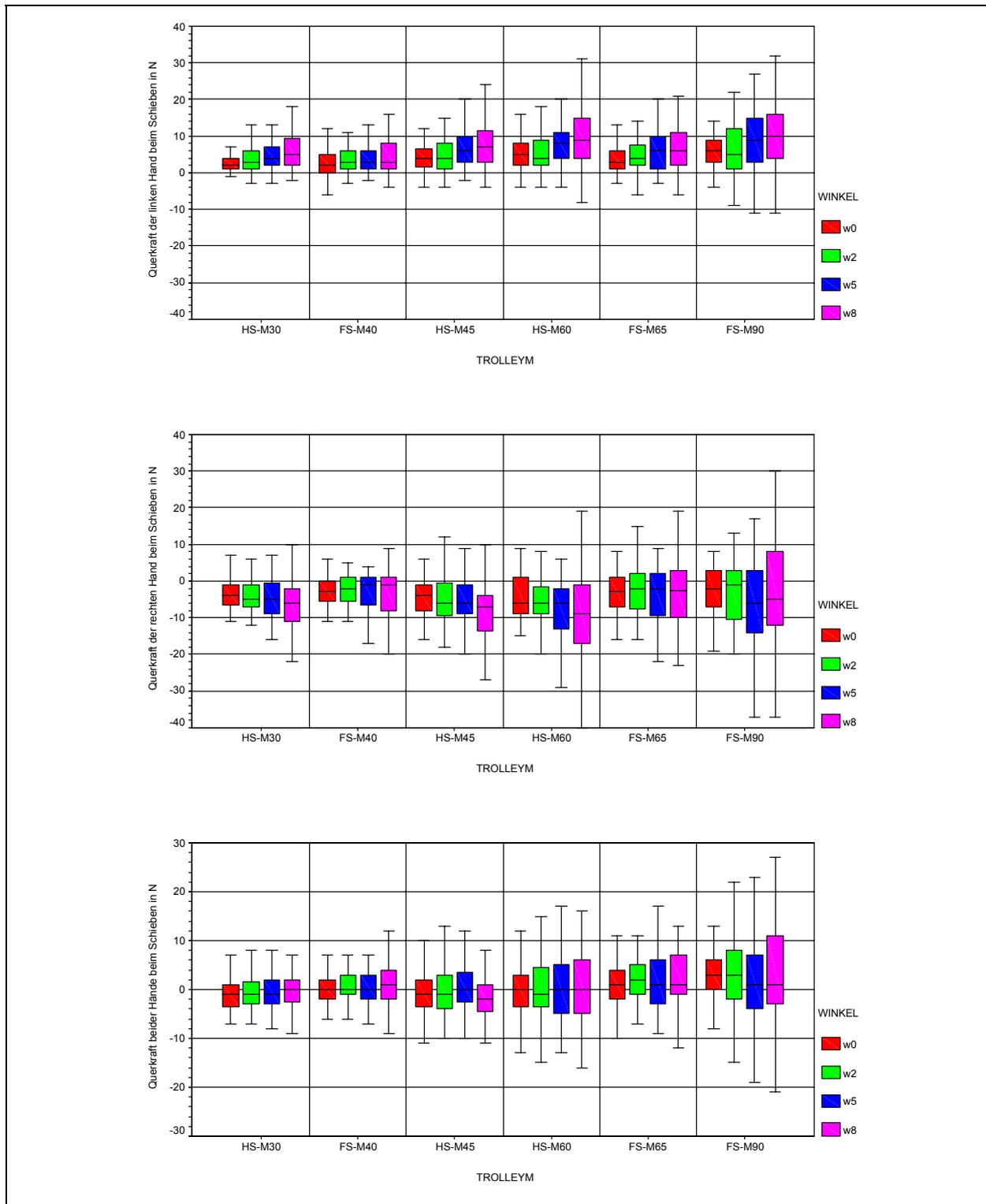




Abbildung 5-29:
Box-Plots der Querkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

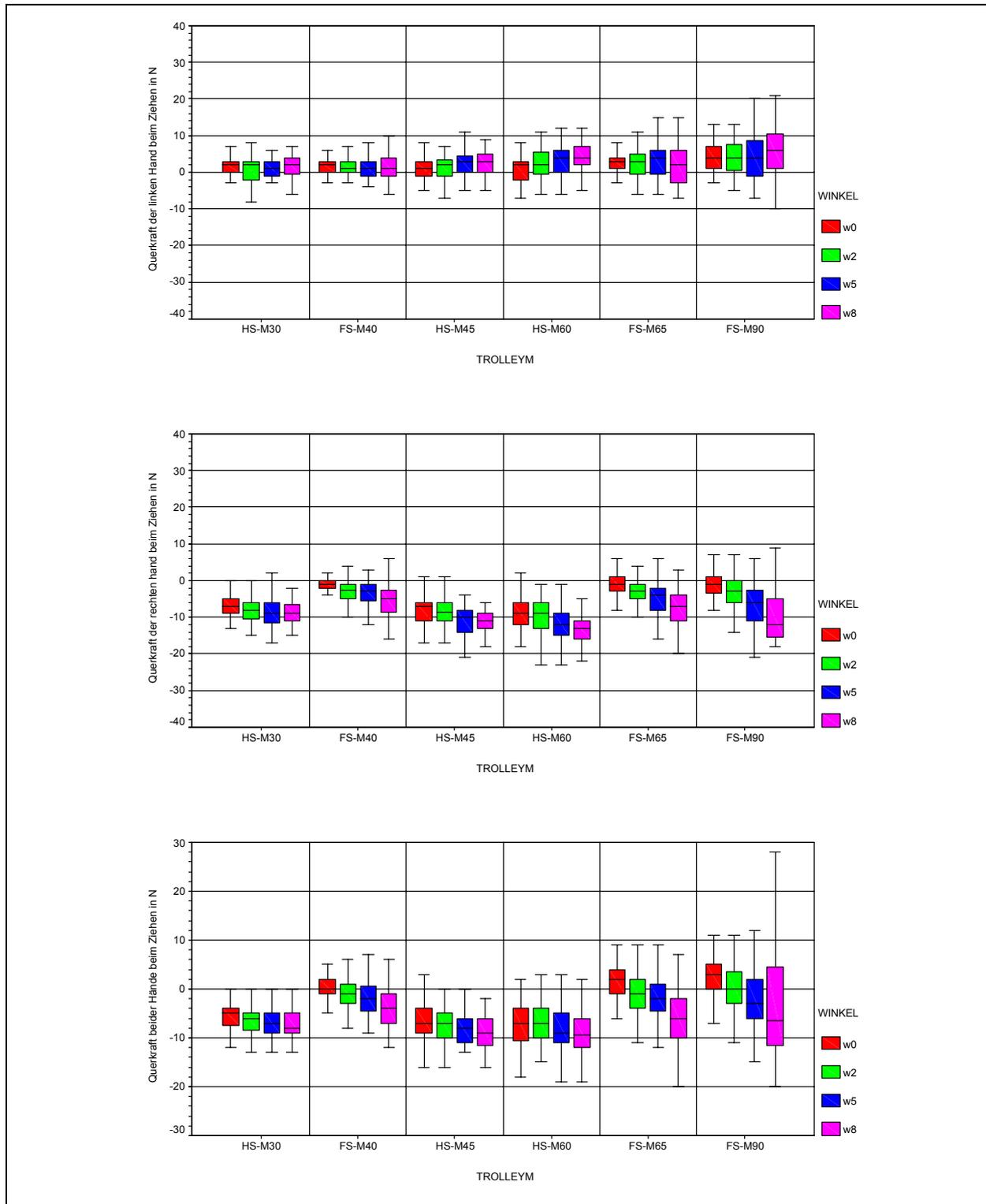




Tabelle 5-14:
Zentralwerte (Mediane) aller Kräfte für die einzelnen Versuchsarten

T	TB	Wl	Gesamtkraft			Längskraft			Vertikalkraft			Querkraft		
			linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände
ts	m30	w0	35	40	76	20	27	48	-25	-28	-57	2	-4	-1
		w2	39	46	84	25	33	59	-28	-30	-58	3	-5	-1
		w5	44	54	95	32	42	74	-28	-30	-57	4	-5	-1
		w8	50	62	110	39	51	89	-28	-33	-59	5	-6	0
	m40	w0	38	47	85	31	38	69	-23	-22	-48	2	-3	0
		w2	44	52	96	37	48	84	-22	-18	-40	3	-2	0
		w5	51	62	114	47	59	106	-15	-11	-27	3	-1	0
		w8	60	71	132	56	69	126	-9	-3	-9	3	-1	1
	m45	w0	46	52	96	32	38	69	-31	-33	-63	4	-4	-1
		w2	54	59	110	40	46	86	-35	-33	-66	4	-6	-1
		w5	63	71	129	50	59	110	-35	-34	-67	6	-6	0
		w8	70	82	149	59	70	130	-31	-36	-69	7	-7	-2
	m60	w0	53	60	115	40	45	88	-32	-36	-68	5	-6	0
		w2	62	70	130	51	57	106	-33	-35	-69	4	-6	-1
		w5	75	82	152	63	73	136	-32	-33	-66	8	-6	0
		w8	85	97	172	76	85	162	-28	-30	-60	9	-9	0
	m65	w0	56	63	117	50	58	108	-23	-21	-41	3	-3	1
		w2	67	75	139	63	71	132	-17	-16	-34	4	-2	2
		w5	84	94	176	78	89	168	-8	-2	-8	6	-2	1
		w8	98	109	204	93	104	196	8	13	21	6	-3	1
	m90	w0	74	78	154	69	73	142	-20	-17	-39	6	-2	3
		w2	89	93	183	85	90	174	-16	-15	-34	5	-1	3
		w5	109	120	229	102	116	218	12	16	28	9	-6	1
		w8	136	140	270	129	136	262	26	24	56	10	-5	1

(Fortsetzung nächste Seite)

Tabelle 5-14:
(Fortsetzung)

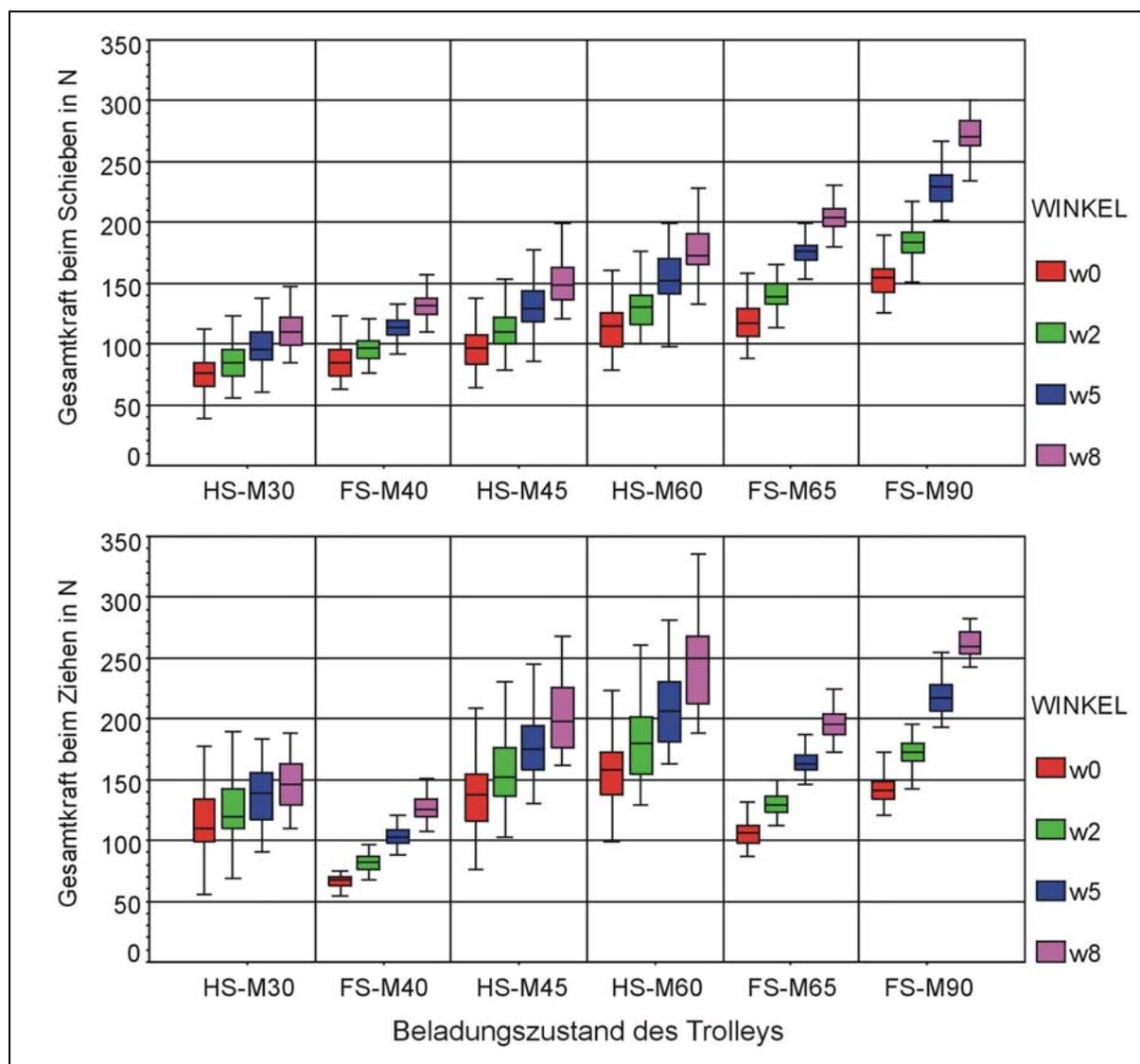
T	TB	WI	Gesamtkraft			Längskraft			Vertikalkraft			Querkraft		
			linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände	linke Hand	rechte Hand	beide Hände
tz	m30	w0	50	65	110	-18	-18	-35	46	61	105	2	-7	-5
		w2	53	69	120	-23	-25	-47	48	64	111	2	-8	-6
		w5	62	78	139	-30	-33	-63	53	70	120	1	-9	-7
		w8	63	83	146	-37	-40	-76	50	71	123	2	-9	-8
	m40	w0	27	39	67	-26	-37	-64	4	10	15	2	-1	0
		w2	36	47	82	-34	-45	-78	8	12	22	1	-3	-1
		w5	46	59	103	-43	-55	-97	12	19	31	1	-3	-2
		w8	58	69	126	-53	-64	-117	17	23	42	1	-5	-4
	m45	w0	62	73	138	-30	-30	-58	54	67	121	1	-7	-7
		w2	69	83	152	-38	-38	-76	57	73	130	2	-9	-7
		w5	80	95	176	-49	-50	-100	63	80	141	3	-10	-8
		w8	92	104	198	-58	-61	-119	69	84	151	3	-11	-9
	m60	w0	71	85	158	-40	-40	-78	56	72	130	2	-9	-7
		w2	82	98	180	-49	-50	-99	63	84	149	2	-9	-7
		w5	96	113	206	-64	-64	-128	69	92	159	4	-12	-9
		w8	113	127	250	-77	-77	-152	82	104	194	4	-13	-10
	m65	w0	45	62	107	-43	-57	-100	11	18	29	3	-1	2
		w2	58	72	129	-56	-69	-124	14	18	33	3	-3	-1
		w5	76	91	163	-72	-86	-158	14	19	35	4	-4	-2
		w8	92	102	196	-90	-99	-190	13	20	36	2	-7	-6
m90	w0	63	80	141	-59	-75	-133	17	24	38	4	-1	3	
	w2	79	95	173	-75	-90	-164	17	26	46	4	-3	0	
	w5	102	118	217	-99	-112	-207	19	27	49	4	-6	-3	
	w8	134	128	259	-129	-123	-252	19	25	39	6	-12	-7	



Um die Konsequenzen aus der Einbeziehung von Grenzwerten für Kräfte beim Ziehen und Schieben bewerten zu können, sind die Gesamtkräfte in den Abbildungen 5-30 bis 5-33 (siehe Seite 233) noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 5-30:

Box-Plots der Gesamtkräfte beim Ziehen und Schieben
(Gruppierung Winkel bei Beladungszustand)

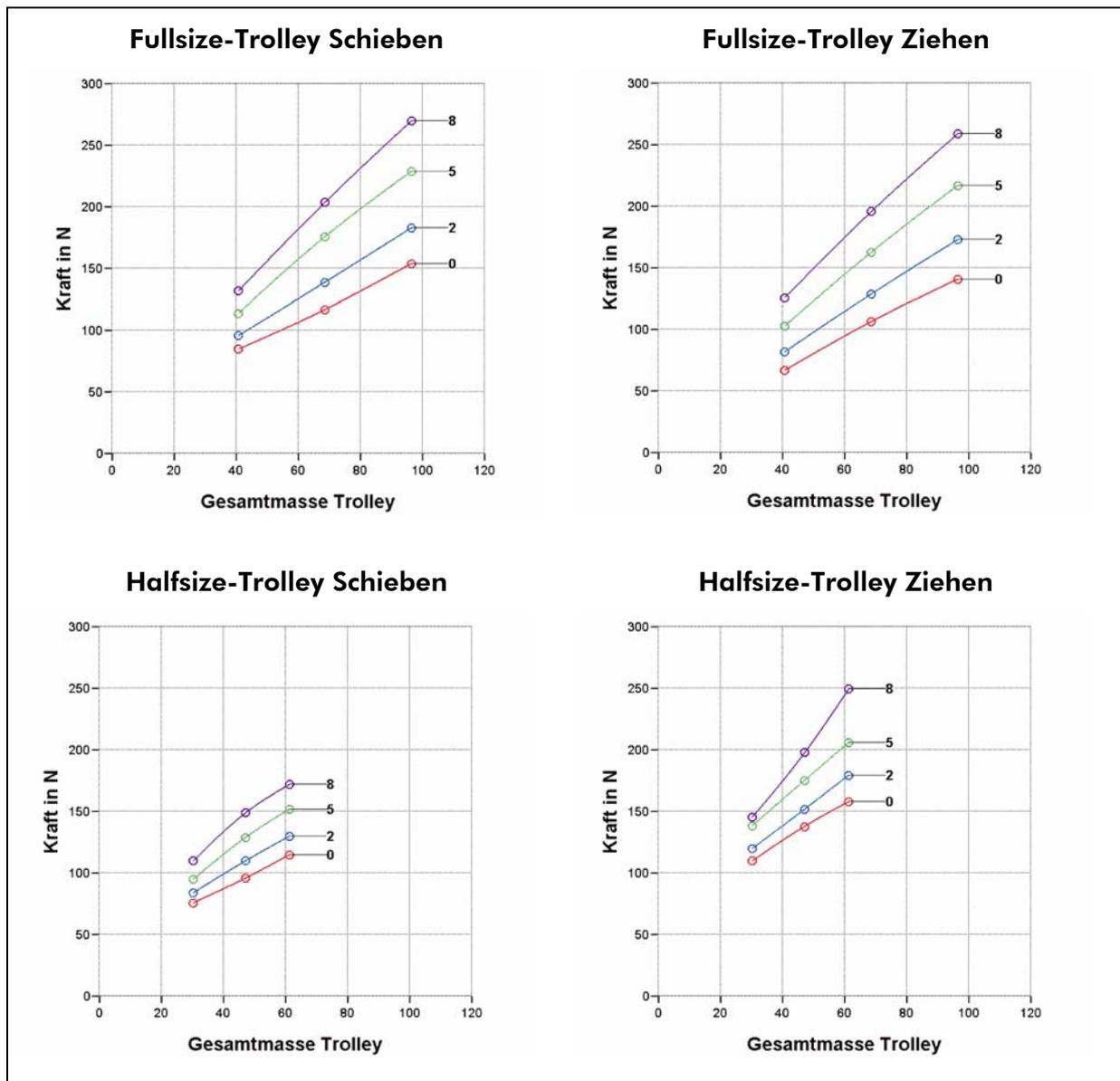


Die Box-Plots in Abbildung 5-30 zeigen den systematischen und dominanten Einfluss der äußeren Parameter „Gesamtmasse des Trolleys“ und „Neigungswinkel der Ebene“



auf die Gesamtkräfte. Für die vier Varianten aus Trolley-Art und Tätigkeit sind in Abbildung 5-31 Spline-Ausgleichskurven für die Mediane der Gesamtkraft dargestellt.

Abbildung 5-31:
Ausgleichskurven der Mediane der Gesamtkraft
(Gruppierung Winkel bei Beladungszustand)



In den Abbildungen 5-30 und 5-31 sind die Kraftwerteverteilungen im Gruppierungssystem „Winkel bei Beladungszustand“ dargestellt. Zum tieferen Verständnis der Daten werden ergänzend dazu in den Abbildungen 5-32 und 5-33 (siehe Seite 232 und



233) die Kraftverteilungen im Gruppierungssystem „Beladungszustand bei Winkel“ dargestellt. Abbildung 5-32 enthält die Darstellung der Box-Plots und Abbildung 5-33 die Darstellung der Spline-Ausgleichskurven der Mediane.

Abbildung 5-32:

Box-Plots der Gesamtkräfte beim Ziehen und Schieben
(Gruppierung Beladungszustand bei Winkel)

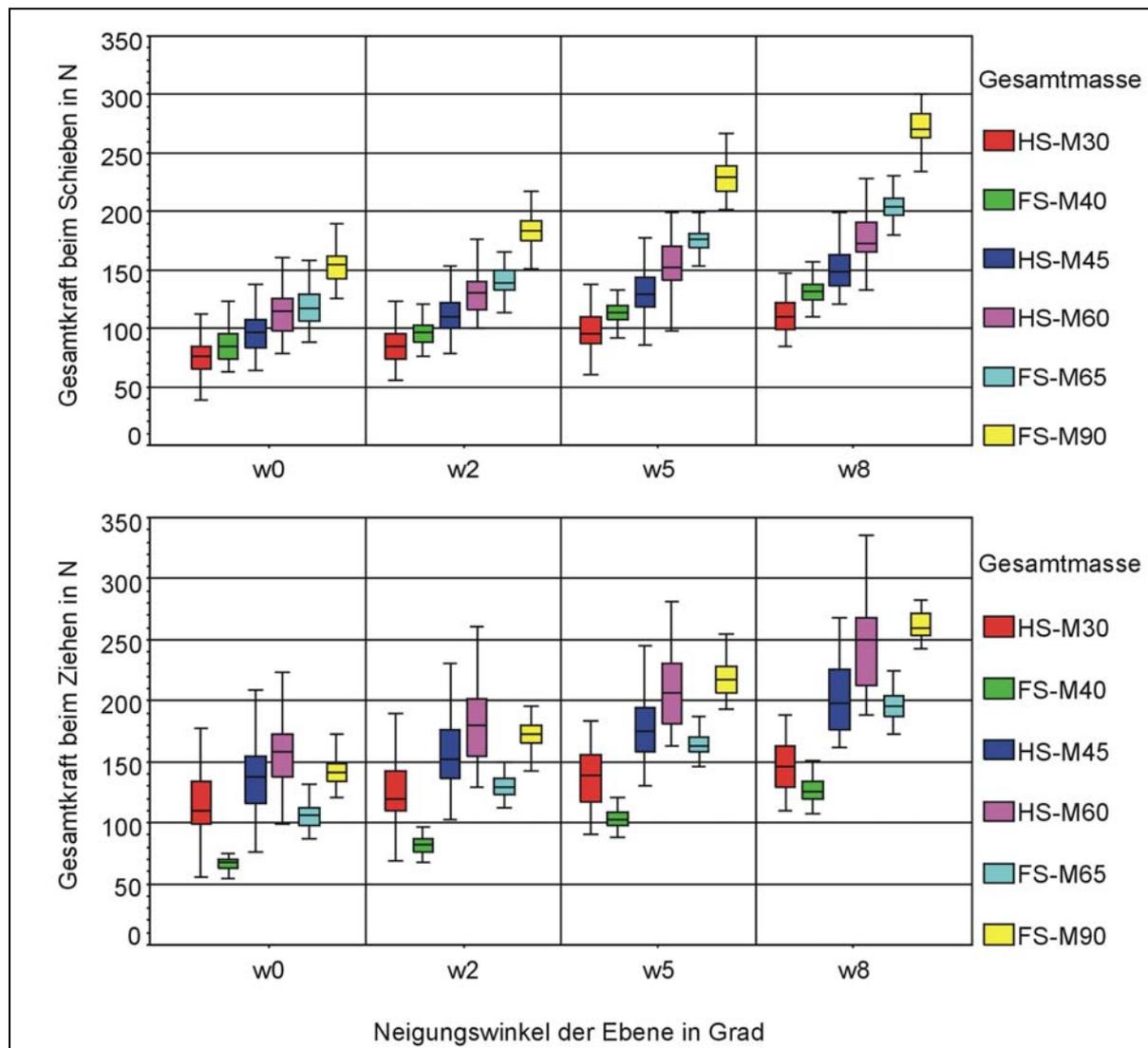
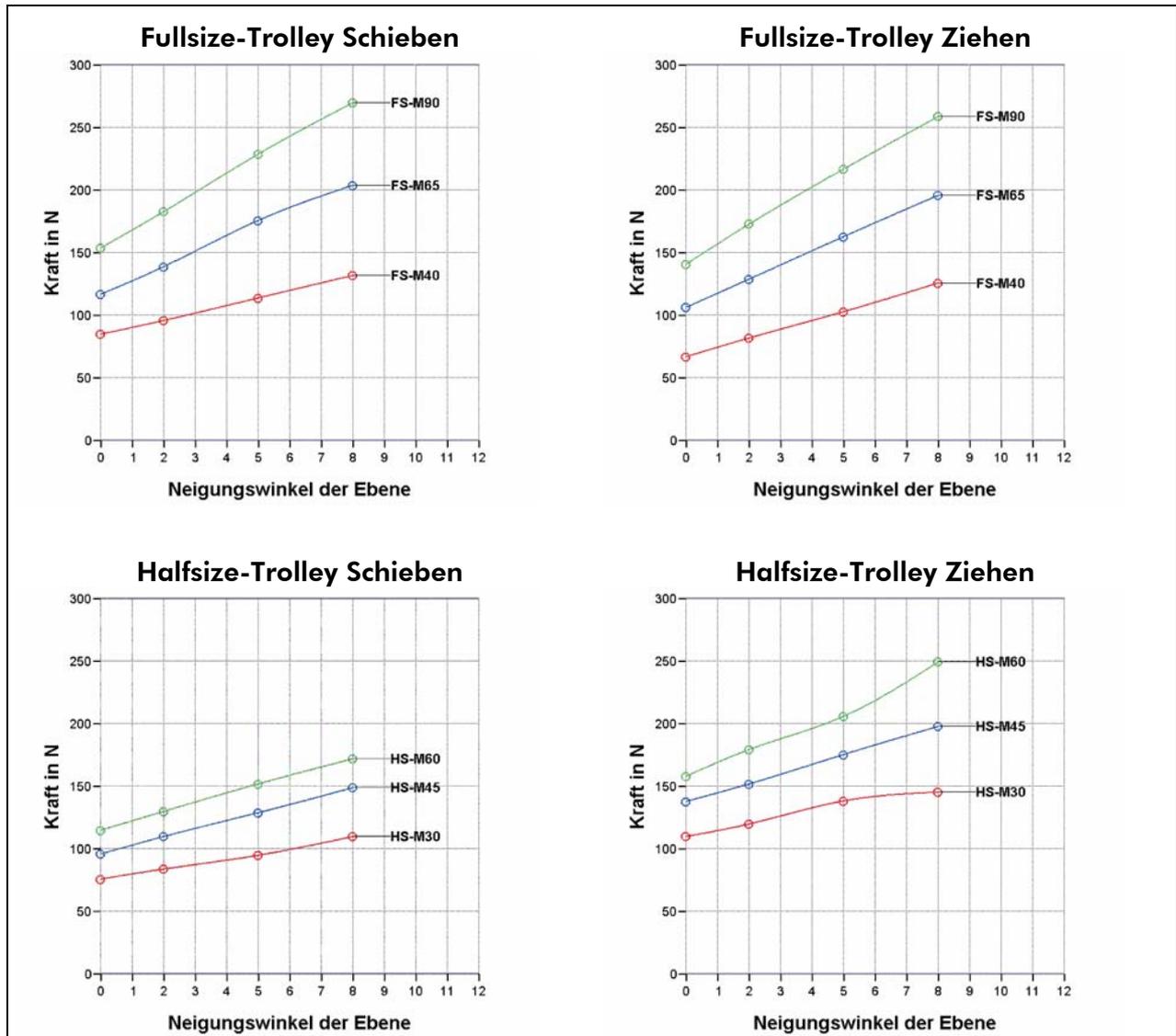




Abbildung 5-33:
Ausgleichskurven der Mediane der Gesamtkraft
(Gruppierung Beladungszustand bei Winkel)



Die Betrachtung der Spline-Ausgleichskurven in den Abbildungen 5-31 und 5-33 lässt vermuten, dass sich die mittleren Gesamtkräfte in ausreichender Näherung durch eine multiple lineare Regression mit den unabhängigen Größen „Gesamtmasse des Trolleys“ und „Neigungswinkel der Ebene“ beschreiben lassen.

In Tabelle 5-15 (siehe Seite 234) sind die berechneten Formeln der multiplen linearen Regression der Gesamtkräfte für die vier Varianten aus Trolley-Art und Tätigkeit auf-



geführt, in Tabelle 5-16 sind die Abweichungen von den Medianen für alle Versuchsvarianten angegeben. Die kleinsten und größten Werte sind grau gekennzeichnet. Diese Werte sind in Tabelle 5-15 beigefügt.

Tabelle 5-15:
Multiple lineare Regressionsformeln für die Gesamtkräfte

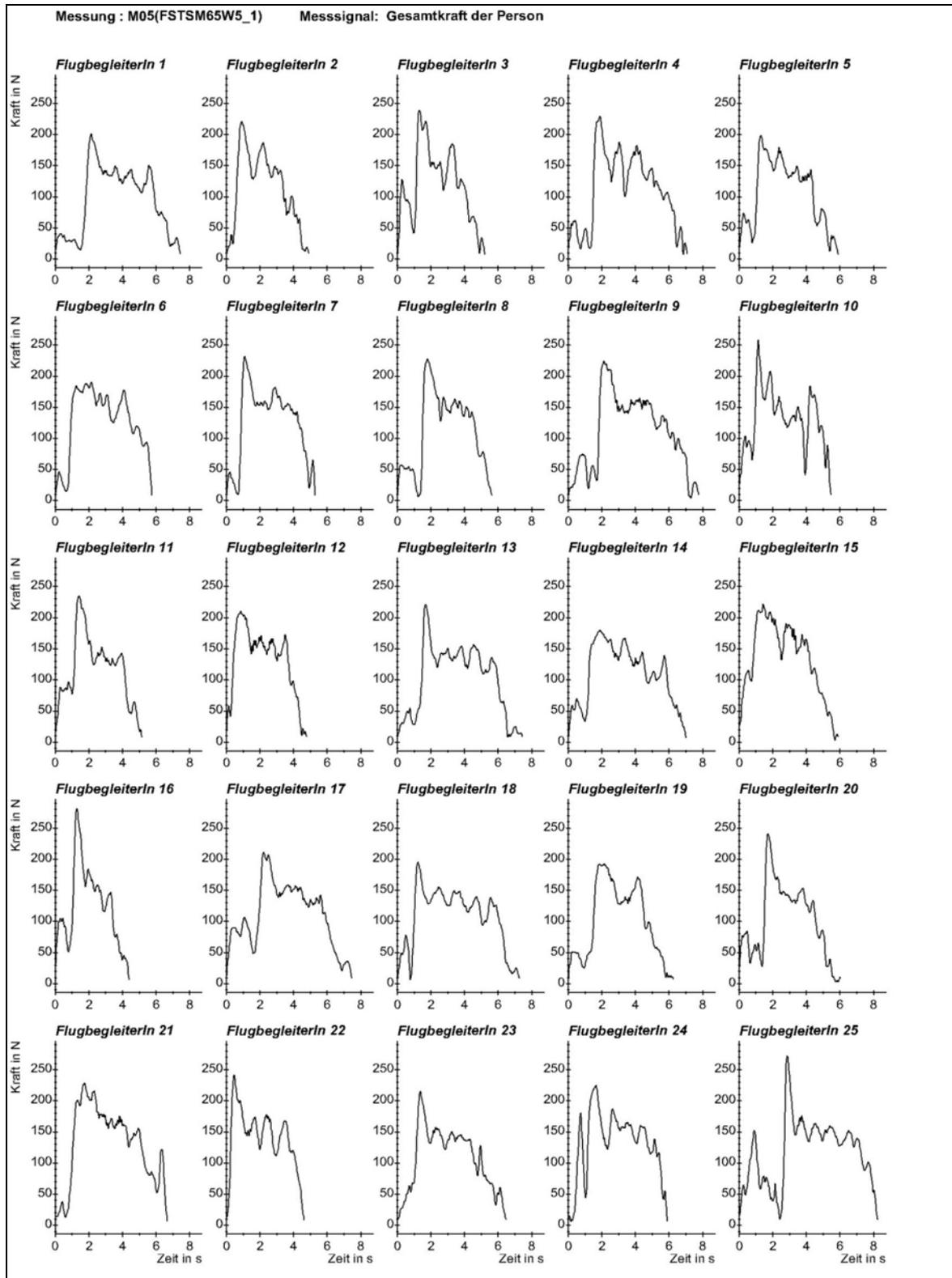
Trolley-Art und Tätigkeit	Regressionsformeln mit: <i>F</i> : Aktionskraft beim Ziehen/Schieben <i>TM</i> : Beladungszustand des Trolleys <i>WI</i> : Neigungswinkel der Ebene	Maximale und minimale Abweichung von den Medianen	
		MIN in N	MAX in N
Fullsize-Trolley Schieben	$F=1,842 \cdot TM + 10,640 \cdot WI - 5,614$	-16	22
Fullsize-Trolley Ziehen	$F=1,754 \cdot TM + 10,590 \cdot WI - 14,217$	-19	16
Halfsize-Trolley Schieben	$F=1,646 \cdot TM + 6,412 \cdot WI + 18,315$	-8	10
Halfsize-Trolley Ziehen	$F=2,040 \cdot TM + 7,126 \cdot WI + 47,462$	-20	21

Tabelle 5-16:
Abweichungen von den Gruppenmedianen der Gesamtkraftverteilung

Trolley-Art	Tätigkeit	Beladungszustand des Trolleys	Neigungswinkel der Ebene			
			w0	w2	w5	w8
Fullsize-Trolley	Schieben	m40	-16	-6	8	22
		m65	3	2	-3	1
		m90	16	9	-5	-14
	Ziehen	m40	-10	-3	7	16
		m65	0	-2	-4	-5
		m90	14	3	-9	-19
Halfsize-Trolley	Schieben	m30	-8	-3	5	9
		m45	0	-1	-1	-2
		m60	4	2	-1	-1
	Ziehen	m30	-1	4	6	21
		m45	6	6	4	3
		m60	15	7	2	-20



Abbildung 5-34:
Gesamtkräfte des Versuches M05

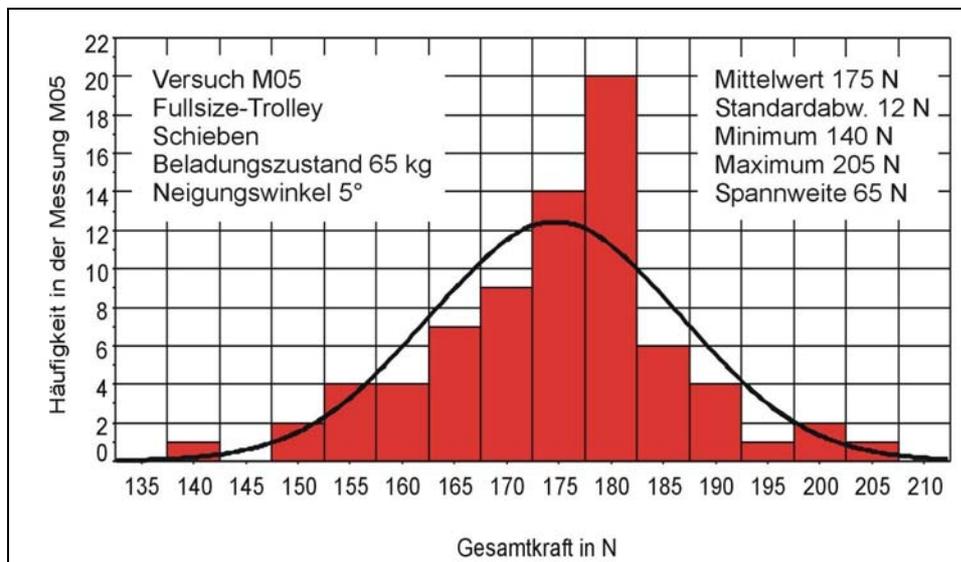




Um einen Eindruck von der Streuung der Gesamtkräfte zu erhalten, sind in Abbildung 5-34 (siehe Seite 235) die Gesamtkräfte aller 25 Flugbegleiter-/innen der Versuchsvariante M05 dargestellt. Es handelt sich um die erste Schiebephase mit dem Fullsize-Trolley bei 5° Neigungswinkel der Ebene und einer Gesamtmasse des Trolleys von 65 kg.

Aus den 25 Signalverläufen ist die Streuung der Gesamtkräfte gut ersichtlich. Der maximale mittlere Kraftwert mit einer Intervallbreite von 1,5 Sekunden streut bei diesem Versuchstyp von 142 N bis 204 N. Die Spannweite beträgt 62 N (siehe Tabelle 5-10). Der Median der Verteilung beträgt 176 N. Die Häufigkeitsverteilung der Gesamtkräfte ist in einer Klassendarstellung mit der Breite 5 N in Abbildung 5-35 dargestellt, zudem sind die zugehörigen Versuchsdaten und die statistischen Werte eingetragen. Zusätzlich ist eine Normalverteilungskurve mit dem Mittelwert und der Standardabweichung eingetragen.

Abbildung 5-35:
Häufigkeitsverteilung der Gesamtkraft in der Messung M05



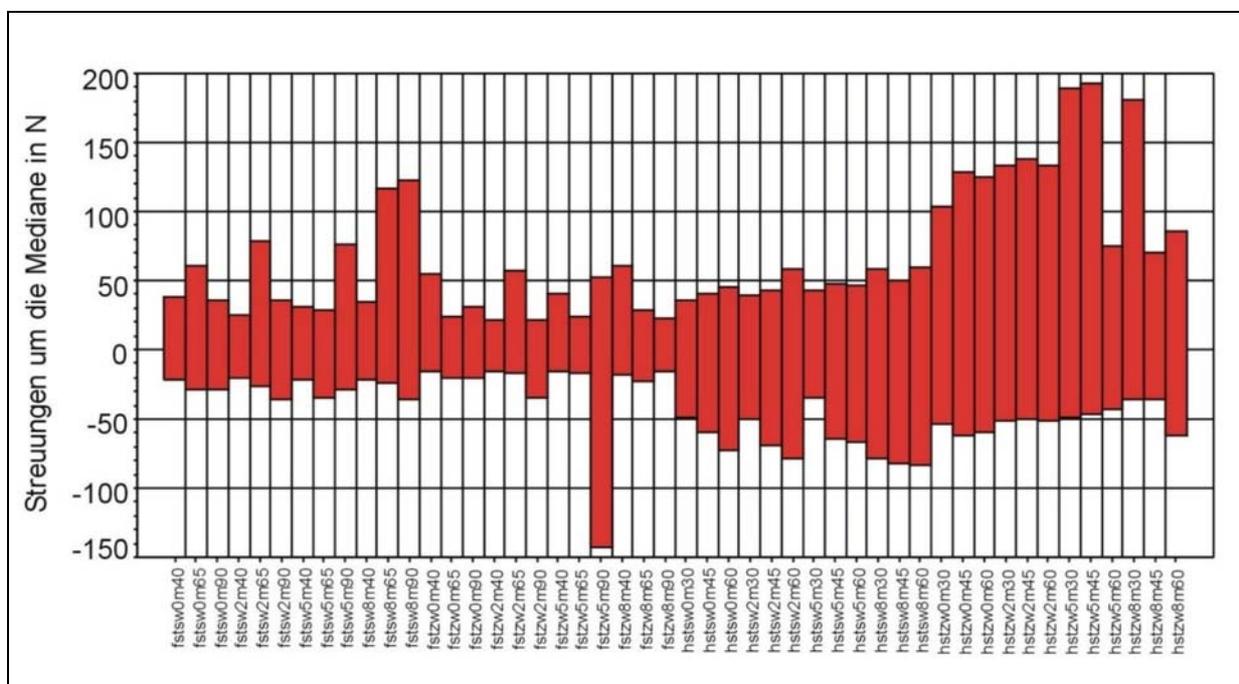
Um eine Beurteilung der Streuungen der Gesamtkräfte zu gewinnen, sind in Abbildung 5-36 (siehe Seite 237) die Streuungen, begrenzt durch das 10. und 90. Perzentil



der Verteilungen, um die auf Null gesetzten Mediane dargestellt. In Abbildung 5-37 (siehe Seite 238) sind die vom 10. und 90. Perzentil gebildeten Streubereiche als prozentuale Anteile des jeweiligen Medians dargestellt.

Auf den Abzissen der Diagramme in den Abbildungen 5-36 und 5-37 sind Bezeichnungen für alle 48 Versuchsvarianten aufgeführt mit Informationen zur Trolley-Art, zur Tätigkeit, zum Neigungswinkel der Ebene und zum Beladungszustand des Trolleys.

Abbildung 5-36:
Streuungen der Gesamtkraft in der Messung M05

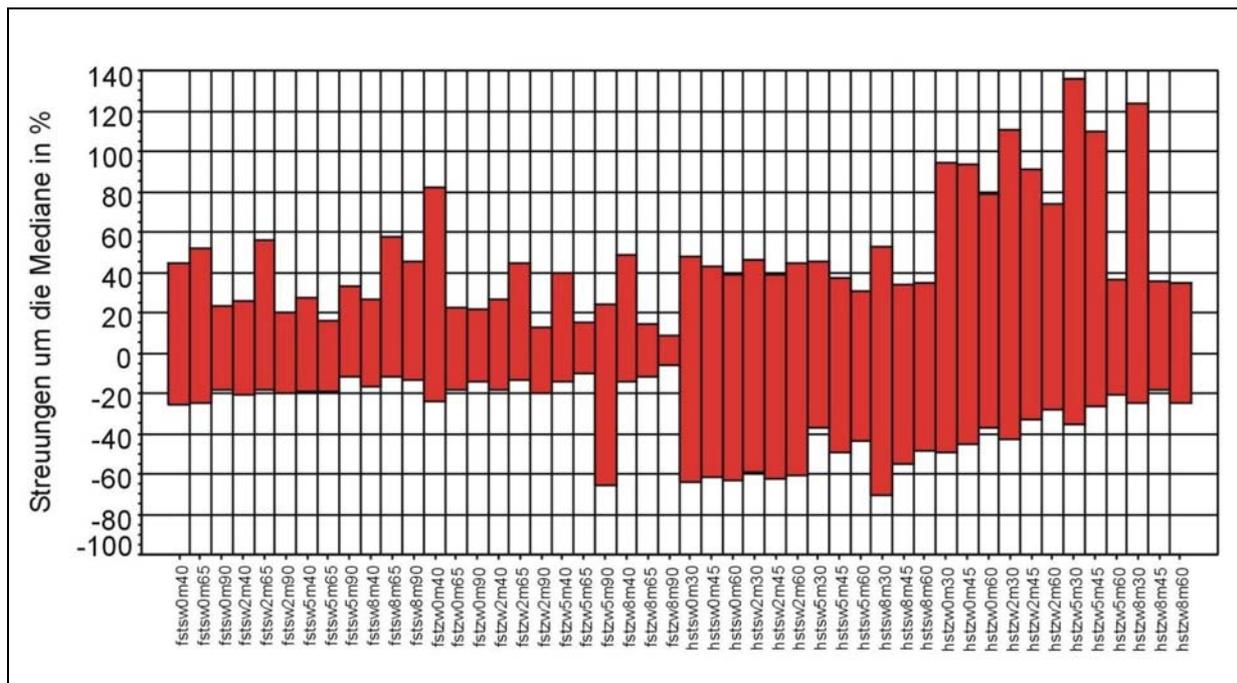


Die linken 24 Balken in den Abbildungen 5-36 und 5-37 stellen die Streuungen zwischen dem 10. und dem 90. Perzentil beim Fullsize-Trolley dar. Innerhalb dieser Gruppe sind die linken 12 Balken die Schiebeversuche und die rechten 12 Balken die Ziehversuche. Entsprechend diesem Schema sind die rechten 24 Balken der beiden Abbildungen dem Halfsize-Trolley zugeordnet. Die Streuungen der Versuche mit dem Halfsize-Trolley sind tendenziell deutlich größer als die der Versuche mit dem Fullsize-Trolley. Innerhalb der vier Gruppen sind keine eindeutigen Tendenzen erkennbar.



Vereinzelt treten sehr hohe Streuungen gegenüber den mittleren Niveaus der vier Gruppen auf.

Abbildung 5-37:
Streuungen der Gesamtkräfte in Prozent vom Median
(bei allen Versuchsvarianten)



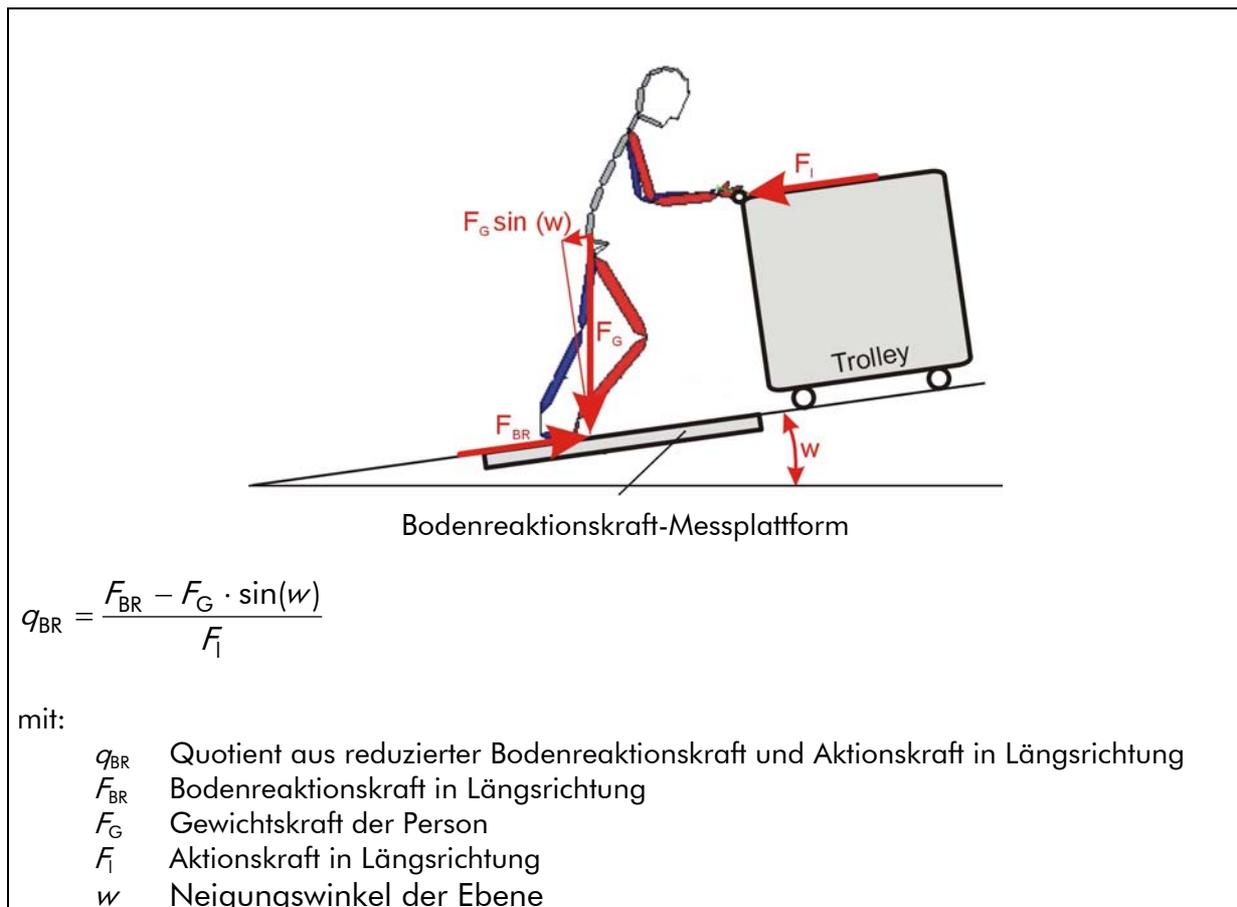
5.3.2 Bodenreaktionskräfte zu Beginn von Zieh- und Schiebevorgängen

In diesem Abschnitt wird ein Vergleich der Bodenreaktionskräfte mit den Aktionskräften am Trolley in Längsrichtung durchgeführt. Aus den Bodenreaktionslängskräften wurde zunächst nach dem gleichen Verfahren wie in Abschnitt 5.2.6 beschrieben der maximale Kraftmittelwert mit einer Zeitdauer von 1,5 Sekunden berechnet. Zeitsynchron wurde dazu der entsprechende Mittelwert aus der Gesamtlängskraft am Trolley ermittelt. Je nach Neigung der Ebene wurde von den so berechneten Werten der Bodenreaktionslängskräfte die Komponente der Personengewichtskraft in Längsrichtung abgezogen. Aus der reduzierten Bodenreaktionskraft und der Längskraft am



Trolley wurde dann der Quotient gebildet. Das gesamte Berechnungsverfahren ist in Abbildung 5-38 dargestellt.

Abbildung 5-38:
Physikalisches Modell zum Vergleich von Bodenreaktionskräften und der Aktionskräfte in Längsrichtung



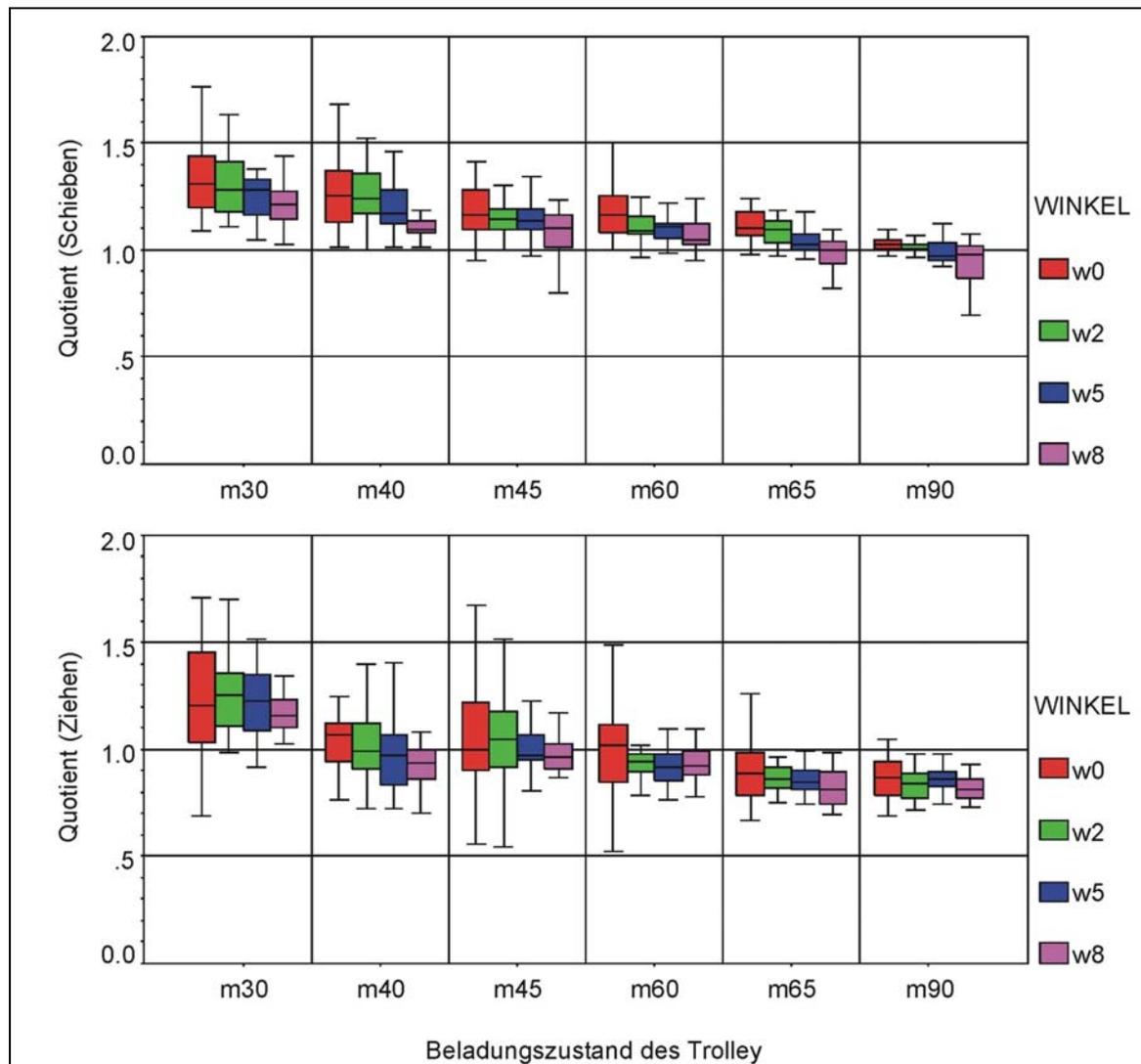
Die Quotienten sind für die Tätigkeiten Schieben und Ziehen in Abbildung 5-39 (siehe Seite 240) in Form von Box-Plots (siehe Beschreibung in Abschnitt 5.3.1) dargestellt. In den Box-Plots sind verschiedene Tendenzen erkennbar.

Beim Schieben (Abbildung 5-39 oben) liegen die Mediane der Quotienten etwa in einem Bereich von 1,0 bis 1,3. Mit steigendem Beladungszustand und steigender Winkelklasse ist jeweils eine fallende Tendenz des Quotientenmedians zu beobachten, d. h., die Längskraft am Trolley wird beim Schieben durch die Bodenreaktionskraft mit



größerer Belastung, Masse und Winkel immer besser abgebildet. Die Streuungen steigen mit sinkendem Beladungszustand und Neigungswinkel.

Abbildung 5-39:
Verteilung der Quotienten nach Beladungszustand
des Trolleys und dem Neigungswinkel



Beim Ziehen ist auch eine sinkende Tendenz bezogen auf die Beladungszustände des Trolleys erkennbar. Der Gesamtbereich der Quotientenmediane erstreckt sich etwa von 0,8 bis 1,2 und liegt insgesamt etwas tiefer gegenüber der Verteilung beim Schieben. Auch hier sind die Quotienten der Beladungszustände des Halfsize-Trolleys



wie bei den Aktionskräften durch eine leichte Überhöhung in der Gesamttendenz auffällig. Bezogen auf die Neigungswinkel der Ebene lässt sich innerhalb der einzelnen Beladungszustände jedoch keine Tendenz beobachten. Die Streuungen der Quotienten des Halfsize-Trolleys sind beim Ziehen größer gegenüber denen des Fullsize-Trolleys.

Die Abweichungen der Einzelwerte vom Idealwert „1“ sind wesentlich durch die beim Starten bedingte Dynamik der Person, d. h. durch Trägheitseffekte, bedingt. Je leichter der Trolley und je kleiner der Neigungswinkel der Ebene war, desto mehr wirkt sich die Probandendynamik beim Starten aus, sowohl auf das Niveau der Quotienten als auch auf die Streuungen. Mit steigendem Beladungszustand und Neigungswinkel nimmt die Auswirkung der Probandendynamik ab. Die Quotientenwerte nähern sich dem Idealwert und die Streuungen werden kleiner.

Das individuelle Bewegungsverhalten der Probanden spiegelt sich in den Streuungen wider. Eckwerte können auch beispielsweise durch Übertreten der Plattformgrenzen mit einem Fuß entstanden sein, sodass weniger Bodenreaktionskraft gemessen wurde. Gelegentlich war beim Starten zu beobachten, dass einer der Füße beim Start sehr nahe am Plattformrand aufgesetzt wurde, sodass hier eine mögliche Fehlerquelle für Randwerte der Verteilungen liegen kann. Die Tendenzen werden am besten durch den Interquartilbereich abgebildet.

Die Tendenzen zeigen, dass Längskraftniveaus beim Ziehen und Schieben dann gut durch die Messung von Bodenreaktionslängskräften ermittelt werden können, wenn die Kräfte hoch sind und Körperbewegungen relativ langsam verlaufen.

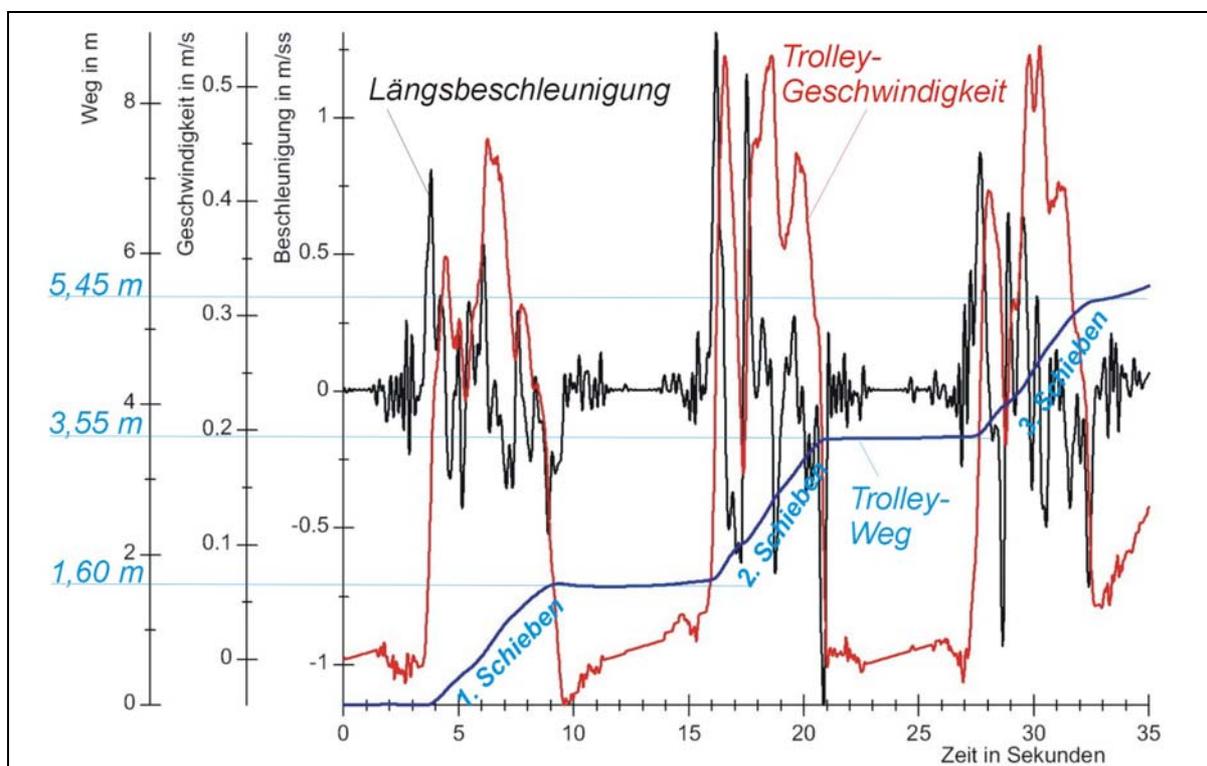
5.3.3 Auswertung der Beschleunigungssignale

Bei allen Laboruntersuchungen wurden auf der Trolley-Oberseite dreidimensionale Beschleunigungsmessungen im Trolley-Koordinatensystem durchgeführt. Zu einer weiteren Analyse der Schiebe- oder Ziehvorgänge sind die Beschleunigungen in Längsrichtung verwendbar. In Abbildung 5-40 (siehe Seite 242) ist die Längsbeschleunigung eines Schiebeversuches bei 8° Neigungswinkel der Ebene und einem Beladungs-



zustand von 65 kg dargestellt. Die Beschleunigungsimpulse der drei hintereinanderliegenden Einzelphasen sind gut zu erkennen. Durch einfache und zweifache Integration des Beschleunigungssignales werden die zeitlichen Verläufe der Trolley-Geschwindigkeit und des zurückgelegten Trolley-Weges berechnet. Für Geschwindigkeit und Weg sind links im Diagramm zwei weitere Skalenachsen angefügt.

Abbildung 5-40:
Berechnung von Trolley-Geschwindigkeit und -Weg
durch Integration der Längsbeschleunigung



Im Verlauf des Trolley-Weges sind die erreichten Distanzen mit anschließenden Pausen nach den einzelnen Schiebephasen ersichtlich. Für die drei Schiebephasen können die Distanzwerte der Schiebephasen entnommen werden. Sie sind zusammen mit den vorgegebenen Distanzen auf der geneigten Ebene in Tabelle 5-17 (siehe Seite 243) aufgeführt.

Für die Probanden war das punktgenaue Schieben der vorgegebenen Weiten nur begrenzt möglich, sodass die ermittelten Werte als realistisch angesehen werden



können. Die vorgegebenen Schiebedistanzen auf der Ebene werden daher von den durch Doppelintegration ermittelten Daten aus dem Diagramm im Wesentlichen bestätigt. Die Wegzunahmen innerhalb der Schiebephasen sind als nahezu linear anzusehen.

Tabelle 5-17:

Vergleich der Trolley-Wege aus der Doppelintegration der Längsbeschleunigung mit den vorgegebenen Distanzen auf der geneigten Ebene

	Weg- markierungen auf der Ebene in m	Distanzen der Markierungen auf der Ebene in m	Trolley-Weg aus Integration in m	Distanzen aus der Integration in m
1. Schiebephase	1,70	1,70	1,60	1,60
2. Schiebephase	3,40	1,70	3,55	1,95
3. Schiebephase	5,10	1,70	5,45	1,90

Für den gesamten Schiebeversuch kann daraus folgend ein Längskraft-Trolley-Weg-Diagramm erstellt werden, aus dem die Schiebearbeit durch Integration der Längskraft über dem Schiebeweg berechnet werden kann. In Abbildung 5-41 (siehe Seite 244) ist der Längskraft-Verlauf und der Schiebearbeit-Trolley-Weg-Verlauf dargestellt.

Aus dem Diagramm sind die drei Schiebephasen zu erkennen, wobei richtigerweise keine Wegzunahme zwischen den Phasen vorliegt. Gegenüber dem zeitlichen Verlauf der Längskraft wird durch die Abhängigkeit vom Trolley-Weg ein konstanteres Verhalten der Längskraft ersichtlich. Für die drei Schiebephasen lassen sich die spezifischen Trolley-Wege und die dazugehörigen Schiebearbeiten entnehmen. In Tabelle 5-18 (siehe Seite 244) sind die Daten zusammenfassend dargestellt.

Standardisiert man die Schiebearbeit auf die Angabe „Schiebearbeit pro Meter Trolley-Weg“, dann erhält man die Werte in der rechten Spalte von Tabelle 5-18. Im Mittel ergibt sich hier eine probandenspezifische Schiebearbeit von 97 Nm pro Meter Trolley-Weg bei einem Neigungswinkel von 8° und einer Trolley-Masse von 65 kg. Dies entspricht einer wegbezogenen mittleren Schiebekraft von 97 N, die aus dem



Diagramm ersichtlich ist. Hier könnte auch eine Standardisierung beispielsweise für eine Sitzreihe gewählt werden, um Schiebearbeiten praxisnah abschätzen zu können.

Abbildung 5-41:
Längskraft-Trolley-Weg-Schiebearbeit-Diagramm des Versuches

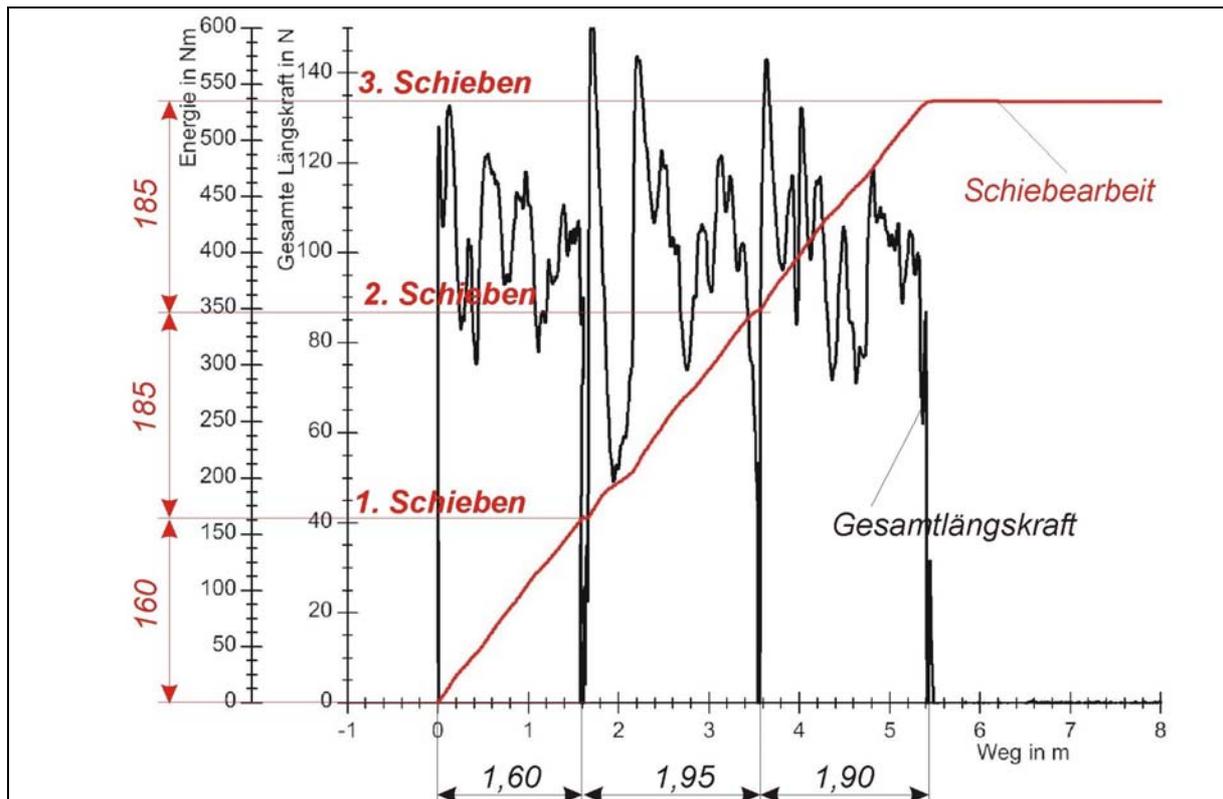


Tabelle 5-18:
Schiebearbeit in den drei Phasen

Schiebeversuch bei 8° Neigung und 65 kg Trolley-Masse			
	Trolley-Weg pro Schiebephase in m	Schiebearbeit pro Schiebephase in Nm	Schiebearbeit pro Meter Trolley-Weg in Nm
1. Schieben	1,60	160	100
2. Schieben	1,95	185	95
3. Schieben	1,90	185	97
Mittelwert	1,82	177	97



Dieses Berechnungsverfahren zur Ermittlung der aufzuwendenden Schiebe- oder Zieharbeit könnte für alle Variationen der Trolley-Masse, des Neigungswinkels und des Probandenkollektivs durchgeführt werden. Es ergäbe sich eine aufschlussreiche Verteilung der Arbeit in Abhängigkeit von den äußeren bestimmenden Größen Masse und Winkel. Zusammen mit den Daten über einen bestimmten Servicebetrieb, beispielsweise eines Fluges oder einer Tagesschicht, ließen sich daraus Belastungen auf der Basis von aufzuwendender Arbeit ableiten. Diese Analyse stellt einen eigenen Auswertungsbereich dar, der in dieser Untersuchung nicht geleistet werden kann, sondern in einem Folgeprojekt bearbeitet werden sollte.

5.3.4 Maximalkraftmessungen des BIA-Probandenkollektivs

Die fünf unterschiedlichen Maximalkrafttests wurden von jedem Probanden zweimal durchgeführt. Aus den Signalverläufen wurden die maximalen mittleren Kräfte mit einer Zeitdauer von 1,5 Sekunden nach dem gleichen Verfahren wie in Abschnitt 4.4.2 beschrieben berechnet. Zusätzlich wurden die beiden Werte für jeden Probanden und jede Testart gemittelt. Die gesamten Maximalkräfte sind in Tabelle 5-19 (siehe Seite 246) zusammengefasst.

In Abbildung 5-42 (siehe Seite 247) sind diese Maximalkraftwerte zur Verdeutlichung der Streuungen und der Niveaus als Punktescharen dargestellt.

Die so erhobenen Maximalkräfte sind für die einzelnen Probanden in Tabelle 5-19 und für das BIA-Kollektiv in Tabelle 5-20 (siehe Seite 248) zusammengefasst.



Tabelle 5-19:
Maximalkräfte des BIA-Probandenkollektivs

Prob. Kennung	Arme schieben horizontal, sitzend	Beine schieben horizontal, sitzend	Arme schieben horizontal in Schulterhöhe, stehend	Arme schieben horizontal in Trolley-Höhe, stehend	Arme ziehen horizontal in Trolley-Höhe, stehend
	Kraft in N	Kraft in N	Kraft in N	Kraft in N	Kraft in N
s01	316	681	149	145	139
s02	667	1 546	295	406	312
s03	604	1 615	230	345	312
s04	529	1 076	236	199	234
s05	319	789	144	225	206
s06	405	929	293	347	320
s07	306	908	231	227	268
s08	317	1 026	147	163	197
s09	644	1 454	273	286	297
s10	467	900	184	234	271
s11	565	1 152	187	229	235
s12	379	1 389	220	216	239
s13	725	1 141	247	305	221
s14	347	767	206	226	195
s15	500	603	154	229	176
s16	434	1 168	176	277	243
s17	404	935	208	241	234
s18	481	1 150	259	250	218
s19	419	1 341	180	222	221
s20	376	815	179	173	213
s21	501	913	185	214	194
s22	251	1 192	225	220	231
s23	1 171	2 790	321	345	340
s24	442	925	309	261	214
s25	734	1 888	348	429	356

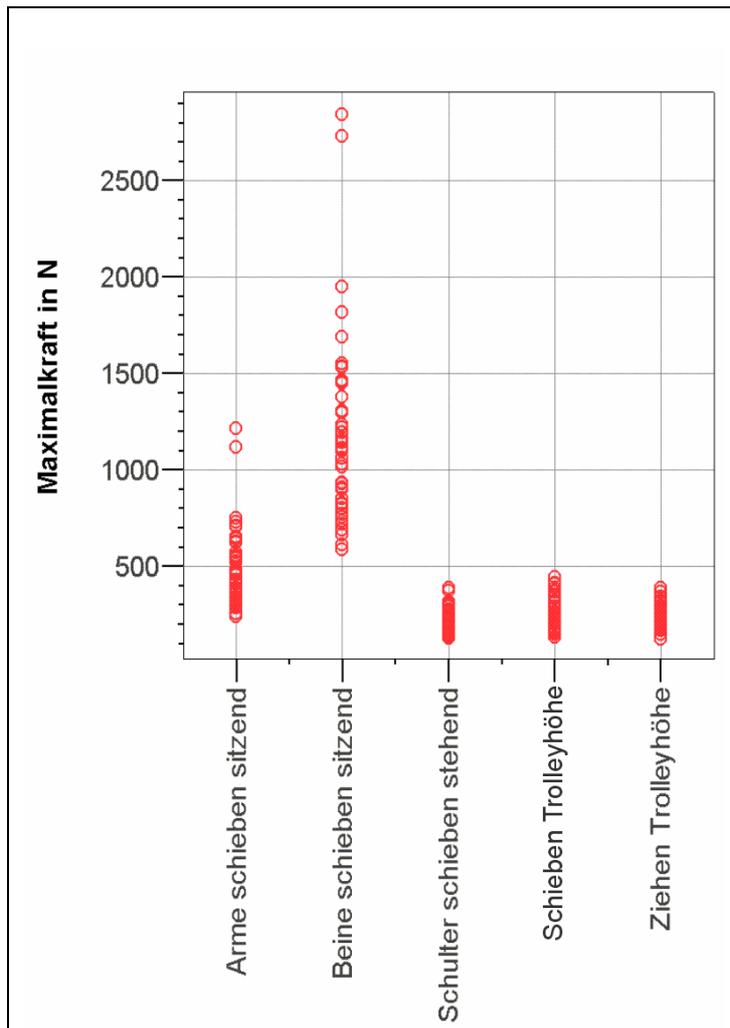


Abbildung 5-42:
Punktescharen der Maximalkräfte
des BIA-Probandenkollektivs



Tabelle 5-20:
Statistische Daten der Maximalkraftmessungen

	Maximalkrafttestart				
	Arme schieben horizontal, sitzend Kraft in N	Beine schieben horizontal, sit- zend Kraft in N	Arme schieben horizontal in Schulterhöhe, stehend Kraft in N	Arme schieben horizontal in Trolley-Höhe, stehend Kraft in N	Arme ziehen horizontal in Trolley-Höhe, stehend Kraft in N
Minimum	244	589	132	136	125
Maximum	1 219	2 847	393	448	392
Spannweite	975	2 258	261	312	267
Mittelwert	492	1 163	223	256	243
Median	467	1 106	215	239	233
05. Perzentil	274	646	137	154	163
15. Perzentil	322	769	162	196	195
25. Perzentil	344	828	178	213	206
75. Perzentil	565	1328	260	291	289
95. Perzentil	920	2304	345	413	356

5.3.5 Individuelle Belastung des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben

Neben der Betrachtung der Muskel-Skelett-Belastung bezogen auf eine Population oder deren Perzentil ist auch die individuelle Muskel-Skelett-Belastung im Verhältnis zur Maximalkraft unter statischen Bedingungen ein wichtiger Parameter im Rahmen biomechanischer Belastungsbewertungen. Diese relative Muskel-Skelett-Belastung ergibt sich aus dem Quotienten von maximaler Aktionskraft an den Trolley-Griffen und isometrischer Maximalkraft (Max. Zieh-/Schiebekraft auf Trolley-Höhe) aus dem Testprotokoll der Maximalkraftmessungen der Person (siehe Abschnitt 5.2.6). Ein relativer Belastungswert von 1 besagt, dass die gemessene Aktionskraft am Trolley beim Schieben oder Ziehen der maximalen Kraft unter statischen Bedingungen dieser Versuchsperson entspricht. Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Skelett-Muskulatur ist ein Mensch unter dynamischen Bedingungen – insbesondere während so genannten exzentrischen Belastungsphasen der Muskulatur – sogar imstande, deutlich höhere Kräfte (aber nur kurzzeitig) als unter statischen bzw. isometrischen Bedingungen zu



realisieren. Dies hat nichts mit Trägheitskräften zu tun, die in Verbindung mit Beschleunigungen eines Körpers auftreten. Da an dieser Stelle nur die äußeren Muskel-Skelett-Belastungen betrachtet werden, können die anteiligen Trägheitskräfte nicht weiter differenziert werden, wobei die Bewegungen während der Versuche insgesamt sehr gleichmäßig ohne besondere Beschleunigungen ausgeführt wurden. Im Übrigen ist es für das Muskel-Skelett-System grundsätzlich unerheblich, durch welche Effekte eine Belastung entstanden ist. Inwieweit bestimmte biologische Strukturen von einer äußeren Belastung betroffen werden, kann nur über eine spezifische biomechanische Analyse wie z. B. in der vorliegenden Studie bzgl. der Lendenwirbelsäule (siehe Kapitel 6) näher ermittelt werden.

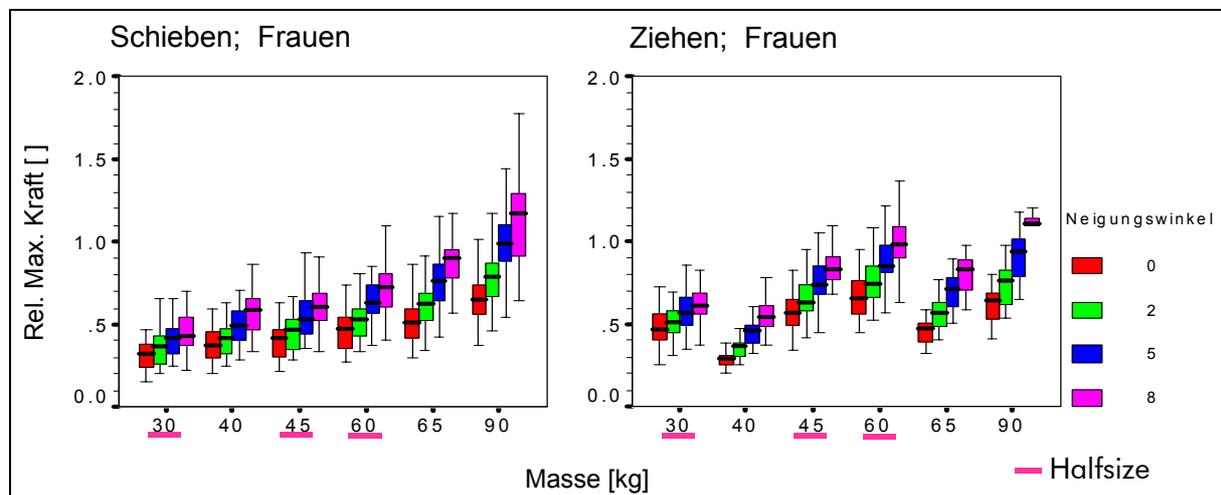
Aus sportwissenschaftlicher Sicht sollte der erforderliche Kraftaufwand einer wiederkehrenden Arbeitstätigkeit, wie hier das Ziehen und Schieben von Trolleys, nicht mehr als ca. 70 % der individuellen isometrischen Maximalkraft übersteigen. Sonst erreicht die Tätigkeit den Belastungsbereich eines sportorientierten Trainingsprogramms [3; 4], dessen Intensität, Dauer und Ausführung gut kontrolliert werden müssen, um keine Überlastungserscheinungen am Muskel-Skelett-System zu provozieren. Insbesondere ist zu beachten, dass in der vorliegenden Studie Fachkräfte mit mehreren Jahren Berufserfahrung untersucht worden sind und daher eine biologische Adaption des Muskel-Skelett-Systems an die spezifischen Belastungsanforderungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys bereits stattgefunden hat.

Die Extreme der relativierten Belastungswerte reichten bei den Frauen von 0,2 bis 1,8 (Abbildung 5-43, siehe Seite 250). Belastungssituationen mit Werten über 1, wie sie beim Schieben mit dem voll beladenen Fullsize-Trolley ab 5° Steigung regelmäßig erreicht werden, sollten unter normalen Arbeitsbedingungen tunlichst vermieden werden. Die 70-%-Schwelle wird ab 60 kg Trolley-Masse bei 5° Steigung regelmäßig überschritten. Mit dem Halfsize-Trolley kann dieser Wert bei ungünstiger Handhabung bereits mit einem 45 kg schweren Trolley erreicht werden. Voll beladene Fullsize-Trolleys sollten Frauen daher nur bei fast waagerechter Fluglage alleine schieben.



Abbildung 5-43:

Relative Muskel-Skelett-Belastung bezogen auf den isometrischen Maximalkraftwert der jeweiligen Versuchsperson beim Schieben bzw. Ziehen



Beim Ziehen weisen die relativierten Belastungen ein etwas anderes Muster auf. Mit dem Halfsize-Trolley ergeben sich durchschnittlich höhere Belastungen als mit einem Fullsize-Trolley vergleichbarer Masse. Die 70-%-Schwelle kann u. U. schon mit einem leeren Trolley (30 kg) erreicht werden. Regelmäßig wird diese Schwelle ab mittlerer Beladung bei 2° Neigung erreicht bzw. überschritten. Daher sollten Trolleys nur bis zu einer mittleren Beladung bei fast waagerechter Fluglage gezogen werden.

Bei den Männern ist aufgrund des in der Regel deutlich höheren Maximalkraftniveaus (siehe Abschnitt 5.2.6) die Belastungsproblematik im zuvor beschriebenen Sinne entschärft. Auf eine weitere Analyse wurde daher verzichtet.

5.3.6 Bewegungs- und Belastungsanalyse des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben von Trolleys

Die in der Laborstudie im BIA durchgeführten Bewegungsanalysen mit dem CUELA-System wurden mit der zugehörigen WIDAAN-Software aufbereitet und entsprechend dem Versuchsdesign in einer Datenbank hinterlegt, um vergleichende Analysen verschiedener Versuchskategorien durchführen zu können.

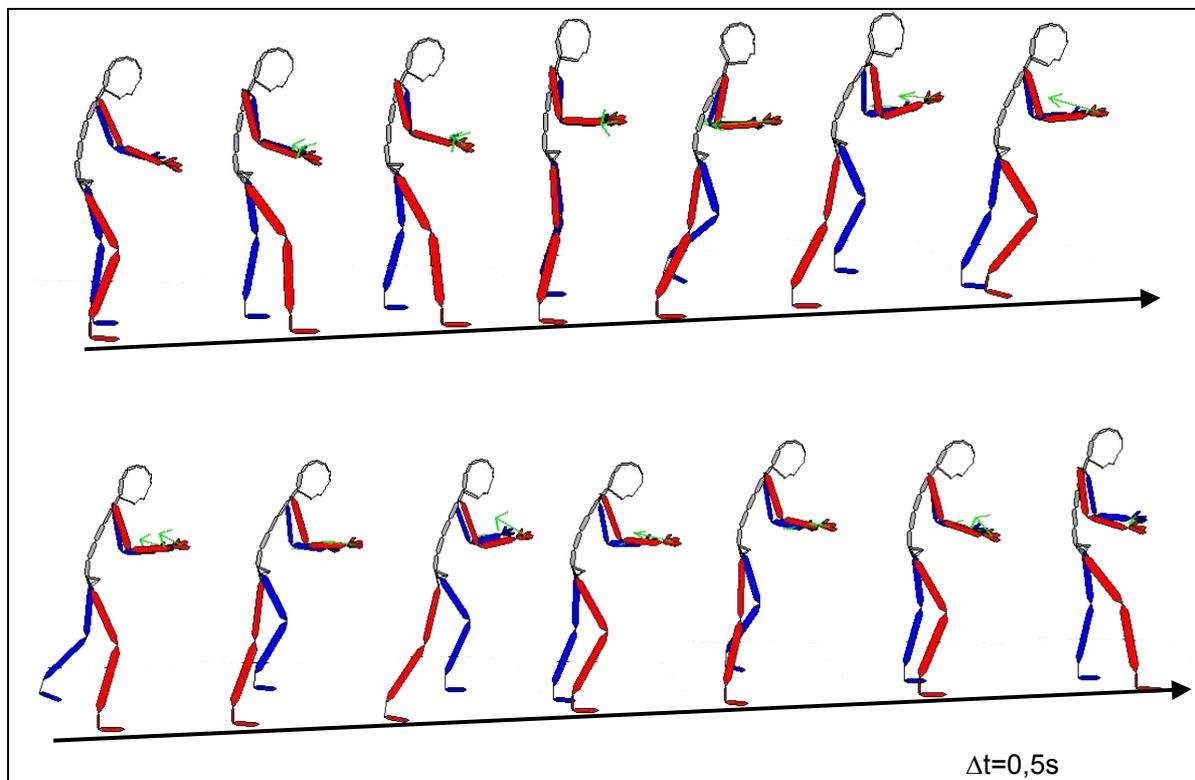


5.3.6.1 Kinematik und äußere Belastungssituation des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben

Nachfolgend werden zunächst in beispielhafter Form das Ziehen und Schieben hinsichtlich der Kinematik und der äußeren Belastungssituation des Muskel-Skelett-Systems beschrieben.

In Abbildung 5-44 ist das Kinegramm einer typischen Schiebebewegung bei 5° Steigung und 65 kg Trolley-Masse dargestellt. Das Zeitintervall zwischen zwei Darstellungen beträgt je 0,5 s. Die Schiebebewegung beginnt jeweils mit dem Greifen des Trolleys und dem Lösen der Bremse mit dem Fuß. Anschließend beugt sich die Versuchsperson leicht nach vorne und erhöht den Schiebedruck gegen den Trolley, um ihn in Bewegung zu setzen.

Abbildung 5-44:
Kinegramm einer Schiebebewegung von Versuchsperson 4 mit einem Fullsize-Trolley bei 5° Steigung und 65 kg Trolley-Masse

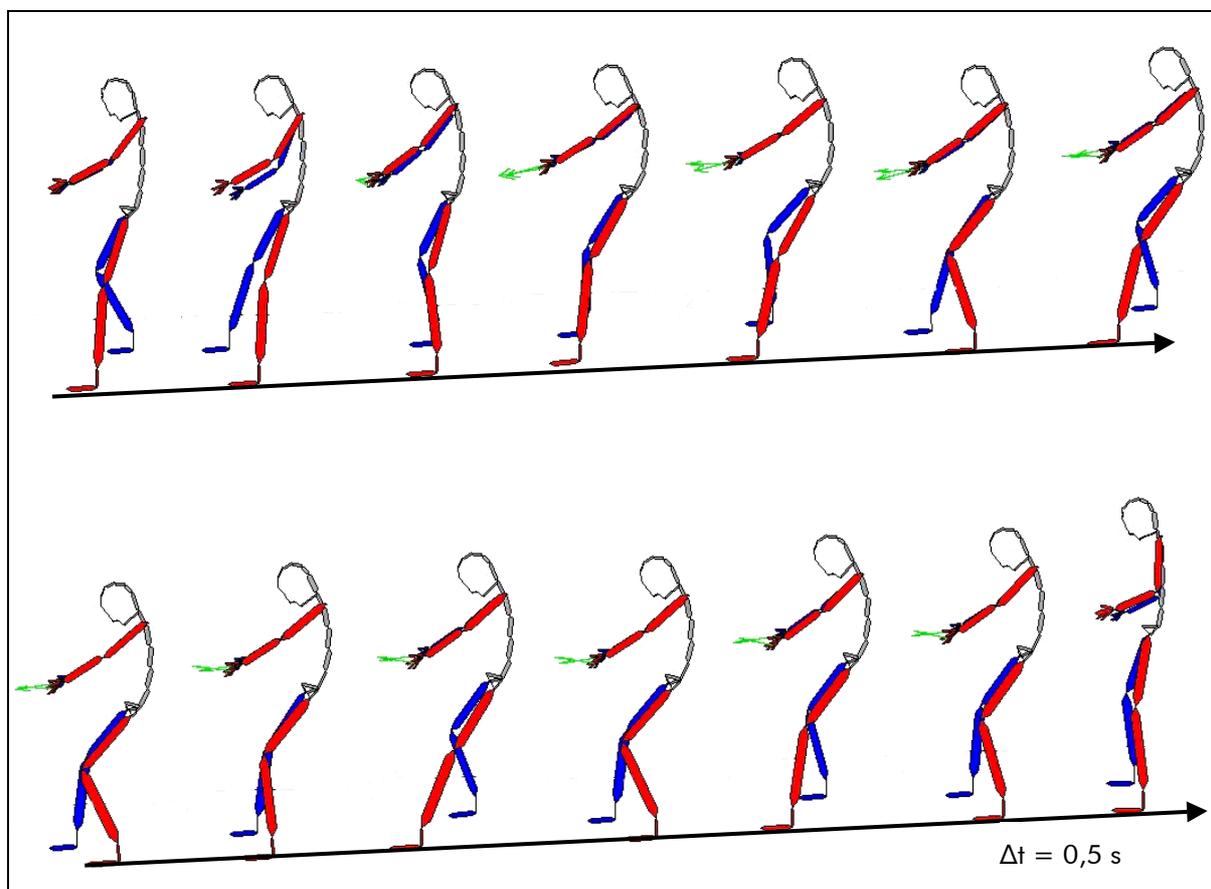




Die grün dargestellten Pfeile stellen die Reaktionskräfte an den Trolley-Griffen dar. Beim Schieben lassen die Reaktionskräfte typischerweise ein Abstützen der Versuchsperson gegen bzw. auf den Trolley erkennen. Die damit verbundene höhere Belastung der Hände und der Arme führt als „Nebeneffekt“ zu einer Entlastung des Oberkörpers und damit der Wirbelsäule (siehe Kapitel 6). Zum Ende des Schiebevorgangs wird die Schiebekraft verringert und mit dem Fuß die Bremse des Trolleys gesetzt. Abschließend wird der Körper wieder aufgerichtet. Ein „aktives“ Abbremsen des Trolleys durch die Versuchsperson konnte nur in vereinzelt Fällen bei 0° Neigung beobachtet werden.

In Abbildung 5-45 ist ein typischer Ziehvorgang bei 5° Steigung und 65 kg Gesamtmasse mit einem Fullsize-Trolley dargestellt.

Abbildung 5-45:
Kinegramm eines Ziehvorgangs von Versuchsperson 4 mit einem Fullsize-Trolley bei 5° Steigung und 65 kg Trolley-Masse

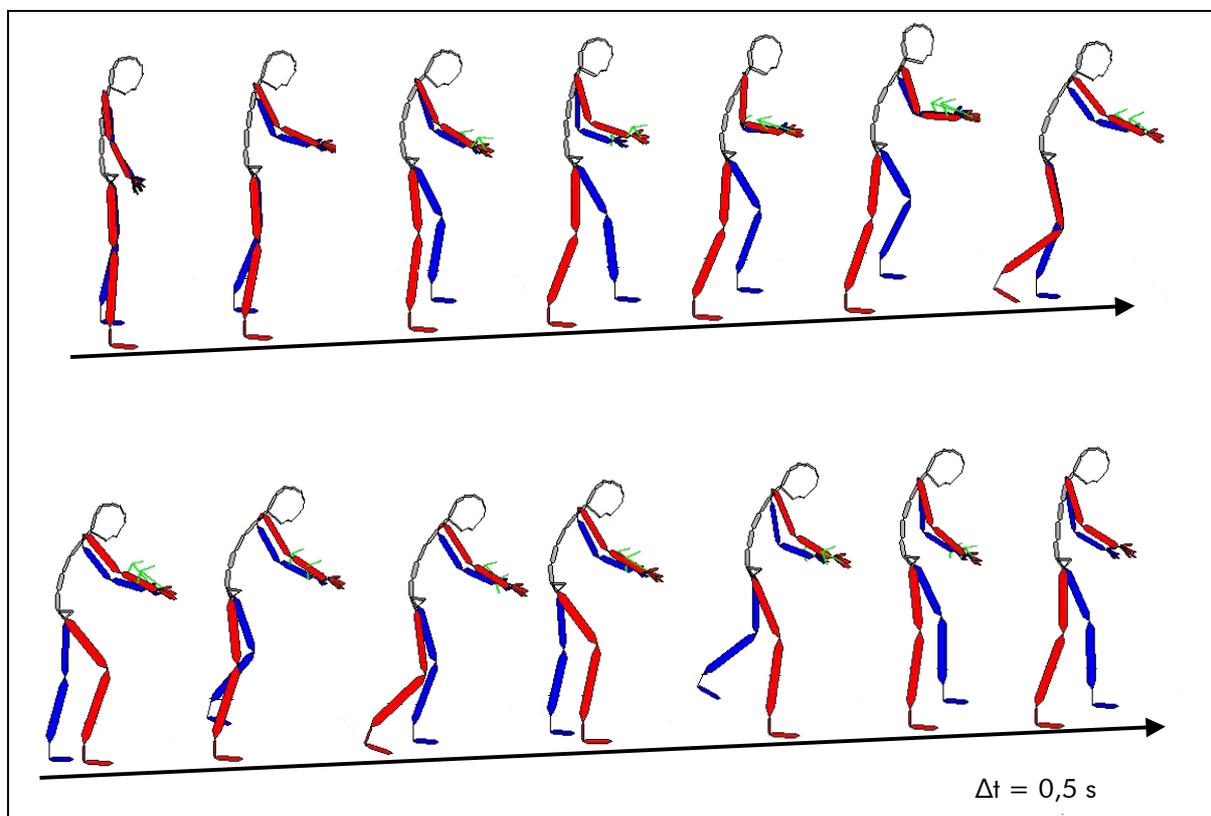




Der Ziehvorgang beginnt mit dem Greifen des Trolleys und dem Lösen der Bremse mit dem rechten Fuß. Durch Zurücklehnen des Körpers bei nahezu gestreckten Armen wird der Zug auf den Trolley erhöht, bis er sich in Bewegung setzt. Die Reaktionskräfte des Trolleys weisen eine Zugbelastung auf das Muskel-Skelett-System aus, die vorwiegend entgegen der Bewegungsrichtung verläuft. Nach drei Schritten kommt der Trolley durch das Nachlassen der Ziehkraft und das Setzen der Bremse wieder zum Stehen. Aufgrund des durch den Trolley eingeschränkten Raumes für die Füße und der erforderlichen Greifposition war beim Ziehen häufig eine ausgeprägte Krümmung des Rückens zu beobachten.

In Abbildung 5-46 ist ein Schiebevorgang bei 5° Steigung und 45 kg Gesamtmasse mit einem HalFSIZE-Trolley dargestellt.

Abbildung 5-46:
Kinogramm einer Schiebebewegung von Versuchsperson 4 mit einem HalFSIZE-Trolley bei 5° Steigung und 45 kg Trolley-Masse

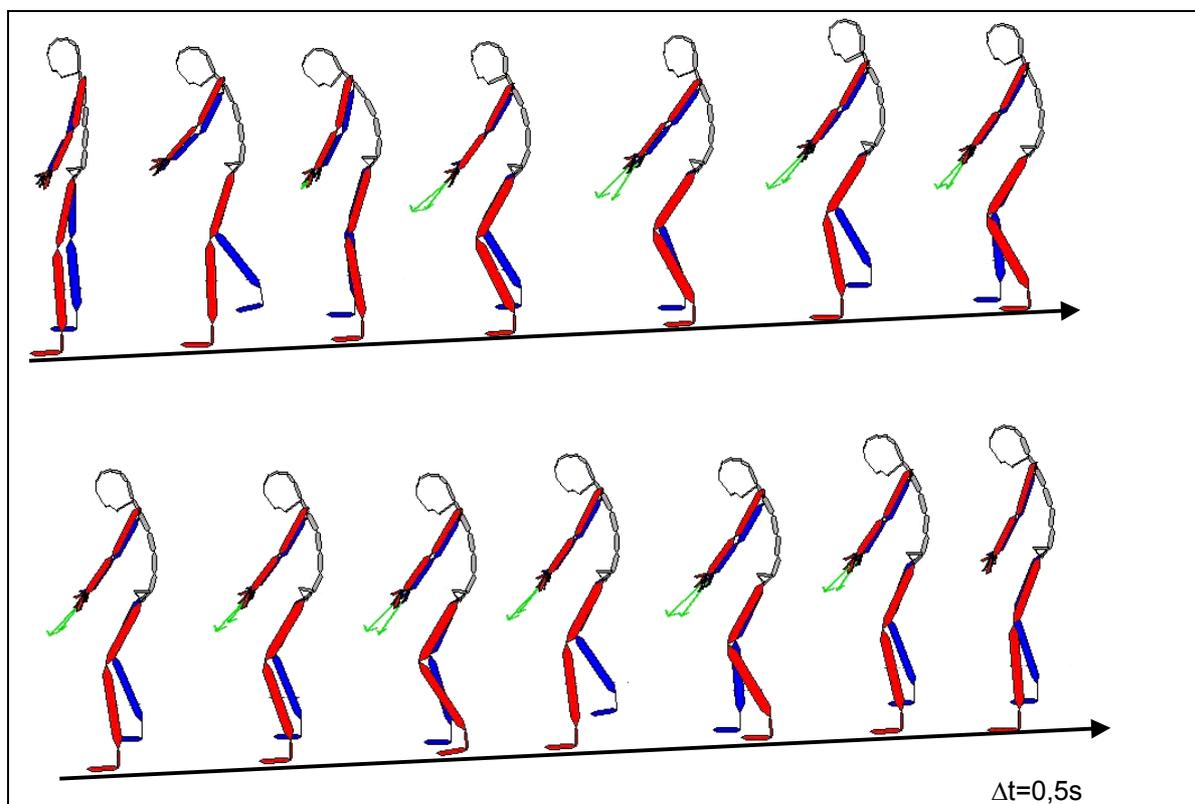




Der Schiebevorgang ist dem mit dem Fullsize-Trolley im Grunde ähnlich. Tendenziell ist die Rückenkrümmung etwas stärker ausgeprägt und das Drücken von oben auf den Trolley ist noch deutlicher zu erkennen. Dieses Verhalten hat offensichtlich mit der geringeren Kippstabilität des Halfsize-Trolleys zu tun.

In Abbildung 5-47 ist ein Ziehvorgang mit einem Halfsize-Trolley bei 5° Steigung und 45 kg Gesamtmasse dargestellt. Im Vergleich zum Ziehvorgang mit dem Fullsize-Trolley fallen deutliche Unterschiede auf. Die Körperlage ist insgesamt mehr aufgerichtet und der Rücken deutlich stärker gekrümmt. Die Schritte sind kleiner und die Handkräfte kennzeichnen mehr ein „Tragen“ des Trolleys im Gegensatz zur fast reinen Ziehbewegung mit dem Fullsize-Trolley.

Abbildung 5-47:
Kinogramm eines Ziehvorgangs von Versuchsperson 4 mit einem Halfsize-Trolley bei 5° Steigung und 45 kg Trolley-Masse





Auch in diesem Fall ist das Bewegungsverhalten in engem Zusammenhang mit der geringeren Kippstabilität des Halfsize-Trolleys zu sehen. Die Trolley-Handhabung ist so ausgerichtet, dass das durch die Ziehkraft der Hände entstehende Drehmoment kein Kippen des Trolleys zur Folge hat. Dieses Bewegungsverhalten stellt sich für die Flugbegleiter/-innen im Verlauf ihres Berufsalltags intuitiv ein.

5.3.6.2 Vergleichende Analyse der Kinematik beim Ziehen und Schieben

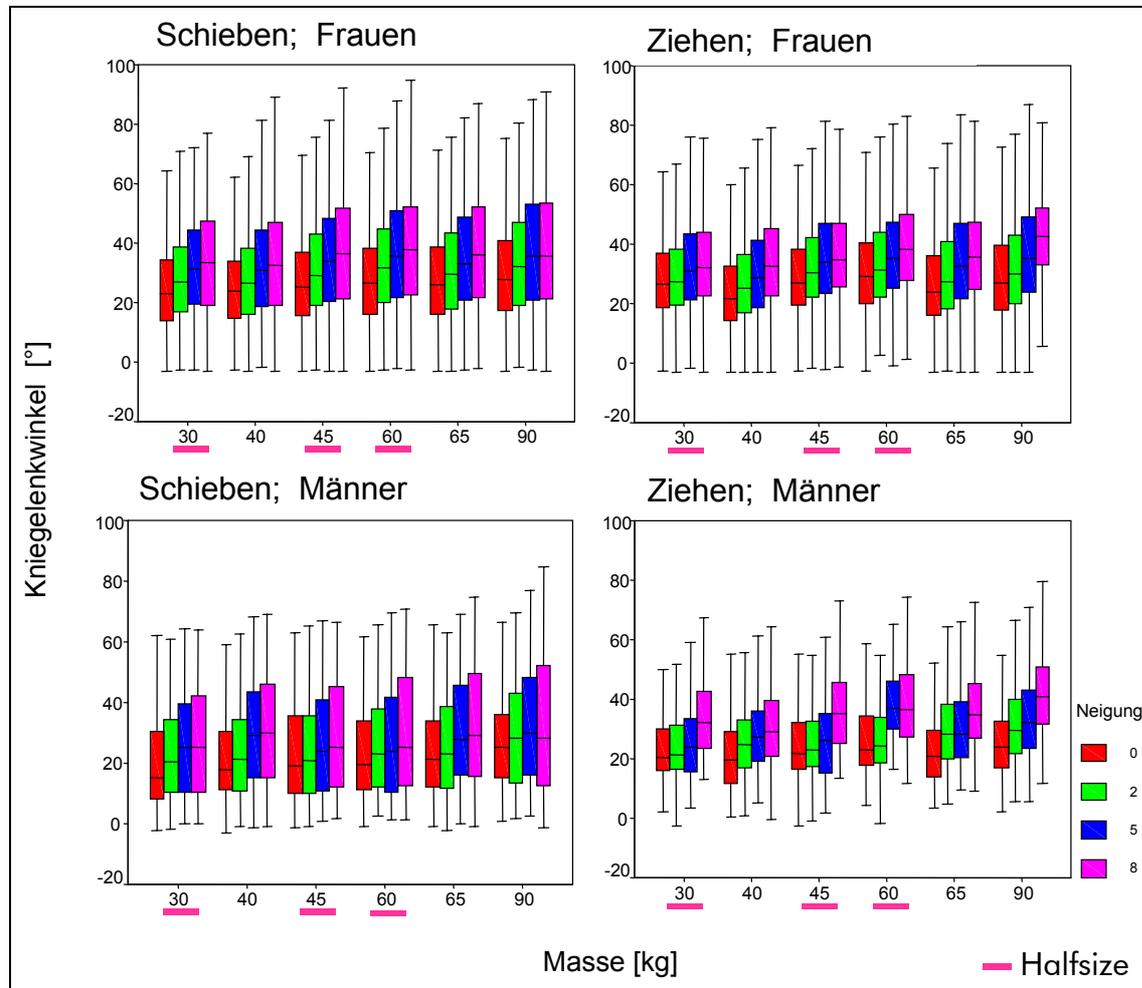
Die Analyse der Körperhaltung erfolgt auf Basis der Winkelhäufigkeitsverteilung der erfassten Gelenke über eine Tätigkeitsphase (Schieben oder Ziehen). Hierzu werden sogenannte „Box-Plots“ eingesetzt, die den Median (schwarzer Querstrich), den mittleren 50-%-Bereich (farbige Box) und die Eckwerte der Verteilung anzeigen (siehe Abbildung 5-48, Seite 256, und Abschnitt 5.3.1, S. 210 „Box-Plots“). Gemäß dem Versuchsdesign der Studie wurden das Geschlecht, die Tätigkeit, der Trolley-Typ und die Beladung in verschiedene Kategorien unterteilt. Aufgrund der Stichprobenszusammensetzung beinhaltet eine Kategorie für die 22 Frauen bei 3 Wiederholungen innerhalb eines Versuchs je 66 und für die 3 Männer je 9 Schiebe-/Ziehvorgänge mit all ihren Werten (zeitkontinuierlicher Kurvenverlauf).

Die Häufigkeitsverteilung für den Kniegelenkwinkel (siehe Abbildung 5-48) deutet tendenziell auf eine Zunahme in Richtung Beugung bei zunehmender Steigung der Ebene und bei zunehmender Trolley-Masse. Die Mediane liegen meist zwischen 20° und 30°. Die Verteilung ist daher durchaus mit dem normalen Gehen vergleichbar. Die stärksten Beugewinkel werden in der Schwungphase beim Vorbringen des Beines erreicht. Sowohl im Vergleich zwischen Männern und Frauen als auch zwischen Ziehen und Schieben sind nur marginale Unterschiede festzustellen.



Abbildung 5-48:

Winkelverteilung des Kniegelenks von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse



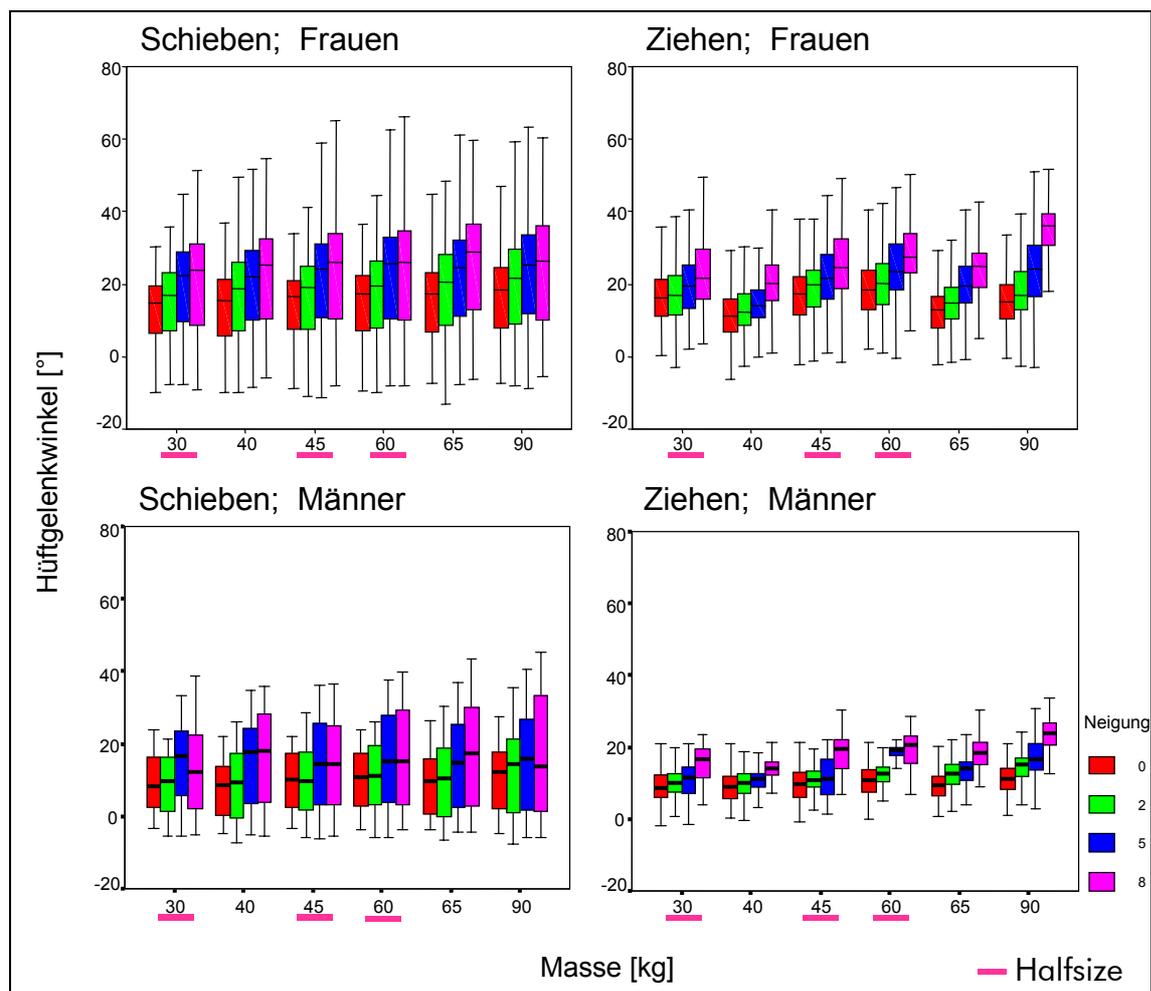
Die Winkelverteilung des Hüftgelenks deutet generell eine Flexion unter allen Versuchsbedingungen an (Abbildung 5-49, Seite 257). Meistens liegen die Medianwerte unter 25° Flexion. Bei den Frauen tritt beim Schieben häufiger eine leichte Extension bis ca. 10° auf. Diese tritt meist am Ende der Stützphase des Beines auf und ist vermutlich im Vergleich zu den Männern nur auf die höhere Beweglichkeit zurückzuführen. Die sonst tendenziell höheren Flexionswinkel der Frauen beim Schieben in Abhängigkeit von Steigung und Beladung deuten auf ein höheres Belastungsniveau im Vergleich zu den Männern hin. Beim Ziehen erfordert der Halfsize-Trolley eine relativ höhere



Flexion des Hüftgelenks. Bei den Männern fällt eine vergleichsweise geringe Flexion unter allen Versuchsbedingungen auf.

Abbildung 5-49:

Winkelverteilung des Hüftgelenks von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse

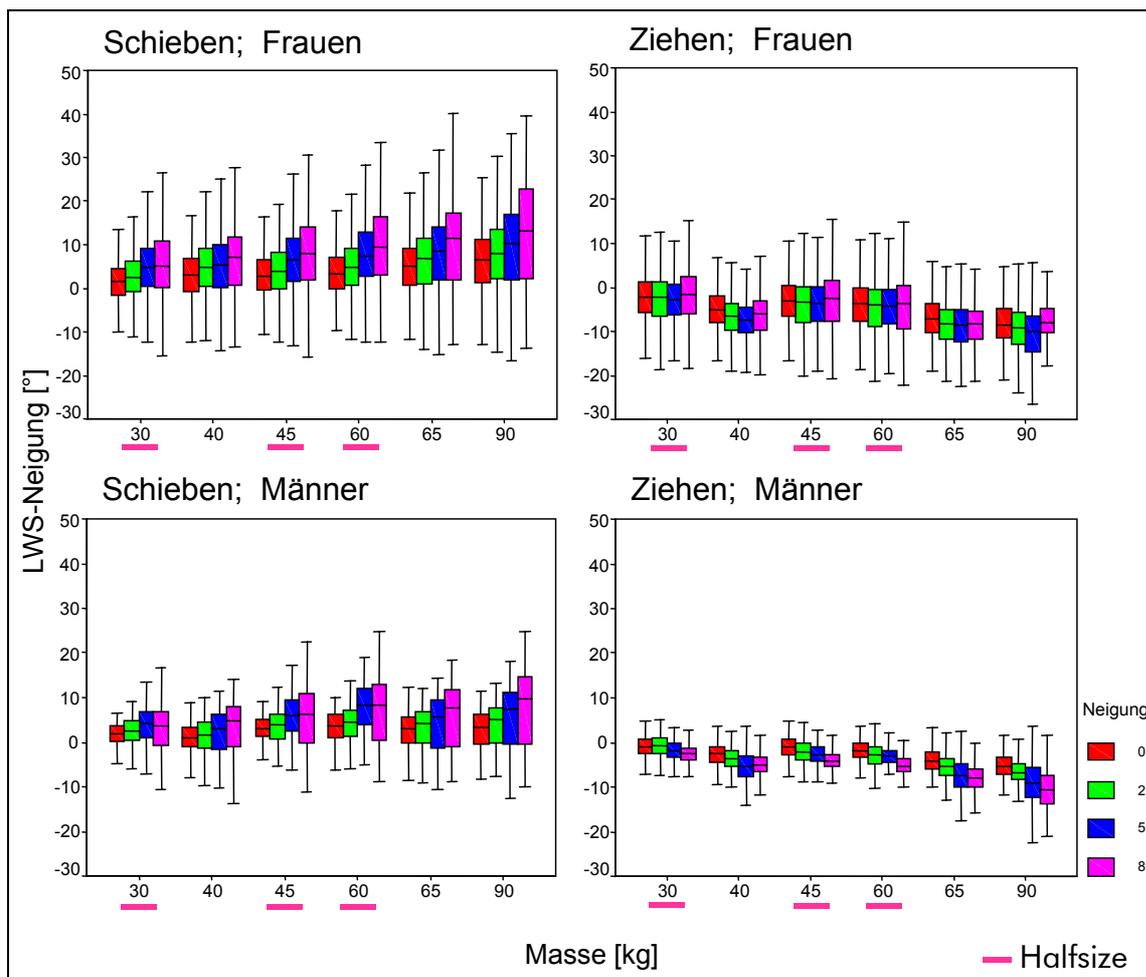


Die LWS-Neigung beschreibt den Rumpfwinkel auf Höhe der Lendenwirbelsäule bzgl. der Senkrechten in der Sagittalebene, wobei ein Beugen des Rumpfes nach vorne durch positive Winkel angezeigt wird. Generell weist die LWS-Neigung beim Schieben auf ein Vorbeugen hin, wogegen beim Ziehen häufig ein Zurücklehnen des Rumpfes festzustellen ist (Abbildung 5-50, siehe Seite 258). Meist liegen die Werte zwischen 10°



Rückneigung und 10° Vorneigung – in einzelnen Fällen ist jedoch ein stärkeres Vorneigen der Frauen beim Schieben der Trolleys festzustellen. Dies deutet mittelbar auf eine relativ hohe Belastungssituation für die Frauen in diesen Fällen hin. In Anlehnung an prEN 1005-4 [5] ist eine Rumpfvorneigung über 20° aufgrund der vorliegenden niedrigen Tätigkeitsfrequenz (< 2/Minute) jedoch noch akzeptabel. Diese Norm kann für den vorliegenden Fall allerdings nur bedingt herangezogen werden, da mit dem Vorbeugen ein Abstützen des Oberkörpers auf den Trolley möglich – aber nicht zwingend – ist.

Abbildung 5-50:
Winkelverteilung der LWS-Neigung von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse

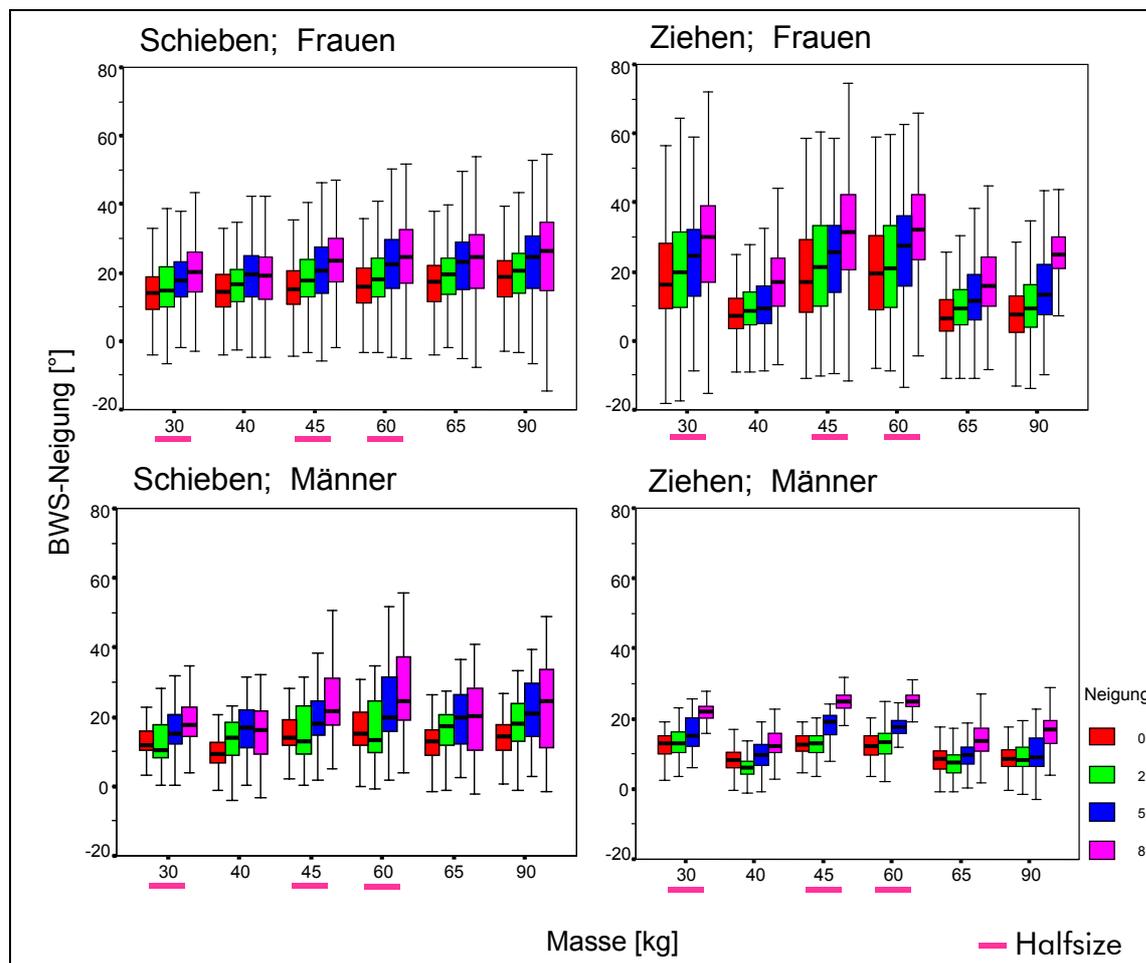




Die BWS-Neigung beschreibt analog der LWS-Neigung das Vorbeugen des Oberkörpers auf Höhe der oberen Brustwirbelsäule. Beim Schieben nimmt die BWS-Neigung mit der Steigung und der Beladung tendenziell zu (Abbildung 5-51).

Abbildung 5-51:

Winkelverteilung der BWS-Neigung von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse



Auffällig ist, dass sowohl bei Männern als auch bei Frauen bereits bei 60 kg Trolley-Masse die größte Vorbeugung erreicht wird. Hier zeigen sich besondere Haltungsanforderungen an den Oberkörper beim Schieben des Halfsize-Trolleys – auch wenn ein Wert von unter 30° als noch akzeptabel einzustufen ist (siehe prEN 1005-4 [5]). Beim Ziehen ergeben sich große Streubereiche für die Oberkörperhaltung mit Werten von

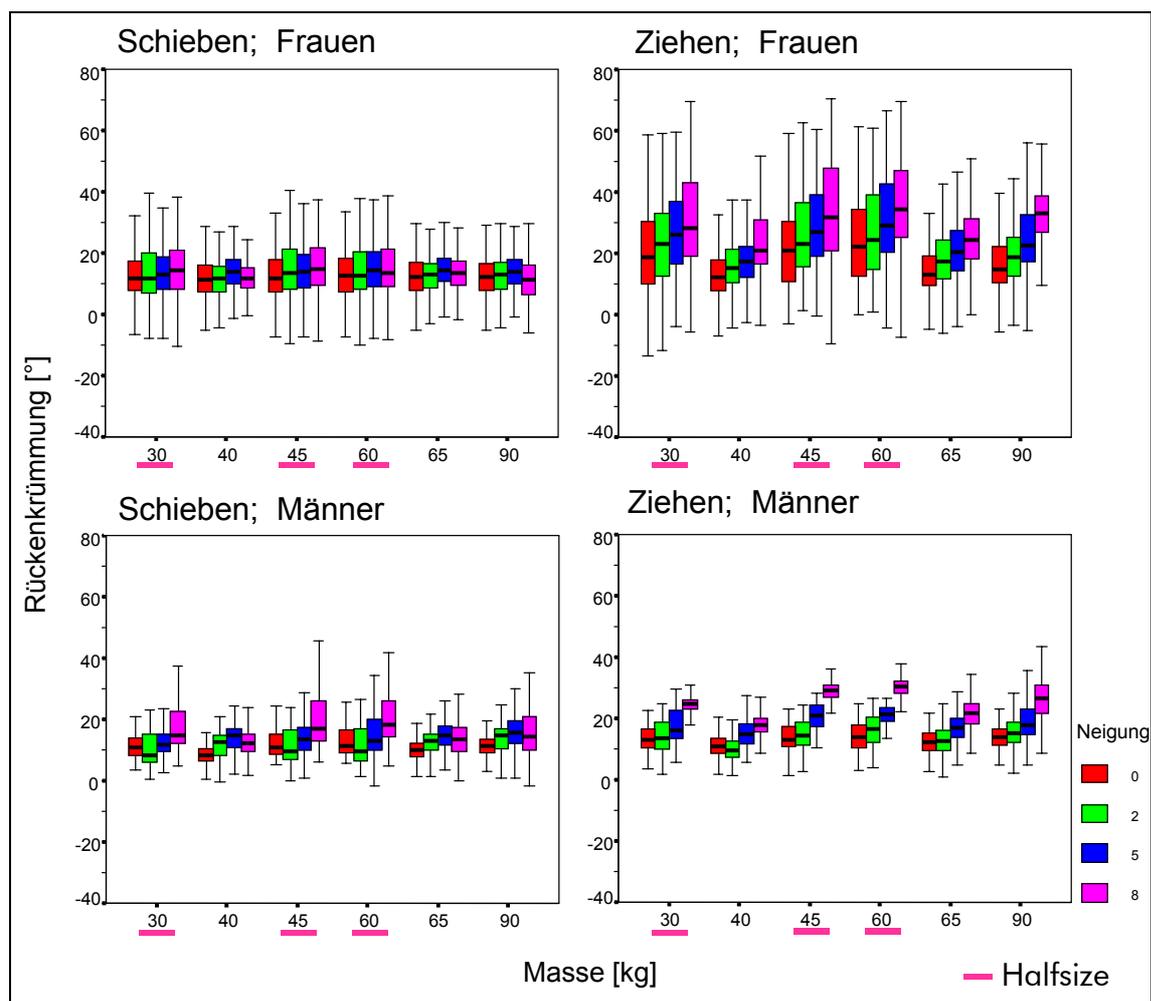


zum Teil über 60° Vorbeugung. Hierbei fällt insbesondere der Halfsize-Trolley mit den größten Streubereichen auf. Dieses Phänomen ist durch einen Komplex von Faktoren bedingt, zu denen Körpergröße, Greifhöhe am Trolley, Bewegungstechnik und weitere Parameter zu zählen sind. Eine klare Wirkungsbeziehung konnte mit statistischen Verfahren nicht gefunden werden.

Die Rückenkrümmung ist als Differenzwinkel von BWS- und LWS-Neigung definiert und beschreibt damit pauschal die Haltung des Rückens in der Sagittalebene (Abbildung 5-52).

Abbildung 5-52:

Winkelverteilung der Rückenkrümmung von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse





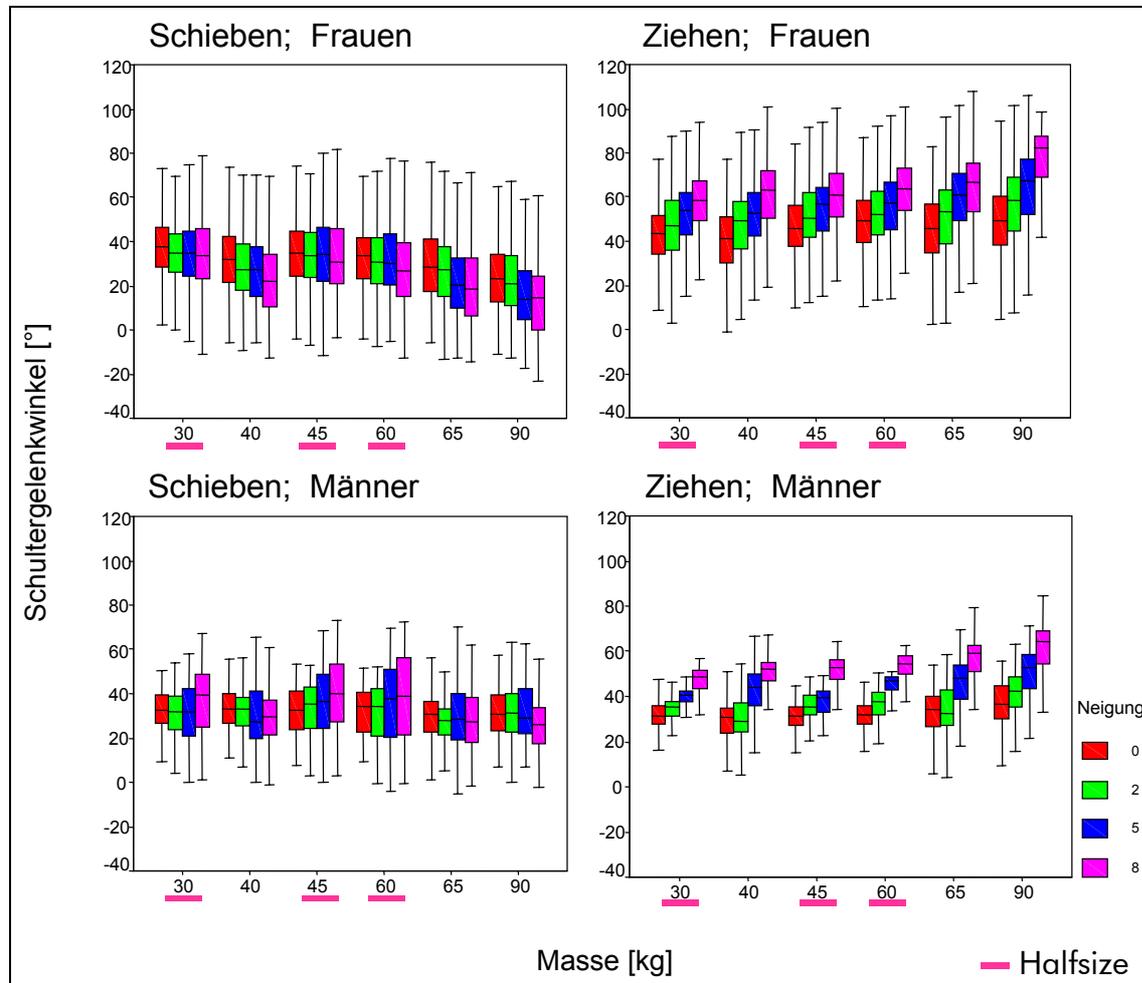
Beim Schieben bleibt die Rückenkrümmung sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern in meist unbedenklichen Bereichen von unter 30° Vorbeugung. Bei den Frauen weist die Rückenkrümmung beim Ziehen einerseits eine hohe Streubreite von bis zu 90° auf, andererseits liegen sogar die Medianwerte teilweise über 30° Vorbeugung. Die Spitzenwerte liegen mit dem Halfsize-Trolley sogar über 60°. Demgegenüber liegen die Werte der Männer nur bei extremen Versuchskonfigurationen bei über 30°. Das Ziehen von Halfsize-Trolleys durch Frauen ist bei über 5° Steigung und mehr als 45 kg Masse teilweise als kritisch einzustufen.

Der Schultergelenkwinkel kennzeichnet das Anheben des gestreckten Armes über vorne nach oben (Anteversion). Ganz allgemein zeigt die Verteilung des Schultergelenkwinkels in Abhängigkeit von Geschlecht und Tätigkeit ein unterschiedliches Muster (Abbildung 5-53, siehe Seite 262). Bei den Frauen ist beim Schieben tendenziell eine Verringerung des Schulterwinkels in Abhängigkeit von Neigung und Beladung zu konstatieren. Dies kann durch das nähere Führen des Trolleys am Körper mit stärker gebeugten Armen bei erhöhter Schwere der Versuchsaufgabe erklärt werden. Bei den Männern ist eine solche Tendenz beim Schieben nicht erkennbar. Generell weisen die Schultergelenkwinkel beim Schieben keine auffälligen Gelenkstellungen aus. Beim Ziehen ist bei zunehmender Steigung und Beladung eine gegenteilige Tendenz mit Zunahme der Anteversion zu beobachten. Dieser Effekt ist sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern sichtbar, obgleich sich die Medianwerte und die Streubreiten bei beiden deutlich unterscheiden. Bei den Frauen treten unter extremen Bedingungen sogar Schultergelenkwinkel von über 90° Anteversion auf. Dies ist allerdings nicht so zu interpretieren, dass der Oberarm über der Waagerechten steht, sondern dass der Schultergelenkwinkel in Kombination mit der starken Oberkörperverneigung noch weiter geöffnet werden muss. Daher sind diese Situationen – über 5° Steigung und mehr als mittlere Beladung – als kritisch (für den Rücken) einzustufen.



Abbildung 5-53:

Verteilung des Schultergelenkwinkels von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse

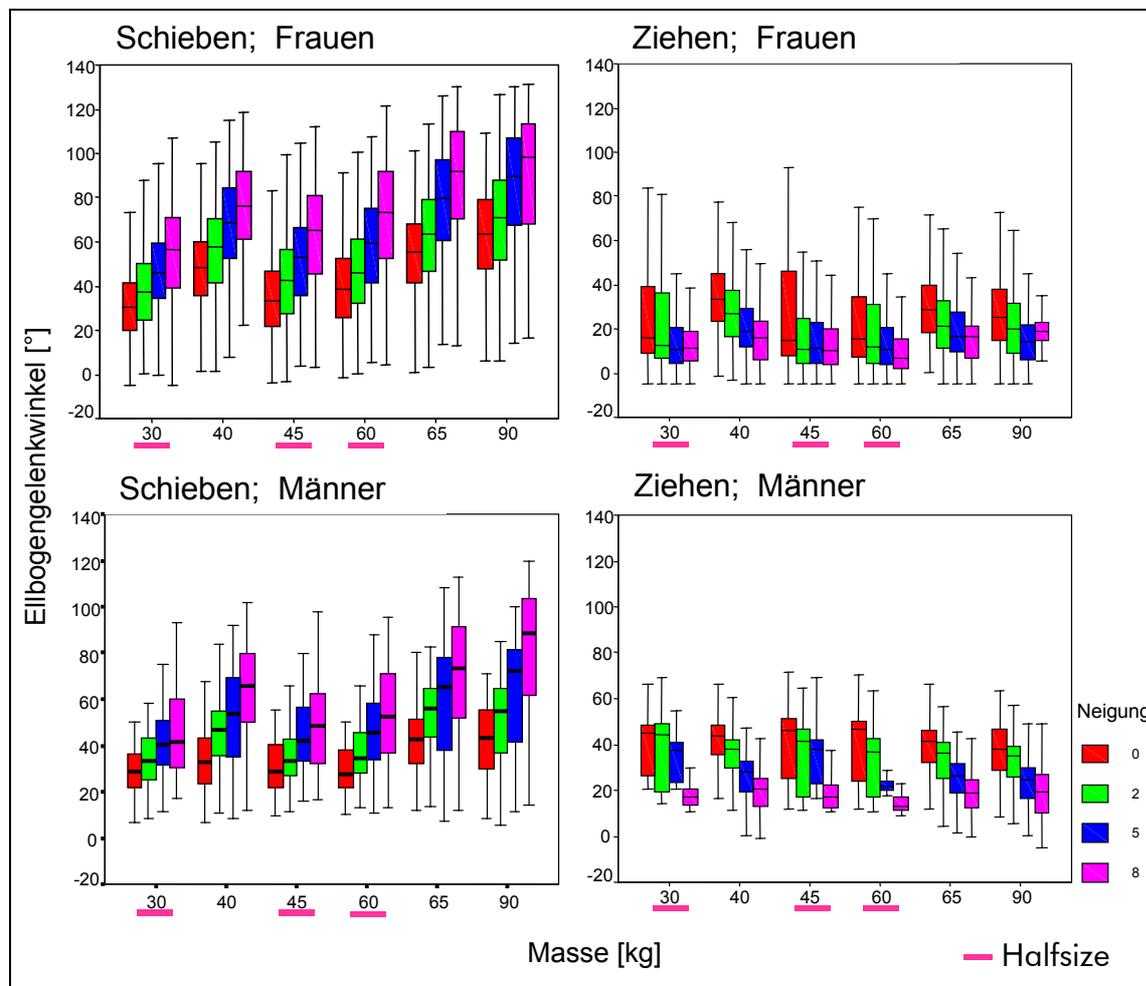


Die Winkelverteilung der Beugung des Ellbogengelenks (Flexion) zeigt bei Frauen und Männern ein ähnliches Verhalten, indem beim Schieben die Beugung mit der Schwere der Versuchsaufgabe deutlich zunimmt (Abbildung 5-54, siehe Seite 263). Hinsichtlich der Körperhaltung ist (unter Vernachlässigung der Gelenkmomentbelastung) die Gelenksituation bis zu Beugewinkeln von rund 90° akzeptabel. Bei größeren Beugewinkeln kommt es dann nach und nach zu einer Weichteilkompression in der Ellbogenbeuge, die ab ca. 120° je nach Konstitution zu einer Vaso-Kompression führt, die bei einer längeren Dauer nicht akzeptabel ist. Da beim Service im Flugzeug



ununterbrochene Schiebephasen mit Dauern von über einer Minute höchst selten sind, ist ein unmittelbares Risiko nicht anzunehmen. Dennoch sollten unter dem Aspekt der Prävention Schiebesituationen, die Beugewinkel des Ellbogens von über 100° zur Folge haben, vermieden werden, d. h. ab 5° Steigung bei mittlerer oder höherer Beladung. In diesen Fällen reicht die Kraft der Ellbogenstrecker nicht aus bzw. es ist auf Dauer für diese zu anstrengend, die Aufgabe zu bewältigen.

Abbildung 5-54:
Verteilung des Ellbogengelenkwinkels von Frauen ($n = 25$) und Männern ($n = 3$) beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene (je 3 Wiederholungen) in Abhängigkeit von der Trolley-Masse





Beim Ziehen kehrt sich die Sachlage um, indem bei zunehmender Schwere der Aufgabenstellung eine Streckung des Ellbogengelenks festzustellen ist. Hierbei kommt es ab ca. 10° vor der vollständigen Streckung je nach Konstitution zu einer Dehnung des beugeseitigen Kapselbandapparats, die bei dauerhafter Einwirkung bzw. hoher Wiederholungszahl zu schmerzhaften Überlastungssyndromen führen kann. Auf dieser Grundlage ist das Ziehen von Trolleys generell als problematisch für Frauen einzustufen. Insbesondere der Halfsize-Trolley erfordert eine größere Streckung im Ellbogengelenk; dies ist auch im Zusammenhang mit der tieferen Greifposition am Trolley zu sehen, mit der das Kippen vermieden werden soll. Aber auch mit dem Fullsize-Trolley treten ab 5° Steigung bei mittlerer Beladung bei Frauen unerwünschte Haltungen auf.

Zusammenfassend kann aus Sicht einer biomechanisch-ergonomischen Haltungsanalyse ein Auftreten von ungünstigen Körperhaltungen gehäuft bei einer Steigung von mehr als 5° und mittleren oder höheren Trolley-Beladungen beobachtet werden. Dies betrifft überwiegend die Haltung des Rumpfes und die der Arme. Ein auffälliges Bewegungsverhalten ist insbesondere beim Ziehen des Halfsize-Trolleys festzustellen. Dessen geringe Kippstabilität erfordert eine besondere Anpassung der Körperhaltung an die Bewegungsaufgabe, die aus ergonomischer Sicht nicht befriedigen kann. Insgesamt stellen die kinematischen Betrachtungen nur eine erste Analysestufe dar und müssen in engem Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den Kraftmessungen am Trolley (siehe Abschnitt 5.2.8) und der aufgetretenen Wirbelsäulenbelastung (siehe Kapitel 6) bewertet werden.

5.3.6.3 Beispiele von unterschiedlichem Bewegungsverhalten

Im Laufe seines Berufslebens muss ein Mensch das „richtige“ Bewegungsverhalten im Zusammenhang mit der Handhabung von Geräten oder Maschinen meist als Autodidakt – ohne gezielte ergonomische Anleitung oder gar Kontrolle – erlernen. Deshalb und bedingt durch die unterschiedlichen körperlichen und motorischen Fähig- und Fertigkeiten sind die Bewegungsmuster auch von erfahrenen Fachkräften mit mehreren Jahren Berufserfahrung sehr individuell. Nachfolgend werden beispielhaft einige auf-

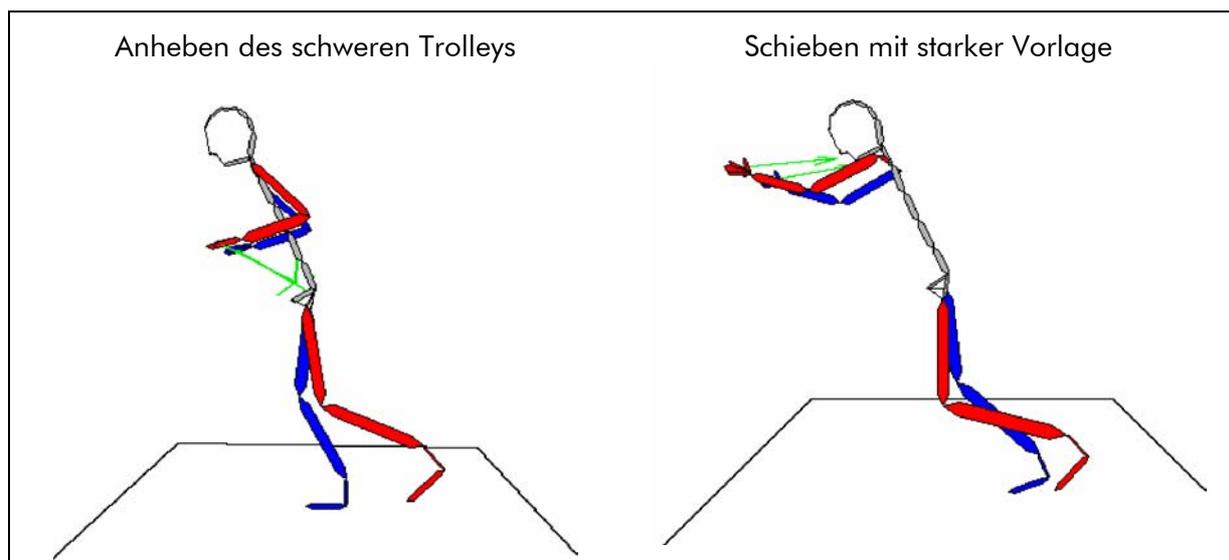


fällige Trolley-Handhabungen vorgestellt und daraus grundsätzliche Empfehlungen für ein ergonomisch günstigeres Verhalten abgeleitet.

Bei sehr schweren Versuchsbedingungen (Steigung 8°, Trolley-Masse 90 kg) können zwei markante Verhaltensstrategien unterschieden werden. Bei der ersten Strategie versucht die Flugbegleiterin den Trolley sehr nah am Körper mit stark gebeugten Armen zu schieben (Abbildung 5-55, links), dabei ist aufgrund der Wirkrichtung der Trolley-Reaktionskräfte ein Anheben des Trolleys festzustellen. Dieses Anheben erleichtert evtl. das Anschieben des Trolleys durch Verringerung der Reibung an den Rollen, gleichzeitig erhöht es die Rutschsicherheit der Flugbegleiterin durch höheren Anpressdruck der Schuhe auf den Teppichboden. Umgekehrt erhöht sich damit die Belastung der Wirbelsäule erheblich, da die zusätzlich entstehende „Last“, deren Drehmoment um den LWS-Bezugspunkt und die Last des Oberkörpers sowie dessen Drehmoment kompensiert werden müssen. Wirbelsäulenbelastungen von deutlich über 2 kN sind die Folge (siehe Kapitel 6).

Abbildung 5-55:

Zwei Beispiele von Frauen mit unterschiedlichem Schiebehaviorhalten unter extremen Versuchsbedingungen (Steigung 8°, Trolley-Masse 90 kg)



Die zweite Strategie zeichnet sich durch eher gestreckte Arme bei starker Körpervorlage aus (siehe Abbildung 5-55, rechts). Hierbei sind die Gelenkmomentbelastungen



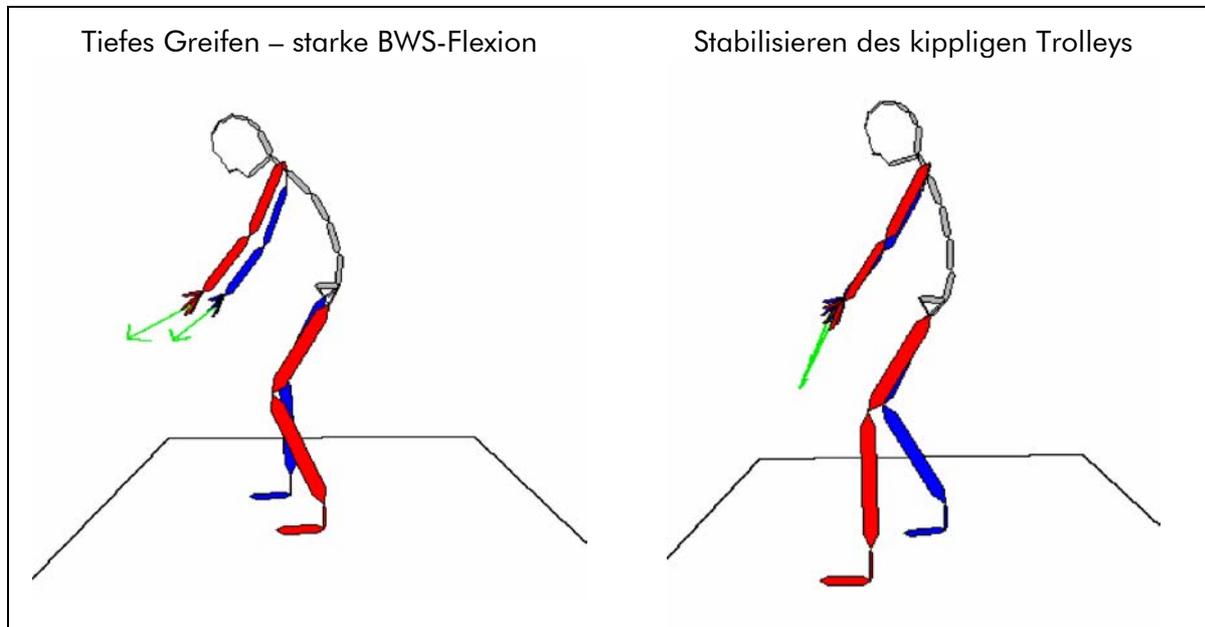
der Ellbogen- und Schultergelenke geringer, da die Wirkungslinien der Trolley-Reaktionskräfte dicht an ihnen vorbeilaufen. Zusätzlich kann das Kippmoment des Körpers für den An Schub des Trolleys genutzt werden und das Abstützen des Oberkörpers mit den Armen kann die Wirbelsäulenbelastung verringern. Im vorliegenden Fall lag die Wirbelsäulenbelastung deutlich unter 1 kN (siehe Kapitel 6). Dennoch ist aufgrund der stark geneigten Körperlage und der gestreckten Arme das Bewegungsverhalten als sehr labil einzustufen. Ein Wegrutschen der Schuhe könnte gravierende Folgen haben. Ebenso können kleinere Störungen der Trolley-Bewegung aufgrund der großen Abstände die Belastungssituation für die Flugbegleiterin empfindlich verändern. Daher sollte auch von dieser Bewegungstechnik im Flugzeug abgesehen werden.

Das Ziehen eines Halfsize-Trolleys auf einer schiefen Ebene ist wegen dessen geringer Kippstabilität grundsätzlich erschwert. Als Handhabungsstrategien können in diesen Fällen ein tieferes Greifen am Trolley und/oder ein „Anheben“ festgestellt werden (Abbildung 5-56, Seite 267). Das tiefere Greifen an der Trolley-Seitenwand ist zwangsläufig mit einer stärker gebeugten Körperhaltung verbunden. Aufgrund der geringen Beinfreiheit vor dem Trolley ist ein verstärktes Vorbeugen des Rumpfes praktisch unvermeidlich und provoziert damit eine ergonomisch ungünstige Krümmung der Wirbelsäule. In dieser Situation kommen noch die Zugkräfte hinzu; dies kann insgesamt zu extremen Wirbelsäulenbelastungen führen, die deutlich über 2 kN liegen (siehe Kapitel 6). Aus ergonomischer Sicht kann daher kein vertretbarer Kompromiss für das Ziehen von Halfsize-Trolleys ab mittelschweren Bedingungen (ab 2° Neigung bei mittlerer Beladung) vorgeschlagen werden. Ein tieferes Greifen am Trolley verringert zwar das Kippmoment, aber die Wirbelsäulenbelastung wird durch die vorgebeugte Rumpfhaltung dennoch stark erhöht. Demgegenüber verbessert ein höheres Greifen am Trolley zwar die Körperhaltung, aber das Ziehen erfordert dann eher ein Tragen des Trolleys, was wiederum eine extreme Belastung des Rückens zur Folge hat. Hier könnte evtl. das bei manchen Trolley-Modellen vorhandene Ausziehtablett mit Haltegriffen eine Erleichterung verschaffen, sofern eine sichere Befestigung am Trolley gewährleistet ist. Ein solches Szenario ist in der vorliegenden Studie allerdings nicht untersucht worden.



Abbildung 5-56:

Zwei Beispiele von Frauen mit unterschiedlichem Zugverhalten mit einem Halfsize-Trolley. Links: Steigung 8°, Trolley-Masse 45 kg; rechts: Steigung 5°, Trolley-Masse 30 kg



An dieser Stelle sei angemerkt, dass ein einfacher Zusammenhang zwischen Körperhaltung und entstandener Belastung am Muskel-Skelett-System beim Ziehen oder Schieben von Trolleys mit multiplen Regressionsverfahren nicht gefunden werden konnte. Die äußeren physikalischen Randbedingungen der Versuchsumgebung dominierten den Einfluss auf die Belastungshöhe. Die große Anzahl unterschiedlicher Versuchsbedingungen im Verhältnis zur Stichprobengröße der vorliegenden Studie und die Komplexität des Wirkungsgefüges zwischen äußerer Muskel-Skelett-Belastung, Körperhaltung und Wirbelsäulenbelastung verringern die Erfolgchancen eines statistischen Ansatzes; ein solcher Ansatz war auch in der Studienkonzeption nicht vorgesehen. Daher werden nachfolgend anhand einzelner Beispiele und grundsätzlicher physikalischer Überlegungen ergonomische Empfehlungen zur Körperhaltung gegeben.

Zur ergonomisch besseren Handhabung von Trolleys kann für das Schieben die Empfehlung gegeben werden, dass unter erschwerten Bedingungen die Arme im Ellbogen-

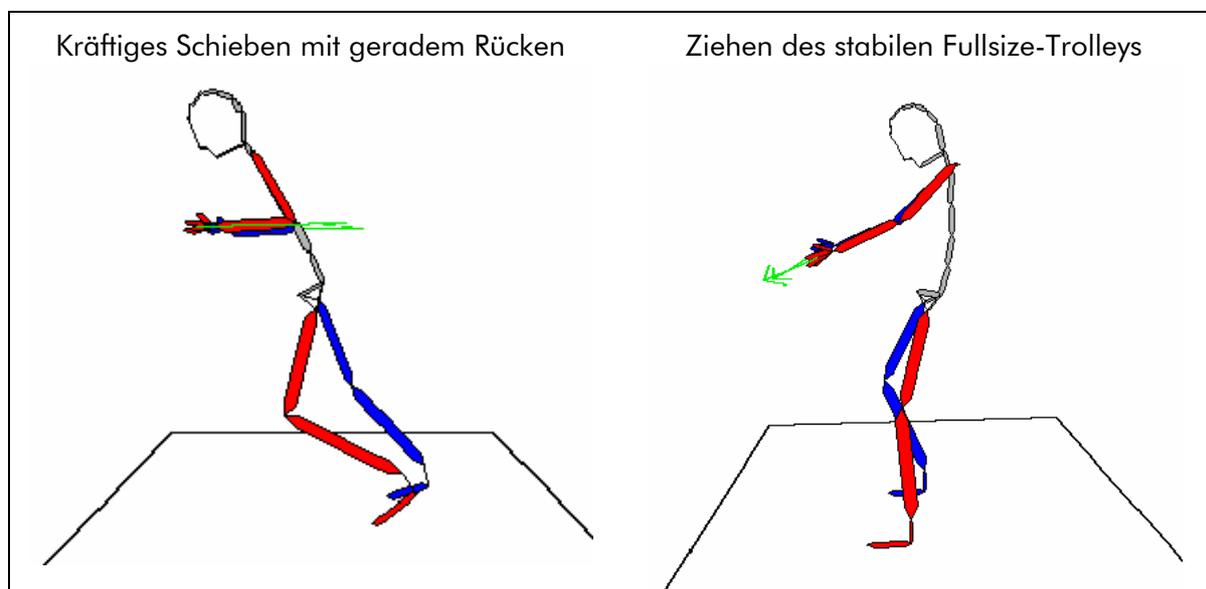


gelenk gebeugt (möglichst nicht über 120°) werden sollten, damit der Trolley relativ nah am Körper gut steuerbar geschoben werden kann. Mit einem relativ gestreckten Körper kann man sich dann dosiert gegen den Trolley lehnen, um ihn in Bewegung zu versetzen. Der Druck mit den Händen sollte immer nach vorne und leicht nach unten gerichtet sein, damit der geneigte Körper noch etwas abgestützt werden kann. Die Unterarm- und Oberarmmuskulatur sollte dabei nur mäßig beansprucht werden, indem die Wirkungslinien der Schiebekräfte der Hände in etwa längs durch die Unterarme verlaufen (siehe Abbildung 5-57, links). Der Hauptantrieb sollte aus der Bein- und der Rumpfmuskulatur erfolgen. Die Wirbelsäulenbelastung kann so auch unter extremen Bedingungen unter 1 kN gehalten werden. Dennoch ist die aufzubringende äußere Schiebekraft mit rund 300 N so hoch, dass Frauen unter solchen Bedingungen im Normalfall Trolleys nicht alleine bewegen sollten.

Abbildung 5-57:

Ergonomisch vorteilhaftes Verhalten beim Schieben eines Fullsize-Trolleys unter schweren Bedingungen (Neigung 8° , Masse 90 kg) (links).

Ziehen eines Fullsize-Trolleys in der Ebene (Neigung 0° , Masse 65 kg) (rechts)



Das Ziehen des Fullsize-Trolleys ist bei gemäßigten Bedingungen unter ergonomischen Gesichtspunkten noch vertretbar. Hierbei sollte ein Ziehen mit noch aufrechter Körperhaltung bei relativ geradem Rücken möglich sein (siehe Abbildung 5-57, rechts). Die



Arme sind fast gestreckt und zeigen schräg nach vorne unten. Die Zugrichtung der Hände sollte praktisch in Verlängerung der Arme verlaufen, um die Armmuskulatur nicht unnötig zu beanspruchen. Mit dieser Körperhaltung kann bei gemäßigten Bedingungen (Neigung unter 2° und mittlere Beladung) eine Wirbelsäulenbelastung im Bereich um 1 kN erreicht werden.

5.3.6.4 Einfluss exogener Faktoren beim Hantieren mit Trolleys

Äußere Umgebungsbedingungen können die Schwere einer Tätigkeit sehr stark beeinflussen. Beim Hantieren mit Trolleys in Flugzeugen sind Faktoren wie Gangbreite, Teppichboden etc. nur schwerlich veränderbar. Demgegenüber kann das Schuhwerk leichter auf die Anforderungen abgestimmt werden.

Im Rahmen der Laborstudie im BIA trat bei insgesamt 14 Versuchen ein Rutschen der Schuhe auf, sodass die Aufgabenstellung überhaupt nicht, nur grenzwertig oder mit Einschränkung bewältigt werden konnte (Tabelle 5-21).

Tabelle 5-21:
Übersicht über die Versuche, bei denen ein Rutschen der Schuhe auffällig war

VP-Nr.	Geschlecht	Tätigkeit	Trolley ¹	Neigung [°]	Masse [kg]	erfolgreich	rel. Max. Kraft ²
1	w	Ziehen	FS	8	90	nein	71 %
9	w	Schieben	FS	8	90	ja	97 %
9	w	Ziehen	FS	8	90	nein	111 %
14	w	Schieben	FS	8	90	nein	85 %
14	w	Schieben	FS	8	65	grenzwertig	70 %
14	w	Schieben	FS	8	40	ja	47 %
14	w	Ziehen	FS	8	90	nein	79 %
14	w	Ziehen	FS	8	65	nein	70 %
14	w	Schieben	HS	8	60	nein	65 %
15	w	Schieben	FS	8	90	nein	97 %
15	w	Ziehen	FS	8	90	nein	90 %
15	w	Ziehen	FS	8	65	nein	71 %
19	w	Ziehen	FS	8	90	nein	77 %
19	w	Ziehen	FS	8	65	nein	70 %

¹ FS: Fullsize, HS: Halfsize

² rel. Max. Kraft: maximal erreichte Aktionskraft in Relation zum Gruppenmittelwert der isometrischen Maximalkraft der Frauen



Dieses Problem betraf fünf der 22 untersuchten Frauen – entsprechend 23 %. Daher können rutschende Schuhe in der Kabine nicht nur als vereinzelt Problem angesehen werden. Die mit rutschenden Schuhen erreichten maximalen Aktionskräfte lagen im Bereich von 47 bis 111 % der Kraftwerte im Verhältnis zum Gruppenmittelwert der Frauen aus dem Maximalkrafttest. Ein interindividueller Vergleich zwischen statisch gemessenen und am Trolley gemessenen Werten ist mit den vorhandenen Daten nicht sinnvoll, da die Personen auch beim Maximalkrafttest die gleichen – evtl. glatten – Schuhe trugen und die maximale Kraftausübung bereits dort durch die Reibung der Schuhe limitiert war. Diese Rutschproblematik der Schuhe war im Vorfeld der Studie nicht bekannt und konnte daher im Versuchsdesign nicht berücksichtigt werden. Dennoch legen die vorliegenden Daten den Schluss nahe, dass häufig zu glattes Schuhwerk in der Kabine getragen wird und die körperliche Leistungsfähigkeit dadurch erheblich eingeschränkt wird. Unabhängig von der Gefährdung, die durch rutschende Schuhe in Notsituationen ausgeht, ergibt sich auch unter normalen Bedingungen beim Service ein erhöhtes Unfallrisiko oder zumindest eine Beeinträchtigung der Kraftübertragung beim Hantieren mit beladenen Trolleys.

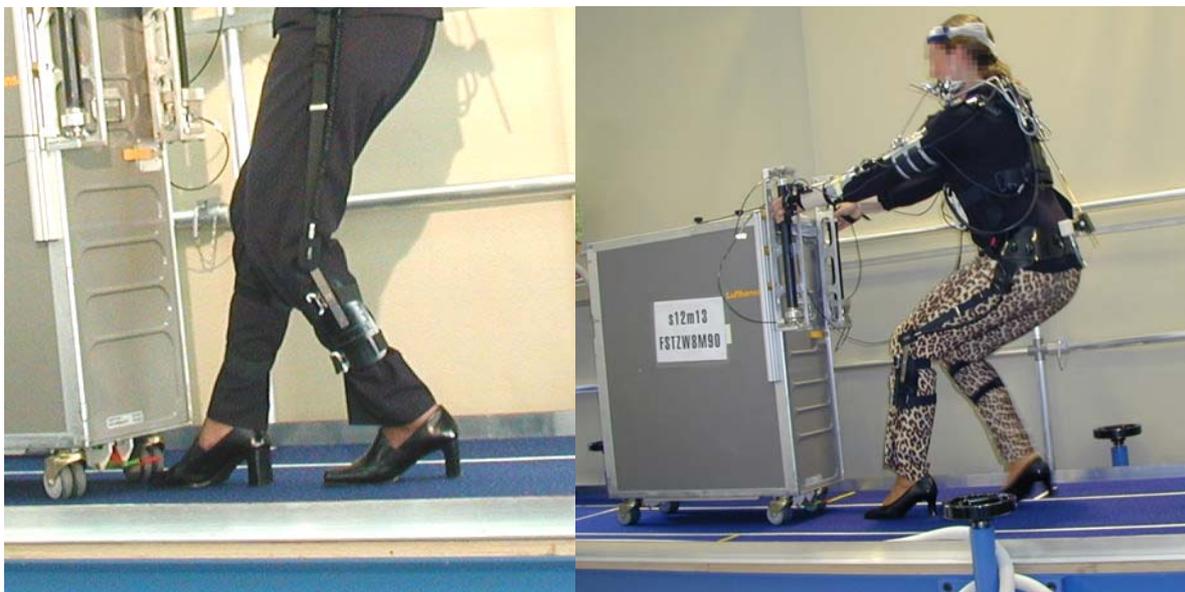
Das Rutschen der Schuhe trat immer bei Schuhen mit Ledersohle auf. Daher sollten die Dienstschuhe von Flugbegleiter/-innen immer zusätzlich zur Ledersohle mit einer (dünnen) rutschhemmenden Gummisohle ausgerüstet sein, um die Standsicherheit zu verbessern und das Hantieren mit den Trolleys etwas zu erleichtern.

Ein weiterer arbeitsschutztechnischer Aspekt ist die Höhe der Absätze. Beim Bergaufschieben eines Trolleys im Steigflug kann ein Absatz evtl. noch helfen, die Neigung des Gangs auszugleichen und damit die Dorsalflexion des Fußes etwas zu verringern (Abbildung 5-58, siehe Seite 271). Beim Ziehen beeinträchtigt ein Absatz dagegen immer die Kraftübertragung, da permanent eine Plantarflexion des Fußes (Spitzfußstellung) erzwungen wird, die sich beim Bergaufziehen noch verschärft (Abbildung 5-59, siehe Seite 271). Durch hohe Absätze wird nicht nur der Fuß und sein Gewölbe übermäßig beansprucht, sondern auch die gesamte kinematische Kette oberhalb muss sich dieser Situation anpassen, was das Ziehen dann zusätzlich erschwert.

Abbildung 5-58:
Fußhaltung beim Bergaufschieben mit erhöhten Schuhabsätzen



Abbildung 5-59:
Fußhaltung beim Bergaufziehen mit erhöhten Schuhabsätzen



Ohne an dieser Stelle konkrete Richtwerte vorgeben zu können, würde eine Beschränkung auf ca. 3 bis 4 cm Absatzhöhe eine arbeitstechnische Erleichterung erzeugen. Bei den im BIA untersuchten Flugbegleiterinnen wurden Absatzhöhen in einem Bereich von 2 bis 8 cm – bei einem Mittelwert von 4 cm – gemessen. Bei der Diskussion der Absatzhöhe ist allerdings zu bedenken, dass die Fußstellung neben der Absatzhöhe



auch wesentlich von der Schuhgröße mitbestimmt wird (die Schuhgröße wurde in der vorliegenden Studie nicht erfasst). Dennoch steigt aber auch unzweifelhaft die Umknickgefahr mit steigender Absatzhöhe. Daher sollten die Fluggesellschaften Vereinbarungen im oben beschriebenen Sinne mit ihren Flugbegleiterinnen treffen, damit die Dienstschuhe keine unnötigen Belastungen des Muskel-Skelett-Systems provozieren und kein unnötiges Sicherheitsrisiko darstellen.

5.4 Literatur

- [1] *Ellegast, R.*: Ermittlung und Bewertung der Belastung des Muskel-Skelettsystems bei beruflichen Tätigkeiten. In: *Coenen, W.* et al. (Hrsg.): arbeitsmedizin und arbeitschutz aktuell – Ein Loseblattwerk für die Praxis. 10.6 (Risikobeurteilung). 47. Lfg. Dezember 2000. Urban & Fischer, München 2000, S. 57-70
- [2] *Stoffert, G.*: Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode. Z. Arb. Wiss. 39 (11NF) (1985) Nr. 1, S. 31-38
- [3] *Murray, A.*: Modern weight training <dt.> Krafttraining: Gewichtheben für Fitness und Leistungssport. 11. Aufl. Weinmann, Berlin 2002
- [4] *Ehlenz, H.; Grosser, M.; Zimmermann, E.*: Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme. 7. Aufl., Neuausg. BLV, München 2003
- [5] prEN 1005-4: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen (5.02). Beuth, Berlin 2002