

BIA-Report 5/2004

Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen



BGF

Berufsgenossenschaft
für
Fahrzeughaltungen



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser: Ulrich Glitsch, Hans-Jürgen Ottersbach, Rolf Ellegast,
Ingo Hermanns, Wolfgang Feldges
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA
Sankt Augustin

Karlheinz Schaub, Knut Berg, Gabriele Winter
Institut für Arbeitswissenschaft – IAD,
Technische Universität Darmstadt

Kirsten Sawatzki, Jürgen Voß, Rainer Göllner, Matthias Jäger
Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität
Dortmund – IfADo

Gerhard Franz
Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen, Hamburg

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA
Alte Heerstr. 111, D-53754 Sankt Augustin
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01
Telefax: +49 / 02241 / 231 – 1333
Internet: www.hvbg.de
– Juli 2004 –
Redaktionsschluss: März 2004

ISBN: 3-88383-670-2

ISSN: 0173-0387

Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen

Kurzfassung

Insbesondere bei Kurzstreckenflügen beginnt und endet der Service in der Kabine im Steig- bzw. Sinkflug. In diesem Zusammenhang sind Flugbegleiter/-innen beim Bewegen der Servierwagen (Trolleys) aufgrund des geneigten Kabinenbodens erhöhten Muskel-Skelett-Belastungen ausgesetzt. Bisher wurden diese Belastungen meist über physikalisch-theoretische Modelle abgeschätzt, in denen die reale Handhabung des Trolleys und die physischen Voraussetzungen der Berufsgruppe nur ansatzweise berücksichtigt werden können. In dieser Studie wurden die Statur und die körperliche Leistungsfähigkeit in Form von Maximalkraftmessungen von rund 500 Flugbegleiter/-innen erhoben sowie die Haltungen und äußeren Muskel-Skelett-Belastungen beim Schieben und Ziehen von Trolleys im Labor unter nachgestellten Kabinenbedingungen gemessen. Aus den Messdaten wurden auf der Grundlage biomechanischer Modellrechnungen die aufgetretenen Lendenwirbelsäulenbelastungen über das Sagittalmoment und die Kompressionskraft an L5-S1 bestimmt. Unter Anwendung einschlägiger Richtwerte und internationaler Normen wurden die Ergebnisse bewertet und Empfehlungen zur Handhabung von Trolleys erstellt, um das Risiko der Entwicklung berufsbedingter Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems zu verringern.

Study on the strain on flight attendants from the pushing and pulling of trolleys aboard aircraft

Abstract

In particular on short flights, cabin service begins and ends during the ascent and descent phases. Consequently, due to the pitch of the cabin floor, flight attendants are exposed to elevated musculo-skeletal loads while pushing or pulling trolleys. Usually these load situations have been estimated with theoretical physical models until now. In these models the real trolley handling situation and other physical prerequisites of the professional group could be approximated only. In this study stature and physical strength capabilities (static MVC) of almost 500 flight attendants were measured. Posture and action forces during the pushing and pulling operations were simulated in the laboratory under cabin conditions. A biomechanical model ("The Dortmunder") was applied to quantify several indicators of lumbar-spine load, in particular, the sagittal moment at and compression force on the lumbosacral disc using anthropometric, posture and action-force data recorded in the laboratory experiments. Relevant key values and guidelines (e. g. international standards) were used to evaluate the results gained and to derive recommendations for an improved handling of trolleys in order to reduce the risk of work-related diseases of the musculo-skeletal system.

Étude des contraintes subies par le personnel de cabine en poussant et en tirant les chariots dans les avions

Résumé

Particulièrement sur les vols court courrier, le service du personnel de cabine commence et se termine lors de la montée et de la descente de l'avion. Dans ces conditions, les hôtesses et stewards sont soumis à des contraintes accrues du système musculo-squelettique quand ils manœuvrent les chariots de service, en raison de l'inclinaison du sol de la cabine. Jusqu'à présent, ces contraintes ont fait le plus souvent l'objet d'estimations, à partir de modèles de physique théorique dans lesquels les manœuvres effectuées réellement avec les chariots, ainsi que les conditions physiques de ce groupe professionnel, ne pouvaient être pris en compte que de manière rudimentaire. Dans cette étude, la stature et la force physique (déterminée sous forme de mesure de la force maximale) d'environ 500 hôtesses et stewards ont été relevées, de même que leur attitude et les contraintes externes s'exerçant sur leur système musculo-squelettique quand ils poussent et tirent des chariots. Ces mesures ont été effectuées en laboratoire, dans des conditions reproduisant celles rencontrées en cabine. À partir des mesures ainsi obtenues, et sur la base de modèles de calcul biomécaniques, les contraintes subies par la colonne vertébrale lombaire ont été déterminées à l'aide du couple sagittal et la force de compression s'exerçant sur les vertébrales L5-S1. Les résultats ont été analysés, en recourant à des valeurs indicatives pertinentes et à des normes internationales. Des recommandations portant sur la manipulation des chariots ont été formulées, afin de réduire les risques d'apparition de troubles du système musculo-squelettique d'origine professionnelle.

Estudio de las cargas físicas de los tripulantes de cabina de pasajeros al empujar y tirar de los carritos de servicio a bordo de aviones

Resumen

Especialmente durante los vuelos cortos, el servicio de cabina suele empezar y acabar en vuelo ascendente y descendente respectivamente. En consecuencia, los tripulantes de cabina de pasajeros están expuestos a elevadas cargas musculoesqueléticas al mover los carritos de servicio debido a la posición inclinada del suelo de la cabina. Hasta ahora, este tipo de cargas se han determinado mediante modelos físico-teóricos en los que la manipulación real del carrito y las condiciones físicas de este grupo profesional son sólo aproximadas. En el presente estudio se han recopilado los datos de estatura y capacidad física, en forma de pruebas de fuerza máxima, de unos 500 tripulantes de cabina de pasajeros; asimismo, se han medido las posturas y cargas musculoesqueléticas externas al empujar y tirar de los carritos de servicio en el laboratorio, en condiciones que simulan las situaciones reales de una cabina. A partir de los datos de medición y basándose en cálculos de modelos biomecánicos, se determinaron las cargas sobre la columna vertebral a través del momento de fuerza en el plano sagital y la fuerza de compresión en L5-S1. Aplicando los valores de referencia pertinentes y las normas internacionales, se analizaron los resultados y se elaboraron recomendaciones para la manipulación de los carritos a fin de reducir el riesgo de desarrollar enfermedades profesionales relacionadas con el sistema musculoesquelético.

Danksagung

Wir möchten uns bei allen bedanken, die zum Gelingen des Projektes und des vorliegenden Reports beigetragen haben. Insbesondere gilt unser Dank den fünf Fluggesellschaften Lufthansa CityLine, Lufttransport-Unternehmen (LTU), Eurowings Luftverkehr, Hapag Lloyd Flug und Deutsche Lufthansa, die überaus kooperativ ihr Personal und Mitflugkapazitäten für die Untersuchungen bereitstellten. Ferner gilt unser Dank der Initiative der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen, die den Anstoß und fortwährende Unterstützung für das Projekt gegeben hat.

Nicht vergessen werden soll der Dank an die zahlreichen Mitarbeiter der am Projekt beteiligten Institute der Technischen Universität Darmstadt und der Universität Dortmund sowie des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BIA, deren namentliche Nennung hier den Rahmen sprengen würde – ohne die das Projekt aber nicht hätte durchgeführt werden können. Unser ganz persönlicher Dank gilt Frau *Brigitte Meik*, die mit großem Einsatz die einzelnen Textbeiträge zusammengefügt und die Formatierung dieses Reports vorgenommen hat.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 13 |
| 2 | Aufgabenstellung | 19 |
| 3 | Belastung beim Ziehen und Schieben von Trolleys | 23 |
| 3.1 | Mitflugbeobachtungen | 23 |
| 3.2 | Befragung zur Einschätzung der Belastung beim Ziehen und Schieben von Trolleys | 29 |
| 3.3 | Lokalisation hoher Belastungsempfindung beim Ziehen und Schieben von Trolleys | 32 |
| 3.4 | Literatur | 34 |
| 4 | Population und körperliche Leistungsfähigkeit von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern in Deutschland | 35 |
| 4.1 | Rechtliche Grundlagen zu Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz | 35 |
| 4.1.1 | Das Konzept dualer Arbeitssicherheit in der EU | 35 |
| 4.1.2 | EU-Rahmenrichtlinie nebst relevanten Einzelrichtlinien | 38 |
| 4.1.3 | Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Rahmen des europäischen Binnenmarktes | 43 |
| 4.1.4 | Stand der Wissenschaft | 48 |
| 4.2 | Arbeitswissenschaftliche Grundlagen zum manuellen Ziehen und Schieben von Lasten | 50 |
| 4.3 | Probandenkollektive | 55 |
| 4.3.1 | BIA-Probanden | 55 |
| 4.3.2 | LH-Probanden | 58 |
| 4.3.3 | LH-Grundgesamtheit | 64 |
| 4.3.4 | LTU-Grundgesamtheit | 66 |
| 4.4 | Datenerhebung | 69 |
| 4.4.1 | Subjektives Beschwerdeempfinden | 70 |
| 4.4.2 | Kraftwerte | 72 |
| 4.5 | Ergebnisse | 75 |
| 4.5.1 | Maximalkräfte der LH-Probanden | 75 |
| 4.5.2 | Korrelation von Kräften und biometrischen Daten | 78 |
| 4.5.3 | Synthetische LH- und LTU-Verteilungen | 81 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.5.4 | Einordnung der synthetischen Verteilungen in die Grundgesamtheit der Erwerbstätigen | 87 |
| 4.6 | Bewertungsverfahren | 90 |
| 4.6.1 | Verfahren nach <i>Davis</i> und <i>Stubbs</i> | 90 |
| 4.6.2 | Verfahren nach <i>Mital</i> , <i>Nicholson</i> und <i>Ayoub</i> | 94 |
| 4.6.3 | Verfahren nach Siemens und Derivaten | 96 |
| 4.6.4 | Verfahren nach „Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben“ (LMM-ZS) | 107 |
| 4.6.5 | Verfahren nach DIN EN 1005-3 | 109 |
| 4.6.6 | Verfahren nach Arbeitspapier ISO/WD 11228-2 | 115 |
| 4.6.7 | Verfahren nach ISO/CD 11228-2 | 117 |
| 4.7 | Modellrechnung | 118 |
| 4.7.1 | Modellrechnungen nach <i>Davis</i> und <i>Stubbs</i> | 119 |
| 4.7.2 | Modellrechnungen nach <i>Mital</i> , <i>Nicholson</i> und <i>Ayoub</i> | 122 |
| 4.7.3 | Modellrechnungen nach Siemens und Derivaten | 124 |
| 4.7.4 | Modellrechnungen nach „Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben“ (LMM-ZS) | 140 |
| 4.7.5 | Modellrechnungen nach DIN EN 1005-3 | 141 |
| 4.7.6 | Modellrechnungen nach Arbeitspapier ISO/WD 11228-2 | 147 |
| 4.7.7 | Modellrechnungen nach ISO/CD 11228-2 | 150 |
| 4.8 | Bewertung der Modellrechnungen | 152 |
| 4.8.1 | Verfahren nach <i>Davis</i> und <i>Stubbs</i> | 152 |
| 4.8.2 | Verfahren nach <i>Mital</i> , <i>Nicholson</i> und <i>Ayoub</i> | 152 |
| 4.8.3 | Verfahren nach Siemens und Derivaten | 155 |
| 4.8.4 | Verfahren nach „Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben“ (LMM-ZS) | 159 |
| 4.8.5 | Verfahren nach DIN EN 1005-3 | 160 |
| 4.8.6 | Verfahren nach dem Arbeitspapier ISO/WD 11228-2 | 161 |
| 4.8.7 | Verfahren nach ISO/CD 11228-2 | 162 |
| 4.9 | Empfohlene maximale Aktionskräfte für das Ziehen und Schieben von Trolleys | 162 |
| 4.9.1 | Vergleichende Bewertung der durchgeführten Modellrechnungen | 163 |
| 4.9.2 | Empfehlungen für maximal an Trolleys auszuübende Aktionskräfte | 164 |
| 4.10 | Literatur | 168 |
| 5 | Untersuchung der Handhabung und der Muskel-Skelett-Belastungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys | 175 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.1 | Design der Laboruntersuchung | 175 |
| 5.2 | Aufbau und Durchführung der Laboruntersuchung | 177 |
| 5.2.1 | Aufbau und Einrichtung einer Flugzeugbodennachbildung | 178 |
| 5.2.2 | Eigenschaften und Ausrüstung der Trolleys | 182 |
| 5.2.3 | Dynamische Messung der Handkräfte am Trolley | 185 |
| 5.2.4 | Dynamische Messung der Bodenreaktionskraft beim Start eines Zieh- oder Schiebevorganges..... | 189 |
| 5.2.5 | Beschleunigungsmessungen am Trolley beim Ziehen und Schieben | 190 |
| 5.2.6 | Maximalkraftmessungen | 191 |
| 5.2.7 | CUELA-Messsystem | 194 |
| 5.2.8 | Messdatenerfassung und Auswertung | 198 |
| 5.2.9 | Versuchsdurchführung | 201 |
| 5.3 | Ergebnisse der Laboruntersuchung | 203 |
| 5.3.1 | Aktionskräfte am Trolley beim Ziehen und Schieben | 203 |
| 5.3.2 | Bodenreaktionskräfte zu Beginn von Zieh- und Schiebevorgängen | 238 |
| 5.3.3 | Auswertung der Beschleunigungssignale | 241 |
| 5.3.4 | Maximalkraftmessungen des BIA-Probandenkollektivs | 245 |
| 5.3.5 | Individuelle Belastung des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben | 248 |
| 5.3.6 | Bewegungs- und Belastungsanalyse des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben von Trolleys..... | 250 |
| 5.3.6.1 | Kinematik und äußere Belastungssituation des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben | 251 |
| 5.3.6.2 | Vergleichende Analyse der Kinematik beim Ziehen und Schieben | 255 |
| 5.3.6.3 | Beispiele von unterschiedlichem Bewegungsverhalten | 264 |
| 5.3.6.4 | Einfluss exogener Faktoren beim Hantieren mit Trolleys | 269 |
| 5.4 | Literatur | 272 |
| 6 | Belastung der Wirbelsäule beim Ziehen und Schieben von Trolleys | 273 |
| 6.1 | Methodik | 274 |
| 6.1.1 | Kenngrößen der Belastung der Lendenwirbelsäule | 274 |
| 6.1.2 | Biomechanische Modellierung zur Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung | 276 |
| 6.2 | Erläuterungen zur Erhebung der Daten und zum Datentransfer | 279 |
| 6.2.1 | Lumbal-biomechanische Analyse auf der Basis externer Belastungsdaten | 279 |
| 6.2.2 | Transfer der externen Belastungsdaten | 281 |

| | | |
|---|---|------------|
| 6.2.2.1 | Prinzipieller Aufbau einer tätigkeitsbeschreibenden Datei | 282 |
| 6.2.2.2 | Anpassung der Datensätze | 282 |
| 6.3 | Analyse einzelner typischer Bewegungsabläufe | 287 |
| 6.3.1 | Abtastrate | 288 |
| 6.3.2 | Zeitliche Segmentierung von Schiebe- oder Ziehvorgängen | 290 |
| 6.3.3 | Exemplarische Darstellung von Körperhaltungssequenzen | 291 |
| 6.3.3.1 | Zeitverlauf eines Schiebevorganges | 292 |
| 6.3.3.2 | Zeitverlauf eines Ziehvorganges | 298 |
| 6.3.4 | Belastungskenngrößen an der Lendenwirbelsäule | 301 |
| 6.3.4.1 | Zeitverlauf eines Schiebevorganges | 301 |
| 6.3.4.2 | Zeitverlauf eines Ziehvorganges | 303 |
| 6.4 | Zusammenfassende Darstellung der Wirbelsäulenbelastung | 305 |
| 6.4.1 | Tätigkeitsbedingte Unterschiede im Zeitverlauf | 305 |
| 6.4.2 | Identifizierung angemessener Belastungskennwerte | 310 |
| 6.4.3 | Varianz der Belastungen der Lendenwirbelsäule | 314 |
| 6.5 | Diskussion | 322 |
| 6.5.1 | Personenbedingte Unterschiede im Zeitverlauf | 322 |
| 6.5.2 | Biomechanische Bewertung der Belastung der Wirbelsäule | 326 |
| 6.5.3 | Lumbal-biomechanische Beurteilung der Trolley-Bewegungen | 329 |
| 6.6 | Schlussfolgerungen zur biomechanischen Analyse der Lendenwirbelsäulenbelastung | 336 |
| 6.7 | Ausblick | 337 |
| 6.8 | Literatur | 339 |
| 7 | Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse | 343 |
| 7.1 | Literatur | 358 |
| Anhang 1: Übersicht über die Mitflugbeobachtungen | | 359 |
| Anhang 2: Fragebogen zur Trolley-Handhabung und Belastungs- einschätzung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern | | 359 |
| Anhang 3: Population und körperliche Leistungsfähigkeit von Flugbegleiterinnen in Deutschland | | 362 |



1 Einleitung

Seit vielen Jahren beschäftigen sich nicht nur die deutschen Fluggesellschaften mit der Frage, welche Verschiebekräfte beim Bewegen von Trolleys während des Service an Bord der Flugzeuge aufzubringen sind und ob sich daraus Belastungen der Lendenwirbelsäule ergeben. Gesucht wird auch nach Antworten auf die Frage, welchen Einfluss das Gewicht des Trolleys, die Neigung des Flugzeugbodens beim Verfahren des Trolleys sowie seine Gestaltung und Geometrie aber auch sein Pflegezustand auf die Verschiebekräfte haben.

Mit dem Inkrafttreten des Arbeitsschutzgesetzes [1] und der Lastenhandhabungsverordnung [2] 1996 hat die Beantwortung dieser Fragen eine ergänzende Bedeutung erhalten, denn nach diesen beiden staatlichen Rechtsvorschriften ist der Arbeitgeber verpflichtet, eine Gefährdungsermittlung und -beurteilung durchzuführen, um geeignete Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu veranlassen. Der Arbeitgeber ist insofern auf Informationen angewiesen, die Auskunft über mögliche grenzwertige Verschiebekräfte geben. Ihm ist auch daran gelegen, Hinweise darüber zu erhalten, welche Verschiebekräfte zu welchem Grad von Belastungen im Lendenwirbelsäulenbereich führen können.

Einen Hinweis auf einen möglichen Grenzwert enthält die Unfallverhütungsvorschrift „Luftfahrt“ BGV C 10 [3], die in § 14 ausführt, dass Servicewagen mit möglichst geringem Kraftaufwand bewegbar sein müssen, wobei, wie in der Durchführungsanweisung zu diesem Paragraphen ausgeführt wird: „Ein möglichst geringer Kraftaufwand vorliegt, wenn die auf einer horizontalen Ebene aufgebraachte Horizontalkraft auf dem im Luftfahrzeug verwendeten Fußbodenbelag zum Verschieben des Servicewagens – gemessen an der Stelle, an der betriebsüblich die Verschiebekräfte aufgebracht werden – 200 N nicht überschreitet“. Diese Festlegung der maximalen Schiebekräfte erfolgte 1986 mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln. Es gilt daher auch, die in der für die Fluggesellschaften verbindlichen Unfallverhütungsvorschrift festgelegten Werte mit differenzierten Untersuchungsmethoden auf die Richtigkeit zu überprüfen.



Mit dem Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung [4] am 3. Oktober 2002 ist der Arbeitgeber verpflichtet worden, auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung Maßnahmen des Arbeitsschutzes festzulegen und hierbei „auch die ergonomischen Zusammenhänge zwischen Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsorganisation, Arbeitsablauf und Arbeitsaufgabe zu berücksichtigen; dies gilt insbesondere für die Körperhaltung, die Beschäftigte bei der Benutzung der Arbeitsmittel einnehmen müssen“.

Die Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ BGV A 1 [5], die am 1. Januar 2004 in Kraft getreten ist und den Unternehmer verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren zu treffen, bildet den Abschluss der Vorschriften, die im Zusammenhang mit dem Schieben und Ziehen von Trolleys an Bord von Flugzeugen zu beachten sind.

Die Notwendigkeit, Antworten zu finden, dürfte damit hinreichend belegt sein. Allerdings zeigen die Vorschriften aber auch auf, dass es mit der Ermittlung der Verschiebekräfte nicht getan ist. Ergonomische Zusammenhänge zwischen Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsorganisation, Arbeitsablauf und Arbeitsaufgabe werden außerdem als wesentlich bei der Suche nach Maßnahmen genannt.

Diese ergonomischen Zusammenhänge können von Flug zu Flug variieren, da sie einer nicht unerheblichen Anzahl von Einflüssen unterliegen. Hierzu zählen

- die Länge des Fluges: Je kürzer die Strecke und je größer der Sitzplatzfaktor ist, umso früher muss der Service während des Steigfluges beginnen und umso später kann er während des Sinkfluges enden. Das bedeutet, dass die Trolleys bei zum Teil deutlicher Neigung des Flugzeugbodens verfahren werden müssen;
- die Anzahl der Flugbegleiterinnen und Flugbegleiter, die mit dem Austeilen der Speisen und Getränke betraut sind: Je geringer deren Anzahl bemessen ist, desto früher muss mit dem Service begonnen werden und desto später kann er erst beendet werden, was bedeutet, dass der Service zum Teil im Steig- bzw. Sinkflug durchgeführt werden muss;



- ❑ das Gewicht und die Beladung des Trolleys: Ein hohes Gesamtgewicht erschwert das Handling des Trolleys insgesamt und durch schlechte Topbeladung wird sein Gesamtschwerpunkt so weit nach oben verlagert, dass Aktionen zum Verfahren nur sehr vorsichtig eingeleitet werden dürfen, um ein Kippen des Trolleys zu verhindern;
- ❑ die ergonomische Gestaltung und Anordnung von Handgriffen, mit denen der Trolley durch den Gang des Flugzeuges manövriert wird: Keine oder ungeeignet angebrachte bzw. gestaltete Handgriffe erfordern einen unnötig hohen Kraftaufwand beim Verschieben des Trolleys und können zudem eine hoch belastende Körperhaltung erzwingen;
- ❑ der technische Zustand des Trolleys, insbesondere der Rollen: Schwer gängige Rollen, ausgeschlagene Lager und verbogene Rollenhalter erschweren das In-Bewegung-Setzen und Verfahren des Trolleys, insbesondere bedingt durch das Erschwernis, dass der Gang zwischen den Sitzreihen nur wenig breiter ist als der Trolley;
- ❑ der Ausbildungsstand des Flugbegleitpersonals: Von wenigen Ausnahmen abgesehen, bei denen keine Ausbildung bzw. nur ein Anlernen erfolgt, verläuft die Ausbildung bei den verschiedenen Fluggesellschaften prinzipiell gleichartig mit geringen Unterschieden, z. B. in Form eines vier- (für Kurzstreckenverkehr) bis sechswöchigen Kurses (für Langstreckenverkehr). Dazu gehören u. a. ein „Service Training“ mit praktischen Übungen, Unterweisungen in Arbeitssicherheit und Rückenschulung. Was das reine Verfahren des Trolleys im Flugzeug anbelangt, so erfolgt hierzu keine spezielle Ausbildung, die vermittelt, wie ein Trolley ergonomisch günstig verfahren werden kann.

Diese Beispiele lassen sich noch um einige fortführen.

Beschränkt man sich im ersten Ansatz auf die Ermittlung der Verschiebekräfte, so ist festzustellen, dass es Fluggesellschaften gibt, die die aufzubringenden Aktionskräfte zum Bewegen von Trolleys anhand mathematisch-physikalischer Modellrechnungen zu



bestimmen versuchen. Die mit den Händen auf einen Trolley real eingeleiteten Kräfte beim Schieben oder Ziehen lassen sich auf diese Weise allerdings nur im Sinne einer Minimalabschätzung für einen theoretisch definierten Trolley-Bewegungsablauf bestimmen. In welche Richtung und mit welchem zeitlichen Verlauf die Kräfte unter realen Bedingungen aufgebracht werden, kann man mit den Modellrechnungen nicht ermitteln.

Ebenso wenig können die äußeren und inneren Muskel-Skelett-Belastungen, insbesondere die Belastungen der Lendenwirbelsäule, bestimmt werden. Somit kann eine Gefährdungsbeurteilung des Flugbegleitpersonals in Zusammenhang mit dem Verschieben von Trolleys mit den bisherigen Modellrechnungen nur unzureichend erfolgen.

Die Lufthansa bezog sich z. B. bei der Ermittlung und Beurteilung der Belastungen, die sich aus dem Verschieben der Trolleys in Flugzeugen ergaben, auf eine Studie der Universität Darmstadt von 1991. Darin wurden Schiebekräfte mit einem physikalischen Modell unter Einbeziehung des Flugzeugneigungswinkels, der Containermasse, der beim Anschieben auftretenden Beschleunigung und den Reibverhältnissen berechnet. Diese Berechnungen führten zu Grenzwerten, die zusammen mit den Modellrechnungen zulässige Kombinationen von Trolley-Masse und Neigungswinkel des Flugzeugbodens ergaben.

Trotz der Bemühungen der Luftfahrtgesellschaften, zu hohe Belastungen beim Verschieben der Trolleys zu vermeiden, wurde seitens der Flugbegleiterinnen und Flugbegleiter, die bei der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen versichert sind, immer häufiger berichtet, dass sie infolge der Service-Tätigkeiten an Bord der Flugzeuge hohen körperlichen Belastungen, vorwiegend im Bereich des Rückens, ausgesetzt seien.

Insbesondere würden Flugbegleiterinnen dann über Rückenprobleme klagen, wenn sie die Trolleys aus ihren Staupositionen hervor holen und zur Durchführung des Service in die Gänge des Flugzeuges schieben oder ziehen müssen, während sich das Flugzeug noch im Steigflug befindet. Außerdem würde der Service so lange dauern, dass



die Trolleys noch verschoben werden müssten, während sich das Flugzeug bereits wieder im Sinkflug befindet.

Um einen ersten Eindruck zu gewinnen, in welchem Umfang das Verschieben der Trolleys in der zuvor beschriebenen Weise belastend oder in welcher Weise sogar gefährdend sein kann, hat das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BIA auf Wunsch der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen (BGF) und der Deutschen BA in München 1999 erste Messungen mit dem im BIA entwickelten Messsystem mit der Bezeichnung CUELA-HTR (Computer-unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen beim Heben, Tragen und Rumpfbeugen) durchgeführt.

Diese ersten orientierenden Messungen, die die tatsächlichen Gegebenheiten an Bord der Flugzeuge nur im Ansatz berücksichtigten, wiesen sehr deutlich darauf hin, dass bereits das Verschieben eines voll beladenen Trolleys auf ebenem Boden mit nicht unerheblichen Muskel-Skelett-Belastungen verbunden sein kann.

Die Messungen reichten aber aufgrund ihres exemplarischen Charakters nicht aus, um eine verallgemeinerungsfähige Bewertung der Belastungssituation durchzuführen, da weitere Informationen zum Serviceablauf an Bord bei diesen Messungen nicht berücksichtigt werden konnten.

Im weiteren Verlauf dieser Untersuchungen wurden in einer etwas umfangreicher angelegten Laboruntersuchung im BIA mit zwei Flugbegleiterinnen der Deutschen BA Belastungsmessungen bei Variation des Trolley-Gewichts, der Neigung des nachgestellten Kabinenbodens und der Stellung der Trolley-Rollen bei Beginn des Schiebevorgangs durchgeführt. Die Schiebkräfte wurden dabei mit einem einaxialen Kraftaufnehmer am Trolley erfasst. Ferner wurden unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen maximalen Schiebekraft eingesetzt.

Als Ergebnis wurde ein Toleranzbereich für die maximal akzeptablen Schiebkräfte von 100 bis 120 N ermittelt. Die Unsicherheiten bei der Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit des Flugbegleitpersonals, der tatsächlichen Anzahl der Schiebeporgänge an Bord und der festgestellten Variationsbreite in der Bewegungsausführung



der zwei Probandinnen ließen das Ergebnis jedoch als statistisch unzureichend abgesichert erscheinen.

Seitens der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen wurde in Übereinstimmung mit dem BIA entschieden, in einer ergänzenden Untersuchung zum einen die Belastungsanalyse mit einem größeren Probandenkollektiv zur Möglichkeit einer statistischen Absicherung durchzuführen und zum anderen die manuelle Handhabung auf das Ziehen von Trolleys auszuweiten. Darüber hinaus sollten neuere Erkenntnisse zur Beurteilung dieser Schiebe- und Ziehtätigkeiten einbezogen werden.

Anfang 2001 konnten die Luftfahrtgesellschaften Lufthansa CityLine, Lufttransport-Unternehmen (LTU), Eurowings Luftverkehr, Hapag Lloyd Flug und Deutsche Lufthansa (LH) gewonnen werden, sich durch Bereitstellung von Probanden und Mitflugkapazitäten an den weiteren Untersuchungen zu beteiligen. Ferner wurden Untersuchungsteilbereiche, die die Ermittlung und Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit des Flugbegleitpersonals und die Ermittlung der Belastungen, insbesondere der Lendenwirbelsäule, durch das Schieben und Ziehen der Trolleys zum Gegenstand haben sollten, an das Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt (IAD) und das Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (IfADo) vergeben. Das BIA übernahm die Planung und Koordinierung der gesamten Untersuchung sowie die Durchführung der Mitflugbeobachtungen und die umfangreichen Laboruntersuchungen. Das Ergebnis dieser Untersuchung soll es ermöglichen, mit den Fluggesellschaften in eine Diskussion einzutreten, um die Variablen dieses Arbeitsvorganges dahingehend zu optimieren, dass Gefährdungen durch zu hohe Belastungen weitgehend vermieden werden können.

Literatur

Siehe Seite 34



2 Aufgabenstellung

Aufbauend auf den bisherigen Studien sollte in der vorliegenden Studie die Muskel-Skelett-Belastung von Flugbegleiter/-innen beim Schieben und Ziehen von Trolleys eingehender als bisher auf einer statistisch besser abgesicherten Stichprobe untersucht werden. Zur Planung und Durchführung dieses Forschungsvorhabens wurde auf Initiative der Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen (BGF) ein Konsortium aus fünf Fluggesellschaften (Deutsche Lufthansa, Eurowings, Hapag Lloyd, Lufthansa City-Line und LTU), zwei Universitätsinstituten – Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt (IAD) und Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (IfADo) – und dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BIA gebildet. Aus der Planung ergaben sich die nachfolgend aufgeführten Untersuchungsteile.

Mitflugbeobachtungen

Zunächst sollten im Rahmen von Mitflugbeobachtungen und einer Befragung durch das BIA die Tätigkeiten und Anforderungen sowie die subjektive Belastungseinschätzung der Flugbegleiter/-innen erfasst werden. Dabei wurde der Schwerpunkt auf Kurz- und Mittelstreckenflüge gelegt, da dort – aufgrund der restriktiven Zeitvorgaben – die Belastungsproblematik beim Ziehen und Schieben von Trolleys als am größten eingeschätzt wurde. Ferner sollte die Flugbeobachtung auf unterschiedlichen Flugzeugtypen durchgeführt werden, um evtl. auch typenabhängige Besonderheiten erfassen zu können.

Anthropometrie und Maximalkraftniveau der Population der Flugbegleiter/-innen in Deutschland

Aus bestehenden Dokumentationen der am Projekt beteiligten Fluggesellschaften und einer Feldstudie mit mindestens 250 Flugbegleitern/-innen sollten durch das IAD anthropometrische Daten und die Maximalkraftfähigkeit erhoben werden, um die Population der Flugbegleiter/-innen in Deutschland statistisch abgesichert beschreiben zu können. Es ist davon auszugehen, dass die selektive Auswahl von Flugbegleitern/



Flugbegleiterinnen bei der Einstellung eine spezifische Population zur Folge hat, die sich signifikant von der europäischen Durchschnittsbevölkerung unterscheidet. Daher kann eine Bewertung der Muskel-Skelett-Belastungen und die Ableitung von Belastungsgrenzen nur vor dem Hintergrund dieser besonderen Population der Flugbegleiter/-innen erfolgen.

□ Laboruntersuchung zu Muskel-Skelett-Belastungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys

Die besonderen Arbeitsbedingungen von Flugbegleitern/-innen lassen unter normalen Flugbedingungen keine quantitative Analyse der Muskel-Skelett-Belastungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys zu. Daher sollten die Belastungen von Flugbegleiter/-innen beim Ziehen und Schieben unterschiedlich beladener Half- und Fullsize-Trolleys in einer Laborstudie auf einer verstellbaren schiefen Ebene (0° , 2° , 5° und 8°) im BIA analysiert werden. Hierbei galt es, die am Trolley aufgebrachten Handhabungskräfte (dreidimensional) und die Belastungen des Muskel-Skelett-Systems biomechanisch zu erfassen. Zur Bewegungsmessung sollte das am BIA entwickelte CUELA-Messsystem eingesetzt werden. Aufgrund des großen messtechnischen Aufwandes und der Komplexität der anschließenden Analysen konnte für die Laborstudie nur eine Auswahl von 25 Flugbegleitern/-innen (22 Frauen und drei Männer) vorgesehen werden. Die drei beteiligten Männer sollten hierbei nur Referenzwerte liefern, da eine Überlastungsproblematik des Muskel-Skelett-Systems eher bei Frauen zu erwarten ist und die Männer in diesem Beruf relativ unterrepräsentiert sind.

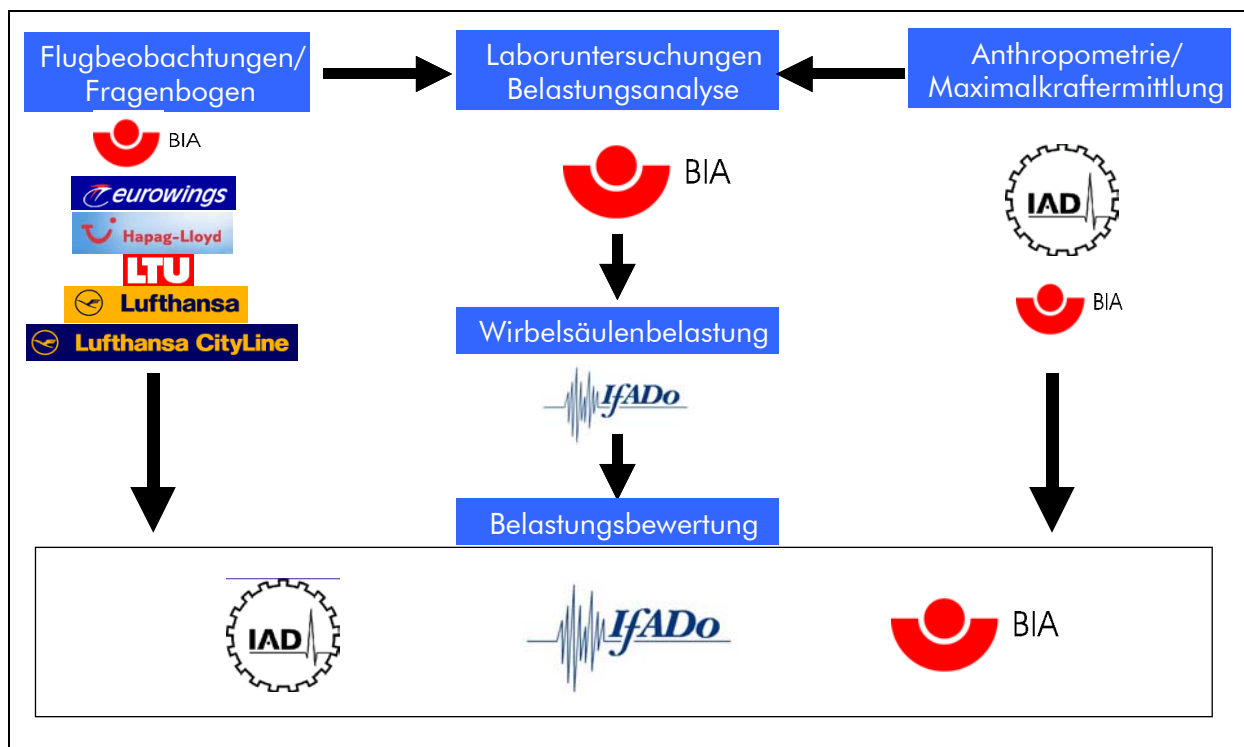
□ Bestimmung der Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen und Schieben

Aus den in der Laborstudie erhobenen Daten sollte im Anschluss mit dem biomechanischen Modell „Der Dortmund“ (IfADo) die Wirbelsäulenbelastung im Bereich der Lendenwirbelsäule L5-S1 abgeschätzt werden. Hierzu musste eine spezielle Schnittstelle vom CUELA-Messsystem zum „Dortmunder“ erstellt werden, um die Messdaten modellkonform übertragen zu können.



In einer zusammenfassenden Betrachtung sollten dann die einzelnen Befunde mit anerkannten ergonomischen Verfahren bewertet werden, um Belastungsgrenzwerte und Präventionsmaßnahmen ableiten zu können. Eine Übersicht über den schematischen Ablauf der gesamten Studie ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

Abbildung 2-1:
Übersicht über den Ablauf der Studie





3 Belastung beim Ziehen und Schieben von Trolleys

3.1 Mitflugbeobachtungen

Bei zehn Mittel- und Kurzstreckenflügen der am Projekt beteiligten Fluggesellschaften durften Mitarbeiter des BIA die Serviceabläufe an Bord beobachten. Im Vordergrund standen die verschiedenen Handhabungen der Trolleys beim Serviervorgang. Mit einem programmierbaren Taschenrechner wurden die Art der Tätigkeit (Ziehen/Schieben), die Positionierung der Hände und die Dauer des Vorgangs während des Service codiert. Parallel dazu wurden Foto- und Videoaufnahmen von den ausgeführten Tätigkeiten aufgenommen (Abbildung 3-1). Unter anderem wurde dabei eine personengebundene Videokamera mit Miniaturoptik eingesetzt, die die Flugbegleiterinnen während des Service trugen. Die Kameraoptik war über der Schulter befestigt und auf die Hände ausgerichtet (Abbildung 3-2, siehe Seite 24).

Abbildung 3-1:
Unterschiedliche Handhaltung beim Bewegen des Getränke-Trolleys



Abbildung 3-2:
Personengebundene Videokamera mit Miniaturoptik



Eine detaillierte Übersicht über die einzelnen Flugrouten, Flugzeugtypen etc. findet sich im Anhang A1. Die Flugdauern betragen zwischen 1 Stunde und 4 Stunden. Insgesamt konnte der Serviceablauf von 15 Flugbegleiterinnen mit der zuvor beschriebenen Technik über ca. 11 Stunden beobachtet bzw. codiert werden (Tabelle 3-1, siehe Seite 25). Zur Erfassung der Handhaltung am Trolley bzw. dessen Betätigung wurde eine Codierung der Trolley-Handhabung in acht Kategorien vorgenommen (Tabelle 3-2, siehe Seite 26). Mit dieser Codierung konnten die Anfangs- und Endzeiten unmittelbar während des Servicevorgangs in den programmierbaren Taschenrechner eingegeben werden. Auf diese Weise wurden insgesamt über 500 Schiebe-/Ziehphasen erfasst.

Die häufigste Schiebe-/Ziehdauer (Modalwert) betrug ca. 4 s, was der durchschnittlichen Zeit entspricht, in der der Trolley von einer Sitzreihe zur übernächsten bewegt wurde. Ferner sind die langen Schiebe-/Ziehphasen von der Küche in den Gang bzw. zurück von Bedeutung, die bis zu einer Minute dauern können.



Tabelle 3-1:
Übersicht über die Flugbeobachtungen und deren Ergebnisse

| Gesamtübersicht | |
|--|----------|
| Anzahl beobachteter Flüge | 10 |
| Mittlere Belegung (Personen) | 107 |
| Mittlere relative Belegung | 63 % |
| Flugdauer in h | 1 - 4 |
| Anzahl der beobachteten Flugbegleiterinnen | 15 |
| Anzahl erfasster Zieh-/Schiebevorgänge | 505 |
| Minimale Dauer der Zieh-/Schiebevorgänge in s | 0,2 |
| Maximale Dauer der Zieh-/Schiebevorgänge in s | 56,0 |
| Häufigste Dauer der Zieh-/Schiebevorgänge in s | 4,3 |
| Standardabweichung Dauer in s | 8,7 |
| Gesamtdauer Ziehen/Schieben in h | 1:01:54 |
| Gesamte Servicedauer in h | 10:47:16 |
| Relative Zieh-/Schiebedauer zu gesamter Servicedauer | 12 % |
| Mittlere Tätigkeitsintervall in min | 1:17 |
| Häufigstes Tätigkeitsintervall in min | 0:30 |

| Einzelübersicht | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|---------------------|-------------|------------------|
| Flug | EW 985 | EW 986 | DLH 4355 | DLH 4392 | HF 3433 | HF 3674 | LTU 114 | LTU 115 | CLH 5454 | CLH 5389 | Mittel- werte |
| Flugdauer [h] | 01:21 | 01:16 | 02:50 | 02:18 | 02:31 | 03:00 | 04:00 | 04:16 | 01:00 | 01:10 | |
| Servicedauer [h] | 0:37:35 | 0:35:26 | 1:05:04 | 0:43:48 | 1:24:54 | 1:34:01 | 2:05:44 | 1:56:25 | 0:21:04 | 0:23:14 | |
| Anzahl Zieh-/ Schiebevorgänge | 35 | 49 | 45 | 58 | 43 | 58 | 82 | 72 | 32 | 31 | |
| Zeit/Tätigkeit (Servicedauer) | 0:01:04 | 0:00:43 | 0:01:27 | 0:00:45 | 0:01:58 | 0:01:37 | 0:01:32 | 0:01:37 | 0:00:40 | 0:00:45 | |
| Tätigkeit Frequenz [/h] | 56 | 84 | 41 | 80 | 31 | 37 | 39 | 37 | 90 | 80 | 58 |
| Tätigkeit Frequenz [/Min] | 0.94 | 1.40 | 0.69 | 1.33 | 0.51 | 0.62 | 0.65 | 0.62 | 1.50 | 1.33 | 0.96 |
| Zeit/Tätigkeit (Flugdauer) | 0:02:19 | 0:01:33 | 0:03:47 | 0:02:23 | 0:03:31 | 0:03:06 | 0:02:56 | 0:03:33 | 0:01:52 | 0:02:15 | |
| Tätigkeit Frequenz [/h] | 26 | 39 | 16 | 25 | 17 | 19 | 20 | 17 | 32 | 27 | 24 |
| Tätigkeit Frequenz [/Min] | 0.43 | 0.65 | 0.26 | 0.42 | 0.28 | 0.32 | 0.34 | 0.28 | 0.54 | 0.44 | 0.40 |
| Anzahl Flü- ge/Schicht (teil- weise geschätzt) | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 | 5 | |
| Anzahl Zieh-/ Schiebevorgänge pro Schicht | 175 | 245 | 135 | 174 | 129 | 174 | 164 | 144 | 160 | 155 | 166 |



Tabelle 3-2:
Codierung der Handhaltung und Art der Trolley-Handhabung

| Code | Tätigkeit | Position linke Hand | Position rechte Hand |
|------|-----------|---------------------|----------------------|
| SLO | Schieben | Seitenwand | Oben am Griff |
| SOO | Schieben | Oben am Griff | Oben am Griff |
| SOR | Schieben | Oben am Griff | Seitenwand |
| SLR | Schieben | Seitenwand | Seitenwand |
| ZLO | Ziehen | Seitenwand | Oben am Griff |
| ZOO | Ziehen | Oben am Griff | Oben am Griff |
| ZOR | Ziehen | Oben am Griff | Seitenwand |
| ZLR | Ziehen | Seitenwand | Seitenwand |

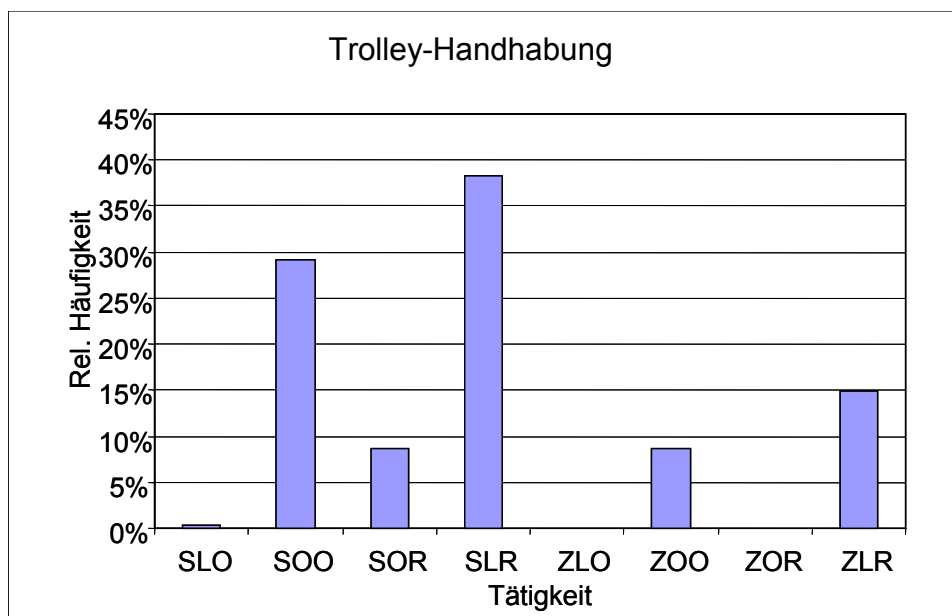
Der Zeitanteil der reinen Schiebe-/Ziehvorgänge am gesamten Serviceablauf im Gang betrug für das vorliegende Datenkollektiv ca. 12 %. Im Durchschnitt – auf die gesamte Servicedauer bezogen – erfolgte alle 1:17 min ein Schiebe- bzw. Ziehvorgang. Betrachtet man dagegen das häufigste Tätigkeitsintervall (Modalwert), so ergibt sich eine Zeitspanne von 0:30 min. Dies ist das Intervall eines Servierzyklus im Gang (z. B. Essensausgabe) bestehend aus einem Schiebe-/Ziehvorgang über zwei Sitzreihen und den zugehörigen Serviertätigkeiten.

Bei der Analyse der verschiedenen Handhabungsmöglichkeiten ist zunächst festzustellen, dass die Trolleys überwiegend (76 %) geschoben wurden (Abbildung 3-3, siehe Seite 27). Hierbei überwog das Schieben mit den Händen an der rechten und linken Seitenwand des Trolleys (SLR) mit 38 %. Alternativ ist noch das Schieben oben am Griff (SOO) des Trolleys (soweit vorhanden) mit 29 % vertreten. Asymmetrische Handhaltungen, wie die linke Hand oben am Griff und die rechte Hand an der Seitenwand, (SOR) sind mit 9 % eher selten beobachtet worden. Beim Ziehen ist die Handhaltung im Grunde ähnlich der beim Schieben mit den Händen an den Seitenwänden (ZLR) mit 15 % und oben am Griff (ZOO) mit 9 %. Das Ziehen des Trolleys mit den Händen an den Seitenwänden ist sicher als ergonomisch ungünstig einzustufen, da hier keine



adäquaten Greifmöglichkeiten vorhanden sind. Dennoch kann der Trolley vermutlich mit dieser Griffhaltung besser als mit anderen Handpositionen gelenkt werden, weshalb diese letztlich von den Flugbegleiterinnen bevorzugt wurden. Andere – theoretisch auch mögliche – asymmetrische Handpositionen (ZLO, ZOR und SLO) konnten nicht beobachtet werden. In vereinzelt Fällen war ein einarmiges Ziehen am Griff zu beobachten, was der Rubrik ZOO zugeordnet wurde.

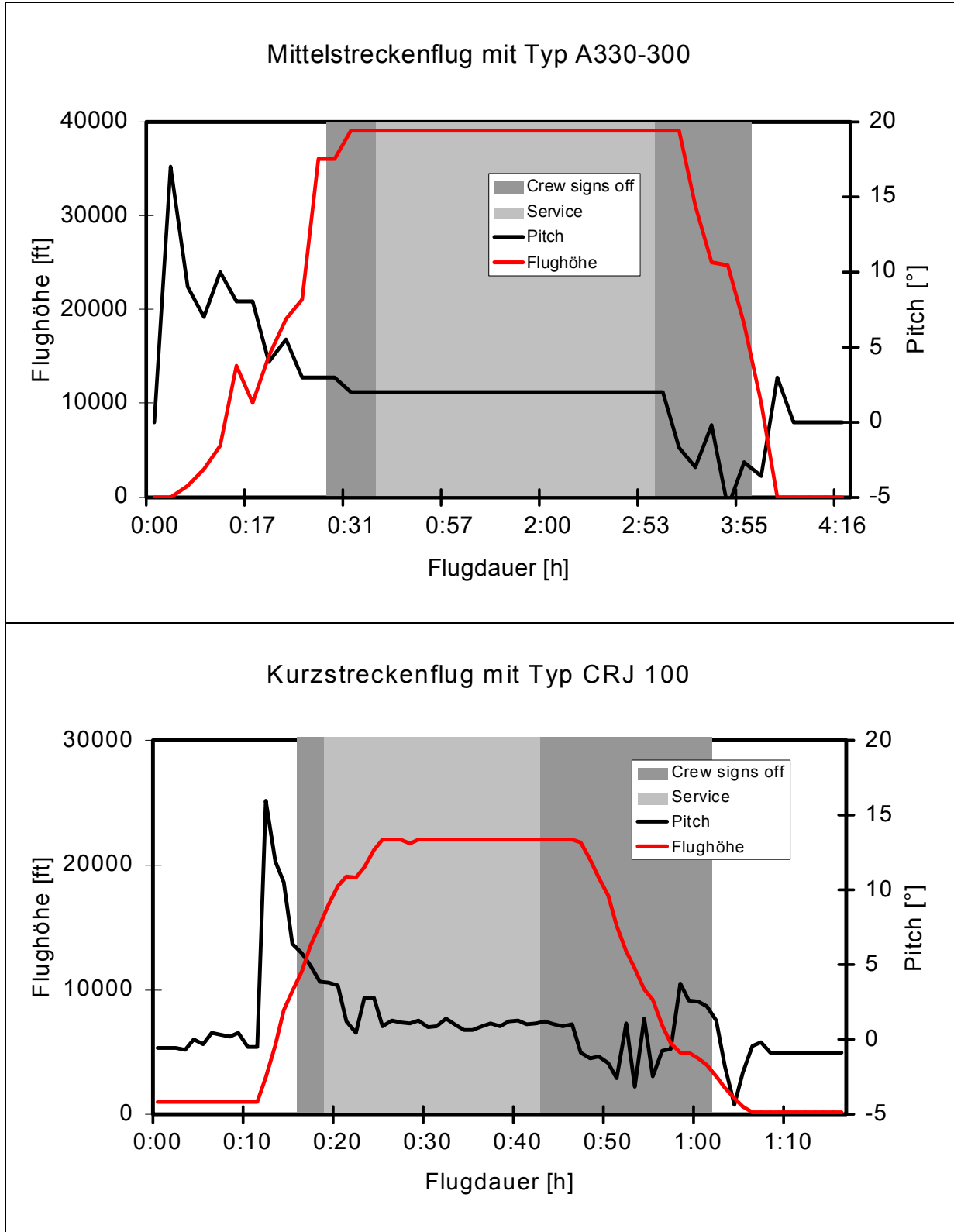
Abbildung 3-3:
Übersicht über die Häufigkeiten der unterschiedlichen Trolley-Handhabung;
Codierung siehe Tabelle 3-2



Ein weiterer wichtiger Aspekt der Flugbeobachtung war die Erfassung der zeitabhängigen Flugzeuglage zur Beurteilung der äußeren Belastungssituation beim Service der Flugbegleiterinnen. Obwohl sich die Flugprofile von Kurz- und Mittelstreckenflügen ähneln (Abbildung 3-4, siehe Seite 28), sind doch gewisse Unterschiede im Hinblick auf die Servicetätigkeit der Flugbegleiterinnen festzustellen. Etwa 4 bis 5 Minuten nach dem Start (take off) werden die Anschlallzeichen für die Crew vom Flugkapitän ausgeschaltet (signs off). Zu diesem Zeitpunkt hat das Flugzeug nur noch einen Steigungswinkel von ca. 5 bis 8°, wohingegen während des Startvorgangs kurzzeitig Winkel zwischen 10° und 17° erreicht werden.



Abbildung 3-4:
 Flugprofil eines Mittel- und eines Kurzstreckenflugs mit Angabe der Zeitintervalle für
 Anschlallszeichen aus (Crew signs off) und für den Service im Gang mit Trolleys





Nach dem Verlassen der Sitzposition beginnt die Crew in der Küche mit der Vorbereitung der Speisen und Getränke sowie dem Beladen der Trolleys. Auf Mittelstreckenflügen werden meist warme Mahlzeiten angeboten, die während dieser Flugphase noch erwärmt werden müssen. Daher beginnt der eigentliche Service, d. h. das Bedienen der Gäste, bei Mittelstreckenflügen deutlich später als bei Kurzstreckenflügen, meist 20 bis 40 Minuten nach dem Start.

Zu diesem Zeitpunkt hat das Flugzeug normalerweise schon seine endgültige Reiseflughöhe erreicht und fliegt je nach Typ mit einem Anstellwinkel zwischen 0 und 2°. Bei Kurzstreckenflügen beginnt der Service aufgrund der geringeren Vorbereitungszeit schon 7 bis 8 Minuten nach dem Start. Aber auch hier befindet sich das Flugzeug schon in einer relativ flachen Fluglage zwischen 5 und 6°. Nach spätestens 10 Minuten Service ist dann die endgültige Fluglage und Reishöhe erreicht, da bei Kurzstreckenflügen nur Reiseflughöhen von weniger als 25 000 ft üblich sind. Bei sämtlichen der beobachteten Kurz- und Mittelstreckenflügen war der Essens- bzw. Getränkeservice bereits vor dem Beginn des Sinkflugs beendet. Nur in Einzelfällen war ein Abräumen der Speisen und Getränke mit einem Trolley bis in die Abstiegsphase hinein zu beobachten. Bis ca. 2 Minuten vor der Landung sind die Flugbegleiterinnen ggf. noch mit Aufräumarbeiten und Kontrollen beschäftigt. Beim Abstieg aus der Reiseflughöhe wird die Flugzeugnase nach unten gesenkt, was kurzzeitig eine Neigung des Flugzeuges zwischen -2° und -6° erzeugt. Durchschnittlich betrug die Neigung zwischen -2° und -3°. In Abbildung 3-4 sind beispielhaft zwei Flugprofile angeführt – ein Flug aus dem Bereich der Kurzstrecke mit einer Stunde Flugzeit und ein Flug aus dem Bereich Mittelstrecke mit vier Stunden Flugzeit.

3.2 Befragung zur Einschätzung der Belastung beim Ziehen und Schieben von Trolleys

Im Rahmen des Projektes wurde von Eurowings in Zusammenarbeit mit dem BIA ein Fragebogen zur Erfassung der Trolley-Handhabung und der Einschätzung der subjektiv empfundenen körperlichen Belastungen entwickelt. Diese Erhebung diente als wichtige Grundlage für die weitere Projektplanung und die Durchführung der Laborstudie.

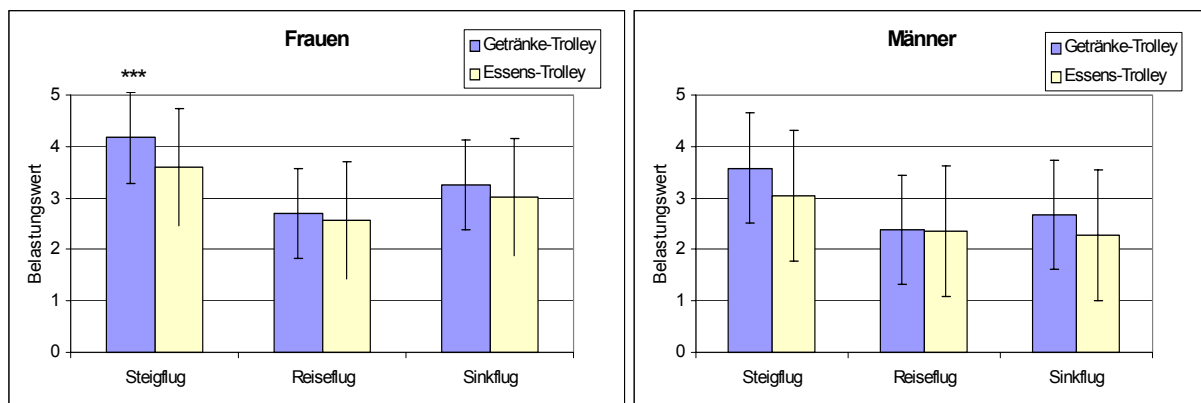


An die fünf beteiligten Fluggesellschaften wurden insgesamt 125 Fragebögen ausgegeben. Der Rücklauf betrug 114 Fragebögen (entsprechend 91 %), was eine sehr hohe Rücklaufquote darstellt und für das große Engagement der involvierten Fluggesellschaften und deren Mitarbeiter spricht. Letztlich beteiligten sich 88 Frauen und 26 Männer an der Befragung. Ein Muster des Fragebogens befindet sich im Anhang A2.

Die Skala für die Einschätzung der subjektiven Belastungen war in fünf Stufen von 0 (wenig belastend) bis 5 (sehr belastend) unterteilt. Bei der Belastungseinschätzung beim Hantieren mit Trolleys in den verschiedenen Flugphasen bewerteten Frauen die körperliche Belastung tendenziell höher als Männer. Im Vergleich von Getränke-Trolley und Essens-Trolley bewerteten Männer wie Frauen den Essens-Trolley tendenziell als geringer belastend (Abbildung 3-5).

Abbildung 3-5:

Vergleich der subjektiven Belastungseinschätzung zwischen Getränke- und Essens-Trolley bei Frauen und Männern (Mittelwert und 1 Standardabweichung). Für den Steigflug unterschieden sich die Bewertungen für den Getränke- und Essens-Trolley hoch signifikant (***: $p < 0,01$)



Im Rahmen einer einfaktoriellem Varianzanalyse (ANOVA) konnte bei den Frauen für den Steigflug ein hoch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Belastungseinschätzung zwischen Getränke- und Essens-Trolley festgestellt werden (Abbildung 3-5).



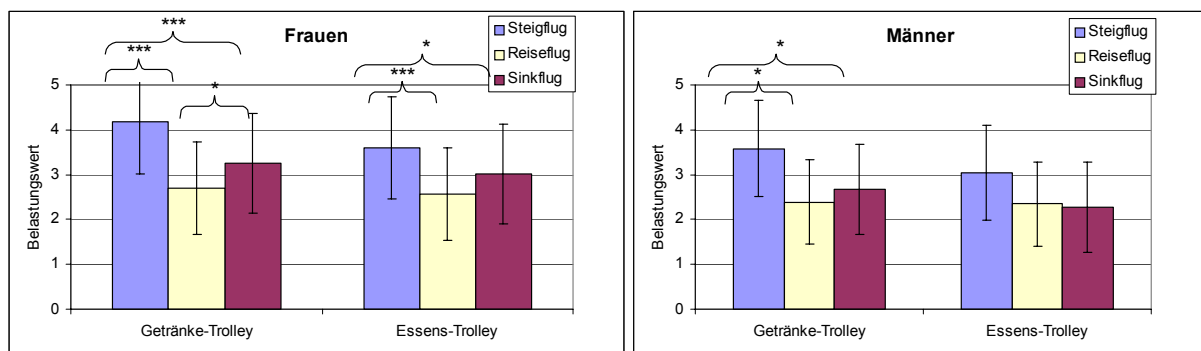
Insgesamt bewegten sich die Belastungsschätzwerte in einem Bereich von 2,3 bis 4,2, wobei Frauen im Durchschnitt über alle Situationen hoch signifikant höhere Belastungen von 3,2 ($\pm 1,2$) im Vergleich zu den Männern mit 2,7 ($\pm 1,2$) angaben. Beim Vergleich der Belastungseinschätzung innerhalb der verschiedenen Flugphasen – Steigflug, Reiseflug, Sinkflug – zeigten sich für die Trolleys jeweils signifikante Unterschiede in der Bewertung. Generell wird der Steigflug als am höchsten belastend eingeschätzt; dann folgt der Sinkflug und die geringsten Belastungseinschätzungen finden sich beim Reiseflug mit einem mittleren Wert von ca. 2,5 Punkten.

Diese Bewertungen können einfach begründet werden, da die Anstellwinkel des Flugzeuges im Steigflug meist größer als im Sinkflug sind und die Trolleys zu Beginn des Service das größte Gewicht aufweisen.

Generell differenzieren die Frauen stärker zwischen den verschiedenen Belastungssituationen und können so die verschiedenen Flugphasen aber auch die unterschiedlichen Trolleys bzw. Beladungszustände deutlicher differenzieren als die Männer (Abbildung 3-6). Sowohl Frauen als auch Männer schätzen die Belastung beim Hantieren mit dem Getränke-Trolley im Steigflug am höchsten ein.

Abbildung 3-6:

Vergleich der subjektiven Belastungseinschätzung zwischen den verschiedenen Flugphasen (Mittelwert und 1 Standardabweichung). Frauen differenzierten die Belastung in allen Flugphasen mindestens signifikant (*: $p < 0,05$) – teils aber auch hoch signifikant (***: $p < 0,01$). Die Männer differenzierten nur beim Getränke-Trolley zwischen den Flugphasen.





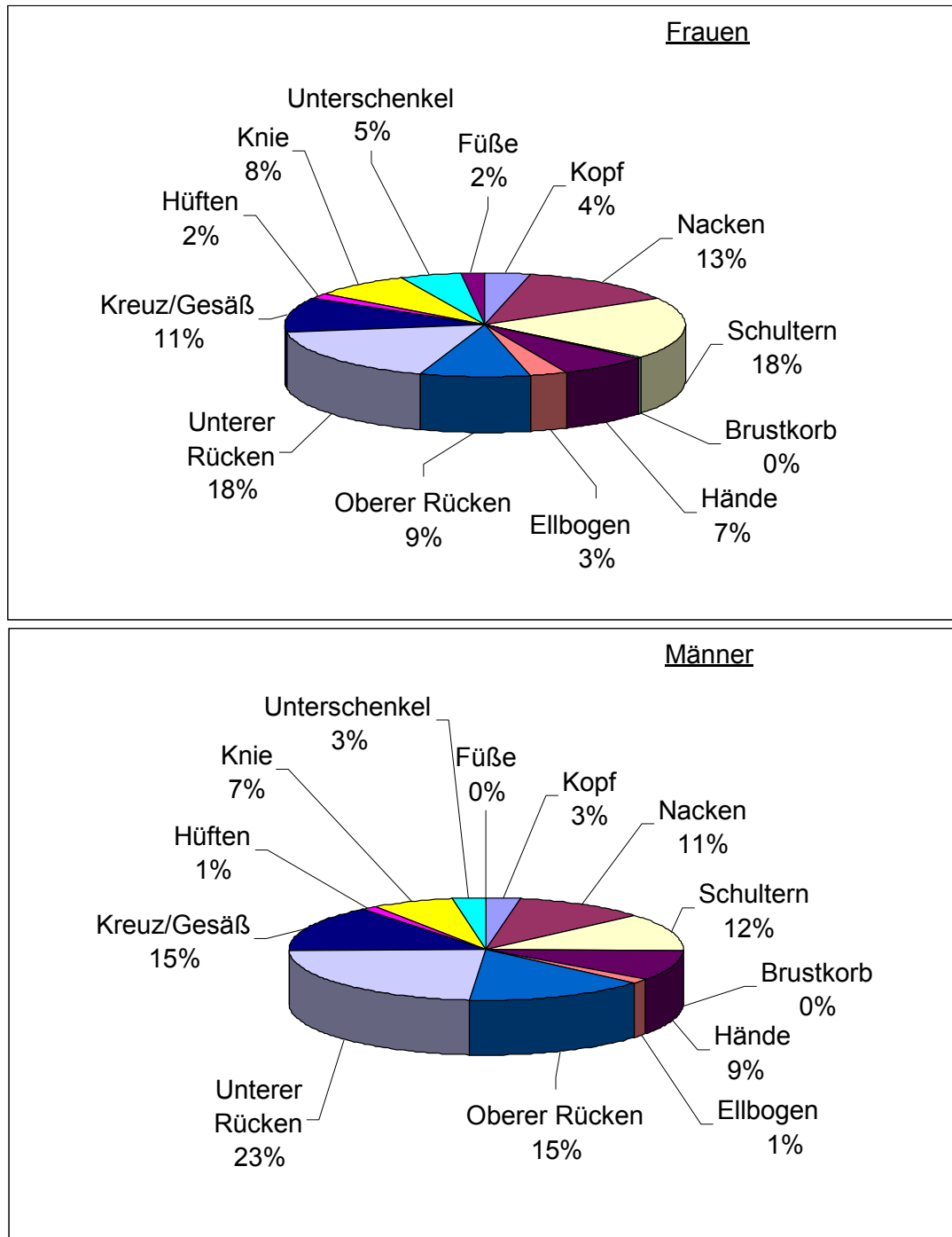
3.3 Lokalisation hoher Belastungsempfindung beim Ziehen und Schieben von Trolleys

Im Rahmen der Befragung sollten die Flugbegleiterinnen anhand von Skizzen bzw. Bezeichnungen auch die Körperpartien markieren, an denen sie hohe Belastungen empfinden. Erwartungsgemäß wurden die höchsten Belastungsempfindungen im Bereich des Rückens, d. h. vom Gesäß bis zum oberen Rücken, angegeben. Weitere Belastungsschwerpunkte waren die Schultern und der Nacken. Bei den Frauen fielen insgesamt 38 % der Nennungen auf den Bereich des Rückens (Abbildung 3-7, siehe Seite 33).

Demgegenüber wurden die unteren Extremitäten nur zu 17 % genannt. Bei den Männern wurden Belastungsschwerpunkte im Bereich des unteren Rückens mit 23 % noch ausgeprägter angegeben. Ferner erhielten die Schultern und der Nacken mit 12 bzw. 11 % relativ viele Nennungen. Im Bereich der Arme hingegen waren hohe Belastungsempfindungen relativ selten zu verzeichnen. Hand und Ellbogen wurden bei Frauen wie auch Männern mit 10 % angegeben. Insgesamt belegen die Übersichten, dass die Art und Höhe der mechanischen Einwirkungen in Verbindung mit dem Ziehen und Schieben von Trolleys vorwiegend im Bereich des Rückens als höchst belastend empfunden werden. Aus diesem Befund kann nicht direkt der Schluss gezogen werden, dass diese Tätigkeiten unmittelbar für das Auftreten von Rückenbeschwerden verantwortlich sind, wie auch die Studie von *Hoozemans* [6] belegt. Dennoch scheint es gerechtfertigt, die Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen und Schieben von Trolleys einer besonders intensiven Betrachtung zu unterziehen.



Abbildung 3-7:
Lokalisation hoher Belastungsempfindung und ihre relative Häufigkeit bei Frauen und Männern





3.4 Literatur

- [1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I (1996), S. 1246; zul. geänd. BGBl. I (1998), S. 2843
- [2] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV) vom 4. Dezember 1996 in der Fassung vom 29. Oktober 2001. BGBl. I, S. 1841
- [3] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Luftfahrt (BGV C 10). Carl Heymanns, Köln 1997
- [4] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). BGBl. I (2002), S. 3777; zul. geänd. BGBl. I (2004), S. 2
- [5] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Grundsätze der Prävention (BGV A 1). Carl Heymanns, Köln 2004
- [6] *Hoozemans, M. J. M.; van der Beek, A. J.; Frings-Dresen, M. H. W.; van der Woude, L. H. V.; van Dijk, F. J. H.*: Pushing and pulling in association with low back and shoulder complaints. *Occup. Environm. Med.* 59 (2002), S. 696-702



4 Population und körperliche Leistungsfähigkeit von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern in Deutschland

4.1 Rechtliche Grundlagen zu Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

In zunehmendem Maße müssen bei der Arbeitssystemgestaltung gesetzliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, da nationales Recht – im Zuge der Verwirklichung der Europäischen Union – an europäische Richtlinien und Normen angepasst werden muss. Im Umfeld der EU-Rahmenrichtlinie [1] zum Arbeitsschutz (89/391/EG) und den im Zusammenhang stehenden Einzelrichtlinien und ihren nationalen Umsetzungen [2], z. B. der Richtlinie zum manuellen Handhaben von Lasten (90/269/EWG) sowie der Maschinenrichtlinie [3] (98/37/EG), entsteht eine neue Dimension europäischer Ergonomiebewertungsverfahren. Die Verfahren gestatten eine ergonomische Risikoanalyse und lehnen sich an Vorbilder aus dem europäischen und nordamerikanischen Bereich an.

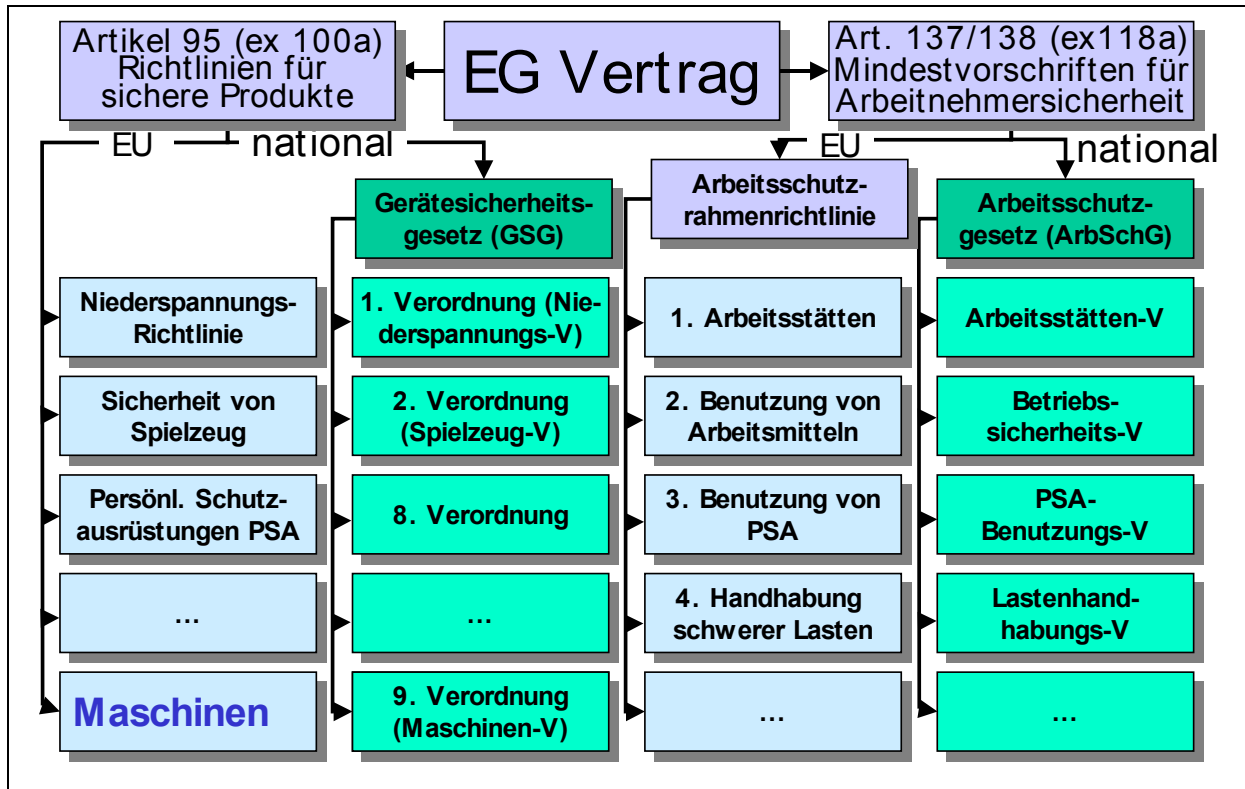
4.1.1 Das Konzept dualer Arbeitssicherheit in der EU

Im Rahmen des europäischen Harmonisierungsprozesses entstand 1987 mit dem Inkraftsetzen der „Einheitlichen Europäischen Akte“ (namentlich dem Einfügen der Artikel 118a und 100a in die Römischen Verträge von 1957) ein System dualer Arbeitssicherheit in Europa. Dieses wendet sich sowohl an den Hersteller oder „Inverkehrbringer“ von Maschinen und Geräten, die der CE-Kennzeichnung unterliegen, als auch an deren Betreiber und Nutzer.

Abbildung 4-1 gibt einen Überblick über die aus ergonomischer Sicht wesentlichen EU-rechtlichen Grundlagen auf der Basis des EG-Vertrages von Nizza (2001).



Abbildung 4-1:
EU-rechtliche Grundlagen zu Sicherheit und Gesundheitsschutz



Von besonderer Bedeutung für das Schutzniveau in den Mitgliedstaaten ist die Tatsache, dass in den im Rahmen von Artikel 137 verabschiedeten Richtlinien Mindestvorschriften für Gesundheitsschutz und Sicherheit am Arbeitsplatz niedergelegt werden. Gemäß diesem Grundsatz müssen Mitgliedstaaten ihr Schutzniveau anheben, wenn es niedriger ist, als in den – durch die Richtlinien festgelegten – Mindestvorschriften vorgesehen. Darüber hinaus sind die Mitgliedstaaten befugt, Schutzmaßnahmen einzuführen oder beizubehalten, die strenger sind als diejenigen, die in den Richtlinien vorgeschrieben sind.

Mit Artikel 95 wird die Angleichung der Rechtsvorschriften in den Mitgliedstaaten beabsichtigt. Ziel ist die Beseitigung aller Beschränkungen des Handels im einheitlichen Markt und der grenzüberschreitende freie Verkehr von Gütern und Personen. Grundsätzlich wird den Mitgliedstaaten durch Artikel 95 nicht gestattet, für ihre Erzeugnisse höhere Standards festzulegen als die in den Richtlinien festgelegten.



Artikel 95 und 137 tragen zu einer Verbesserung der Arbeitsumweltbedingungen in den Mitgliedstaaten sowie zu einem gleichwertigen und verbesserten Schutz der Arbeitnehmer bei. Mit Richtlinien im Rahmen von Artikel 95 soll gewährleistet werden, dass sichere Erzeugnisse auf den Markt gebracht werden; mit Richtlinien im Rahmen von Artikel 137 soll sichergestellt werden, dass diese Erzeugnisse gesundheitsverträglich und sicher am Arbeitsplatz verwendet werden. Richtlinien werden mithilfe nationaler Gesetze und Verordnungen umgesetzt. CEN-Normen als harmonisierte Normen dienen der Konkretisierung wesentlicher Sicherheitsanforderungen im Rahmen der Maschinenrichtlinie.

Die Abbildungen 4-2 und 4-3 (siehe Seite 38) geben einen Überblick über Verantwortlichkeiten und Implementierungsmodi von ergonomierelevanten EU-Richtlinien.

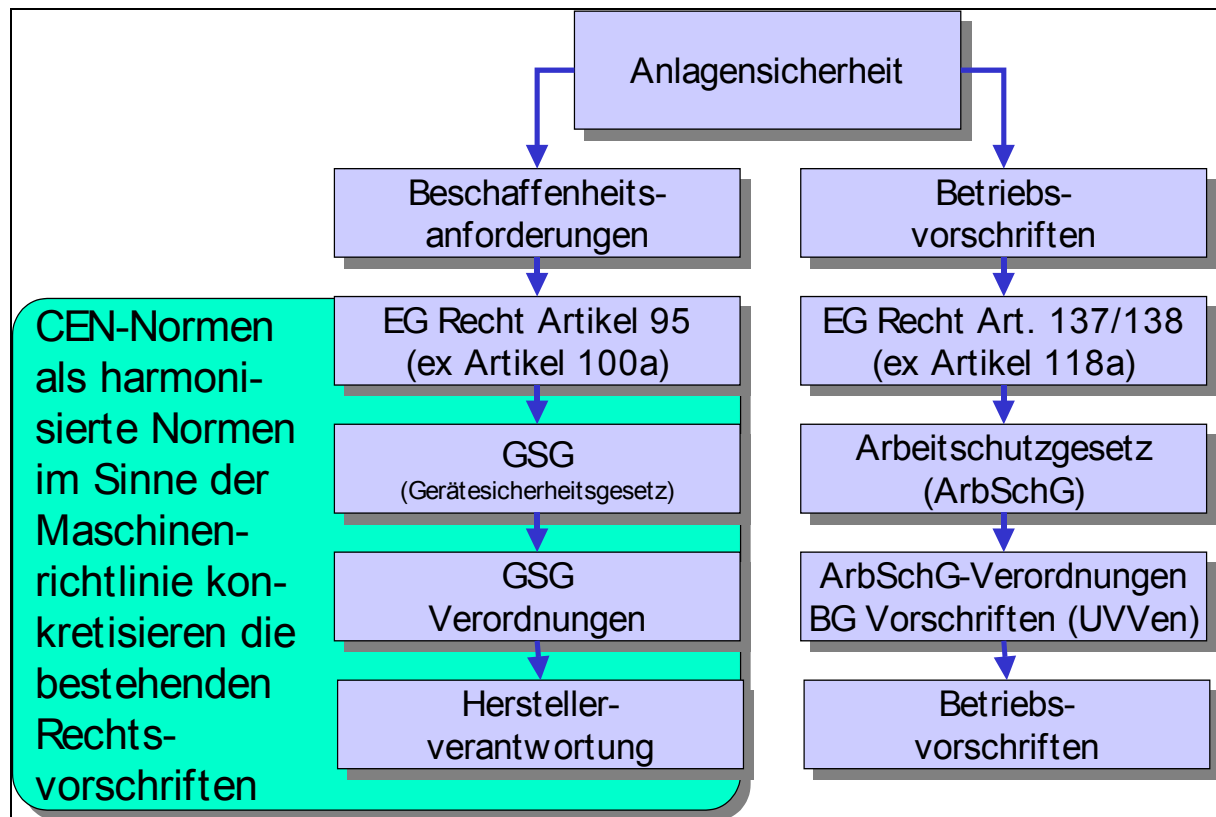
Abbildung 4-2:
Konkretisierung bestehender Rechtsvorschriften durch europäisch harmonisierte Normen

CEN Normen zum Thema Ergonomie (Auswahl)

- **Typ A Normen (Sicherheitsgrundnormen)**
 - +EN 292 Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe; allgemeine Gestaltungsleitsätze
 - +EN 414 Sicherheit von Maschinen - Regeln für die Abfassung und Gestaltung von Sicherheitsnormen
 - +EN 614 Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze
 - +EN 1050 Sicherheit von Maschinen - Leitsätze zur Risikobeurteilung
- **Typ B Normen (Sicherheitsgruppennormen)**
 - +EN 547 Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen
 - +EN 563 Sicherheit von Maschinen - Temperaturen berührbarer Oberflächen
 - +EN 894 Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen
 - +EN1005 Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung
- **Type C standards (Maschinensicherheitsnormen)**



Abbildung 4-3:
Konkretisierung von Sicherheit und Gesundheitsschutz
am Arbeitsplatz durch EU-Richtlinien



4.1.2 EU-Rahmenrichtlinie nebst relevanten Einzelrichtlinien

Die EU-Rahmenrichtlinie ist die Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit. Sie hat die Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz zum Ziel. Ihr Anwendungsbereich sind alle privaten und öffentlichen Tätigkeitsbereiche, ausgenommen Hausangestellte sowie – mit Einschränkungen – bestimmte Tätigkeiten der öffentlichen Sicherheitskräfte, z. B. bei der Polizei, dem Militär oder dem Katastrophenschutz. Sie verfolgt den Grundsatz, dass der Arbeitgeber verpflichtet ist, für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in Bezug auf alle Aspekte, welche die Arbeit betreffen, zu sorgen. Dabei sind folgende Hauptpunkte zu beachten:



- Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass eine Beurteilung der Gefahren für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz vorgenommen wird.
- Der Arbeitgeber hat dafür Sorge zu tragen, dass seine Beschäftigten informiert werden u. a. über die Gefahren für Sicherheit und Gesundheit, die Maßnahmen zur Gefahrenverhütung, erste Hilfe, Brandbekämpfung, Beurteilung der Gefahren.
- Der Arbeitgeber hat die Beschäftigten in allen Fragen, welche die Sicherheit und die Gesundheit am Arbeitsplatz betreffen, anzuhören.
- Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass jeder Beschäftigte eine angemessene und arbeitsplatzspezifische Unterweisung über Sicherheit und Gesundheitsschutz erhält.
- Jeder Arbeitnehmer ist verpflichtet, entsprechend seiner Möglichkeiten für seine eigene Sicherheit und Gesundheit Sorge zu tragen und Maschinen, gefährliche Stoffe, persönliche Schutzausrüstungen usw. ordnungsgemäß zu benutzen.

Die Umsetzung der Rahmenrichtlinie in nationales Recht der Mitgliedstaaten sollte bis spätestens 31. Dezember 1992 erfolgen. Dies geschah in Deutschland mit dem „Gesetz zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weiterer Arbeitsschutzrichtlinien“, das unmittelbar im Zusammenhang mit der Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit [1] (ABl. EG Nr. L 183 S. 1) sowie mit der Richtlinie 91/383/EWG des Rates vom 25. Juni 1991 zur Ergänzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes von Arbeitnehmern mit befristetem Arbeitsverhältnis oder Leiharbeitsverhältnis [4] (ABl. EG Nr. L 206 S. 19) gilt.

Das Gesetz enthält darüber hinaus Verordnungsermächtigungen zur Umsetzung weiterer EG-Arbeitsschutz-Richtlinien, insbesondere der verschiedenen Einzelrichtlinien zur Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz. Diese Einzelrichtlinien regeln spezielle Arbeitsschutzbereiche. Dazu gehören z. B. die Benutzung von Arbeitsmitteln oder von persönlichen Schutzausrüstungen, die Arbeitsstätten, die manuelle Handhabung von Lasten,



die Arbeit an Bildschirmgeräten, der Schutz vor biologischen Agenzien oder die Sicherheit und der Gesundheitsschutz auf Baustellen.

Das Umsetzungsgesetz ist der Form nach ein Artikelgesetz. Das bedeutet: Es besteht aus sechs Artikeln, die ein neues eigenständiges Arbeitsschutzgesetz schaffen und bereits bestehende Gesetze ändern.

Artikel 1 enthält das neue „Arbeitsschutzgesetz“ (ArbSchG) und bestimmt in 26 Paragraphen, wie ein effektiver Arbeitsschutz im Betrieb zu gestalten ist, wer kontrolliert, ob die Bestimmungen eingehalten werden und vieles mehr.

Das Arbeitsschutzgesetz selbst ist wiederum in fünf Abschnitte gegliedert.

Im Ersten Abschnitt (Allgemeine Vorschriften) sind der Anwendungsbereich und die Begriffsbestimmungen geregelt. Wichtig sind hier Bestimmungen, die den umfassenden Geltungsbereich des Gesetzes für alle Tätigkeitsbereiche und Beschäftigten festlegen. Einbezogen ist insbesondere auch der öffentliche Dienst. Hier gelten die einzelnen Dienststellen als „Betriebe“. Für die Bereiche Bergbau und Seeschifffahrt gilt das Arbeitsschutzgesetz ergänzend, soweit es im Bundesberggesetz und im Seemannsgesetz keine dem Arbeitsschutzgesetz entsprechenden Bestimmungen gibt. Vorschriften zum Arbeitsschutz in sonstigen Rechtsvorschriften bleiben unberührt. Das Arbeitsschutzgesetz gilt nicht für Hausangestellte in privaten Haushalten und für in Heimarbeit Beschäftigte.

Der Zweite Abschnitt (Pflichten der Arbeitgeber) und der Dritte Abschnitt (Pflichten und Rechte der Beschäftigten) folgen den Vorgaben der Rahmenrichtlinie. Diese Vorgaben zu den Pflichten im betrieblichen Arbeitsschutz werden inhaltsgleich übernommen. Außerdem sind die Vorschriften des Arbeitsschutzgesetzes knapp und verständlich gehalten. Sie lassen den Unternehmen viel Spielraum, um die Bestimmungen flexibel auszufüllen. Die Belange kleiner und mittlerer Betriebe werden an vielen Stellen berücksichtigt.



Der Vierte Abschnitt (Verordnungsermächtigungen) ermächtigt die Bundesregierung, mit Zustimmung des Bundesrates Verordnungen zu erlassen, und zwar zur Ausfüllung des Gesetzes und zur Erfüllung von europarechtlichen oder internationalen Pflichten.

Im Fünften Abschnitt (Schlussvorschriften) sind Durchführungsbestimmungen, Bestimmungen über das Zusammenwirken der Landesbehörden mit den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung sowie Bußgeld- und Strafvorschriften enthalten.

Artikel 2 bis 5 des Artikelgesetzes enthalten Änderungen des Arbeitssicherheitsgesetzes, des Betriebsverfassungsgesetzes, der Gewerbeordnung und des Arbeitnehmerüberlassungsgesetzes, die insbesondere notwendig sind, um EG-Recht vollständig in deutsches Recht umzusetzen.

Artikel 6 des Artikelgesetzes regelt das Inkrafttreten, wonach das gesamte Gesetz am Tag nach der Verkündung im Bundesgesetzblatt in Kraft tritt. Am 20. August 1996 erfolgte die Verkündung, sodass das Gesetz seit dem 21. August 1996 gilt. Erst ein Jahr später, am 21. August 1997, mussten die Betriebe Unterlagen über das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung und die Arbeitsschutzmaßnahmen verfügbar halten. Den Betrieben wurde dadurch ausreichend Zeit gegeben, sich auf das neue Arbeitsschutzgesetz einzustellen.

Relevante Bestimmungen hinsichtlich der Bewertung physischer Arbeitsbelastungen enthält lediglich die „Richtlinie 90/269/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über Mindestanforderungen bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der manuellen Handhabung von Lasten, die für die Arbeitnehmer insbesondere eine Gefährdung der Lendenwirbelsäule mit sich bringt“.

Die Umsetzung dieser Einzelrichtlinie trat am 20. Dezember 1996 als „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung – LasthandhabV)“ in Kraft. Bezüglich der Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit führt sie im Anhang Merkmale an, aus denen sich eine Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit, insbesondere der Lendenwirbelsäule, der Beschäftigten ergeben kann. Dazu gehören:



- ❑ Im Hinblick auf die zu handhabende Last insbesondere
 - ihr Gewicht, ihre Form und Größe,
 - die Lage der Zugriffsstellen,
 - die Schwerpunktlage und
 - die Möglichkeit einer unvorhergesehenen Bewegung.

- ❑ Im Hinblick auf die zu erfüllende Arbeitsaufgabe insbesondere
 - die erforderliche Körperhaltung oder -bewegung, insbesondere Drehbewegung,
 - die Entfernung der Last vom Körper,
 - die durch das Heben, Senken oder Tragen der Last zu überbrückende Entfernung,
 - das Ausmaß, die Häufigkeit und die Dauer des erforderlichen Kraftaufwandes,
 - die erforderliche persönliche Schutzausrüstung,
 - das Arbeitstempo infolge eines nicht durch die Beschäftigten zu ändernden Arbeitsablaufs und
 - die zur Verfügung stehende Erholungs- oder Ruhezeit.

- ❑ Im Hinblick auf die Beschaffenheit des Arbeitsplatzes und der Arbeitsumgebung insbesondere
 - der in vertikaler Richtung zur Verfügung stehende Platz und Raum,
 - der Höhenunterschied über verschiedene Ebenen,
 - die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit,
 - die Beleuchtung,



- die Ebenheit, Rutschfestigkeit oder Stabilität der Standfläche und
- die Bekleidung, insbesondere das Schuhwerk.

Ausführungsbestimmungen zu dieser Verordnung bestehen derzeit zwar nicht, die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat jedoch mit ihrer Leitmerkmalmethode Heben, Halten und Tragen (LMM-HHT) eine Umsetzungshilfe für diese Richtlinie zur Verfügung gestellt [5].

4.1.3 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Rahmen des europäischen Binnenmarktes

Die EU-Maschinenrichtlinie 98/37/EG (ehemals 89/392/EWG) wurde durch die neunte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz vom 12. Mai 1993 in nationales Recht umgesetzt.

Die Konkretisierung dieser Richtlinie durch technische Details erfolgt mithilfe europäischer „Harmonisierter Normen“, die dem „Neuen Konzept“ folgen. Danach werden in den EG-Richtlinien grundlegende Sicherheitsanforderungen festgeschrieben, die dann durch harmonisierte europäische Normen konkretisiert werden können. Dazu widersprechende nationale Normen müssen zurückgezogen werden. In einer Übereinkunft verpflichteten sich CEN und ISO darüber hinaus, keine widersprechenden Normen zu verabschieden und, wann immer möglich, bestehende Normen der anderen Institution zu übernehmen.

Die nach dem neuen Konzept erarbeiteten harmonisierten europäischen Normen (insbesondere DIN EN 614, DIN EN 1050 und DIN EN 1005 [6 bis 8] beinhalten Analysemethoden für physische Arbeitsbelastungen und stellen eine mögliche Basis für die Gefährdungsbeurteilung von körperlicher Arbeit dar [9; 10]. Sie wenden sich an den Konstrukteur von Maschinen und sollen der Anwenderpopulation ein Höchstmaß an Gesundheitsschutz und Sicherheit garantieren.



Europäische harmonisierte Normen zur Konkretisierung der Maschinenrichtlinie

- sind aufgrund eines Mandates erarbeitete harmonisierte Normen, mit denen die Konformitätsvermutungswirkung ausgelöst werden kann,
- sind hierarchisch in einem dreistufigen System gegliedert,
- wenden sich an den Konstrukteur (nicht an die Tarifvertragsparteien),
- zielen auf eine beabsichtigte Nutzerpopulation ab (die nicht mit der Arbeitsbevölkerung identisch sein muss),
- berücksichtigen den beabsichtigten Gebrauch der Maschine (einschließlich des vorhersehbaren Missbrauchs) und
- sollen eine Risikoanalyse auf der Basis eines Drei-Zonen-Modells ermöglichen.

Diese so genannten Sicherheitsnormen werden gemäß DIN EN 414 in drei Hauptarten eingeteilt und wie folgt definiert:

- Typ-A-Normen (Sicherheitsgrundnormen) enthalten Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die für alle Maschinen, Geräte und Anlagen gelten,
- Typ-B-Normen (Sicherheitsgruppennormen) behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Art von sicherheitsbedingter Einrichtung, der bzw. die für eine größere Anzahl von Maschinen, Geräten und Anlagen verwendet werden können,
- Typ-B1-Normen beziehen sich auf bestimmte Sicherheitsaspekte (z. B. Sicherheitsabstände, Oberflächentemperaturen, Lärm),
- Typ-B2-Normen beziehen sich auf sicherheitsbedingte Einrichtungen (z. B. Zweihandschaltungen, Verriegelungen, Kontaktmatten, trennende Schutzeinrichtungen),
- Typ-C-Normen (Maschinensicherheitsnormen) enthalten detaillierte Sicherheitsanforderungen für eine bestimmte Art von Maschinen oder Gruppe von Maschinen.



Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über wesentliche harmonisierte europäische Normen, die im Zusammenhang mit der Maschinenrichtlinie und insofern mit der Maschinensicherheit von Bedeutung sind.

Tabelle 4-1:
Überblick über ausgewählte Normen der EU-Maschinenrichtlinie

| Typ-A-Normen (Sicherheitsgrundnormen) | |
|--|--|
| DIN EN 292 | Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe; allgemeine Gestaltungsleitsätze |
| DIN EN 414 | Sicherheit von Maschinen – Regeln für die Abfassung und Gestaltung von Sicherheitsnormen |
| DIN EN 614 | Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze |
| DIN EN 1050 | Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung |
| Typ-B-Normen (Sicherheitsgruppennormen) | |
| DIN EN 547 | Sicherheit von Maschinen – Körpermaße des Menschen |
| DIN EN 563 | Sicherheit von Maschinen – Temperaturen berührbarer Oberflächen |
| DIN EN 894 | Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen |
| DIN EN 1005 | Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung |

DIN EN 292 fordert vom Konstrukteur eine Risikobewertung auf der Basis folgender Definitionen:

Risikobewertung: Eine umfassende Einschätzung der Wahrscheinlichkeit und des Schweregrades der möglichen Verletzung oder Gesundheitsschädigung in einer Gefährdungssituation, um so geeignete Sicherheitsmaßnahmen auszuwählen.

Gefährdungssituation: Jede Situation, in der ein Mensch einer oder mehreren Gefährdungen ausgesetzt ist.

Gefährdung: Eine Quelle einer möglichen Verletzung oder Gesundheitsschädigung.



Die Risikobewertung bezieht sich auf die Konstruktion einer Maschine. Diese ist definiert als eine Reihe von Handlungen, einschließlich der Untersuchung der Maschine selbst, wobei alle Phasen ihres „Lebens“ berücksichtigt werden. Dies sind

- Bau,
- Transport und Inbetriebnahme (Aufbau, Installation, Einstellung),
- Einsatz/Gebrauch (Einstellen, Teachen/Programmierung oder Verfahrensänderung/Umrüsten, Betrieb, Reinigung, Fehlersuche, Instandhaltung)
- Außerbetriebnahme, Abbau, Demontage und, sofern die Sicherheit betroffen ist, Entsorgung,
- Entwurf von Anleitungen bezüglich aller oben erwähnten „Lebens-Phasen“ der Maschine (mit Ausnahme des Baus).

Dabei ist die bestimmungsgemäße Verwendung einer Maschine zu berücksichtigen. Diese umfasst:

- Die Verwendung, wofür die Maschine nach den Angaben des Herstellers geeignet ist, oder die von ihrer Konstruktion, Bau und Funktion her als üblich angesehen wird.

Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört außerdem die Übereinstimmung mit den technischen Anleitungen, festgelegt in der Betriebsanleitung, wobei ein vernünftigerweise vorhersehbarer Missbrauch in Betracht gezogen werden muss.

Bezüglich des vorhersehbaren Missbrauchs sollten folgende Verhaltensweisen bei der Risikoeinschätzung besonders berücksichtigt werden:

- Das vorhersehbare Fehlverhalten infolge normaler Unachtsamkeit, aber nicht infolge absichtlichen Missbrauchs der Maschine.
- Das reflexartige Verhalten einer Person im Falle einer Fehlfunktion, eines Zwischenfalls, eines Ausfalls usw. während des Gebrauchs der Maschine.



- ❑ Das Verhalten, das darauf zurückzuführen ist, dass man den „Weg des geringsten Widerstandes“ beim Ausführen einer Aufgabe wählt.
- ❑ Bei einigen Maschinen (besonders bei Maschinen für den nicht gewerblichen Gebrauch) das vorhersehbare Verhalten bestimmter Personen, wie z. B. Kindern oder Behinderten.

Im Rahmen einer Risikobeurteilung ist das Risiko (bezogen auf die betrachtete Gefährdung) eine Funktion des Ausmaßes des möglichen Schadens und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts dieses Schadens. Das Ergebnis einer Risikoanalyse ist die Beurteilung der vorgefundenen Arbeitssituation auf der Basis des Ampelschemas.

Die Abbildungen 4-4 und 4-5 (siehe Seite 48) geben eine Einführung in die Begriffswelt der Risikobeurteilung in europäischen Normen.

Abbildung 4-4:
Begriffsdefinitionen zur Risikobeurteilung nach DIN EN 1050

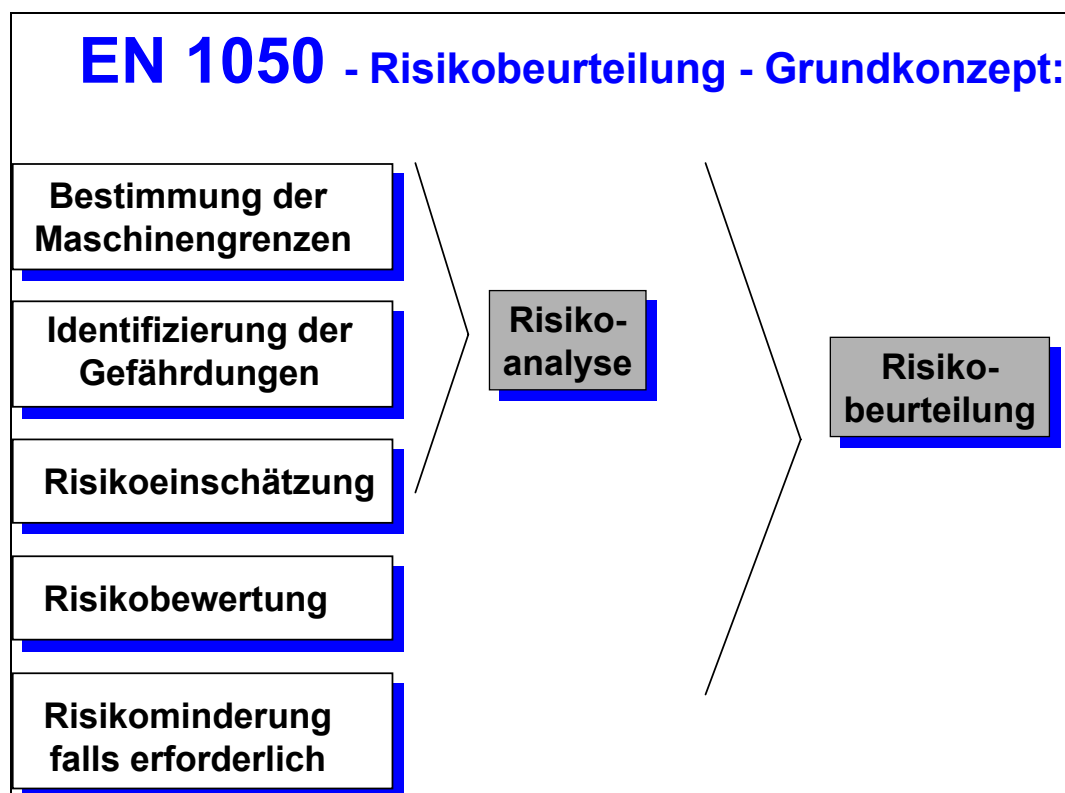




Abbildung 4-5:
Risikodefinition gemäß DIN EN 1050



4.1.4 Stand der Wissenschaft

Alle im Rahmen dieser Studie angewandten Bewertungsverfahren analysieren Belastungen und Beanspruchungen auf der Basis kurzfristiger Untersuchungen (eine Schicht oder mehrere Schichtfolgen). Ziel der Arbeitsgestaltung ist jedoch das Sicherstellen von langfristiger Erträglichkeit (Schädigungsfreiheit). Für die betriebliche Praxis bedeutete dies, dass man ein Arbeiten unterhalb von Dauerleistungsgrenzen anstrebte. Dabei wurde üblicherweise angenommen, dass jeder Werker eine bestimmte Tätigkeit mit annähernd fester Frequenz ausübte. Dies entsprach auch über viele Jahre hinweg der Praxis industrieller Fertigung.

Neuere Formen der Arbeitsorganisation (job rotation, Gruppenarbeit) brechen diese festen Frequenzmuster auf und bringen für den Werker größere Tätigkeitsinhalte und damit weniger Repetitivität und einseitige Belastungsspitzen.



Für den Arbeitsplaner bedeutet dies, dass die bisherigen Bewertungsmethoden nicht mehr oder nur mit erhöhtem Aufwand einsetzbar sind. Leider existieren kaum einfache Screening-Verfahren, welche die Haupteinflussgrößen körperlicher Belastung beschreiben und bewerten. Die bestehenden Screening-Verfahren gelten im Wesentlichen nur für Lastenhandhabungen und berücksichtigen entweder spezielle Fälle (z. B. „Merkblatt Handhaben von Mauersteinen“ der Bau-BG) oder nicht alle relevanten Bewertungskriterien (z. B. „Gutachten über Gewichtsgrenzen für Männer, Frauen und Jugendliche“, Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung 1981). Eine Ausnahme bzgl. des Erhebungsaufwandes bildet hier die Leitmerkmalmethode (LMM) zum Heben, Halten und Tragen sowie zum Ziehen und Schieben von Lasten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) [5; 11; 12]. Das Verfahren zur „praxisgerechten Analyse der objektiv vorhandenen Arbeitsbelastung“ bietet – so die Meinung der Autoren – den Anwendern eine Orientierung und Umsetzungshilfe zur Lastenhandhabungsverordnung (LastHandHabV).

Die im Abschnitt 4.6 dargestellten Verfahren (national und international) bieten Bewertungen an für entweder das „Ausüben von Aktionskräften“ oder das „Handhaben von Lasten“ oder für „Körperhaltungen, -bewegungen ohne oder mit geringeren äußeren Kräfte/Lasten“. Die Arbeitssituationen in der Praxis sind jedoch oft durch superponierte Belastungen dieser drei Kategorien gekennzeichnet. Für eine Bewertung dieser komplexen Belastungssituationen fehlen – auch im Hinblick auf längerfristige Auswirkungen von Arbeitsbelastungen – bislang geeignete Verfahren. Erste Ansätze für ein Screening komplexer körperlicher Belastungen wurden in den vergangenen Jahren am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt entwickelt [13 bis 15].

Die Tatsache, dass gegenwärtig rund 30 % aller Erkrankungen muskuloskelettaler Natur sind, sollte bezüglich der gegenwärtigen Bewertungspraxis nachdenklich machen. Ein kurzzeitig orientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept allein scheint nicht ausreichend.



4.2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen zum manuellen Ziehen und Schieben von Lasten

Als Ziehen bezeichnet man eine körperliche Anstrengung, die darauf abzielt, ein Objekt auf den Körper hin zu bewegen. Das Schieben ist eine körperliche Anstrengung mit dem Ziel, ein Objekt vom Körper weg zu bewegen (ISO/WD 11228-2) [16] (siehe Abbildung 4-6).



Abbildung 4-6:
Wirkungsgrade körperlicher Arbeit

Beim Ziehen und Schieben von Lasten kommen in der Regel große Muskelmassen (Rumpf, obere und untere Extremitäten) zum Einsatz. Diese Art der Lastenmanipulation fällt deshalb typischerweise in den Bereich der schwer dynamischen Muskelarbeit. Ausnahmen können beim Arbeiten im Sitzen in Verbindung mit geringen Lastgewichten auftreten, insbesondere dann, wenn der Reibwiderstand zwischen Objekt und Unterlage gering ist (z. B. Rollentische).

Ziehen und Schieben kann rein manuell oder mit technischen Hilfsmitteln (z. B. Karren, Wägen, Trolleys, Manipulatoren und Balancer) erfolgen. Beim Einsatz geeigneter technischer Hilfsmittel lassen sich beim Ziehen und Schieben die höchsten mechanischen Wirkungsgrade bei der Ausübung körperlicher Arbeit erzielen. Beim Ziehen und



Schieben schwerer Lasten werden üblicherweise Ganzkörperkräfte aufgebracht, da der erzeugte Kraftfluss durch den ganzen Körper und den Fußboden zurück zum zu bewegendem Objekt geleitet wird.

Daraus ergeben sich aus biomechanischer und physiologischer Sicht – ähnlich wie beim Heben und Tragen von Lasten – eine Reihe möglicher Engpässe.

Die Kraftausübungsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys auf einer schiefen Ebene sind in Abbildung 4-7 dargestellt. Die Körperhaltungen unterscheiden sich deutlich zwischen Ziehen und Schieben.

Abbildung 4-7:
Probandin beim Schieben und Ziehen des Trolleys über eine schiefe Ebene
(Laboruntersuchungen des BIA 2002)



Durch die Dynamik in der Körperhaltung (Fußwechsel, ggf. seitliches Losreißen des Trolleys) und der Kraftausübung (mit hoher Kraft losreißen und beschleunigen, anschließend mit geringer Kraft fortbewegen und schließlich ausrollen lassen oder mit großer Kraft anhalten) ergeben sich komplexe Kraftverläufe, die sich nur differenziert im Hinblick auf die Ausführungsbedingungen diskutieren lassen.

Je nach Steigungswinkel, Trolley-Art, Bodenbeschaffenheit und Beladung kann unter Umständen das Maximalkraftniveau der Probanden beim Versuch, den Trolley aus dem Stand zu beschleunigen, überschritten werden. Das Losreißen, d. h. das



Beschleunigen schwerer Lasten auf Transportgeschwindigkeit, kann somit an der Ausführbarkeitsgrenze der Mitarbeiter scheitern.

Kraftausübungen in der Nähe der Maximalkraft bergen darüber hinaus ein hohes Verletzungsrisiko, sodass die zum Bewegen einer Last erforderliche Kraft begrenzt werden sollte. Diese hängt nicht nur vom Lastgewicht selbst ab, sondern u. a. auch vom Reibungswiderstand in den Rädern und der Kopplung Rad/Boden. Auch die Abstützungsbedingungen der Mitarbeiter durch die Kopplung Schuhsohle/Fußboden (Teppich) während der Tätigkeit sind von erheblicher Bedeutung. Tragen Beschäftigte Schuhwerk mit Ledersohlen und hohen Absätzen, wird unter Umständen ein Anschieben des Trolleys auf der schiefen Ebene nahezu unmöglich (siehe Abschnitt 5.3.6.3; [17]).

Hohe Kräfte können insbesondere zu Schädigungen im Bereich der Schultern und der Lendenwirbelsäule führen. Biomechanische Modelle gestatten die Berechnung von Gelenkmomenten und der Belastungssituation in Bewegungssegmenten der Wirbelsäule. Quantitative Bewertungen der Erträglichkeit von Schultermomenten sind auch in der internationalen Literatur kaum verfügbar, sodass hier noch erhöhter Forschungsbedarf besteht.

Ähnliches gilt für die Bewertung der Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen und Schieben von Lasten. Im Vergleich zum Heben und Tragen wird die Lendenwirbelsäule beim Ziehen und Schieben nicht nur durch Kompressionskräfte, sondern auch durch sagittale Scherkräfte und ggf. seitliche Scherkräfte verstärkt belastet.

Im Gegensatz zu den Kompressionskräften sind für Scherkräfte in Bewegungssegmenten der Wirbelsäule bislang kaum empfohlene Belastungsgrenzen vorhanden. Biomechanische Analysen der Kompressionskräfte haben ergeben, dass aufgrund des aufrichtenden Momentes an der Wirbelsäule beim Schieben von Lasten nur geringe (< 2 kN), in der Regel als risikoarm einzustufende Kompressionskräfte entstehen. Beim Ziehen von Lasten können jedoch sehr hohe (z. B. 6 kN bei Aktionskräften von 600 N) Kompressionskräfte entstehen, weshalb diese Tätigkeit in Verbindung mit hohen Aktionskräften vermieden werden sollte [18; 19].



Aus physiologischer Sicht gilt es, Erträglichkeit bei den Belastungen des Herz-Kreislauf-Systems und der beteiligten Muskelgruppen sicherzustellen.

Hohe energetische Belastungen können entstehen, wenn z. B. häufig über kurze Strecken geschoben oder gezogen wird und damit der Zeitanteil großer Kräfte zum Beschleunigen und Abbremsen einer Last hoch ist. Dieser Engpass sollte stets überprüft werden.

Andererseits kann beim Schieben einer Last über schlechte Wegstrecken lang andauernde Kontraktionsarbeit entstehen, die ein hohes statisches Grundpotenzial beinhaltet und somit leicht zu lokaler Muskelermüdung führen kann.

Bei industriellen Tätigkeiten dürfte lokale Muskelermüdung bei geeigneter Gestaltung der Reibpaarung Last(entransportmittel) – Boden als begrenzendes Kriterium kaum zum Tragen kommen. Anders ist dies im handwerklichen Umfeld oder in Servicebetrieben (z. B. Serviertätigkeiten von Flugbegleitern/-innen bei ungünstiger Reibpaarung Trolley – Fußboden).

Beim Ziehen und Schieben von Lasten sind hohe Aktionskräfte zu vermeiden. Ziehkräfte stellen typischerweise risikoreiche exzentrische Kraftausübungsbedingungen dar.

Da die beim Ziehen und Schieben von Objekten entstehenden Aktionskräfte in der Regel deutlich geringer sind als die vom Objekt erzeugte Gewichtskraft, sollte ein Ziehen und Schieben von Lasten einem Heben und Tragen vorgezogen werden.

Verfahren zur Analyse von Tätigkeiten, die ein Ziehen oder Schieben von Lasten beinhalten, berücksichtigen im Allgemeinen die o. g. Engpässe, Herz-Kreislauf-System, Wirbelsäulenbelastung und lokale Muskelermüdung.

Die Belastung des Herz-Kreislauf-Systems kann z. B. über den Energieumsatz in Form von Tabellenwerten oder auf der Basis der Gruppenbewertungstabelle [20] abgeschätzt werden.

Ansätze zur Bewertung der Wirbelsäulenbelastung finden sich in der Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2 [19].



Lokale Muskelermüdung kann mit dem Verfahren nach *Schultetus* [21], DIN EN 1005-3 [22] oder ISO/WD 11228-2 [16] (siehe auch Abschnitt 4.6) abgeschätzt werden. Zur Beurteilung statischer Muskelanstrengungen empfiehlt sich die Erholzeitformel nach *Rohmert* [23]. Vor allem im englischsprachigen Ausland haben sich psychophysische Ansätze zur Bewertung von Zieh- und Schiebetätigkeiten etabliert. Diese werden ergänzt durch Tabellenwerte zur Beurteilung maximaler dynamischer Kräfte für das Beschleunigen (initial forces) und Bewegen (sustained forces) von Lasten sowie maximaler isometrischer Kräfte (maximum isometric force) während des Versuches, die Last in Bewegung zu versetzen [24; 25].

Ausgewählte Leitsätze zum Schieben und Ziehen

Folgende Leitsätze gelten im Rahmen von Schiebe- und Ziehtätigkeiten:

- Besser Ziehen und Schieben als Heben und Tragen!
- Schieben ist dem Ziehen vorzuziehen!
- Unsymmetrische Lastfälle vermeiden (seitliche Rumpfneigung, Rumpfdrehung)!
- Durch geeignete Wahl der Körperhaltung, die eigene Körpermasse belastungsmindernd einsetzen!
- Einfache Wegstrecken (keine häufigen Richtungswechsel, keine exakte Fahrstrecke, ausreichenden Bewegungsraum) wählen!
- Gute Wege wählen (glatte, aber rutschfeste Oberflächen, keine Treppen, Rampen)!
- Last nicht manuell abstoppen (Anschläge vorsehen, Last ausrollen lassen)!
- Günstige, der Manipulationsart angepasste Körperhaltungen wählen!
- Ruckartige Bewegungen vermeiden!
- Bei Wagen auf gute Lenkbarkeit achten!



- Leichtgängige Räder wählen!
- Räder regelmäßig warten!
- Für alle Manipulationsarten geeignete Handgriffe an geeigneten Stellen vorsehen!

4.3 Probandenkollektive

Um die Aussagefähigkeit der Untersuchungen beurteilen zu können, werden in diesem Abschnitt die jeweiligen Probandenkollektive anhand folgender Angaben beschrieben:

- Gewicht,
- Größe,
- Alter und
- Geschlecht.

Anschließend wird für die Maximalkraft der LH-/LTU-Grundgesamtheit je eine synthetische Verteilung bestimmt. Diese basieren auf der Alters- und Geschlechtsverteilung der LH-/LTU-Grundgesamtheit und deren Maximalkraftwerte. Diese synthetischen Verteilungen werden in Anlehnung an ein Verfahren nach DIN EN 1005-3 (Anhang B) berechnet.

4.3.1 BIA-Probanden

An den Messungen im BIA haben 25 Flugbegleiter/-innen der beteiligten Airlines teilgenommen. Eine detaillierte Beschreibung dieser Messungen findet sich in Abschnitt 5.1.

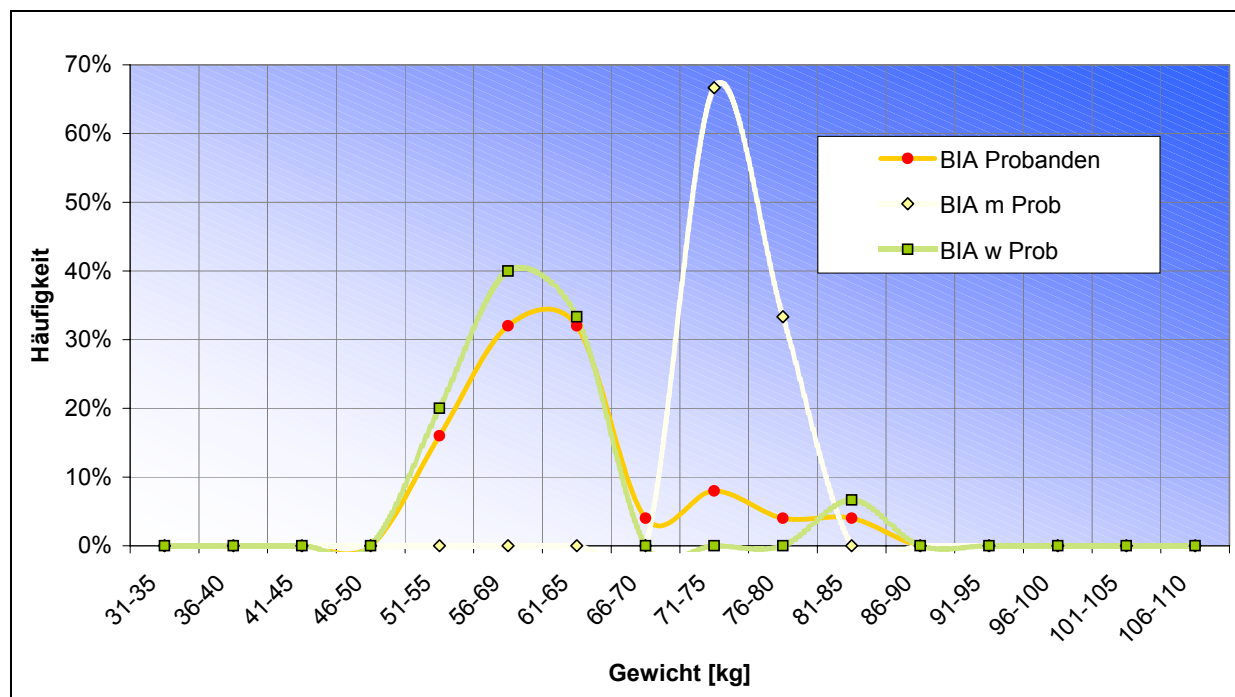
Der einfacheren Lektüre halber seien nachfolgend einige Charakteristika dieses Kollektives beschrieben. Die Darstellung von Verteilungshäufigkeiten ist für solch kleine Kollektive ($n = 25$) nur sehr begrenzt sinnvoll. Die Abbildungen 4-8 bis 4-10 (siehe Seite 56 bis 58) dienen somit nur der Vergleichbarkeit mit den anderen untersuchten



Kollektiven und geben hauptsächlich Auskunft über die Lage der Mittelwerte und den Verteilungsverlauf.

Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine geschlechtliche Differenzierung.

Abbildung 4-8:
Gewichtsverteilung der BIA-Probanden ($n = 25$)



Die im Abschnitt 4.4.2 beschriebenen Maximalkraftmessungen fanden drei Monate später an der Lufthansabasis in Frankfurt statt. Leider war es nicht möglich, mit jedem dieser 25 Probanden einen geeigneten Termin für die Messungen zu finden, wodurch sich die Anzahl auf 18 Personen (15 weiblich, 3 männlich) reduzierte, die sowohl die Messungen im BIA als auch die Maximalkraftmessungen in Frankfurt absolviert haben.



Abbildung 4-9:
Größenverteilung der BIA-Probanden ($n = 25$)

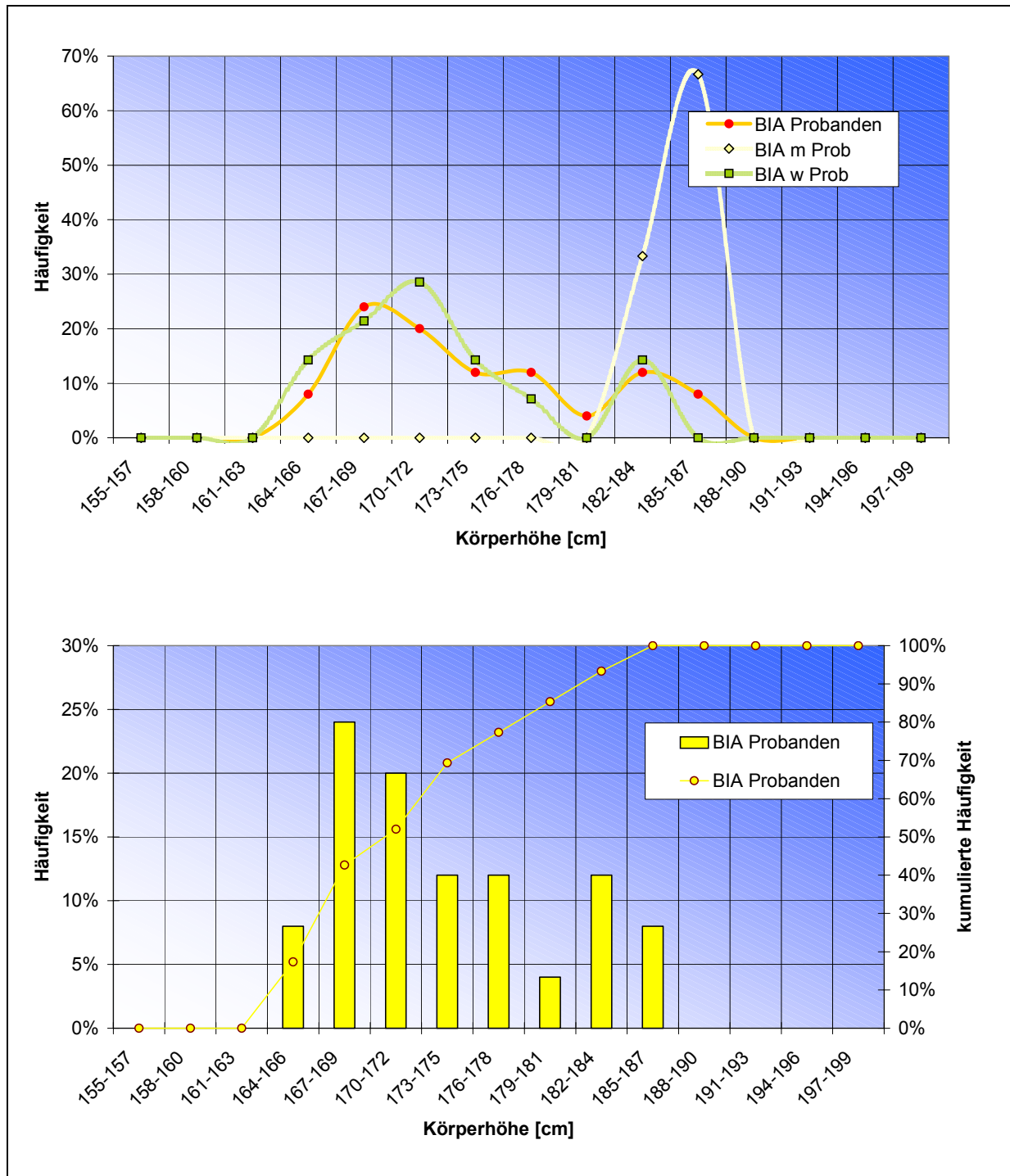
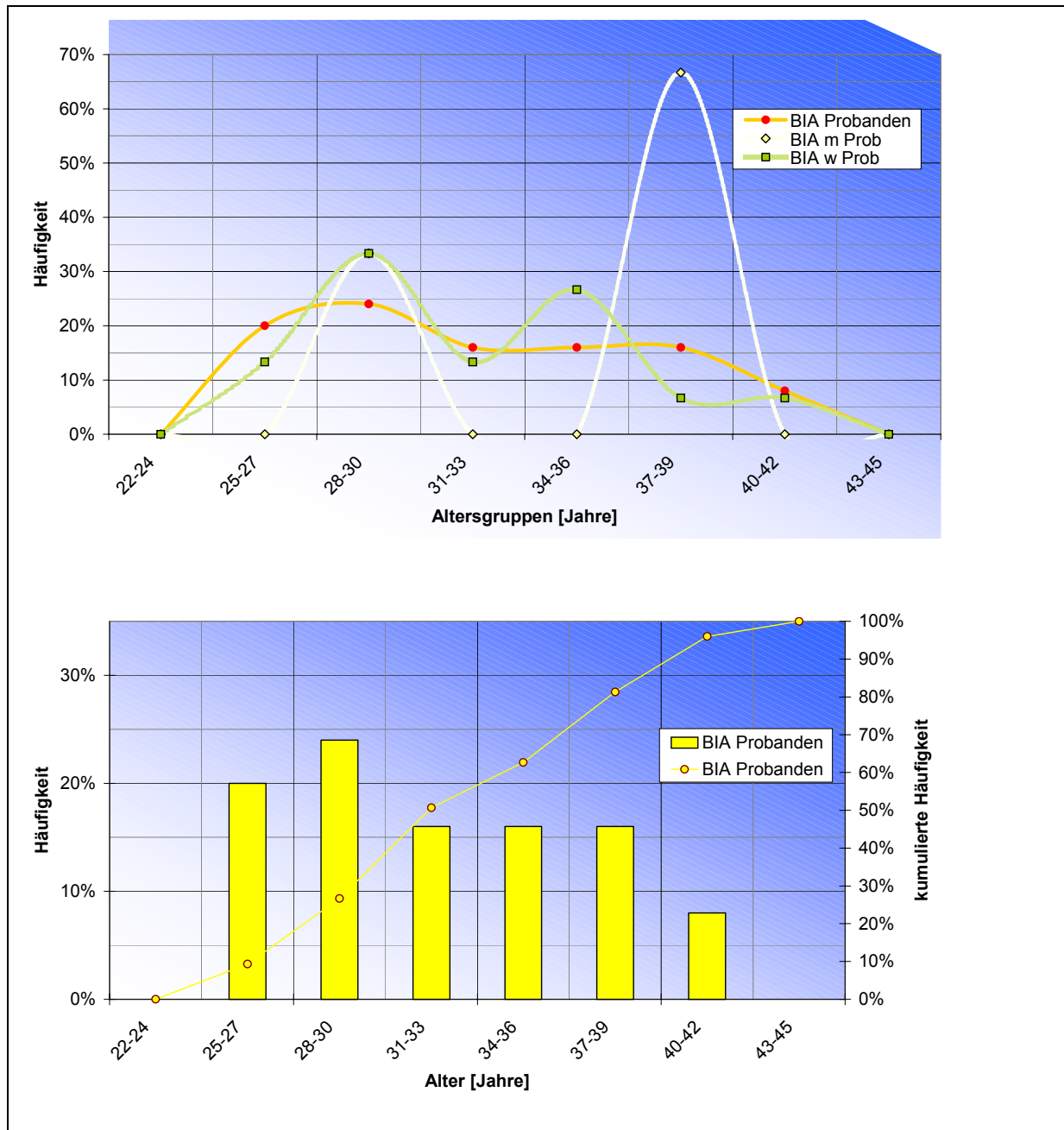




Abbildung 4-10:
Altersverteilung der BIA-Probanden ($n = 25$)



4.3.2 LH-Probanden

An den Maximalkraftmessungen auf der Lufthansabasis in Frankfurt haben insgesamt 478 Flugbegleiter/-innen (390 weiblich, 88 männlich) teilgenommen. Der Anteil der



männlichen Probanden von ca. 20 % entspricht in etwa ihrem Anteil am gesamten LH-Flugbegleitpersonal.

Bei allen Probanden wurden auch anthropometrische Daten (siehe Abbildungen 4-11 bis 4-14, Seite 59 bis 62) festgehalten und eine Befragung zu arbeitsbedingten Beschwerden durchgeführt.

Ziel dieses Teiles der Studie war es, mindestens 250 Probanden für die Maximalkraftmessungen zu finden, um mit ausreichender statistischer Sicherheit Aussagen für eine größere Grundgesamtheit ableiten zu können.

Wie man aus dem exemplarischen Verlauf der Mittelwertentwicklung in Abbildung 4-15 (siehe Seite 62) gut erkennen kann, erhält man bei den weiblichen Probanden ($n = 390$) einen sehr stabilen Mittelwert.

Bei den männlichen Probanden ist die Mittelwertentwicklung durch die geringere Anzahl ($n = 88$) nicht ganz so stabil, aber durchaus auch in einem akzeptablen Bereich (Abbildung 4-16, siehe Seite 63).

Abbildung 4-11:
Gewichtsverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

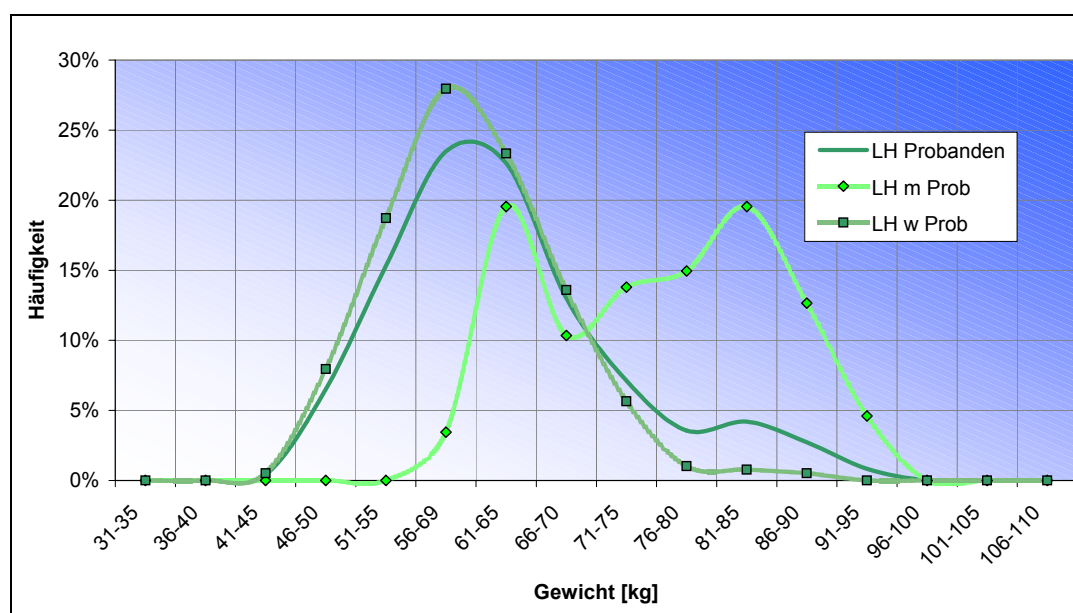




Abbildung 4-12:
Größenverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

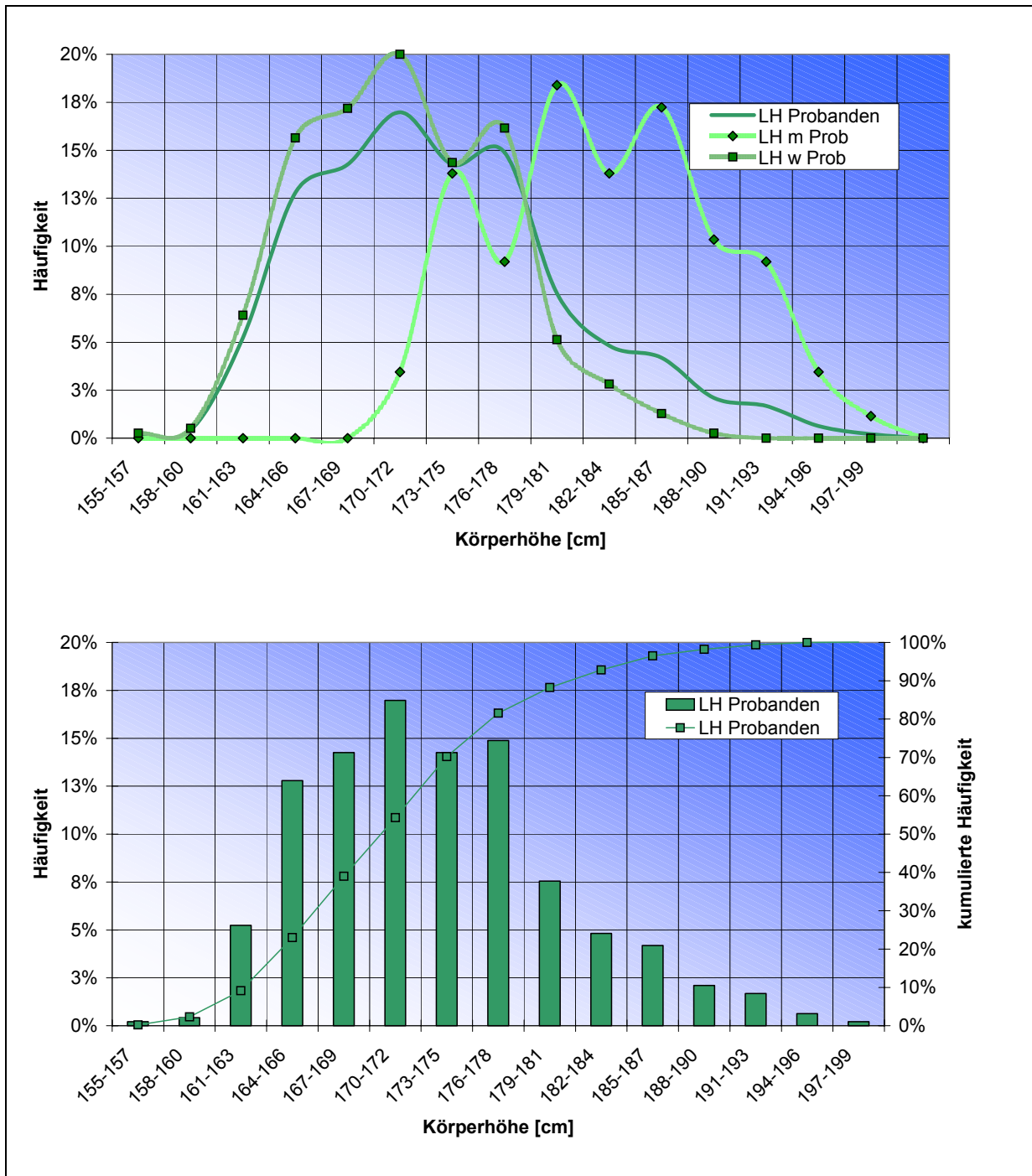




Abbildung 4-13:
 Altersverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

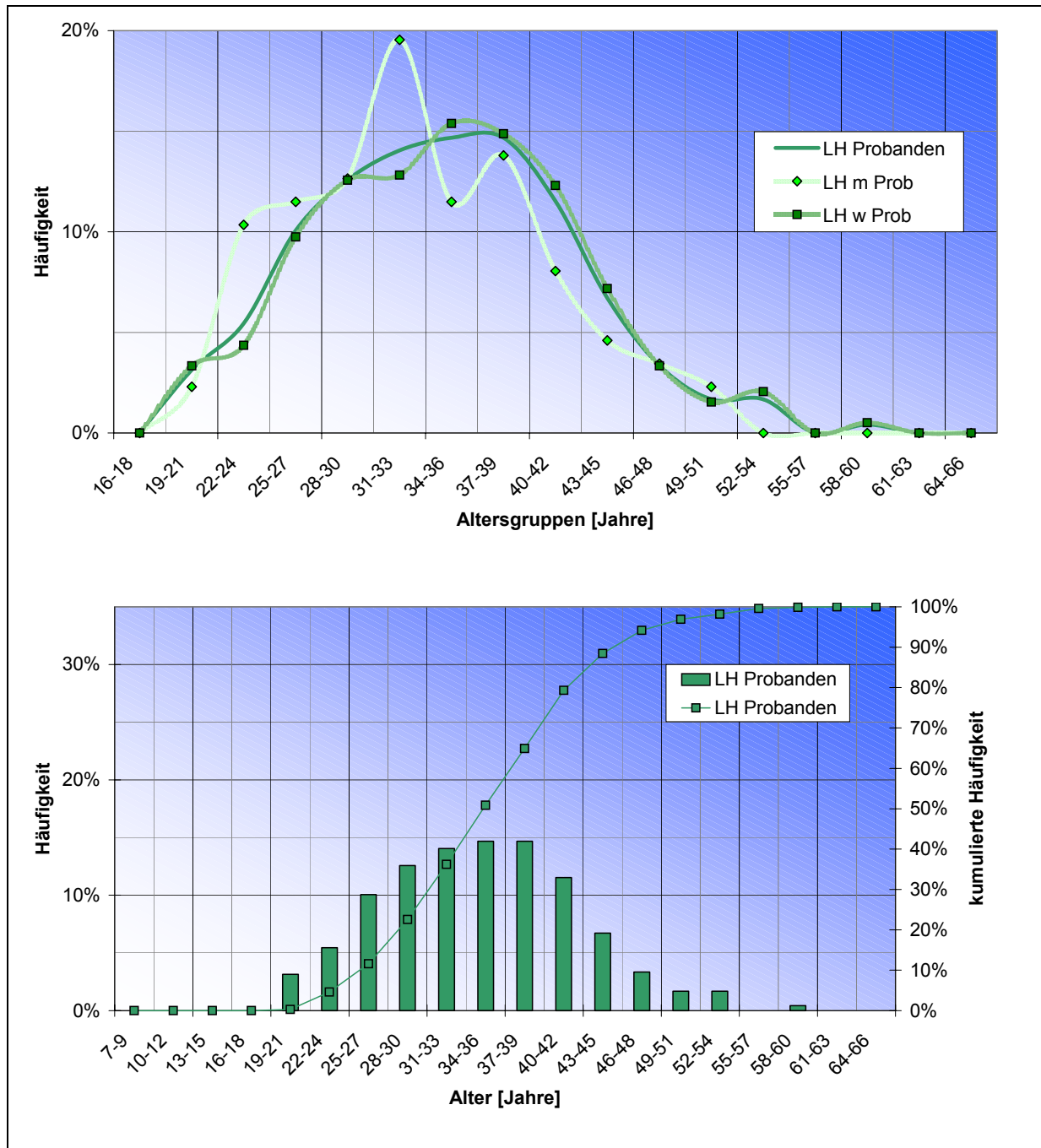




Abbildung 4-14:
Geglättete Altersverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

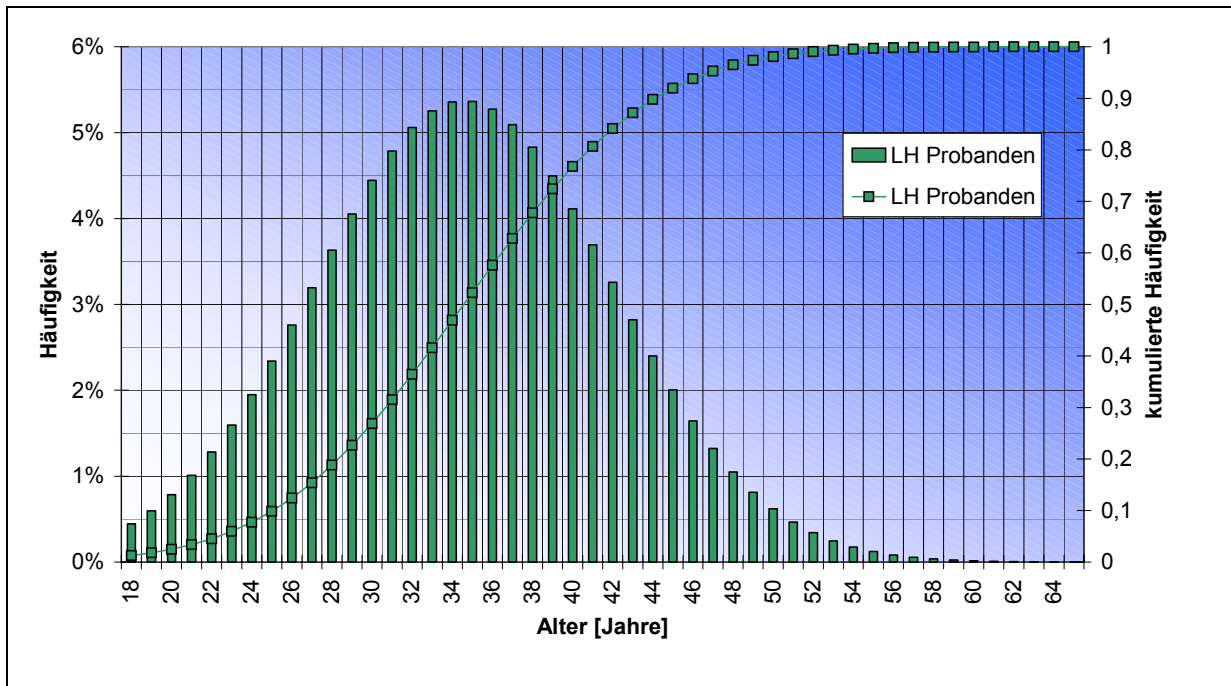


Abbildung 4-15:
Mittelwertentwicklung der maximalen Trolley-Druckkraft bei den weiblichen Probanden ($n = 390 \times 2$ Messungen = 780)

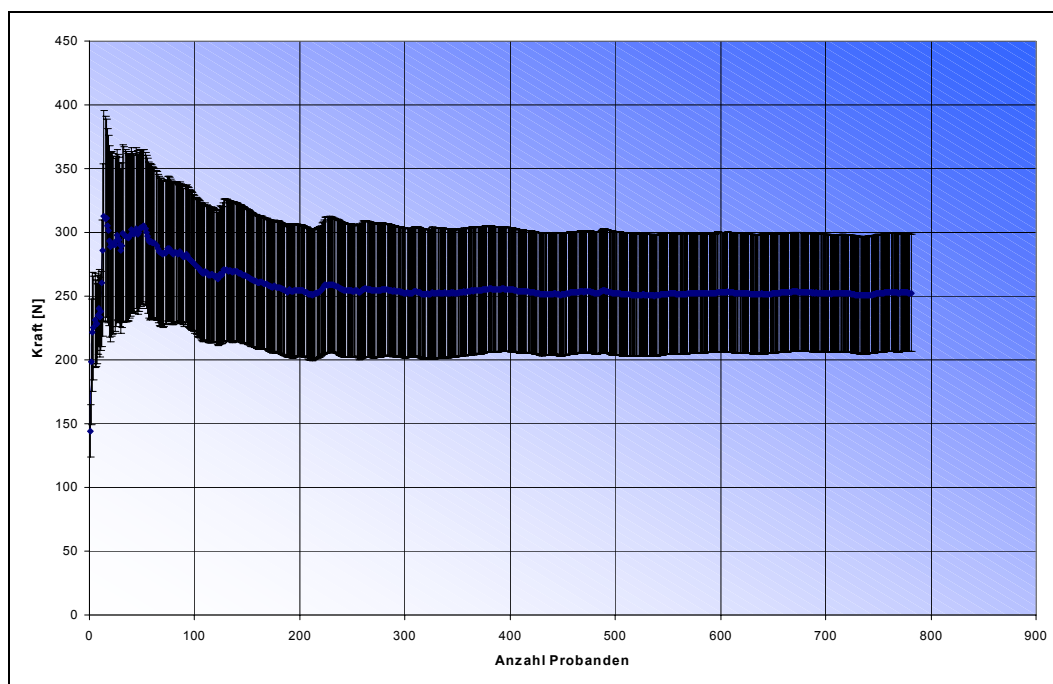
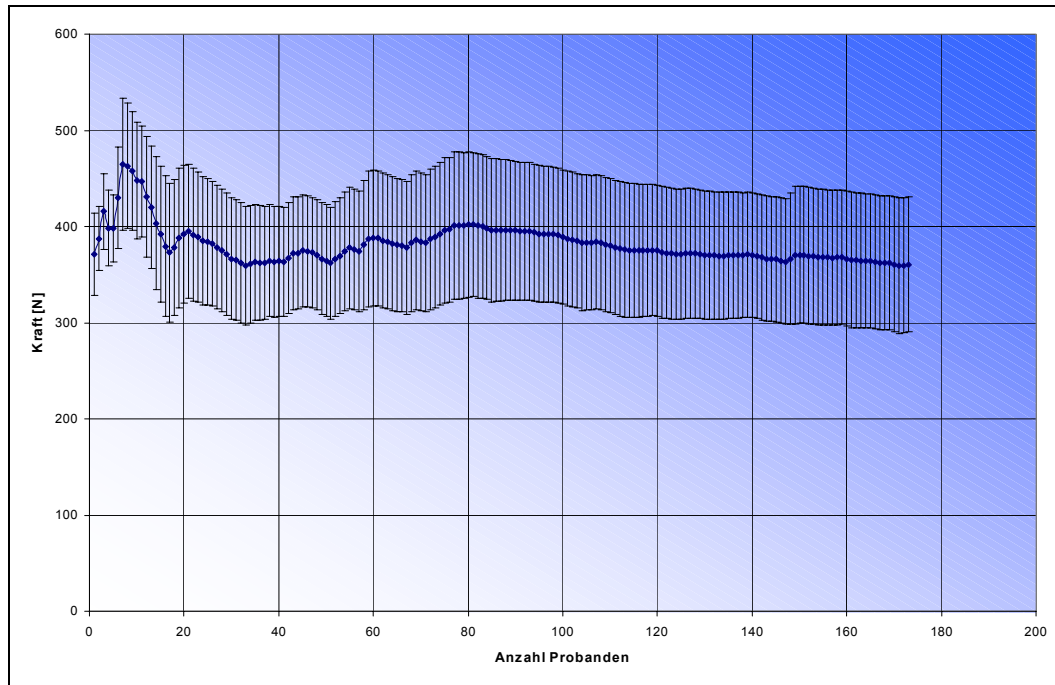




Abbildung 4-16:
Mittelwertentwicklung der maximalen Trolley-Druckkraft bei den männlichen Probanden ($n = 88 \times 2$ Messungen = 176)





4.3.3 LH-Grundgesamtheit

Um dieses Kollektiv beschreiben zu können, wurde von der Deutschen Lufthansa eine Datei mit anonymisierten biometrischen Angaben zu 505 hinsichtlich Alters-, Gewichts- und Größenverteilung ausgewählter Flugbegleiter/-innen bereitgestellt (Abbildungen 4-17 bis 4-20, siehe Seite 65).

Abbildung 4-17:
Gewichtsverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)

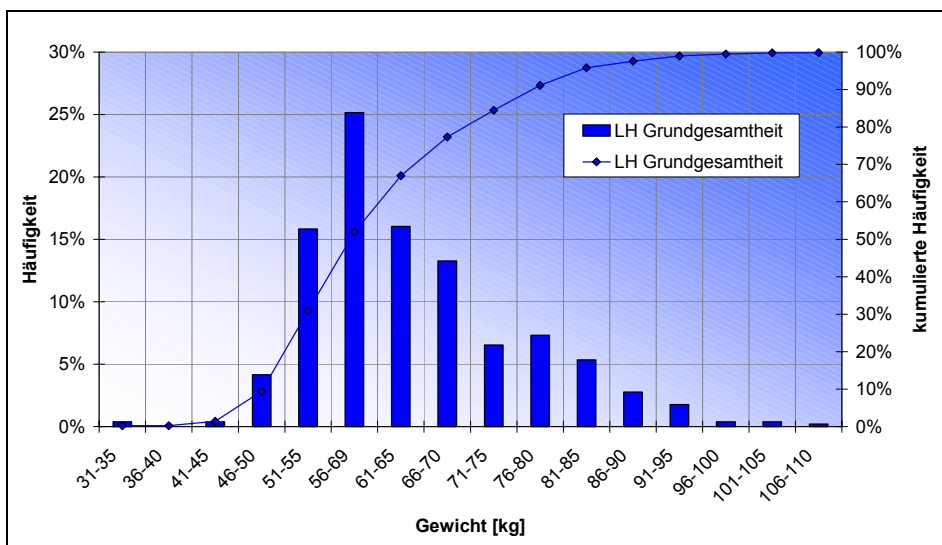


Abbildung 4-18:
Körpergrößenverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)

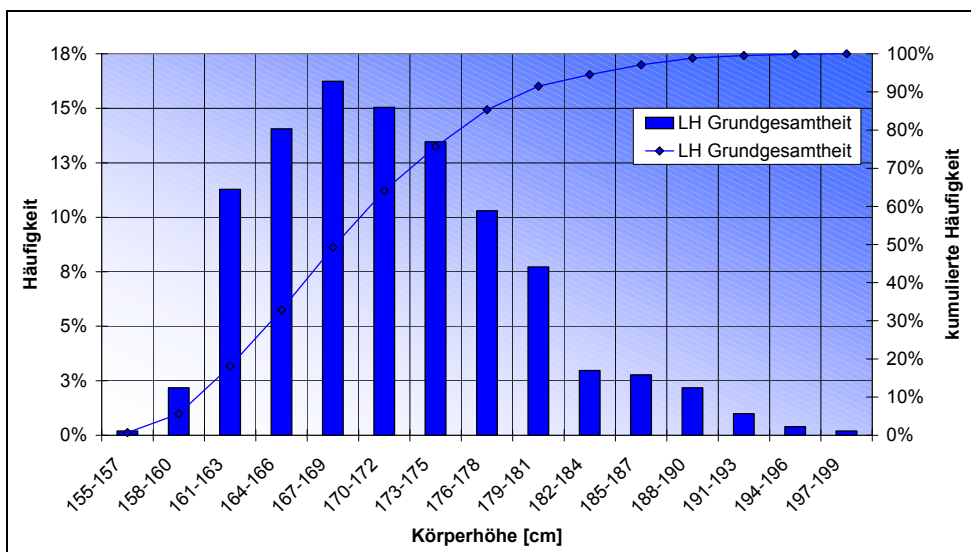




Abbildung 4-19:
Altersverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)

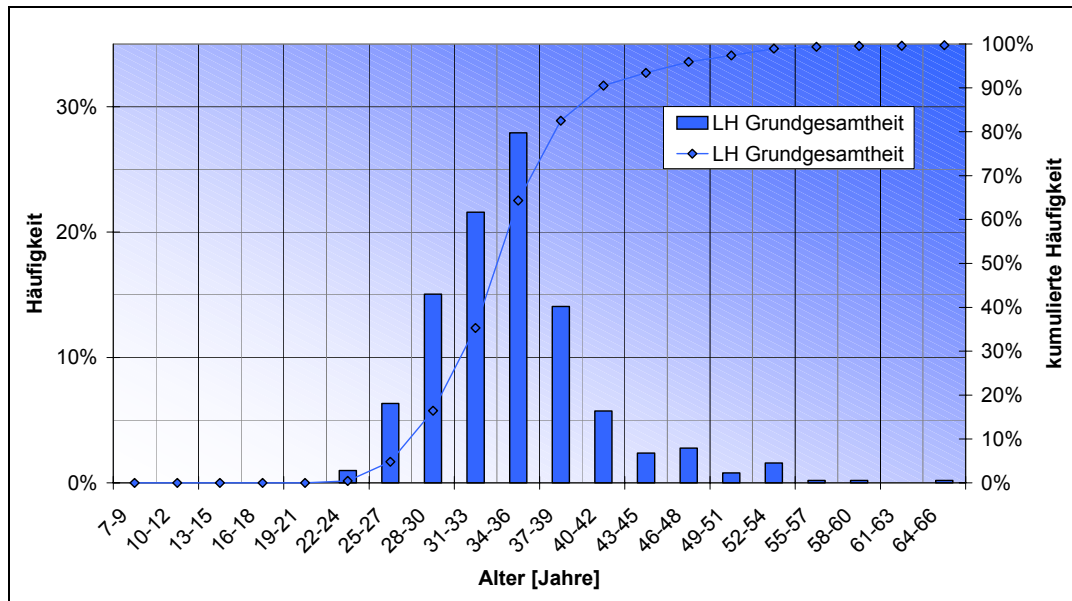
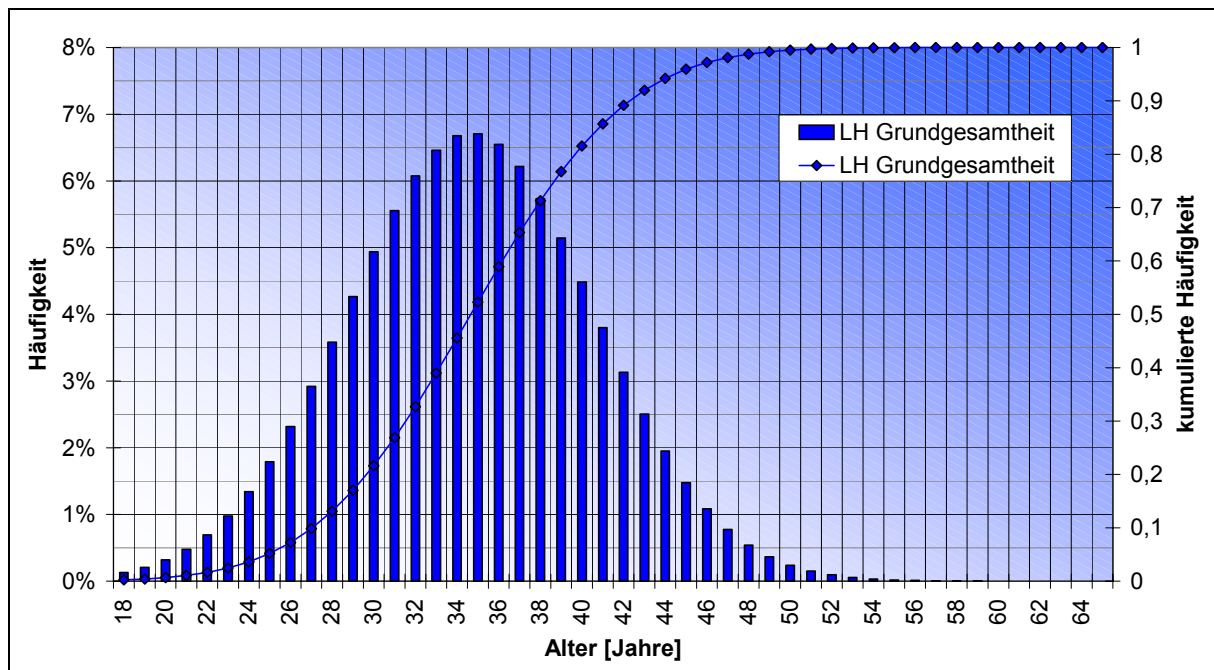


Abbildung 4-20:
Geglättete Altersverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)





4.3.4 LTU-Grundgesamtheit

Auch die LTU hatte einen Datensatz mit biometrischen Angaben von 1 842 Flugbegleitern/-innen zur Verfügung gestellt (Abbildungen 4-21 bis 4-24, siehe Seite 67).

Abbildung 4-21:
Gewichtsverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\ 842$)

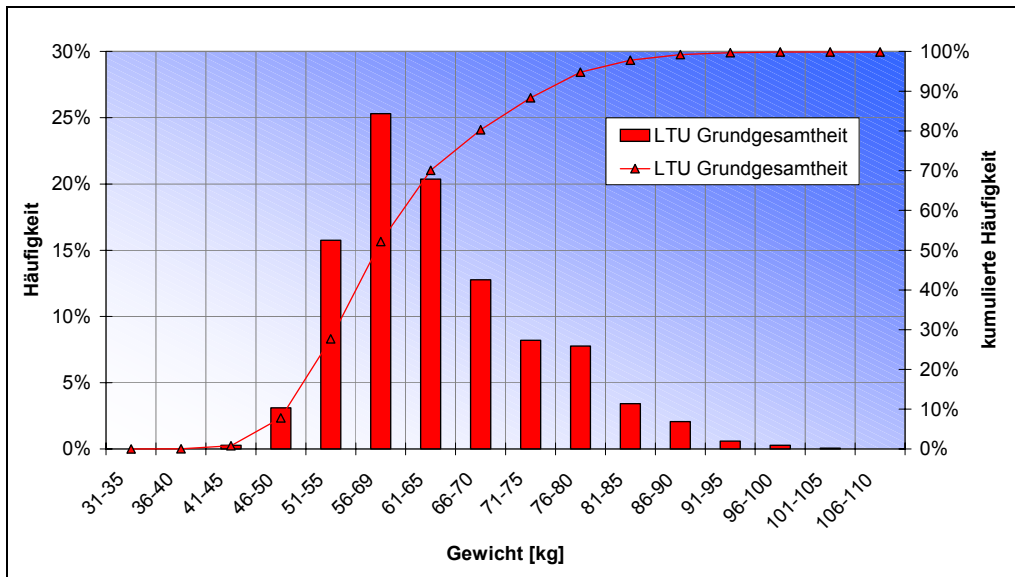


Abbildung 4-22:
Körpergrößenverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\ 842$)

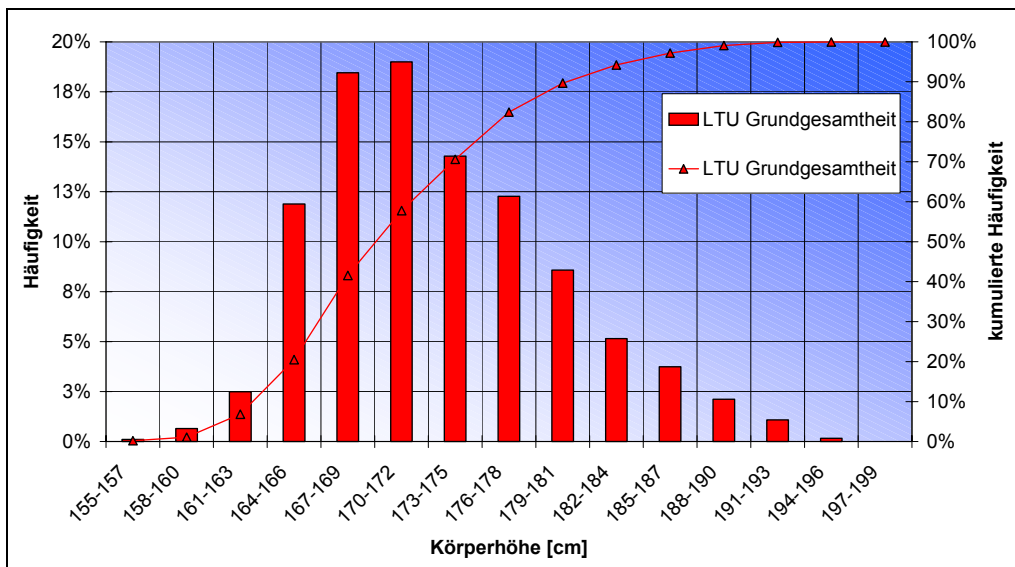




Abbildung 4-23:
 Altersverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\ 842$)

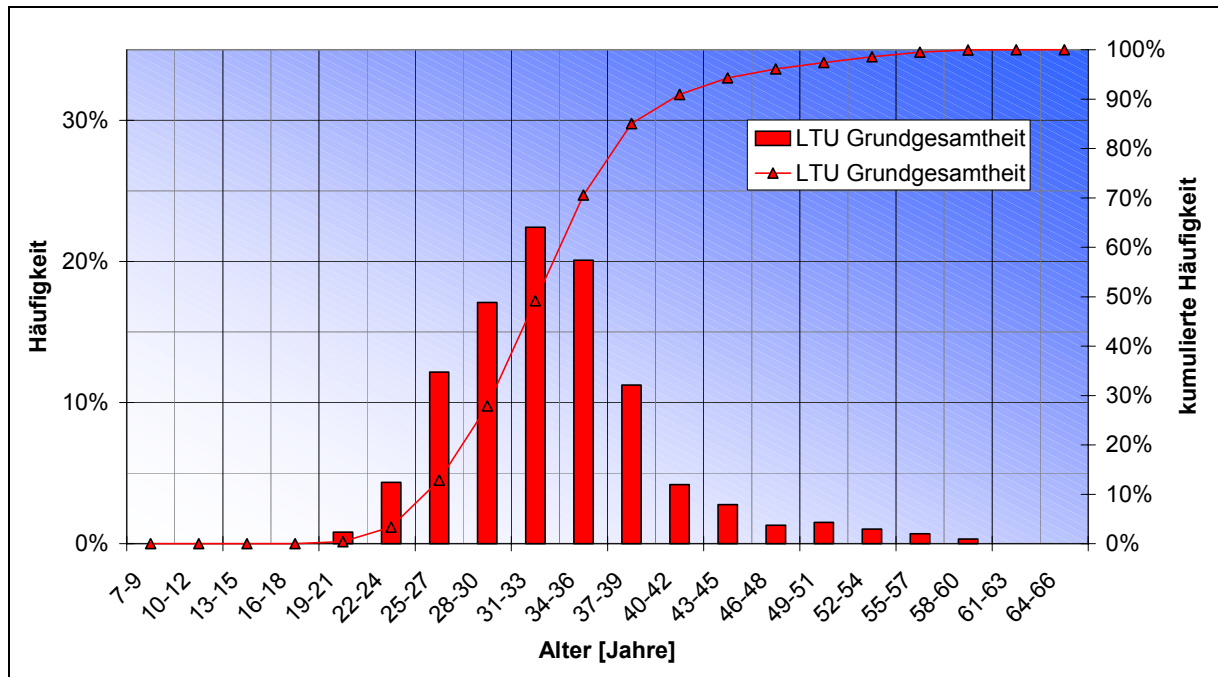
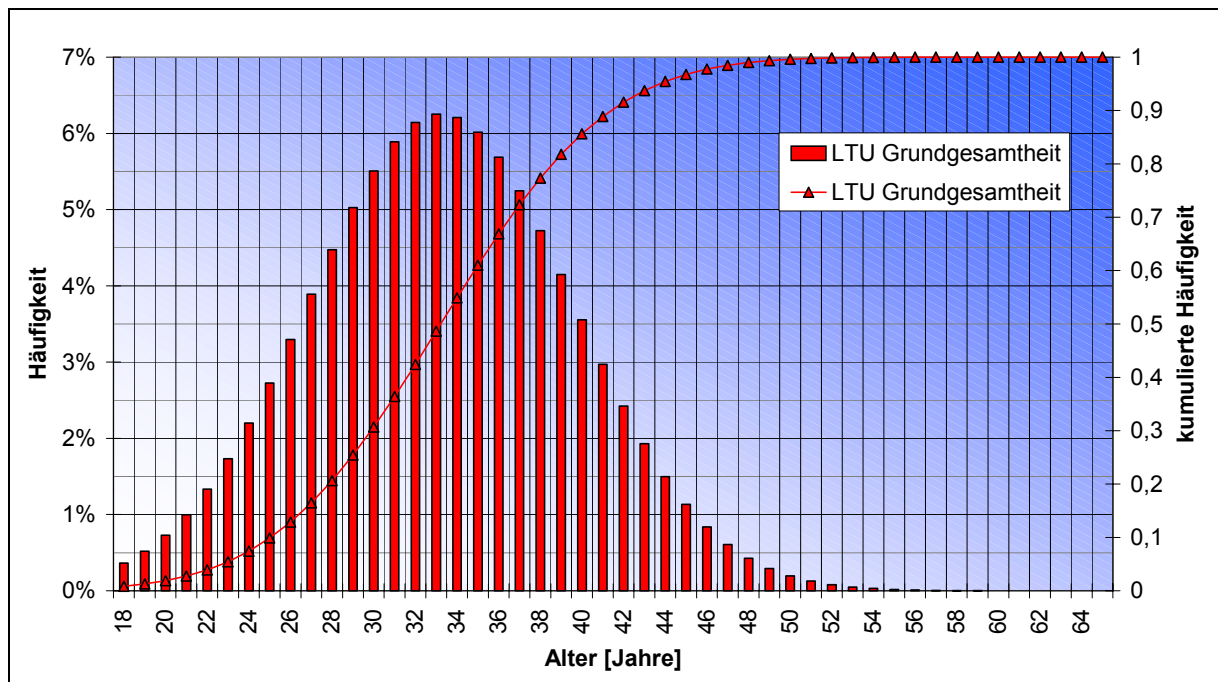


Abbildung 4-24:
 Geplättete Altersverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\ 842$)

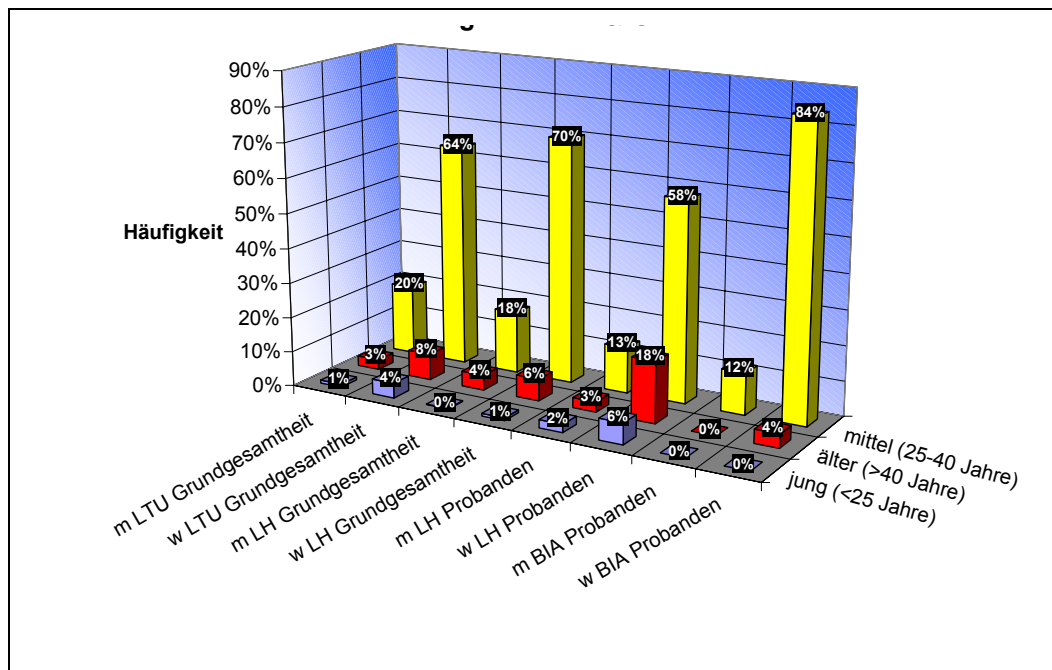




In der mittleren Altersgruppe (25 bis 40 Jahre) ist der Männeranteil der Probandenkollektive etwas geringer als in den beiden Grundgesamtheiten. Dies ist bei der jüngeren (< 25 Jahre) und älteren (> 40 Jahre) Altersgruppe nicht so stark der Fall. Die BIA-Probanden decken nur die ausgewählte mittlere Altersgruppe (25 bis 40 Jahre) bis auf eine Ausnahme ab (siehe Abschnitt 5.1).

Die prozentuale Geschlechtsverteilung der vier Kollektive ist aus Abbildung 4-25 ersichtlich.

Abbildung 4-25:
Geschlechtsverteilung der einzelnen Altersgruppen für alle vier Kollektive



m = männlich, w = weiblich

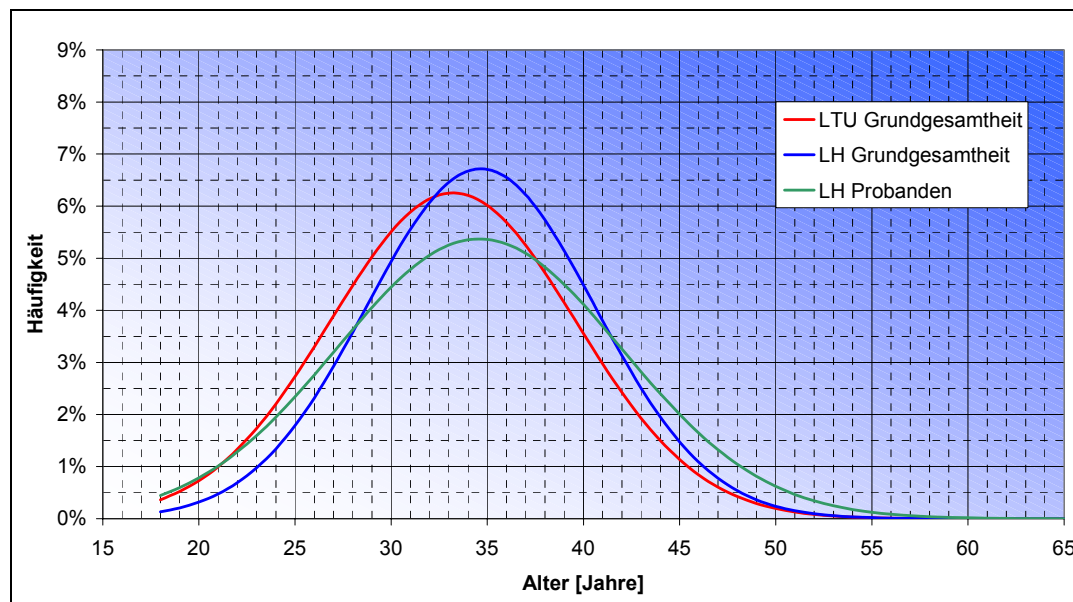
Vergleicht man die Grundgesamtheiten mit dem LH-Probanden-Kollektiv hinsichtlich des Alters (Abbildung 4-26, siehe Seite 69), so erkennt man, dass die LTU-Grundgesamtheit ihr Häufigkeitsmaximum etwas früher hat (bei ca. 33 Jahre) als die LH-Kollektive. Hierbei sind die jüngeren Altersklassen im Vergleich zur LH-Grundgesamtheit stärker vertreten. Die LH-Probanden und die LH-Grundgesamtheit haben ihre maximale Altershäufigkeit etwas später (ca. 35 Jahre) und speziell bei den LH-Probanden fällt dieses Maximum schwächer aus (nur ca. 5,3 %). Dies deutet darauf



hin, dass die jüngeren und älteren Flugbegleiter/-innen bei den Kraftmessungen etwas stärker vertreten waren als in der LH-Grundgesamtheit.

Diese Charakteristika der beiden Grundgesamtheiten und des LH-Probanden-Kollektives dienen später als Parameter für die Berechnung der synthetischen Kraftverteilungen.

Abbildung 4-26:
Geglättete Altersverteilung der Grundgesamtheiten im Vergleich mit dem LH-Probanden-Kollektiv



4.4 Datenerhebung

Die Maximalkraftmessungen und Befragungen wurden vom Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt im Zeitraum von August 2002 bis November 2002 auf der Lufthansabasis in Frankfurt am Main durchgeführt. In jeweils 10 bis 15 Minuten wurden an 478 Flugbegleitern/-innen relevante Anthropometriedaten erhoben sowie je zwei Kraftmessungen in vier unterschiedlichen Körperhaltungspositionen und eine Befragung zum subjektiven Beschwerdeempfinden absolviert. Die Untersuchung war freiwillig und fand während der Flugvor-/nachbereitung und Freizeit der Flugbegleiter/-innen statt.



4.4.1 Subjektives Beschwerdeempfinden

Während der Pausen zwischen den Maximalkraftmessungen hatten die Probanden die Möglichkeit, einen Fragebogen zum subjektiven Beschwerdeempfinden auszufüllen.

Wie in Abbildung 4-27 zu sehen, wurde zunächst die Stärke der arbeitsbedingten Beschwerden erfasst und anschließend die betroffenen Beschwerderegionen nach Beschwerdestärke gewichtet angegeben.

Abbildung 4-27:
Fragebogen zum subjektiven Beschwerdeempfinden

| Stärke arbeitsbedingter Beschwerden | | |
|--|---|--|
| Haben Sie körperliche Beschwerden aufgrund von arbeitsbedingten Belastungen? Kreuzen Sie die Beschwerdestärke auf der unteren Skala an! (Bei Beschwerdefreiheit bitte die Null ankreuzen) | | |
| keinerlei Beschwerden | | sehr starke Beschwerden |
| | | |
| Beschwerderegionen | Beispieleinstufung: | Nicht ausfüllen! nur zum internen Gebrauch! |
| Nummerieren Sie die Körperbereiche in denen Sie Beschwerden haben. Beginnen Sie am stärksten Beschwerdepunkt mit 1. <b style="color: red;">Wichtiger Hinweis: <b style="color: red;">Ihre Teilnahme ist freiwillig! Die Daten werden anonym ausgewertet, vertraulich behandelt und nach der Auswertung vernichtet! | Die höchsten Beschwerden befinden sich im unteren Rücken, gefolgt von der linken Schulter und beiden Knien. | |
| Links Rechts | Links Rechts | Links Rechts |

Abbildung 4-28 (siehe Seite 71) zeigt, dass mehr als 60 % der befragten LH-Probanden mittlere bis sehr starke arbeitsbedingte Beschwerden angeben.

Abbildung 4-29 (siehe Seite 71) zeigt die Verteilung der Beschwerderegionen. Die Konzentration der Beschwerden auf unteren und oberen Rücken (zusammen 31 %) sowie beide Schultern und den Nacken (zusammen 33 %) verweist deutlich auf diesen Engpass, der auch beim Ziehen und Schieben von Trolleys vorrangig belastet wird.



Abbildung 4-28:
 Subjektives Empfinden der Stärke arbeitsbedingter Beschwerden der
 LH-Probanden ($n = 478$)

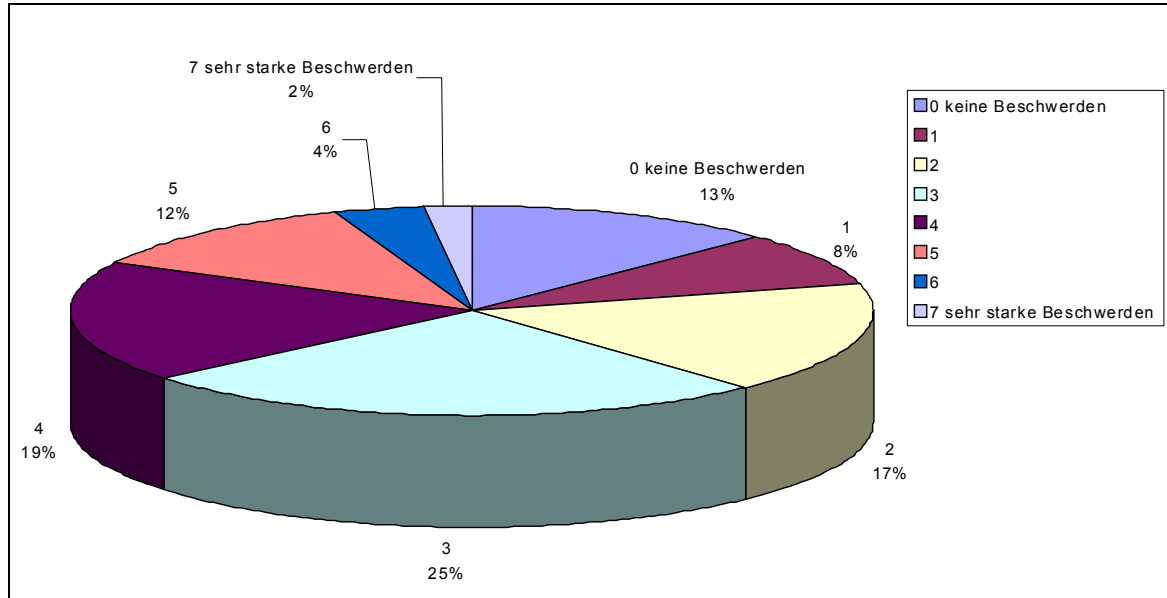
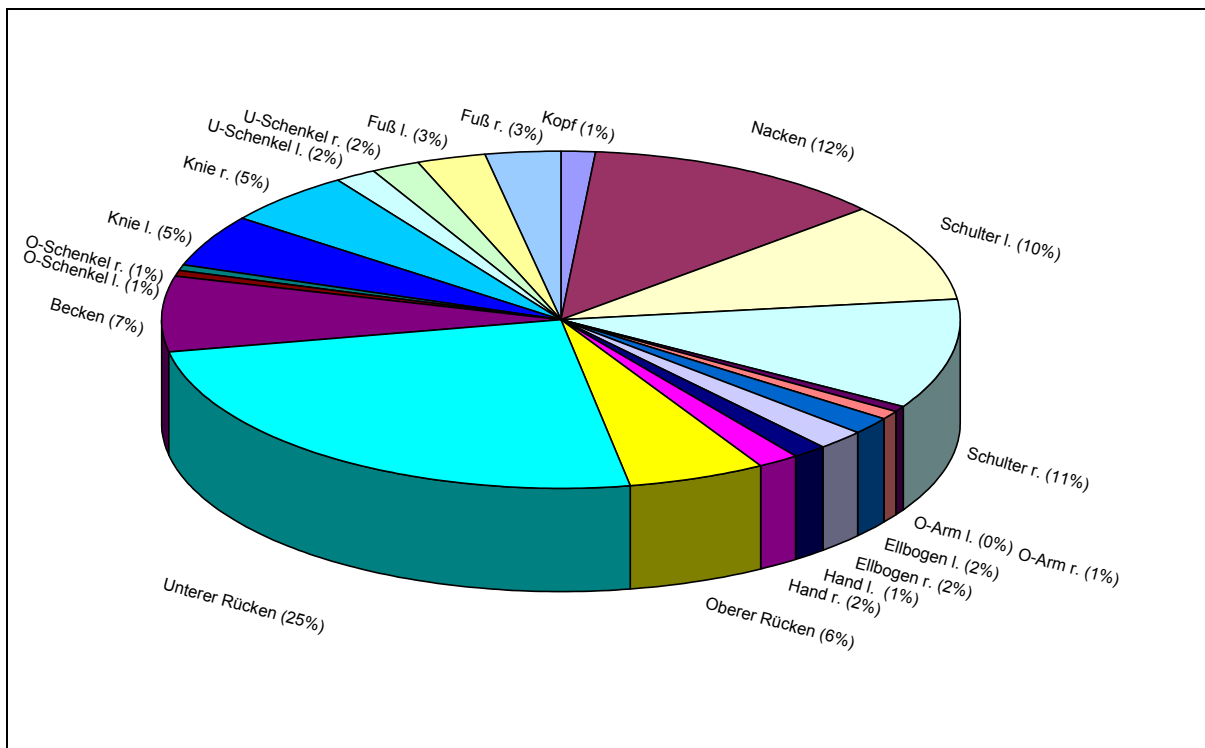


Abbildung 4-29:
 Beschwerderegionen und Häufigkeit der Nennung ($n = 478$)

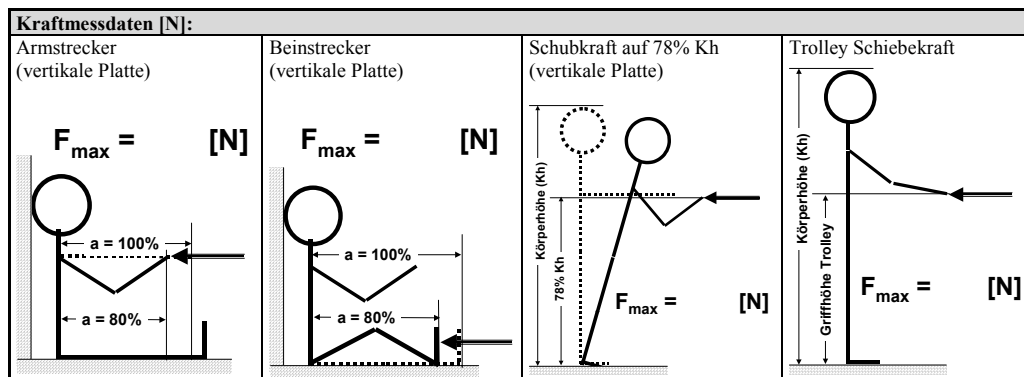




4.4.2 Kraftwerte

Die Maximalkraftwerte wurden mit einem Kraftmessgestell des IAD gemessen. Die vier Kraftausübungssituationen werden anhand Abbildung 4-30 schematisch aufgezeigt.

Abbildung 4-30:
Die vier Kraftausübungssituationen der Maximalkraftmessungen



Drei Mehrkomponenten-Kraftmessplattformen der Fa. Kistler dienten als Kraftaufnehmer und ermöglichten mit geringstem Verstellaufwand eine schnelle Anpassung an die unterschiedlichen Körpergrößenverhältnisse der einzelnen Probanden. Bedingt durch die Befestigungsart der Messplattformen konnten nur Druckkräfte gemessen werden (max. Zugkräfte in Trolley-Griffhöhe, siehe Abschnitt 5.3.4 für das BIA-Kollektiv). Für die Messung der Arm- und Beinkräfte wurde die Sitzposition den zuvor erfassten anthropometrischen Maßen der Probanden angepasst (Abbildung 4-31, siehe Seite 73).

Bei den Messungen der Druckkraft in 78 % Körperhöhe (entspricht Schulterhöhe) und am Trolley-Griff war, bedingt durch die große aktive Messfläche der Plattformen, keine Verstellung nötig. Nur der Kraftangriffspunkt wurde entsprechend der Körperhöhe vorgegeben bzw. war im Falle des Trolley-Griffs für alle gleich (1,03 m über dem Boden wie bei den gängigen LH-Trolleys, Abbildung 4-32, siehe Seite 73).

Über zwei Industrieladungsverstärker der Fa. Kistler wurden die horizontalen und vertikalen Signalkomponenten der Piezoaufnehmer weiterverarbeitet, mit einem Messwert-

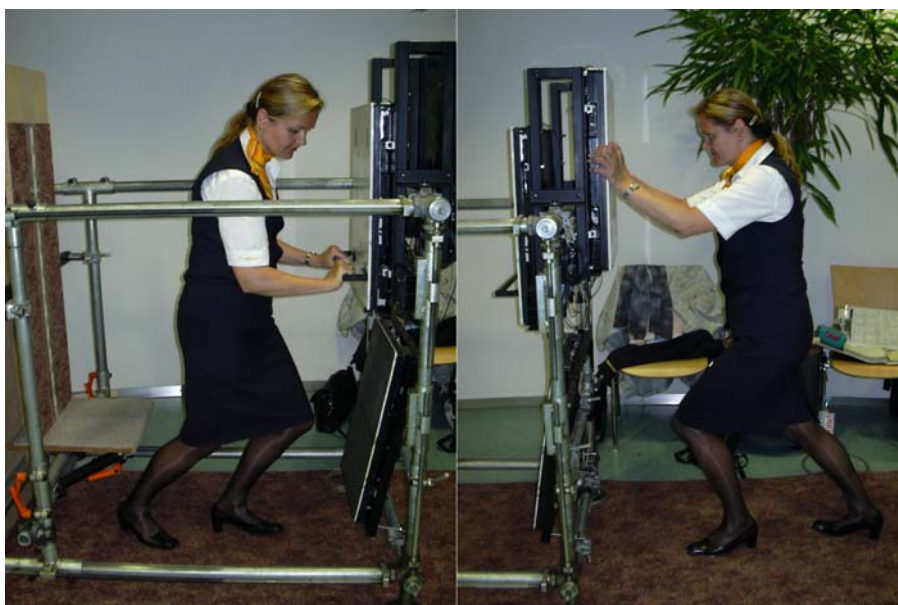


erfassungssystem der Fa. HBM digitalisiert und auf einem Notebook abgespeichert. Um eventuelle Messwertschwankungen zu vermeiden, wurden täglich Kalibriermessungen mit definierten Kräften durchgeführt.

Abbildung 4-31:
Messung der Arm- und Beinkräfte im Kraftmessgestell



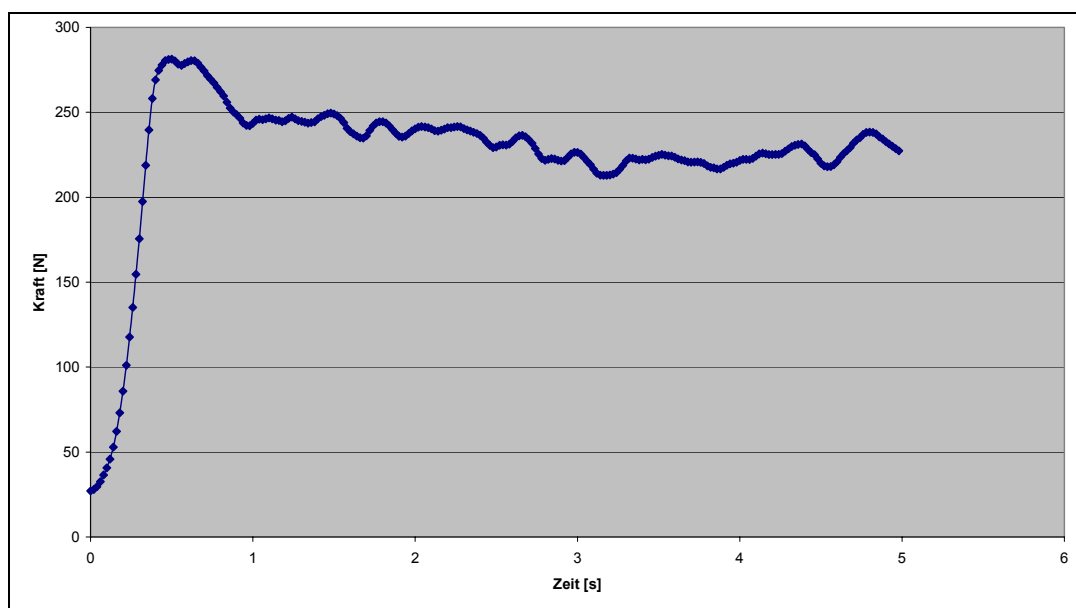
Abbildung 4-32:
Maximalkraftmessungen am Trolley-Griff und auf 78 % Körperhöhe





Eine Kraftmessung dauerte 5 s, wobei die Probanden angewiesen wurden, die Maximalkraft innerhalb einer Sekunde aufzubauen und sie dann 4 s lang möglichst gleichmäßig zu halten. Es erfolgte jeweils eine Wiederholungsmessung, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, für die jeweilige Messsituation ein „Gefühl“ zu entwickeln. Abbildung 4-33 zeigt einen exemplarischen Kraftverlauf der resultierenden Maximalkraft in Trolley-Griffhöhe. Sie berechnet sich aus der vektoriellen Addition der horizontalen (in Schubrichtung) und vertikalen Kraftkomponenten für jeden Messzeitpunkt (Messfrequenz betrug 50 Hz).

Abbildung 4-33:
Exemplarischer Verlauf einer Maximalkraftmessung (Drücken) in Trolley-Griffhöhe



Um nicht eine einmalige Kraftspitze im Verlauf als Maximalkraft zu erhalten, wurde im Bereich von 0,5 s bis 5 s das größte 1,5-s-Mittelwertintervall mit einer Schrittweite von 20 ms berechnet und als Maximalkraft für diese Messung definiert. Dieses Mittelwertintervall hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem Quasi-Standard entwickelt und wurde auch für die Ermittlung der Maximalkraftwerte in DIN 33411-5 [26] angewendet, die zum Vergleich der Leistungsfähigkeit des Kollektives des Flugbegleitpersonals mit der Grundgesamtheit in Abschnitt 4.5.4 herangezogen wird.



4.5 Ergebnisse

4.5.1 Maximalkräfte der LH-Probanden

Im Folgenden werden die Messergebnisse (siehe Abschnitt 4.5) der vier Kraftarten

- Armkräfte
- Beinkräfte
- Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe
- Druckkräfte in Trolley-Griffhöhe

beschrieben.

Abbildung 4-34 (siehe Seite 76) zeigt die Verteilung der maximalen Armkräfte (Drücken) für Männer und Frauen. Bei den Männern ergibt sich gegenüber den Frauenwerten ein wesentlich größerer Streubereich. Die Verteilung der Armkräfte der Frauen ist leicht linkssteil, was auf Trainingseffekte hinweisen könnte. Aufgrund der wesentlich geringeren Anzahl männlicher Probanden erscheinen die Verläufe weniger glatt. Auch bei den männlichen Messwerten deutet sich eine linkssteile Verteilung an.

Abbildung 4-35 (siehe Seite 76) stellt die Verteilung der maximalen Beinkräfte dar. Wiederum ergeben sich für die männlichen Probanden höhere Streubereiche als für die weiblichen; die Verteilung der Frauenwerte erscheint relativ symmetrisch und nicht schief.

Die in Abbildung 4-36 (siehe Seite 77) dargestellte Verteilung der maximalen Druckkräfte erscheint bei den Frauenwerten – wie schon bei den Armkräften – leicht linkssteil. Auch die Verteilung der Männerwerte folgt diesem Trend.

Die Verteilung der in Abbildung 4-37 (siehe Seite 77) dargestellten Druckkräfte in Trolley-Griffhöhe ähnelt dem vorherigen Kraffall (Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe).



Abbildung 4-34:
Verteilung der maximalen Armkräfte (Druck)

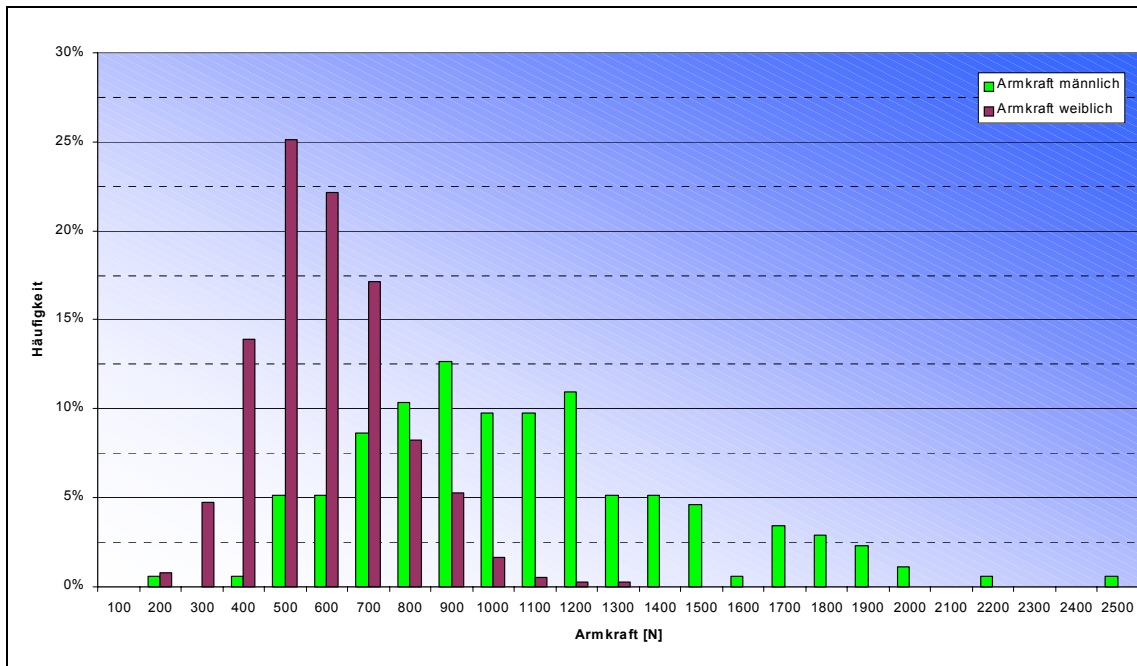


Abbildung 4-35:
Verteilung der maximalen Beinkräfte

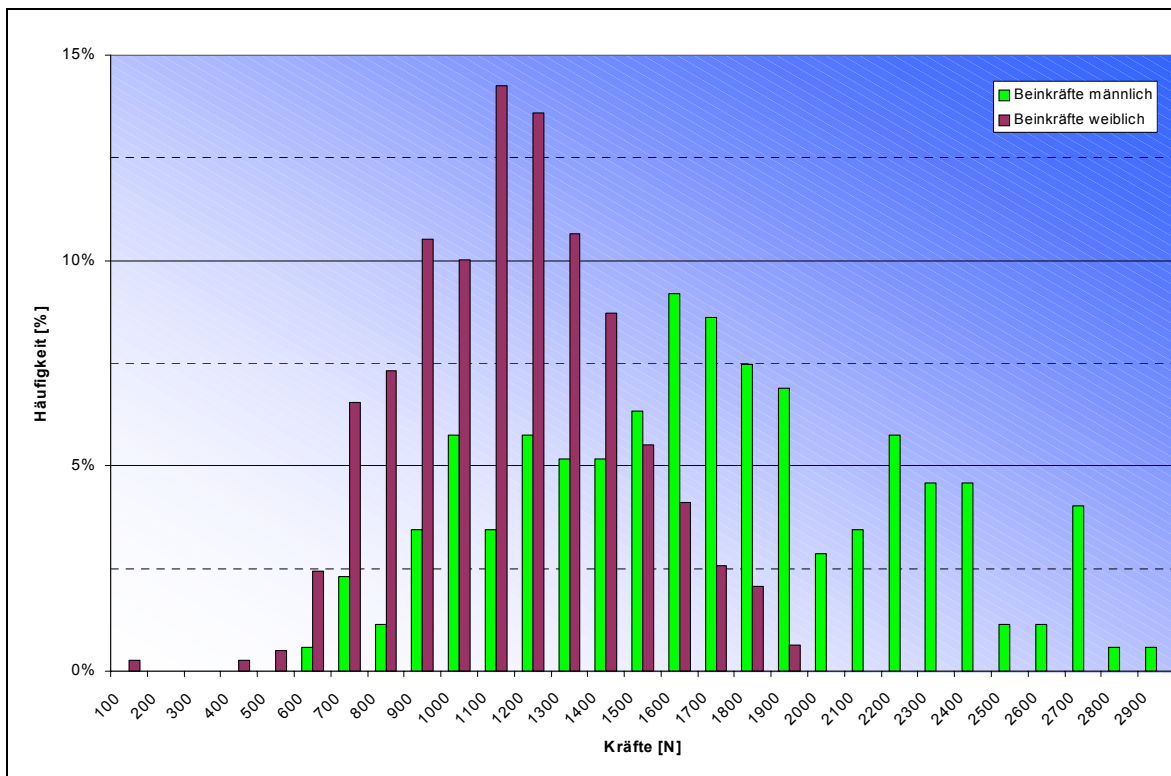




Abbildung 4-36:
Verteilung der maximalen Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe

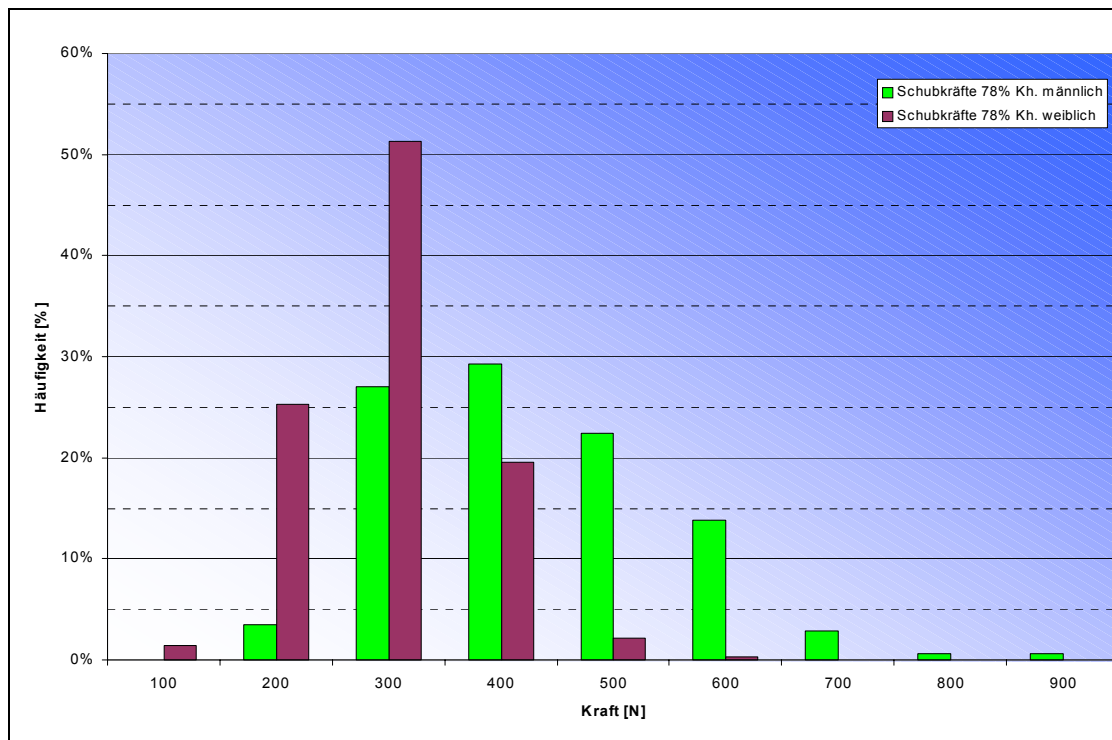
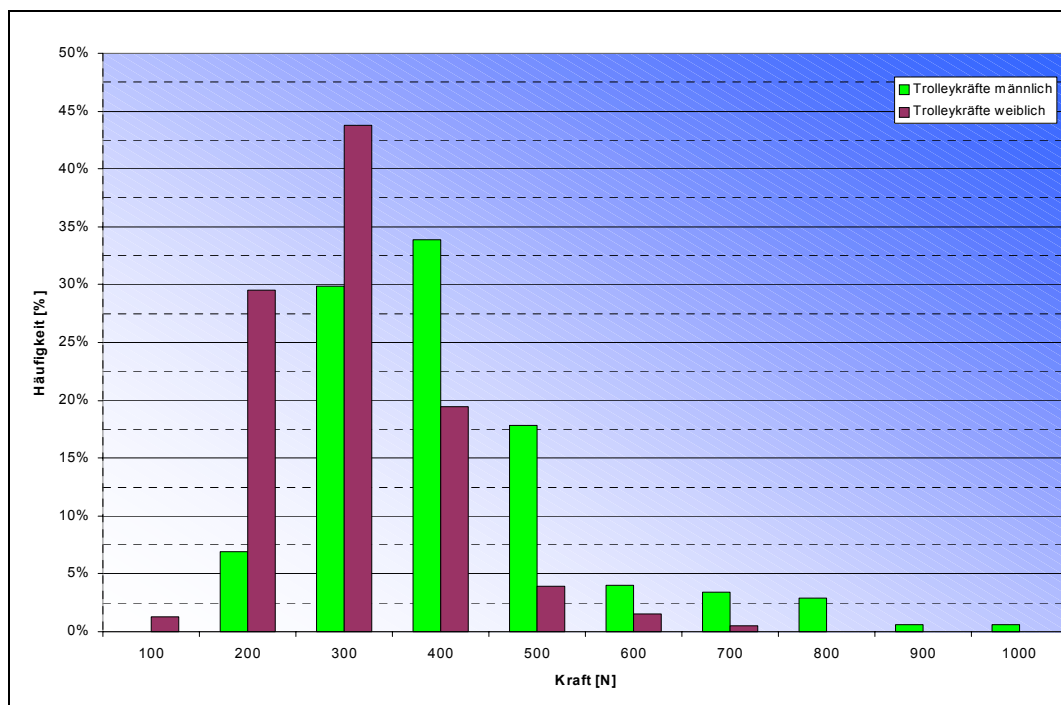


Abbildung 4-37:
Verteilung der maximalen Druckkräfte in Trolley-Griffhöhe



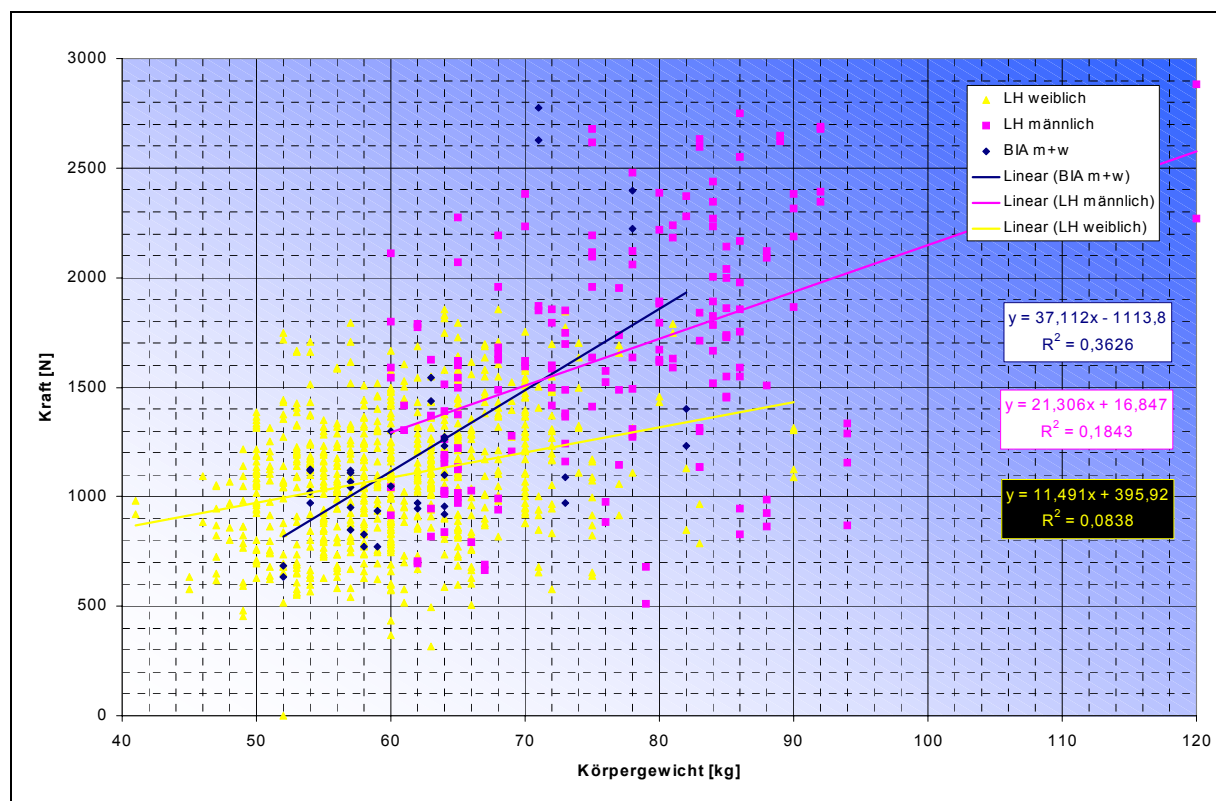


Bei Arm- und Ganzkörperkräften deuten sich für beide Geschlechter linkssteile Verteilungen an, die auf Trainingseffekte schließen lassen. Bei den Beinkräften ist dies nicht der Fall. Die Streubereiche für die männlichen Kraftwerte liegen deutlich über denen der Frauen, was sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen deckt [27].

4.5.2 Korrelation von Kräften und biometrischen Daten

Die Korrelation zwischen biometrischen Daten und den gemessenen Kräften (siehe Abbildung 4-38) sind ausführlich im Anhang A3 beschrieben. Exemplarisch seien nachfolgend einige Fälle angeführt.

Abbildung 4-38:
Korrelation zwischen Beinkraft und Körpergewicht

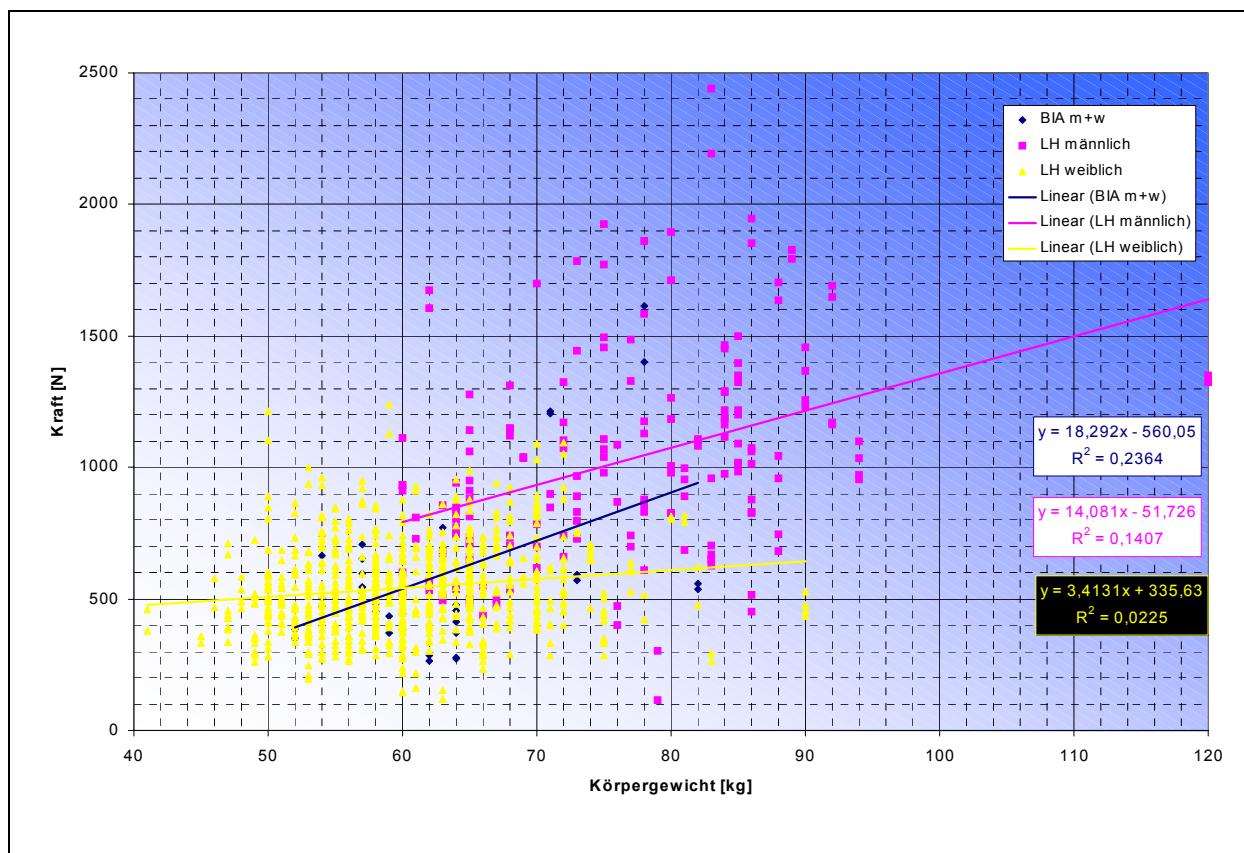


Nach *Rohmert* besteht ein Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Körpergewicht [28]. Die Beinkräfte haben an Ganzkörperkräften wesentlich Anteil, sodass die in Abbildung 4-38 dargestellte Beziehung zwischen Beinkraft und Körpergewicht zu



erwarten war. Das relativ niedrige Bestimmtheitsmaß – insbesondere bei den weiblichen LH-Probanden – könnte als Folge eines Trainingseffektes interpretiert werden. Ähnliche Korrelationstendenzen – wenn auch auf niedrigerem Niveau – zeigen sich für die im Kraftniveau geringeren Armkräfte (Abbildung 4-39).

Abbildung 4-39:
Korrelation zwischen Armkraft und Körpergewicht



Deutlich niedriger fällt die beschriebene Abhängigkeit für die Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe aus (Abbildung 4-40, siehe Seite 80). Dies lässt sich zum Teil mit der Tatsache erklären, dass sich bei den Messungen von Arm- und Beinkräften der Körper in einem fixierten abgestützten Zustand befand, bei den Druckkräften auf 78 % Körperhöhe und auch bei denen in Trolley-Griffhöhe die Haltungsstabilität jedoch ein begrenzender Faktor bei dem Versuch sein kann, maximale Kräfte auszuüben. Auffällig ist allerdings, dass bei den Druckkräften in Trolley-Griffhöhe (Abbildung 4-41) die



Abhängigkeit vom Körpergewicht geringer ausfällt als bei den Druckkräften auf 78 % Körperhöhe, obwohl Haltungsrestriktionen im letzteren Fall geringer sind als bei den Druckkräften in Trolley-Griffhöhe (Abbildung 4-32, siehe Seite 73). Diese ließe sich mit Trainingseffekten bei den Trolley-Druckkräften erklären, was im Einklang steht mit den Aussagen im vorherigen Abschnitt.

Abbildung 4-40:
Korrelation zwischen Druckkraft auf 78 % Körperhöhe und Körpergewicht

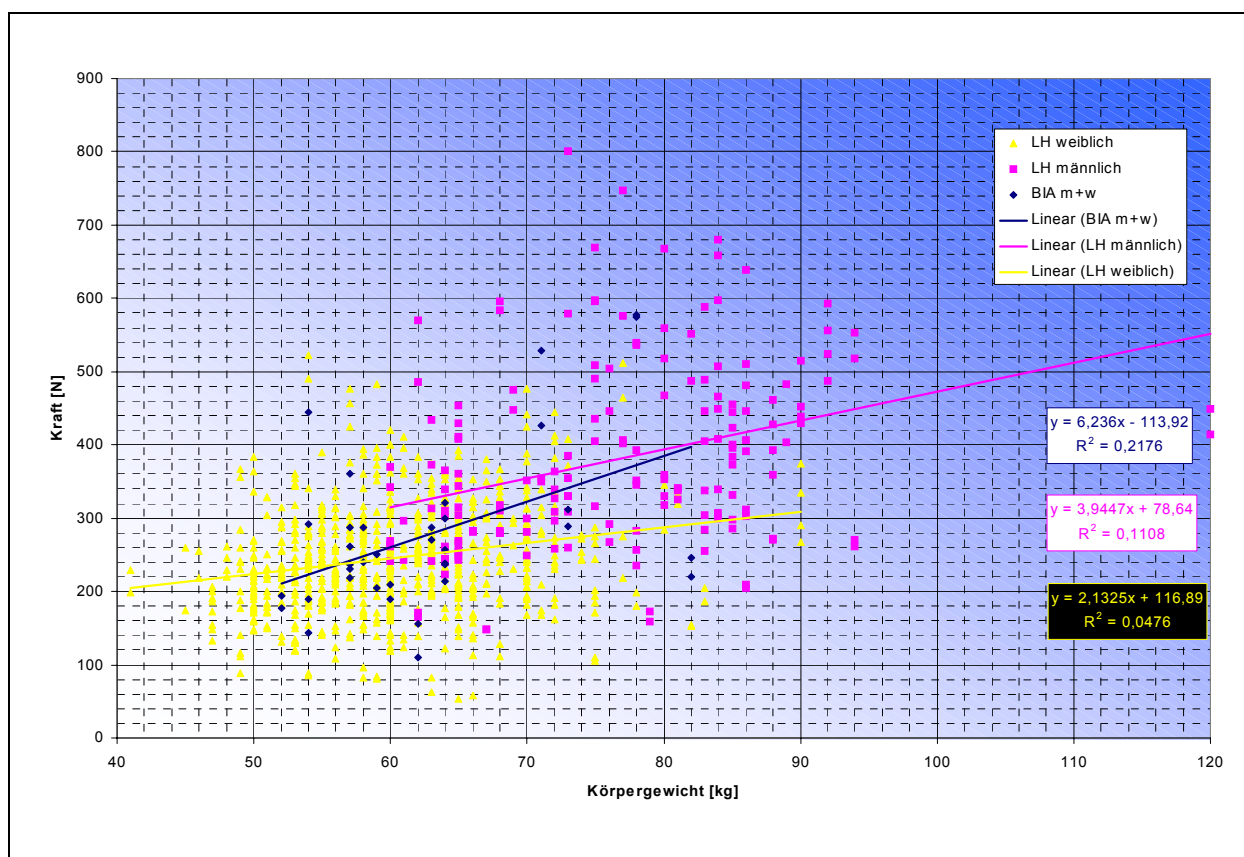
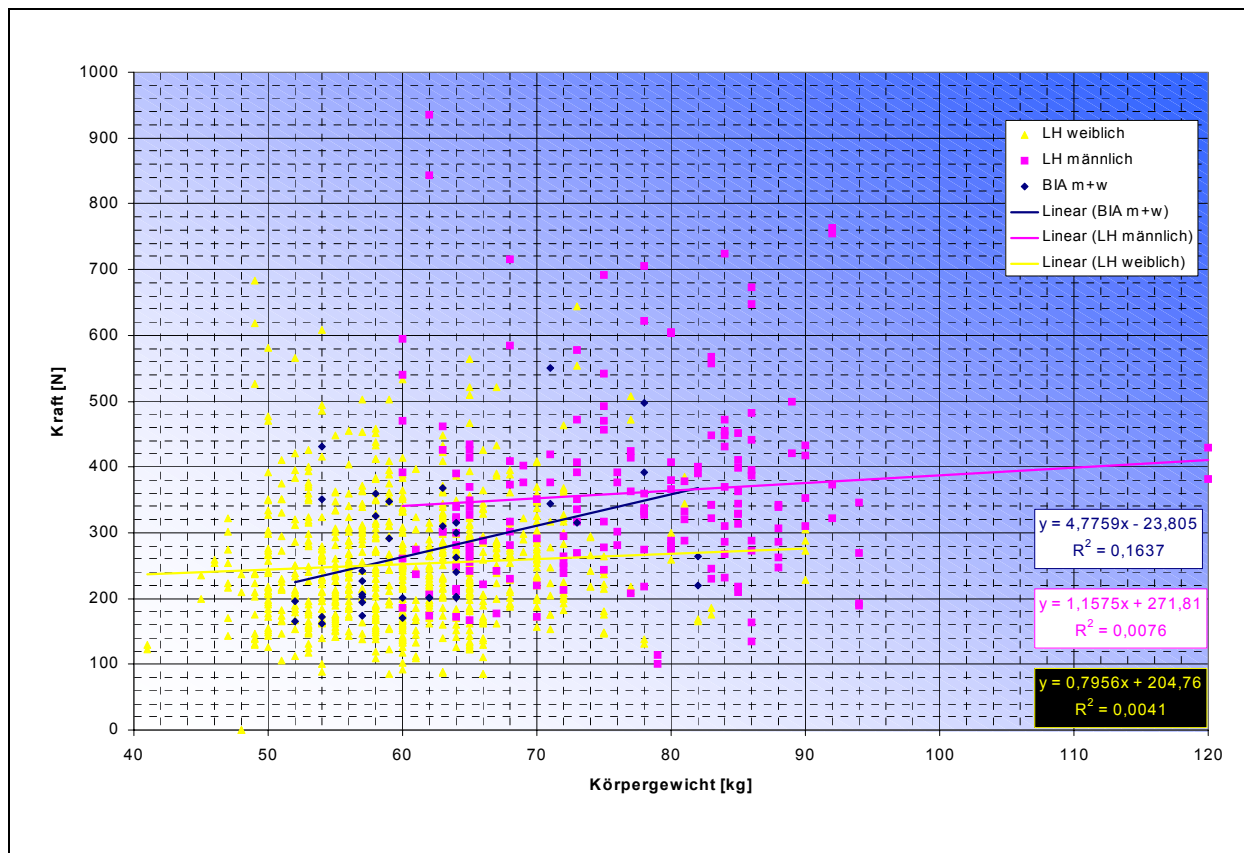




Abbildung 4-41:
Korrelation zwischen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe und Körpergewicht



4.5.3 Synthetische LH- und LTU-Verteilungen

An den Maximalkraftmessungen auf der Frankfurter LH-Basis nahmen ca. 90 männliche und ca. 390 weibliche Probanden teil. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass das gemessene Kollektiv repräsentativ für die Gesamtheit des Flugbegleitpersonals ist, wurde versucht, die Maximalkraftverteilungen für ein „synthetisches Flugbegleiterkollektiv“ zu ermitteln. Basis hierfür waren anonymisierte biometrische Daten (Größe, Gewicht, Alter und Geschlecht) von ca. 500 LH- und ca. 1 850 LTU-Flugbegleitern/-innen (siehe auch Abschnitt 4.3). Auf der Basis der dort festgestellten Alters- und Geschlechtsverteilungen wurden, unter Berücksichtigung der Altersgruppen „jünger als 25 Jahre“, „25 bis 40 Jahre“ und „älter als 40 Jahre“ beider Geschlechter und der an ihnen ermittelten Maximalkraftwerte, in Anlehnung an das in



DIN EN 1005-3 Anhang B [22] beschriebene Verfahren, synthetische Kraftverteilungen für das Flugbegleitpersonal der Grundgesamtheiten „Lufthansa“ und „LTU“ ermittelt.

In Abbildung 4-42 (siehe Seite 83) sind die Summenhäufigkeiten der gemessenen maximalen Armkräfte für Männer und Frauen getrennt dargestellt. Der Vollständigkeit halber wurden auch die Werte derjenigen Probanden mitberücksichtigt, die sich im BIA bereits den umfangreichen Laboruntersuchungen unterzogen hatten. Da das Kollektiv der männlichen LH-Probanden und vor allem das BIA-Kollektiv deutlich weniger Probanden enthielt, erscheinen die Summenhäufigkeitsdarstellungen dieser Kollektive als weniger glatt. Die Werte der synthetischen Verteilungen liegen zwischen denen der männlichen und weiblichen Kollektive. Im Bereich niedriger synthetischer Kraftperzentile liegen die Kraftwerte – bedingt durch einen ca. 20-prozentigen männlichen Anteil deutlich über den weiblichen Werten, nähern sich aber im Bereich der 60. bis 70. Summenhäufigkeiten wegen des hohen Anteils weiblicher Probanden wieder den weiblichen Werten an, bevor sie sich dann – bedingt durch die hohen maximalen männlichen Beinkraftwerte – wieder weiter von den weiblichen Werten entfernen. Die sich ergebende synthetische Summenhäufigkeit besitzt somit nicht die S-Form homogener Kollektive, sondern besitzt „Eindellungen“, welche in der unterschiedlichen Form der Häufigkeitsverteilung begründet sind (siehe Abschnitt 4.5.1). Berechnet man rein weibliche synthetische Verteilungen, so entfällt dieser Effekt (Abbildungen 4-43 und 4-44, siehe Seite 83 und 84).

Die Summenhäufigkeiten der maximalen Beinkräfte (Abbildung 4-45, siehe Seite 84) verlaufen ähnlich wie die der Armkräfte, allerdings auf höherem Niveau. Ähnliches gilt auch für die Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe (Abbildung 4-46, siehe Seite 85).

Eine Sonderstellung nehmen die Summenhäufigkeiten der Druckkraft in Trolley-Griffhöhe ein (Abbildung 4-47, siehe Seite 85). Die Werte von männlichen und weiblichen Probanden liegen näher zusammen, sodass die „Eindellungen“ in den synthetischen Summenhäufigkeiten der anderen 3 Kraftfälle hier fehlen (Abbildungen 4-48 und 4-49, siehe Seite 86). Dies spricht wiederum für Trainingseffekte bei den weiblichen Probanden, da die Summenhäufigkeiten für männliche Probanden bei den Kraftfällen



„Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe“ und „Druckkräfte in Trolley-Griffhöhe“ insbesondere im Bereich hoher Kraftpercentile sehr ähnlich sind.

Abbildung 4-42:
Summenhäufigkeit der maximalen Armkräfte (Drücken)

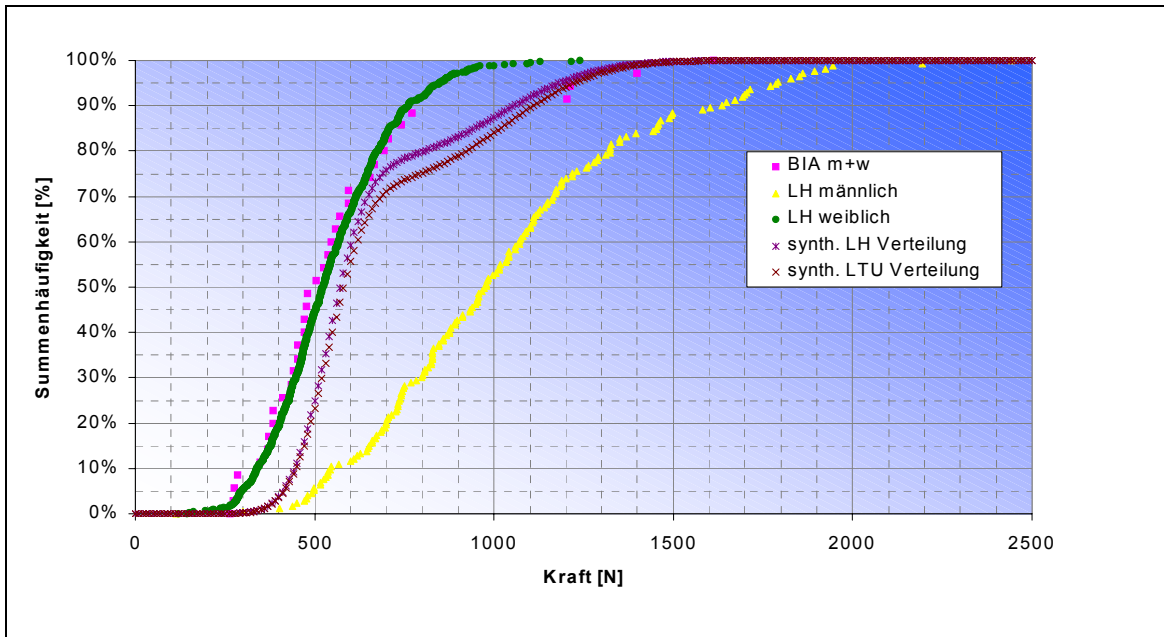


Abbildung 4-43:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft auf 78 % Körperhöhe (nur weibliche Daten)

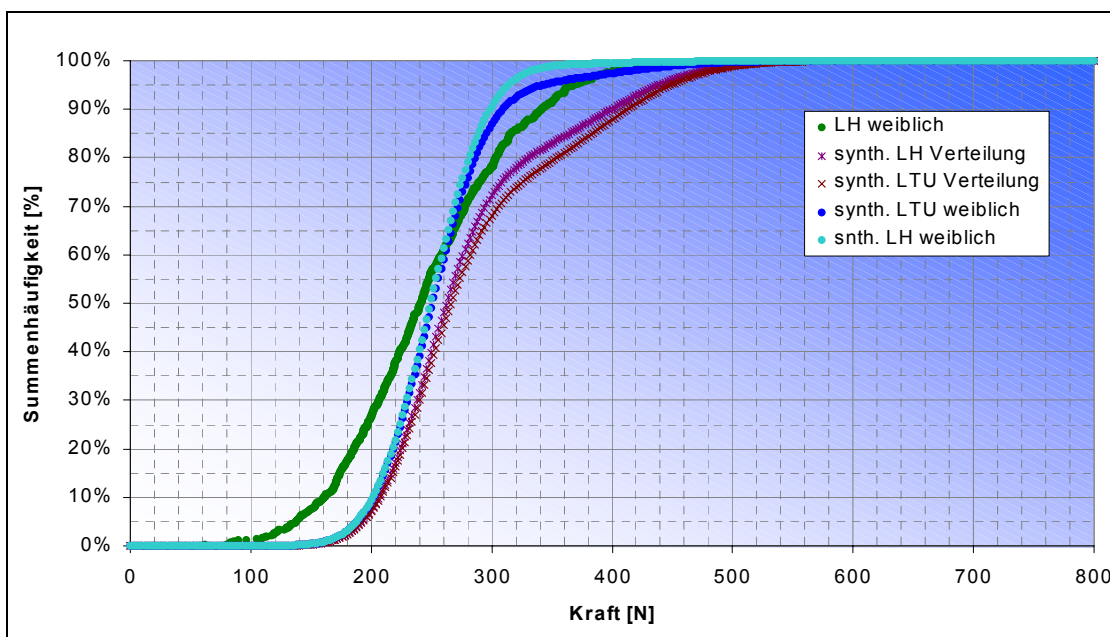




Abbildung 4-44:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe
(nur weibliche Daten)

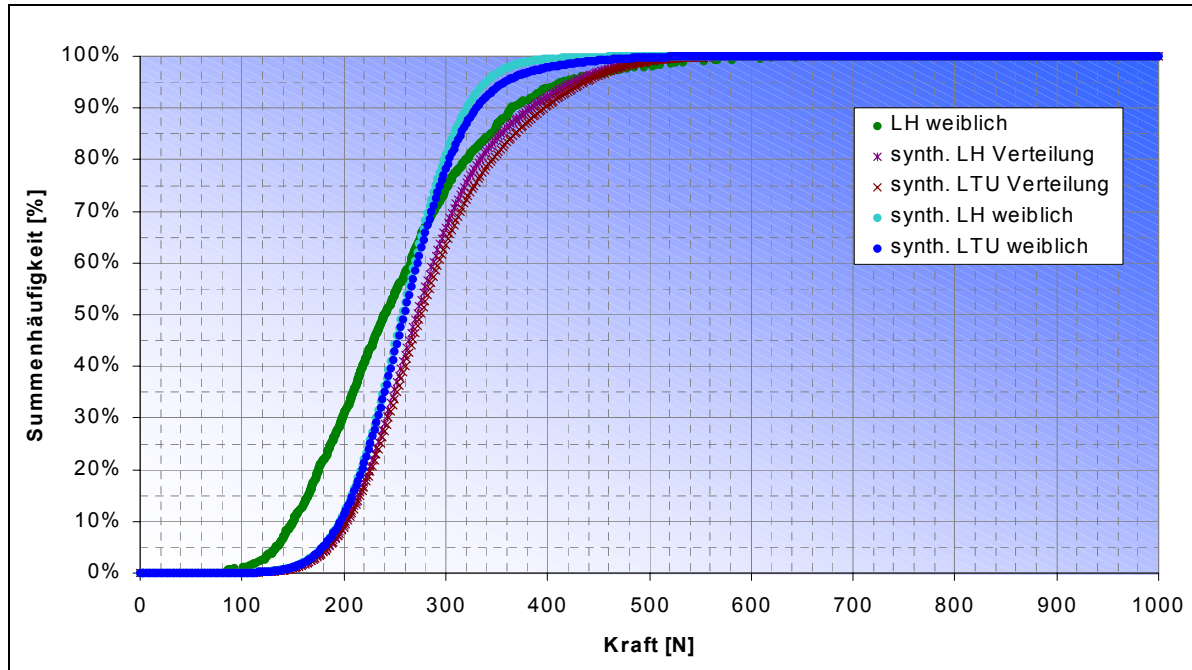


Abbildung 4-45:
Summenhäufigkeit der maximalen Beinkräfte

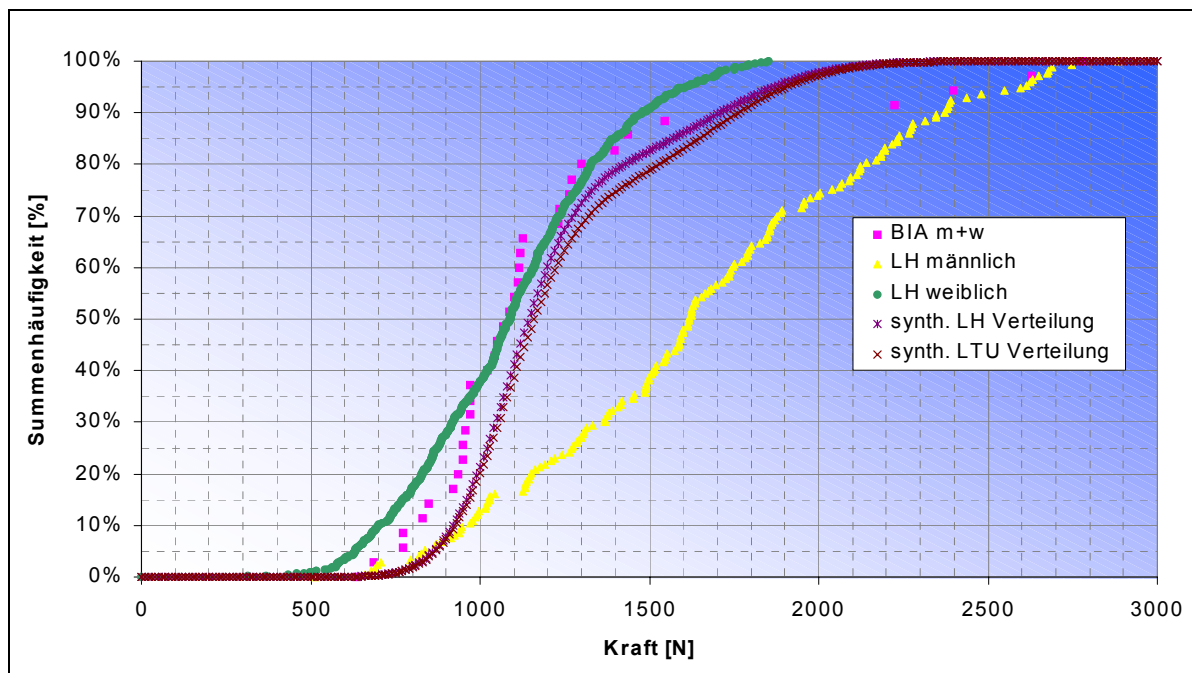




Abbildung 4-46:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft auf 78 % Körperhöhe

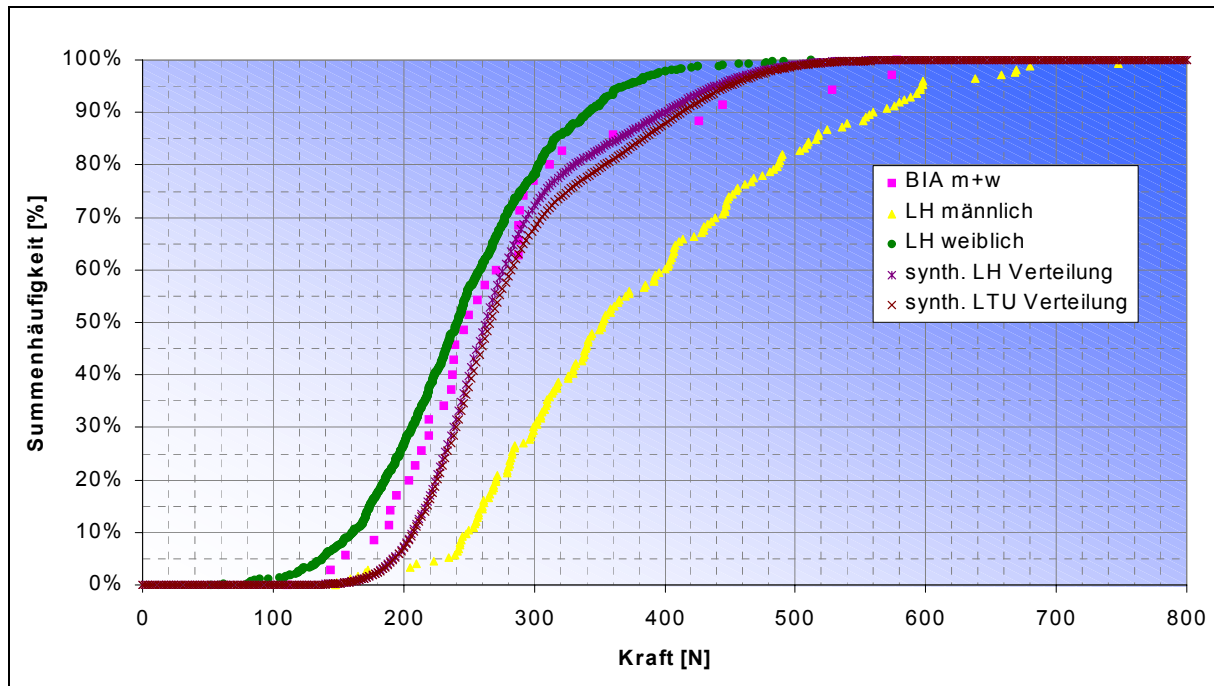


Abbildung 4-47:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe

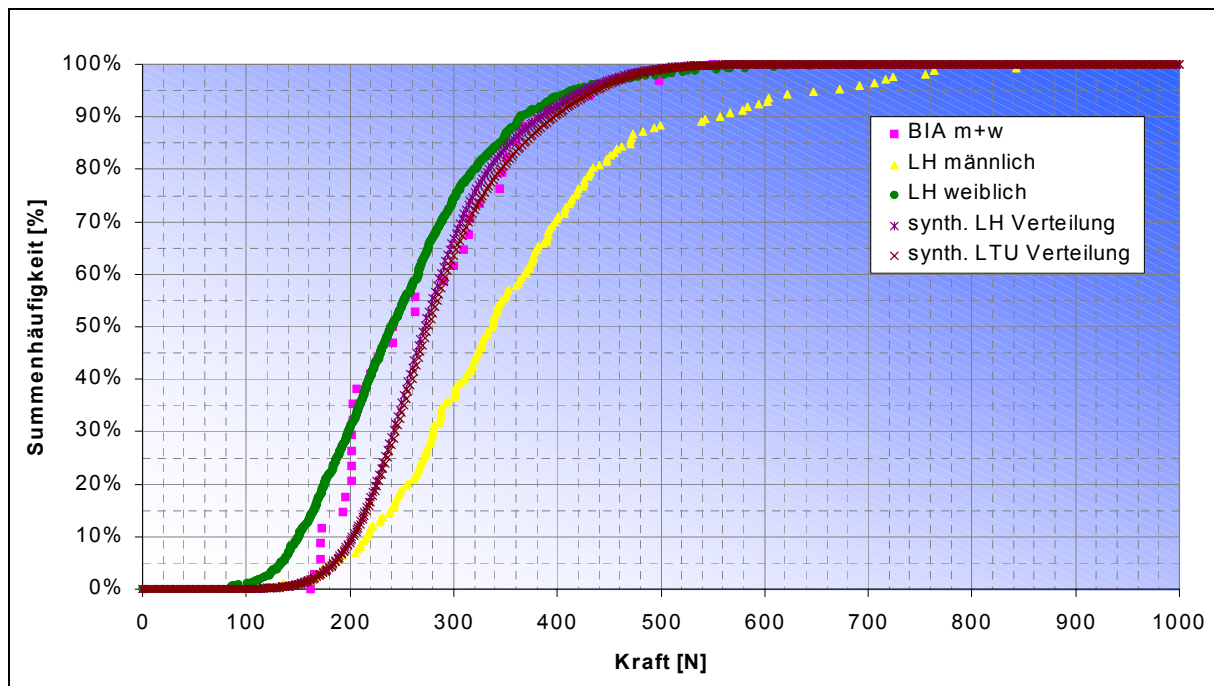




Abbildung 4-48:
Vergleich Druckkraft auf 78 % Körperhöhe und Druckkraft in Trolley-Griffhöhe

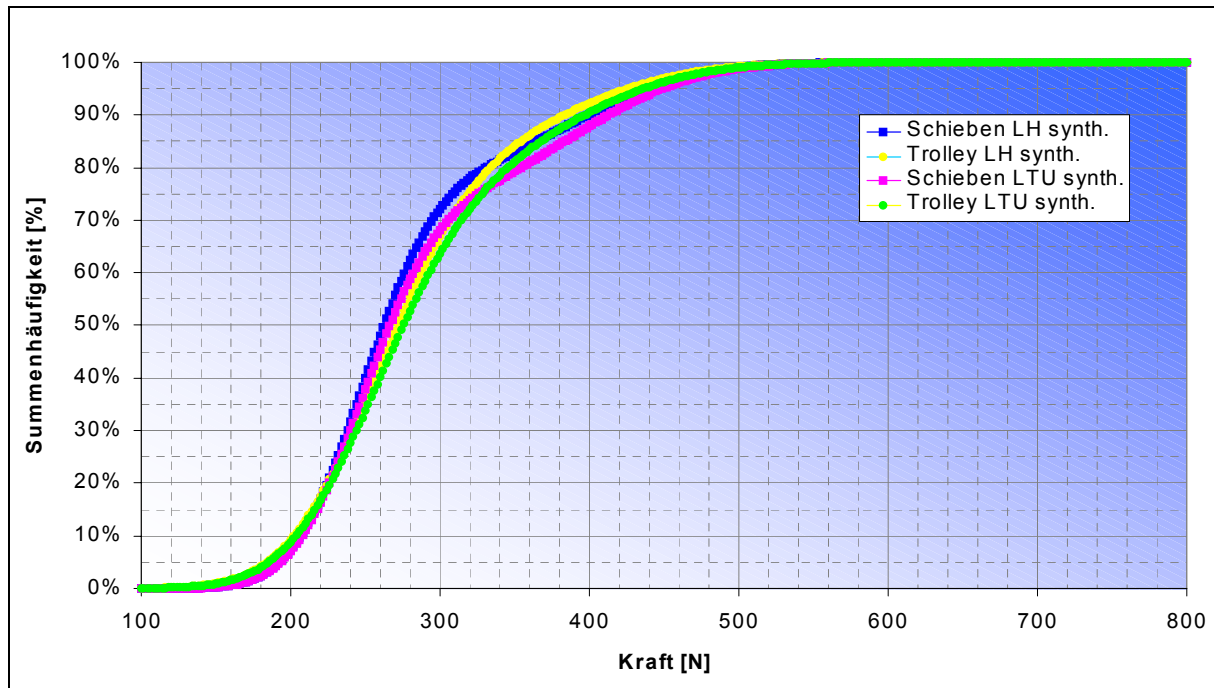
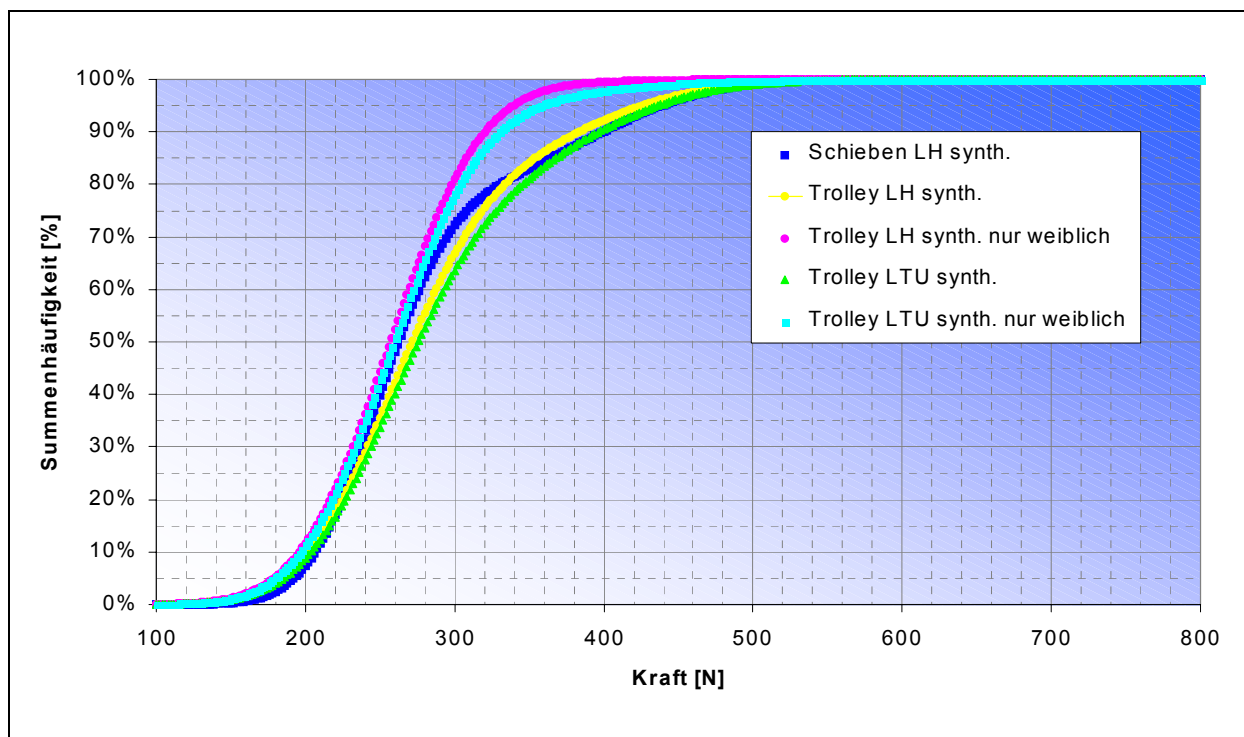


Abbildung 4-49:
Vergleich Druckkraft auf 78 % Körperhöhe und Druckkraft in Trolley-Griffhöhe
(nur weibliche Daten)





4.5.4 Einordnung der synthetischen Verteilungen in die Grundgesamtheit der Erwerbstätigen

Für eine spätere Ableitung von empfohlenen Kraftgrenzen (siehe Abschnitt 4.8) auf der Basis verschiedener existierender Verfahren erscheint eine Einordnung des Kollektivs des Flugbegleitpersonals in andere Grundgesamtheiten als sinnvoll. Während klassische Grenzkraftverfahren (z. B. Siemens [29], *Schultetus* [21]) näherungsweise von „mittleren Maximalkräften“ auszugehen scheinen und Streuungen im Kollektiv mithilfe eines Faktors „Trainiertheit“ berücksichtigen, gehen neuere Verfahren (DIN EN 1005-3 [22] und Arbeitspapier ISO/WD 11228-2 [16]) bei der Berechnung von empfohlenen Kraftgrenzen im nicht-häuslichen Bereich vom 15. statischen Kraftperzentil aus, das in Abhängigkeit von Arbeitsdauer, Häufigkeit und Dauer der Kraftausübung weiter reduziert wird (siehe Abschnitt 4.6.5). Es bietet sich daher an, das 15. synthetische Kraftperzentil als Referenzwert beim Vergleich mit anderen Datenquellen zu benutzen.

Abbildung 4-50 (siehe Seite 88) zeigt den Vergleich von Maximalkraftwerten nach *Schultetus* [21] (die Verfahren nach Siemens [29], *Bullinger* [30], REFA [31] und VDI [32] verwenden annähernd dieselben Daten; siehe Abschnitt 4.8) mit dem 15. Kraftperzentil der synthetischen Verteilungen. Dabei fällt auf, dass im Bereich der 15. Kraftperzentile die Kraftwerte für die Krafffälle „Schieben 78 % Körperhöhe“ und „Trolley-Kraft“ für beide synthetischen Verteilungen annähernd gleich sind (215 N) und somit eine gute Basis für spätere Berechnungen von empfohlenen Kraftgrenzen darstellen. Bedingt durch den Anteil männlicher Probanden liegt der Wert für das 15. synthetische Kraftperzentil über dem für 30-jährige Frauen (Alter maximalen Kraftvermögens) nach *Schultetus* [21].

Deutlich stärker als die Grundgesamtheit des Flugbegleitpersonals ist das Kollektiv der männlichen Frachtarbeiter. „Schwache“ männliche Frachtarbeiter (5. Perzentil) sind etwa so stark wie das durchschnittliche (50. Perzentil) „synthetische Flugbegleitpersonal“ (Abbildung 4-51, siehe Seite 89). Stärker als das Kollektiv der männlichen Frachtarbeiter ist das Kollektiv der männlichen gewerblichen Beschäftigten. „Schwache“ männliche gewerbliche Beschäftigte (5. Perzentil) sind etwa so stark wie



eine relativ starke (75. - 80. Perzentil) Person des „synthetischen Flugbegleitpersonals“ (Abbildung 4-51 bis 4-53, siehe Seite 89 und 90).

Schwächer als das Kollektiv des Flugbegleitpersonals ist – da kein Männeranteil – das Kollektiv der weiblichen gewerblichen Beschäftigten. Durchschnittliche (50. Perzentil) weibliche gewerbliche Beschäftigte liegen unter dem „durchschnittlichen synthetischen Flugbegleitpersonal“ (40.-45. Perzentil).

Abbildung 4-50:

Vergleich des 15. synthetischen Kraftperzentils für Druckkraft in Trolley-Griffhöhe (Trolley) und Druckkraft auf 78 % Körperhöhe (Schieben) mit Maximalkraftwerten nach *Schultetus* [21]

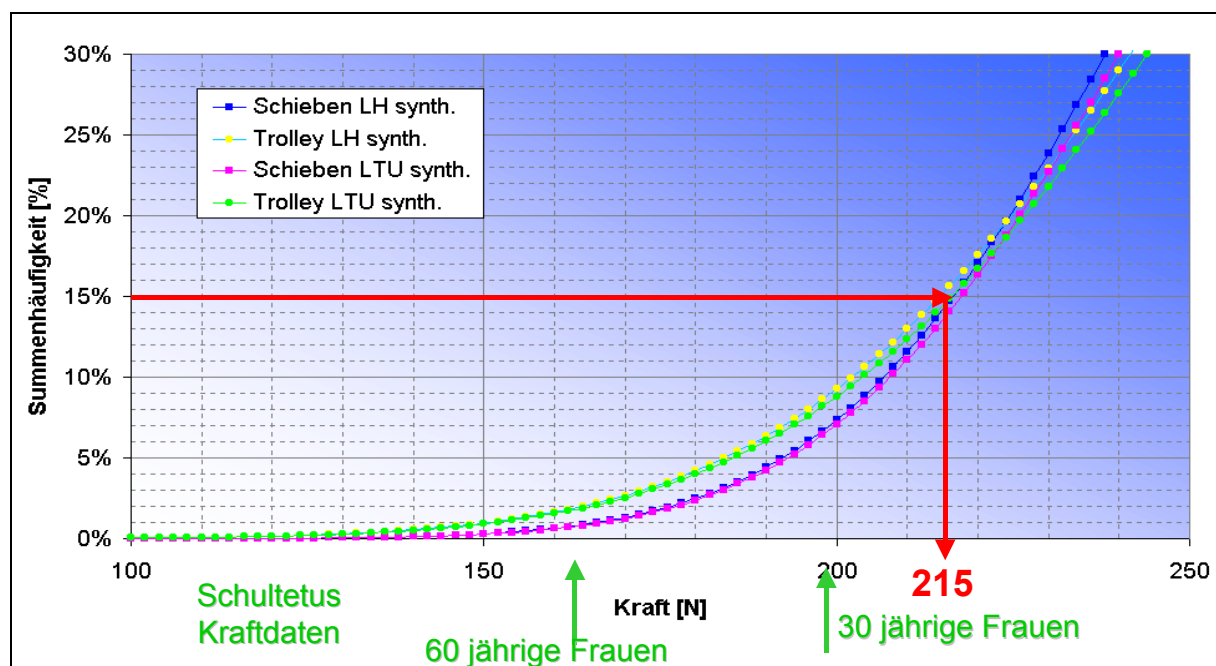




Abbildung 4-51:

Vergleich der LH-/LTU-Grundgesamtheit mit männlichen gewerblichen Beschäftigten, DIN 33411-5; Tabelle 11, Griffhöhe 1 350 mm [33]

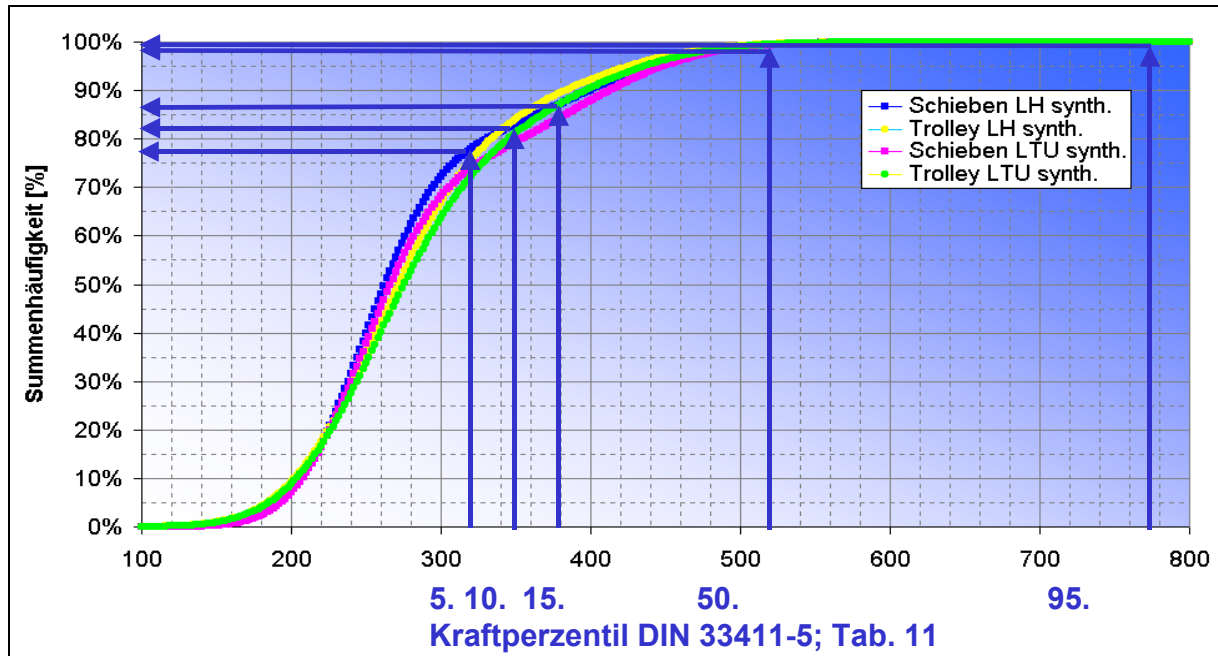


Abbildung 4-52:

Vergleich der LH-/LTU-Grundgesamtheit mit männlichen Frachtarbeitern, DIN 33411-5; Tabelle 9, Griffhöhe 1 000 mm [33]

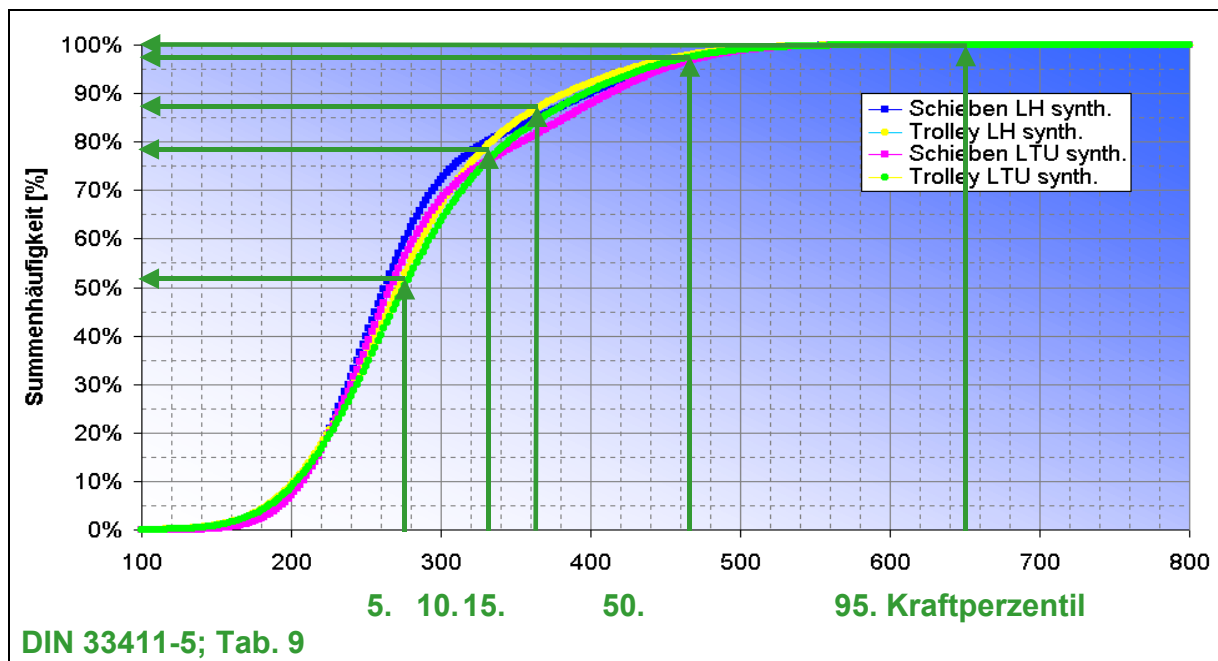
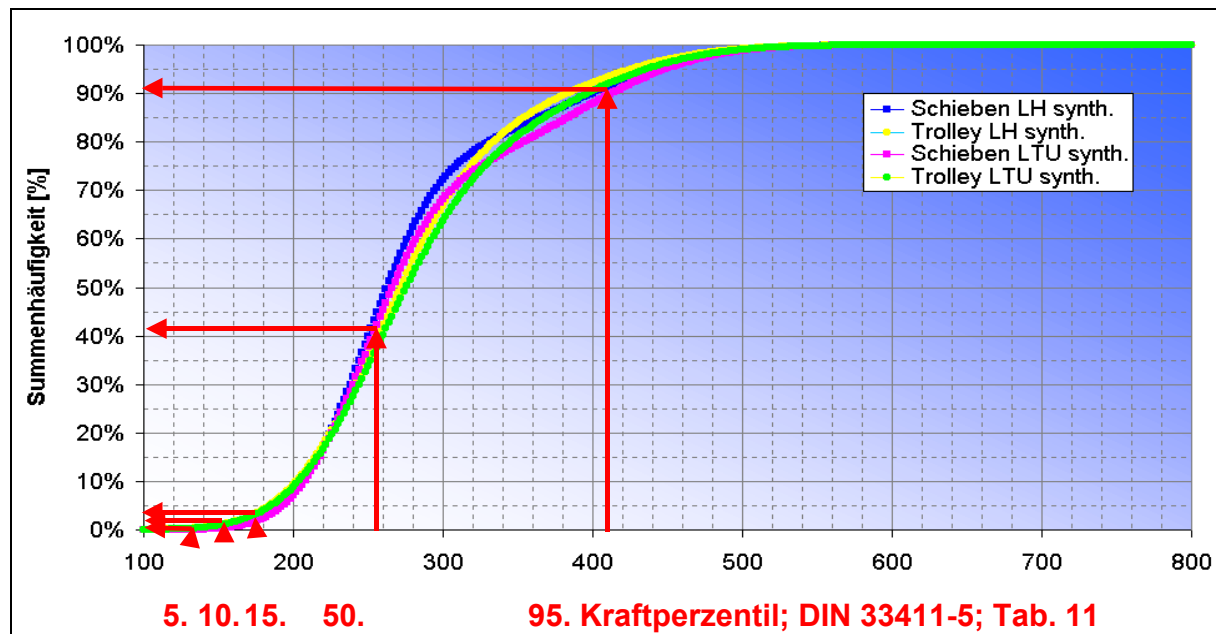




Abbildung 4-53:

Vergleich der LH-/LTU-Grundgesamtheit mit weiblichen gewerblichen Beschäftigten, DIN 33411-5; Tabelle 11, Griffhöhe 1 350 mm [33]



4.6 Bewertungsverfahren

4.6.1 Verfahren nach *Davis* und *Stubbs*

Hintergrund und rechtlicher Status

Davis und *Stubbs* – vom Institute of Industrial and Environmental Health and Safety der Universität Surrey, UK – entwickelten ein Verfahren, das manuelle Lastenmanipulationen in Form eines Hebens, Ziehens, Schiebens und Stoßens bewertet [34]. Dem Modell liegt die Annahme zugrunde, dass der Druck im Bauchinnenraum (Intraabdominaldruck) als indirektes Maß der Wirbelsäulenbelastung angesehen und somit zur Bewertung von Lastenmanipulationen herangezogen werden kann.

Die Ergebnisse der Untersuchung wurden in einem Leitfaden „Ergonomische Gemeinschaftsaktion Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl, 1980“ veröffentlicht [35].



Das Verfahren nach *Davis* und *Stubbs* liefert Belastungsgrenzen für das Heben, Stoßen sowie Ziehen und Schieben von Lasten.

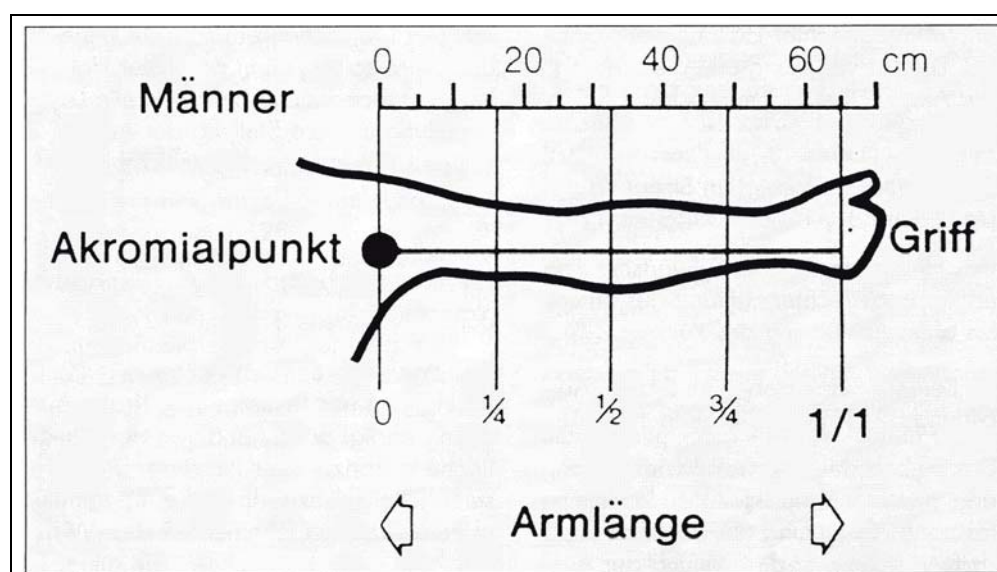
In der Fachwelt wird die Bewertung des Bauchrauminnendrucks kontrovers diskutiert, da einem erhöhten Bauchrauminnendruck entlastende als auch belastende Wirkungen auf die Wirbelsäule zugesprochen werden [36; 37].

Verfahrensablauf

Der theoretische Hintergrund des Verfahrens basiert auf der Annahme, dass die Wirbelsäulenbelastung mit Zunahme des Intraabdominaldrucks infolge der manuellen Arbeit mit Last- und Aktionskräften ansteigt. Die zulässige Belastungsgrenze für den intraabdominalen Druck liegt für dieses Verfahren bei 12,0 kPa (bezogen auf ein Schutzniveau, das 95 % aller Männer umfasst). Nach häufigem Überschreiten der Belastungsgrenze um mehr als 1,3 kPa wurden bei den untersuchten Probanden mit signifikanter Häufigkeit Rückenschmerzen festgestellt.

Abbildung 4-54 zeigt die Lage des Akromialpunktes (Referenzpunkt) in Bezug zur funktionellen Armlänge.

Abbildung 4-54:
Lage des Akromialpunktes (Referenzpunkt) in Bezug zur funktionellen Armlänge





Bei den Analysen für die untersuchten Lastfälle wurde der Abdominaldruck in Abhängigkeit der Entfernung zwischen Akromialpunkt und Kraftangriffspunkt der Last (Abbildung 4-54) sowie dem Höhenwinkel und dem Seitenwinkel für verschiedene Körperstellungen ermittelt. Die hierdurch entstehenden Punkte im Bewegungsraum der Arme werden bei vorgegebener Last und einem Abdominaldruck von maximal 12,0 kPa verbunden (Kurven gleichen Intraabdominaldrucks). Unter der Annahme, dass sich die Arme bei diesen Tätigkeiten (Ziehen und Schieben) ausgestreckt in der Sagittalebene befinden, sind die jeweiligen Kraftwerte für diese Fälle aus den entsprechenden Tabellen abzulesen (Abschnitt 4.7.1).

Abbildung 4-55 stellt das beidhändige Schieben und Ziehen im Stehen mit den Beinen in Schrittstellung dar. Die unterschiedlichen Arbeitshöhen A/E, B/F, C/G und D/H beziehen sich auf Überkopfniveau, Schulter, Brust und Hüfte. Eine exemplarische Darstellung der hierbei ermittelten Belastungsgrenzen wird in Tabelle 4-2 aufgezeigt. Die Werte gelten für die Frequenz von einer Arbeitsausführung pro Minute. Steigen die Arbeitsausführungen pro Minute an, so wird die Belastungsgrenze um 30 % reduziert.

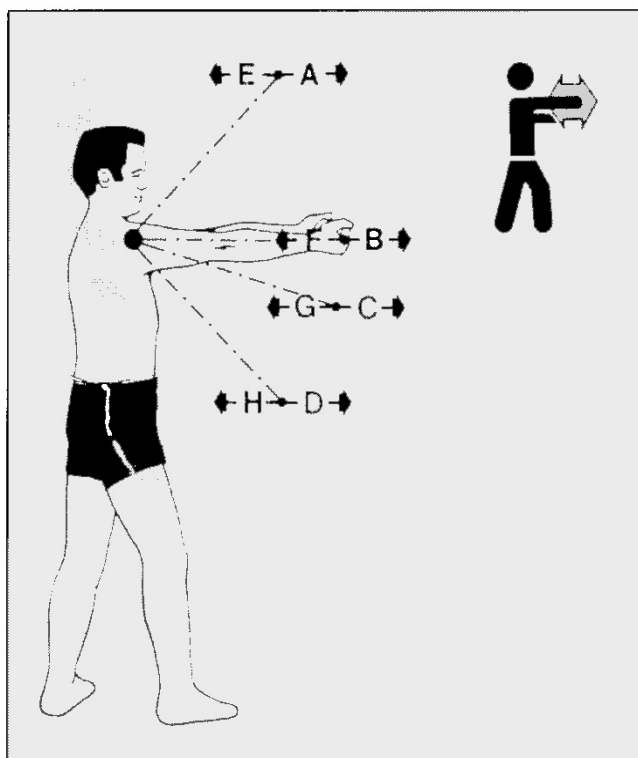


Abbildung 4-55:
Beidhändiges Schieben und Ziehen
im Stehen mit den Beinen in Schritt-
stellung; siehe [35]



Tabelle 4-2:

Maximal zulässige Kraft (N) beim Schieben und Ziehen im Stehen
(nach *Davis* und *Stubbs*)

| Kurve | Maximal zulässige Kraft in N nach Altersgruppen für Männer | | |
|-----------------|--|-----------|-----------|
| | < 40 | 41 bis 50 | 51 bis 60 |
| Schieben | | | |
| A | 120 | 110 | 100 |
| B | 200 | 180 | 170 |
| C | 250 | 240 | 220 |
| D | 300 | 250 | 240 |
| Ziehen | | | |
| E | 180 | 160 | 160 |
| F | 350 | 350 | 340 |
| G | 420 | 420 | 400 |
| H | 500 | 450 | 400 |

Für die empfohlenen Grenzen nach *Davis* und *Stubbs* müssen folgende Randbedingungen beachtet werden:

- Das Verfahren enthält keine Belastungsgrenzen für Arbeiten in gebeugter Haltung.
- Das Verfahren enthält keine Belastungsgrenzen für Arbeiten unter Steigung.
- Die Belastungsgrenzen sind nur für Männer gültig.
- Die Tätigkeit wird nicht häufiger als einmal pro Minute ausgeführt.
- Bei häufigerem Ausführen der Tätigkeit als einmal pro Minute sollten die Belastungsgrenzen um 30 % reduziert werden.

Die Verwendung der Belastungsgrenzen soll sowohl als Hilfsmittel bei der Planung von Arbeitsplätzen als auch zur Überprüfung der Belastungen an unterschiedlichen Arbeitsplätzen eingesetzt werden.



4.6.2 Verfahren nach *Mital, Nicholson und Ayoub*

Hintergrund und rechtlicher Status

Mital, Nicholson und Ayoub erstellten 1993 einen „Guide to Manual Materials Handling“ [24]. Sie beschrieben den damaligen Wissensstand zu diesem Thema und stellten Belastungsgrenzen, Bewertungsverfahren und Bewertungsansätze in strukturierter Form dar.

Aus den durchgeführten Literaturrecherchen kristallisierten sich vier unterschiedliche Bewertungsansätze heraus:

1. Der epidemiologische Ansatz

Er versucht eine Beziehung zwischen Verletzungen und Rückenbeschwerden einerseits und der Belastungssituation andererseits zu beschreiben. Als Gestaltungskriterien wurden angeführt: ([24], S. 33).

2. Der biomechanische Ansatz

Er berücksichtigt nach Angabe der Autoren die mechanische Belastung in Form von Kompressions- und Scherkräften auf die Bandscheibe im Bewegungssegment L5-S1 sowie den intraabdominalen Druck. Als Gestaltungskriterien wurden angeführt: ([24], S. 35).

3. Der physiologische Ansatz

Er berücksichtigt physiologische Reaktionen beim Lastenhandhaben wie Energieumsatz, Herzschlagfrequenz, Blutdruck etc. Als Gestaltungskriterien wurden angeführt:([24], S. 39).

4. Der psychophysische Ansatz

Er berücksichtigt das empfundene Beanspruchungsempfinden der Werker. Als Gestaltungskriterien wurden angeführt: ([24], S. 42).



Aus einem Vergleich der verschiedenen Ansätze und Gestaltungskriterien werden im Teil 2 der Studie Tabellenwerte

- zur Beurteilung maximaler dynamischer Kräfte für das Beschleunigen (initial forces) und
- manuelles Bewegen (sustained forces) von Lasten sowie
- maximaler isometrischer Kräfte (maximum isometric forces) während des Versuches, die Last in Bewegung zu versetzen,

abgeleitet [24].

Die empfohlenen Belastungsgrenzen werden geschlechtsspezifisch und separat für die einzelnen Manipulationsarten des

- Hebens
- Schiebens
- Ziehens
- Tragens
- Haltens und
- Handhabens in ungewöhnlichen Körperhaltungen

angegeben.

Die Bewertungskriterien werden ebenfalls für jede Art der Lastenmanipulation eigens diskutiert und definiert. Typischerweise bildet der psychophysische Ansatz, dem die Autoren eine integrierende Rolle innerhalb der vier beschriebenen Ansätze zuerkennen, die Bewertungsgrundlage, die immer dann modifiziert wird, wenn das biomechanische oder physiologische Gestaltungskriterium verletzt wird. Der epidemiologische Ansatz wird nicht weiter aufgegriffen, da die ihm zugrunde liegenden Faktoren im Wesentlichen auch in den anderen drei Ansätzen Berücksichtigung finden.



Verfahrensablauf

Das psychophysische Verfahren liefert für das Schieben und Ziehen Belastungsgrenzen in Abhängigkeit von den Griffhöhen (144, 95 und 65 cm für Männer und 135, 89 und 57 cm für Frauen), der jeweils zurückgelegten Entfernung (2,1 m bis maximal 61 m), der Frequenzen (10/min bis 1/8 h) und des zu schützenden Anteils der Nutzergruppe (90 % bis 10 %), siehe Tabelle 4-3. Hierbei werden die Kräfte für das Beschleunigen (initial forces) und Bewegen (sustained forces) berücksichtigt. Es werden auch Empfehlungen bezüglich der maximalen statischen Aktionskräfte gegeben, die beim Versuch, ein Objekt in Bewegung zu setzen (maximum isometric force), entstehen. Die angegebenen Werte beziehen sich auf ein beidhändiges Ziehen und Schieben. Für einhändiges Ziehen und Schieben werden globale Belastungsgrenzen ohne Berücksichtigung der in Tabelle 4-3 beschriebenen Einflussgrößen angegeben.

Tabelle 4-3:
Einflussgrößen und Parameter zur Ermittlung der Belastungsgrenzen (N) nach [24]

| | Frauen | | | Männer | | |
|------------------------------|--------|-------|-------|--------|------|------|
| Griffhöhen [m] | 1,35 | 0,89 | 0,57 | 1,44 | 0,95 | 0,65 |
| Frequenz (für 2,1 m) | 10/min | 5/min | 1/min | 1/5min | 1/8h | |
| Geschützte Perzentile | 90 | 75 | 50 | 25 | 10 | |
| Wegstrecken [m] | 2,1 | 7,6 | 15,2 | 30,5 | 45,7 | 61 |

4.6.3 Verfahren nach Siemens und Derivate

Hintergrund und rechtlicher Status

In Deutschland existieren mehrere Verfahren zur Berechnung von Kraftgrenzen, die aber im Wesentlichen auf das gleiche Verfahren zurückgehen, das von *Burandt* und *Schultetus* bei Siemens [29] entwickelt wurde. *Burandt* und *Schultetus* veröffentlichten ihre Verfahren später auch selbst [21; 38]. Zusammen mit dem Siemens-Verfahren waren sie die Basis für eine Reihe anderer in Deutschland entwickelter Verfahren zur Bewertung von Aktionskräften oder Lastenmanipulationen. Hierzu gehören in etwas



modifizierter Form von einzelnen Faktoren die Verfahren nach REFA, REFA Fachauschuss Chemie, VDI, Mercedes Benz und Bosch sowie *Bullinger* [30 bis 32; 39 bis 41].

Diese Verfahren sind aus wissenschaftlicher Sicht nicht validiert, haben sich aber nach Ansicht der Autoren in der Praxis bewährt und wurden in Deutschland zu einem „Quasi-Standard“ für den industriellen Anwendungsbereich. Der für Körperkräfte zuständige DIN-Fachnormenausschuss Ergonomie ließ diese ihm seinerzeit vorliegenden Verfahren nicht in die Normung einfließen, da sie dem Qualitätsanspruch an normfähige Daten nicht genügten. So sind Herkunft und Aufarbeitung der Daten nicht bekannt. Auch ist nicht klar, für welchen Anteil der Arbeitsbevölkerung das Verfahren sichere Grenzen berechnet. Eingedenk der Historie und der Einflussparameter Konstitution und Trainiertheit (20 % Abschlag oder bis zu 40 % (!) Zuschlag) steht zu vermuten, dass sich die Referenzkraftwerte auf das 50. Kraftperzentil des Kollektivs beziehen. Hierfür spricht auch die Größenordnung der gewählten Ab- und Zuschläge, da Maximalkraftwerte typischerweise linkssteil verteilt sind und somit die schwachen (kleine Kraftperzentile) näher am Mittelwert liegen als die starken (große Kraftperzentile). Daher sollten diese Verfahren nicht zur Ableitung sicherer Belastungsgrenzen genutzt werden, sondern mehr einer Abschätzung zulässiger Belastungsgrenzen dienen. Hierfür spricht auch, dass die Einstufung Konstitution und Trainiertheit sicherlich nur von sehr erfahrenen Arbeitsgestaltern oder Arbeitsmedizinern sinnvoll durchgeführt werden kann.

Verfahrensergebnis ist – variierend zwischen den Autoren – eine maximale statische oder dynamische Grenzkraft oder ein maximales statisches oder dynamisches Grenzmoment des Hand-Arm- bzw. Hand-Finger-Systems oder eine maximale Grenzlast. Die Belastungsgrenzen berechnen sich aus einer individuellen Maximalkraft, die in Beziehung zu den tätigkeits- oder personenbezogenen Ausführungsbedingungen (z. B. Körperhaltung, Krafrichtung, Ausübungshäufigkeit, Geschlecht und Alter etc.) gesetzt wird.

Bei den Verfahren handelt es sich um firmeninterne Entwicklungen, die nicht gesetzlich bindend sind.



Verfahrens-/Methodenablauf

Die Verfahren liefern als Ergebnis eine „aus praktischer Erfahrung zulässige“ Grenzkraft bzw. ein Grenzmoment für das Hand-Arm- bzw. Hand-Finger-System sowie des Bein-Fuß-Systems oder eine Grenzlast. Die nach Tabellen und Tafeln ermittelten zulässigen Kräfte und Momente werden in Abhängigkeit von folgenden Einflussfaktoren bestimmt:

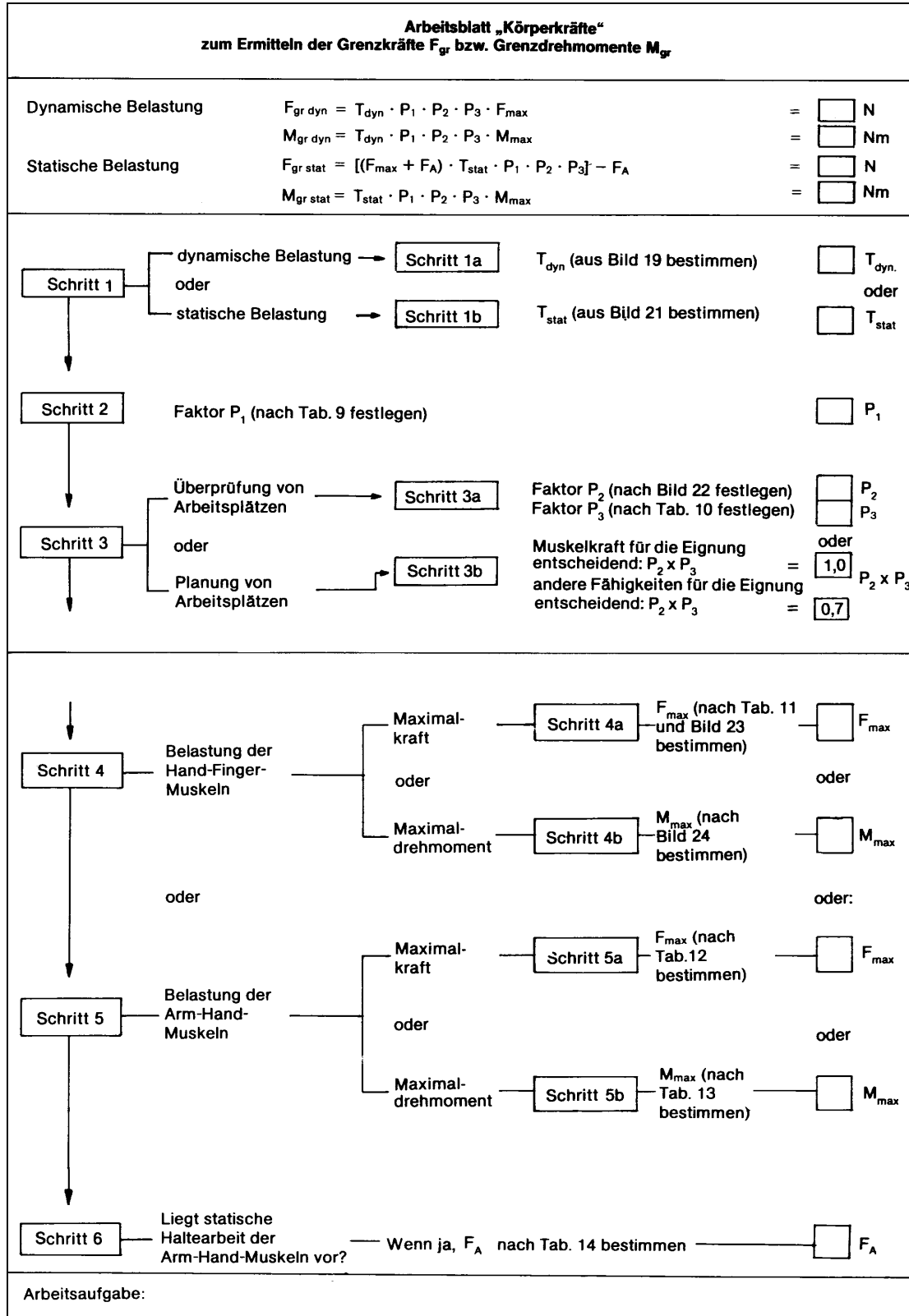
- persönliche Faktoren (Geschlecht, Alter, Trainiertheit)
- Art der Kraftaufbringung (statisch/dynamisch)
- Kraft aufbringendes Körperteil (Finger-Hand, Arm-Schulter, Bein) oder Kraftart (Kraft, Moment, Lastgewicht)
- Häufigkeit und je nach Verfahren auch Dauer der Kraftausübung
- Kraftangriffspunkt (weit/mittel/nah sowie vor dem Körper/seitlich/diagonal und Kopfhöhe/Schulterhöhe/Tailenhöhe/Beckenhöhe)
- Krafrichtung
- Handstellung.

Der Verfahrensablauf wird exemplarisch nach *Schultetus* [21] aufgezeigt.

Abbildung 4-56 (siehe Seite 99) zeigt im Arbeitsblatt die Vorgehensweise bei der Ermittlung von Grenzkraften und -momenten nach *Schultetus* auf. Zunächst werden tätigkeits- (Dauer/Häufigkeit, statisch/dynamisch; Abbildungen 4-57 und 4-58, siehe Seite 100) sowie personenbezogene Parameter (Tabelle 4-4 und 4-5 und Abbildungen 4-59 bis 4-61, siehe Seite 101 und 102) ermittelt. Danach werden die Referenzkraft- und Referenzmomentenwerte (z. T. in Abhängigkeit weiterer Parameter wie z. B. Kraftangriffspunkt und Krafrichtung) aus den Tabellen (Abbildung 4-62 bis Abbildung 4-66, siehe Seite 103 bis 107) abgelesen und mithilfe der o. g. Parameter korrigiert. Das Ergebnis hieraus ist die zulässige Grenzkraft bzw. das zulässige Grenzmoment.



Abbildung 4-56:
Ermittlung der Grenzkkräfte – Ablaufbeschreibung nach [21]





Nach den Abbildungen 4-57 und 4-58 wird der entsprechende Korrekturfaktor entweder für die Häufigkeit der statischen oder der dynamischen Kraftausübungen berechnet.

Abbildung 4-57:
Ermittlung des Faktors T_{dyn} für dynamische Kraftanstrengungen

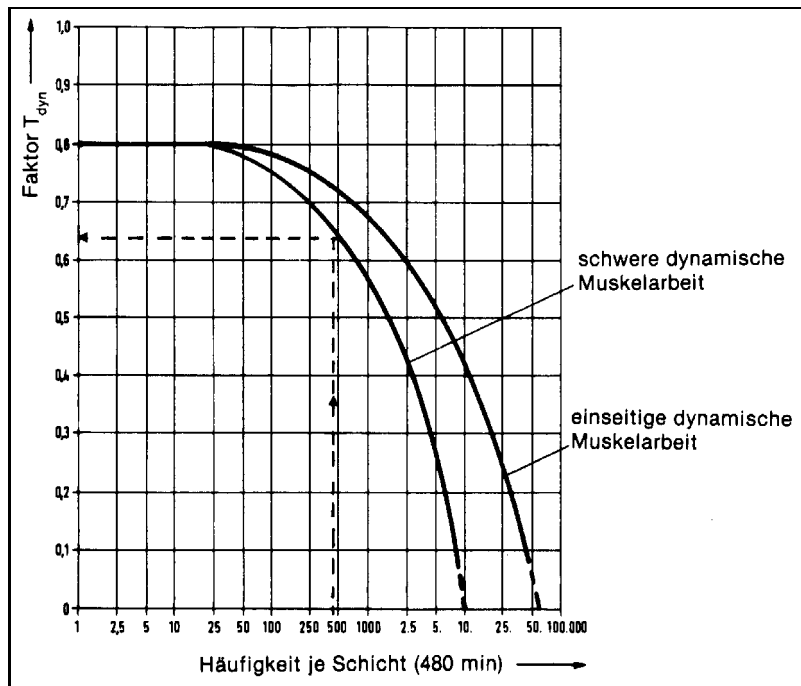
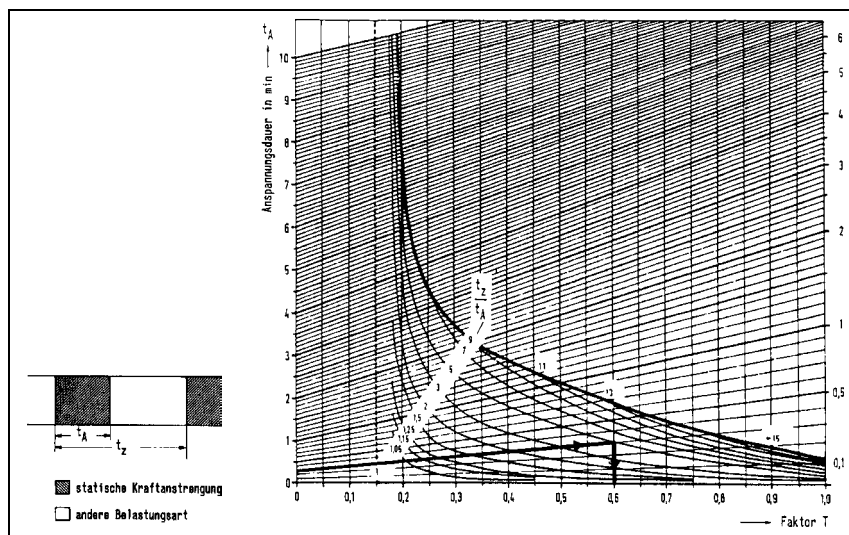


Abbildung 4-58:
Ermittlung des Faktors T_{stat} für statische Kraftanstrengungen





Es folgen der Korrekturfaktor für das Geschlecht (Tabelle 4-4) sowie für Alter (Abbildung 4-59) und Trainiertheit (Tabelle 4-5). Abbildung 4-60 (siehe Seite 102) gibt Auskunft über die geeignete Wahl der Faktoren für Alter und Trainiertheit in Abhängigkeit von der Gestaltungsaufgabe (Überprüfen von Arbeitsplätzen vs. Neugestaltung von Arbeitsplätzen).

Tabelle 4-4:
Korrekturfaktor (P1) für das Geschlecht des Nutzerkollektives

| Korrekturfaktor | Männer | Frauen | Frauen und Männer |
|-----------------|--------|--------|-------------------|
| P1 | 1,0 | 0,65 | 0,65 |

Anmerkung: Das Siemens-Verfahren und die von ihm abgeleiteten Derivate berücksichtigen stets Alter und Geschlecht als Haupteinflussgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit. Gemäß der EU-Rahmenrichtlinie sollen alle Arbeitsplätze Männern und Frauen gleichermaßen zur Verfügung stehen. Eine Dimensionierung für reine Männerarbeitsplätze ist deshalb nicht statthaft.

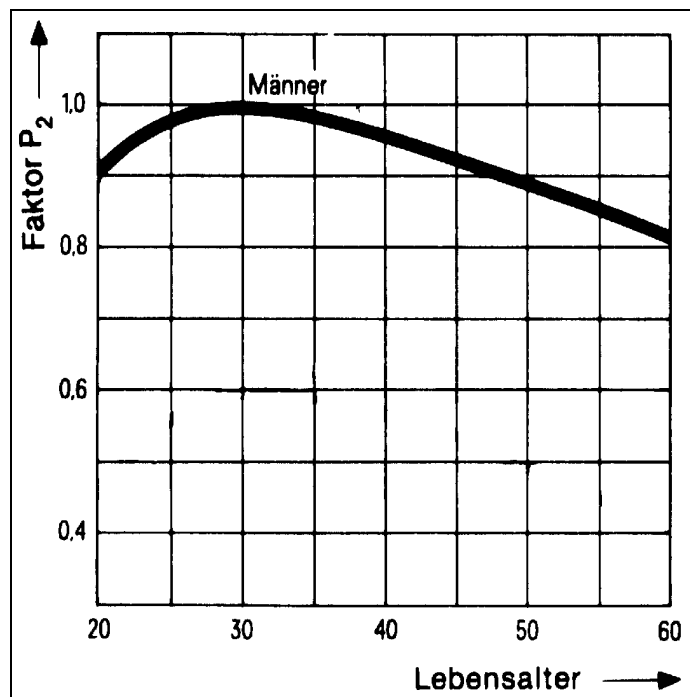


Abbildung 4-59:
Korrekturfaktor (P2) zur Berücksichtigung vom Alter des Nutzerkollektives



| | |
|---|-----|
| Korrekturfaktor Konstitution und Trainiertheit | P3 |
| unter Durchschnitt | 0,8 |
| Durchschnitt | 1,0 |
| über Durchschnitt | 1,2 |
| weit über Durchschnitt | 1,4 |

Tabelle 4-5:
Korrekturfaktor (P3) zur Berücksichtigung von Konstitution und Trainiertheit des Nutzerkollektives

Schritt 3a

Trainiertheit bezieht sich auf die eingesetzten Muskelgruppen und berücksichtigt vor allem, wie lange ein Mitarbeiter die betrachtete (oder eine ähnliche) Tätigkeit schon ausübt.

Schritt 3b

In Fällen, in denen überwiegend die Muskelkraft für die Eignung entscheidend ist, gilt $P_2 \times P_3 = 1$

In den übrigen Fällen gilt: $P_2 \times P_3 = 0,7$
(z.B. Alter ca. 50 Jahre, Trainiertheit $\approx 0,8$)

Abbildung 4-60:
Geeignete Wahl der Korrekturfaktoren für Alter und Trainiertheit in der Planungsphase

Abbildung 4-61:

Ermitteln der Maximalkräfte und maximalen Drehmomente in Abhängigkeit der belasteten Muskelgruppen

Schritte 4 und 5: Ermitteln der Maximalkräfte und der maximalen Drehmomente in Abhängigkeit von den belasteten Muskelgruppen.
Bei Tätigkeiten, die vorwiegend die *Hand- und Fingermuskeln* belasten, ist nach *Schritt 4* vorzugehen,
bei Tätigkeiten, die vorwiegend die *Arm- und Handmuskeln* belasten, ist nach *Schritt 5* vorzugehen.

Danach werden in Abhängigkeit von den betrachteten Muskelmassen (Hand-Arm-System vs. Hand-Finger-System) und der Art der Kraftausübung (Kräfte vs. Momente) die gesuchten Maximalkräfte/-momente aus Tabellen (Abbildungen 4-62 bis 4-65, siehe Seite 103 bis 106) ermittelt. Dabei werden Angriffspunkt, Richtung und Handstellung während der Kraft-/Momentenausübung berücksichtigt.



Abbildung 4-62:

Maximalkraftwerte des Hand-Finger-Systems in Abhängigkeit der Belastungsart (z. B. Kontakt-, Zufassungs-, Umfassungsgriff)





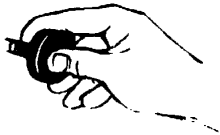
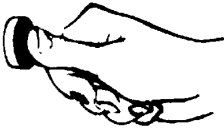

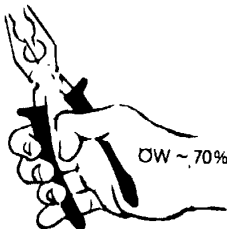
| Belastung durch | | Maximalkraft in N |
|---|--|-------------------|
| Faustschluß um einen Zylinder von 40 mm Durchmesser |  | 410 |
| Druck des Daumens gegen vier Finger |  | 190 |
| Betätigen einer Druckleiste durch den Daumenballen |  | 180 |
| Druck des Daumens gegen die Zeigefingerseite |  | 120 |
| Betätigen eines Daumenschalters, Zeigefinger gehalten |  | 100 |
| Betätigen eines Druckknopfes mit dem Daumen |  | 100 |
| Betätigen eines Einfingerdruckknopfes (Zeigefinger) |  | 60 |
| Schließen von Zangengriffen |  | aus Bild 23 |



Abbildung 4-63:
Ermittlung der Maximalkraft und des maximalen Drehmomentes
bezogen auf das Hand-Finger-System

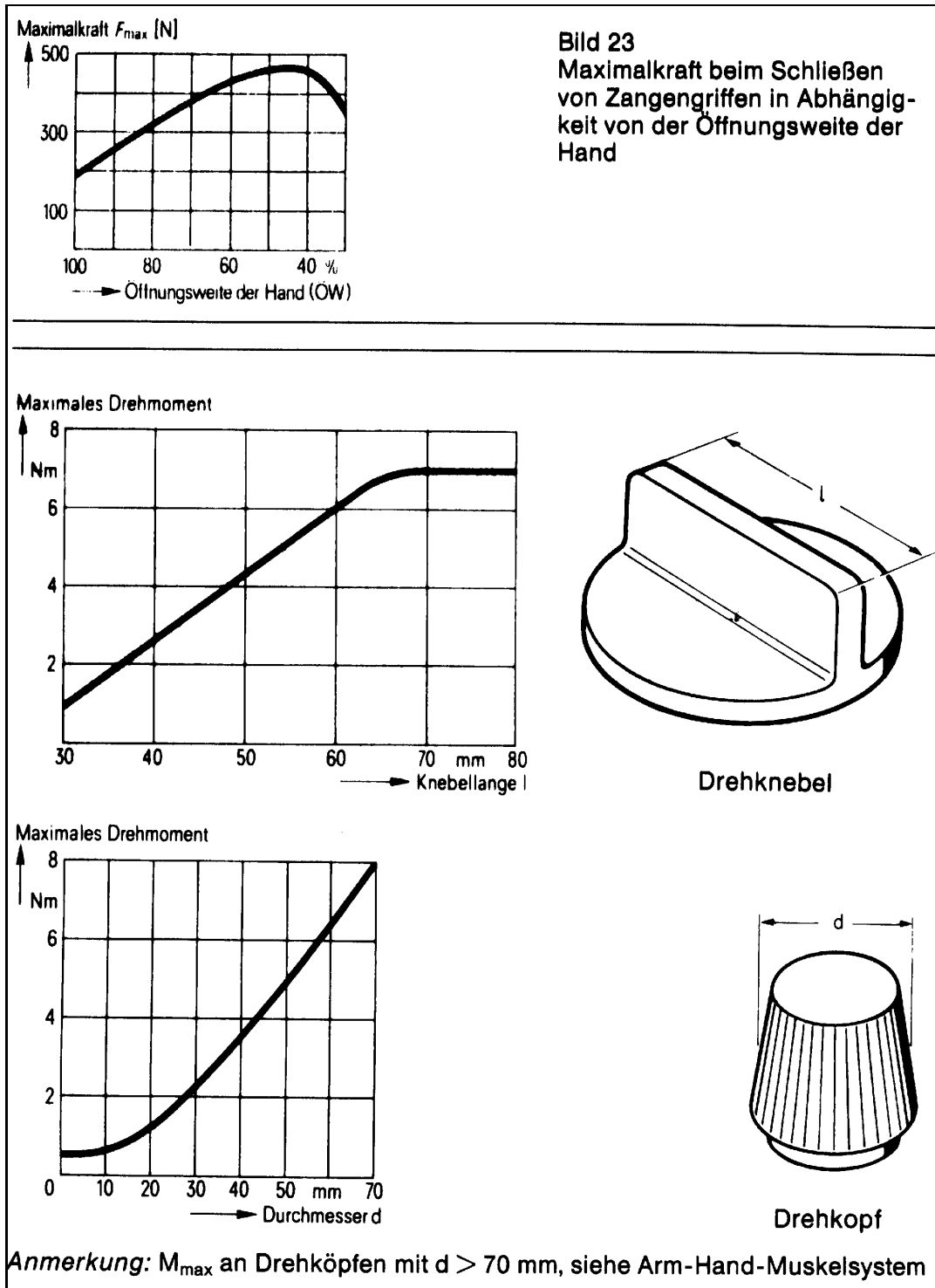




Abbildung 4-64:
Maximalkraftwerte des Hand-Arm-Systems in Abhängigkeit von der Kraftart

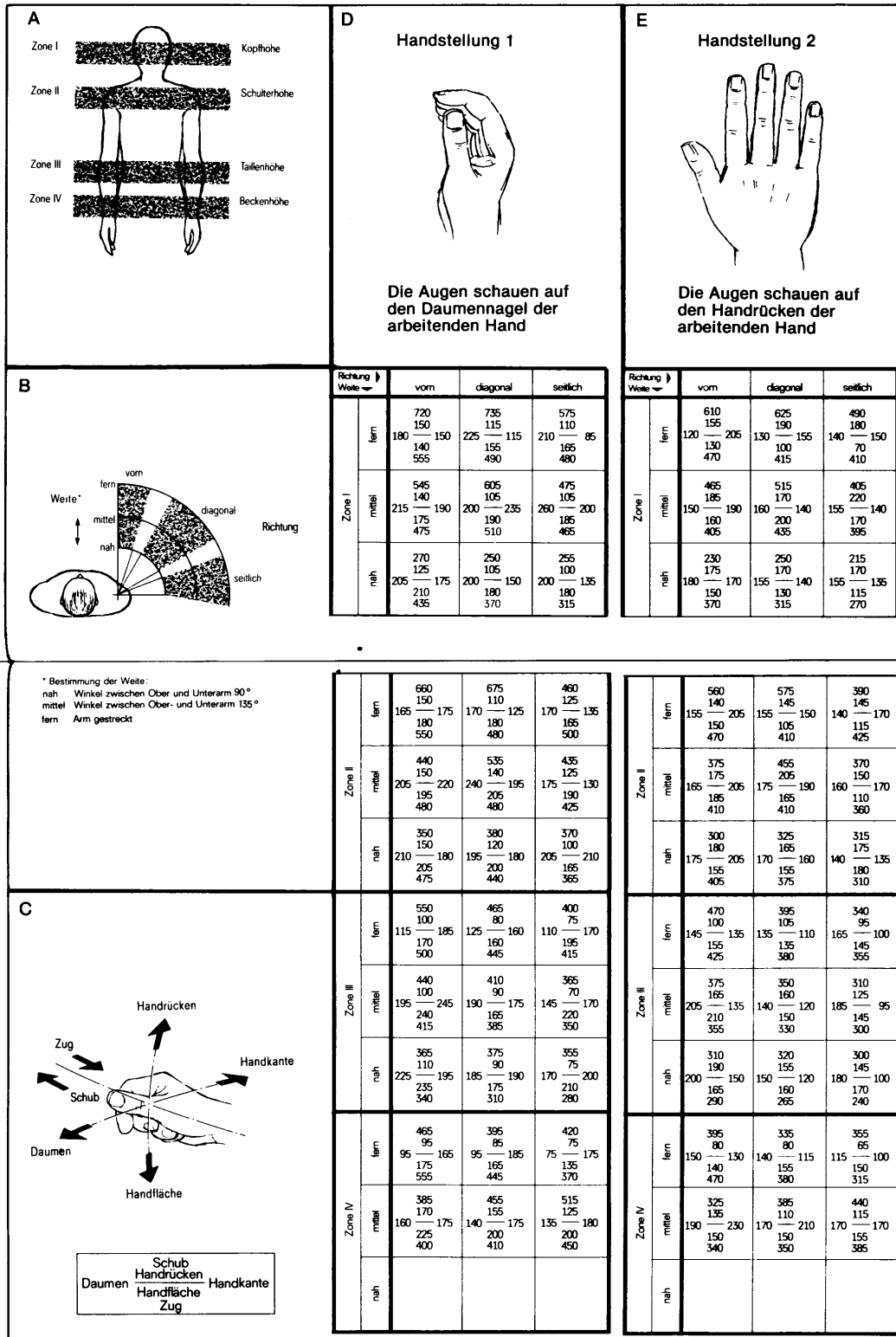
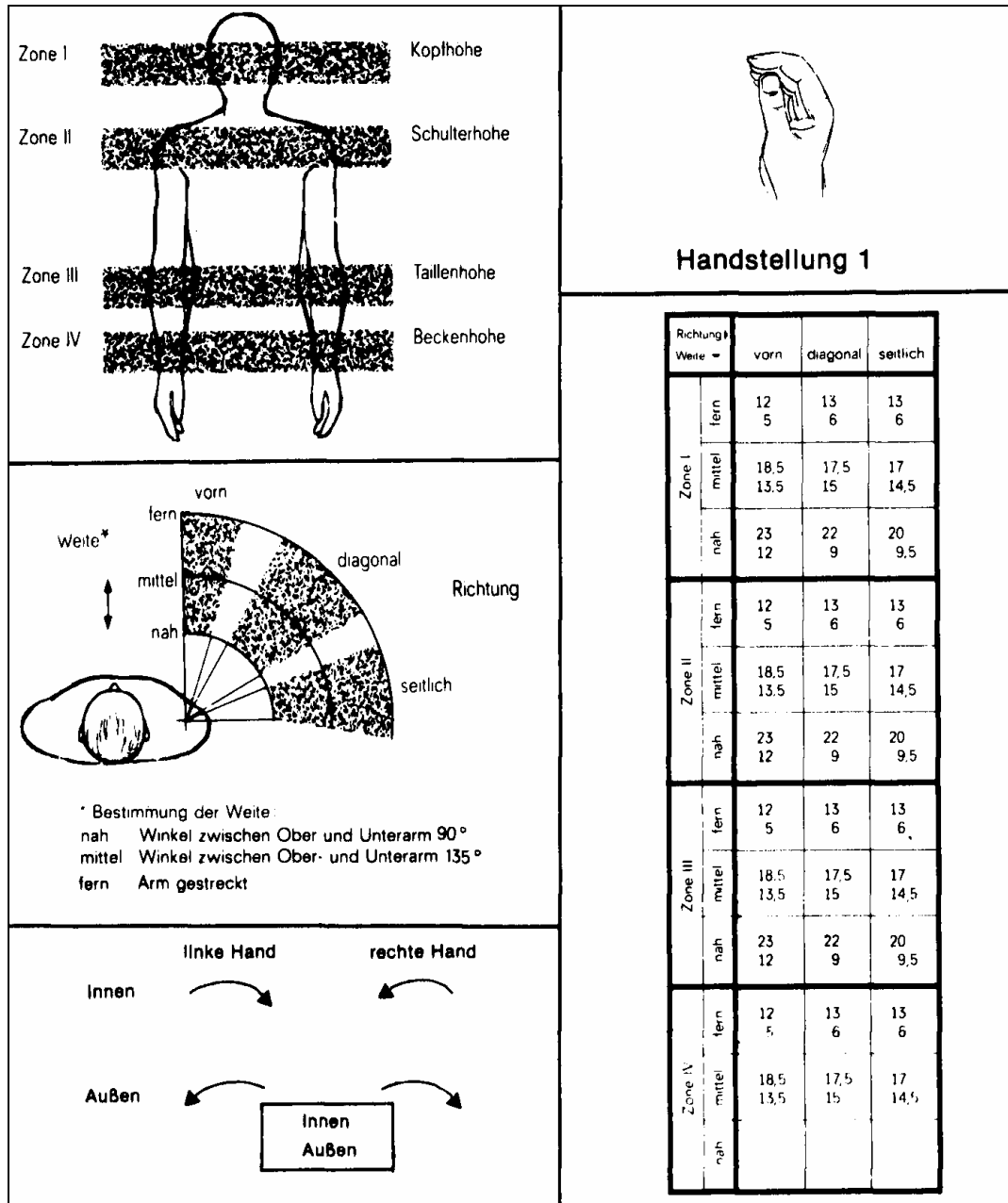




Abbildung 4-65:
Maximale Drehmomente des Hand-Arm-Systems



Handstellung 1: Die Augen des Arbeitenden schauen auf den Daumennagel der arbeitenden Hand.

Im Falle statischer Haltearbeit wird zusätzlich das zu haltende Armgewicht berücksichtigt (Abbildung 4-66, siehe Seite 107).



Abbildung 4-66: Berücksichtigung statischer Haltearbeit des Hand-Arm-Systems

Schritt 6

Für den Fall statischer Haltearbeit des Arm-Hand-Muskelsystems ist noch folgendes zu beachten:
Zusätzlich zu dem zu haltenden Gewicht muß auch noch eine Kraft F_A zum Halten des Armgewichtes aufgebracht werden. Die Grenzkraft errechnet man dann aus der Gleichung

$$F_{grstat} = [(F_{max} + F_A) T_{stat} \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3] - F_Y \text{ in N}$$

Mit $\frac{F_A}{N} \approx 0,32 \frac{\text{Körpergewicht}}{\text{kg}}$
oder mit F_A aus Tabelle 14

Tabelle 14: Kraft F_A zum Halten des Armgewichtes (nach [21])

| Armstellung | Kraft F_A in N zum Halten des Armgewichtes | |
|---|--|--------|
| | Männer | Frauen |
| 1 ganzer Arm waagrecht | 24 | 20 |
| 2 Oberarm waagrecht/Unterarm senkrecht | 18 | 15 |
| 3 Oberarm herabhängend/Unterarm waagrecht | 12,5 | 10 |
| 4 Oberarm und Unterarm/herabhängend | 0 | 0 |

4.6.4 Verfahren nach Leitmerkmalmethode „Ziehen und Schieben“ (LMM-ZS)

Hintergrund und rechtlicher Status

Im Rahmen des Arbeitsschutzgesetzes (nationale Umsetzung der Richtlinie 89/391/EWG [1]) und der Lastenhandhabungsverordnung (LastHandHabV, nationale Umsetzung der Richtlinie 90/269/EWG [2]) bewertet die Leitmerkmalmethode das manuelle Ziehen und Schieben von Objekten [12]. Für die Gefährdungsanalyse – wie sie der Gesetzgeber nach dem Arbeitsschutzgesetz (§§ 5 und 6) sowie nach der Lastenhandhabungsverordnung (§ 2) vom Arbeitgeber fordert – wird von der BAuA und dem Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) die Leitmerkmalmethode (LMM-ZS, Abbildung 4-67, siehe Seite 108) empfohlen.

Der im Jahre 2001 erstmals vorgestellte Entwurf stellt eine Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim „Ziehen und Schieben von Lasten“ [12] dar,



der ähnlich gestaltet ist wie das ebenfalls von der BAuA konzipierte Screening-Verfahren „Heben, Halten und Tragen von Lasten (LMM-HHT)“ [5].

Abbildung 4-67:
Leitmerkmalmethode Ziehen & Schieben (LMM-ZS)

Beurteilung von Ziehen und Schieben anhand von Leitmerkmalen Version Mai 2002
Die Gesamtpunkte ist ggf. in Teiltätigkeiten zu gliedern. Jede Teiltätigkeit mit erheblichen körperlichen Belastungen ist getrennt zu beurteilen. Arbeitsplatz/Teiltätigkeit: _____

1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Nur eine zutreffende Spalte ist auszuwählen!)

| Ziehen und Schieben über kurze Distanzen oder häufiges Anhalten (Einzelweg < 5 m) | | Ziehen und Schieben über längere Distanzen (Einzelweg > 5 m) | |
|---|--------------|--|--------------|
| Anzahl am Arbeitstag | Zeitwichtung | Gesamtweg am Arbeitstag | Zeitwichtung |
| < 10 | 1 | < 300 m | 1 |
| 10 bis < 40 | 2 | 300 m bis < 1km | 2 |
| 40 bis < 200 | 4 | 1 km bis < 4 km | 4 |
| 200 bis < 500 | 6 | 4 bis < 8 km | 6 |
| 500 bis < 1000 | 8 | 8 bis < 16 km | 8 |
| ≥ 1000 | 10 | ≥ 16 km | 10 |

Beispiele: Bedienen von Manipulatoren, Bestücken von Maschinen, Eisenverteilung im Kranbauhaus. *Beispiele:* Müllabfuhr, Möbeltransport in Gebäuden auf Rollern, Aus- und Einladen von Containern.

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Masse, Positioniergenauigkeit, Geschwindigkeit, Körperhaltung und Ausführungsbedingungen

| Zu bewegendes Masse (Lastgewicht) | Flurförderzeug, Hilfsmittel | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| | Ohne Last wird gerollt | Karren | Trolleys, Wagen, Roller, Rollenbahnen (nur Lenkrollen) | Greiswagen, Handwagen, Handhubwagen | Manipulatoren, Selbstbalancier |
| Rollend | | | | | |
| < 50 kg | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 50 bis 100 kg | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 bis 200 kg | 1,5 | 2 | 2 | 1,5 | 2 |
| 200 bis 300 kg | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| 300 bis 400 kg | 3 | | 4 | 3 | |
| 400 bis 600 kg | 4 | | 5 | 4 | |
| 600 bis 1000 kg | 5 | | | 6 | |
| 1000 bis 1400 kg | | | | 8 | |
| > 1400 kg | | | | | |
| Gleitend | | | | | |
| < 10 kg | 1 | | | | |
| 10 bis 25 kg | 2 | | | | |
| 25 bis 50 kg | 4 | | | | |
| > 50 kg | | | | | |

Graue Bereiche: Kritisch, da die Kontrolle der Bewegung von Flurförderzeug /Last stark von der Geschicklichkeit und Körperkraft abhängt.
Geschwärzte Bereiche: Grundsätzlich zu vermeiden, da die erforderlichen Aktionskräfte leicht die maximalen Körperkräfte übersteigen können.

| Positioniergenauigkeit | Bewegungsgeschwindigkeit | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| | langsam (< 0,8 m/s) | schnell (0,8 bis 1,3 m/s) |
| Gering - keine Vorgabe des Fahrweges - Last kann ausrollen oder wird an Anschlag gestoppt | 1 | 2 |
| Hoch - Last ist exakt zu positionieren und anzuhalten - Fahrweg ist exakt einzuhalten - häufige Richtungsänderungen | 2 | 4 |

Anmerkung: Die mittlere Schrittgeschwindigkeit beträgt ca. 1 m/s

Körperhaltung ¹⁾

| | | |
|--|--|---|
| | Rumpf aufrecht, keine Verdrehung | 1 |
| | Rumpf leicht vorgeneigt und oder leicht verdreht (einseitiges Ziehen) | 2 |
| | Stärkere Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung Hocken, Knien, Bücken | 4 |
| | Kombination von Bücken und Verdrehen | 8 |

1) Es ist die typische Körperhaltung zu berücksichtigen. Die beim Anfahren, Abbremsen und Rangieren möglicherweise deutlichere Rumpflage ist zu vernachlässigen, wenn sie nur gelegentlich auftritt.

Ausführungsbedingungen

| | |
|--|---|
| Gut: → Fußboden oder andere Fläche eben, fest, glatt, trocken, → ohne Neigung, → keine Hindernisse im Bewegungsraum, → Rollen oder Räder leichtgängig, kein erkennbarer Verschleiß der Räderlager | 0 |
| Eingeschränkt: → Fußboden verschmutzt, etwas uneben, weich, → geringe Neigung bis 2° → Hindernisse im Bewegungsraum, die umfahren werden müssen, → Rollen oder Räder verschmutzt, nicht mehr ganz leichtgängig, Lager ausgeschlagen | 2 |
| Schwierig: → unebenes oder grob gepflastertes Fahweg, Schlaglöcher, starke Verschmutzung, → Neigungen 2 bis 5°, → Flurförderzeuge müssen beim Anfahren „Jogerissen“ werden → Rollen oder Räder verschmutzt, schwergängig | 4 |
| Kompliziert: → Stufen, Treppen, Absätze, → Neigungen > 5°, → Kombinationen der Merkmale von „Eingeschränkt“ und „Schwierig“ | 8 |

In der Tabelle nicht genannte Merkmale sind entsprechend zu ergänzen.

3. Schritt: Bewertung
Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen.

| | | | | |
|------------------------|---|--------------|---|----------------------------------|
| Masse/Flurförderzeug | | | | |
| Positioniergenauigkeit | | | | |
| Neigungswichtung | | | | |
| Ausführungsbedingungen | | | | |
| = Summe | x | Zeitwichtung | x | 1,3 (für weibliche Beschäftigte) |
| | | | | = Punktwert |

Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.

| Risikobereich ²⁾ | Punktwert | Beschreibung |
|-----------------------------|-------------|---|
| 1 | < 10 | Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich. |
| 2 | 10 bis < 25 | Erhöhte Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll. |
| 3 | 25 bis < 50 | Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt. |
| 4 | ≥ 50 | Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich. |

²⁾ Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelett-Systems zunimmt.

Verfahrens-/Methodenablauf

Unter Ziehen wird das „Aufbringen einer Zugkraft vom Körper hin“ und unter Schieben das „Aufbringen einer Druckkraft vom Körper weg“ verstanden. Diese Kraftarten können in unterschiedlichen Körperhaltungen und Bewegungen, wie beispielsweise beim Stehen, Laufen, Sitzen oder Knien, auftreten.

Bei der Risikobetrachtung werden zwei Wirkzusammenhänge betrachtet: Demnach können einerseits kurzfristige Kraftaufwendungen mit sehr hohen Aktionskräften auf-



treten, die eine hohe skelettale, muskuläre oder cardio-vaskuläre Belastung zur Folge haben können.

Andererseits kann beim Schieben einer Last über schlechte Wegstrecken lang andauernde Kontraktionsarbeit entstehen, die ein hohes statisches Grundpotenzial beinhaltet und somit leicht zu lokaler Muskelermüdung führen kann.

Das Verfahren kombiniert Belastungsarten, wie Körperhaltung, Kraftaufwand, Positionier- und Bewegungsgeschwindigkeit, Ausführungsbedingungen und Zeitanteil, zu einem Punktwert, der im Ergebnis einen Risikobereich angibt. Interpolationen bei der Ermittlung der Punktwerte sind möglich. Der 4fach gestufte Risikobereich zeigt das jeweilige Gefährdungspotenzial beim manuellen Schieben und Ziehen von Lasten an (siehe Abbildung 4-67). Hierbei ergibt sich eine Spanne zwischen höchster Belastung (Risikobereich 4) bzw. niedrigster Belastung (Risikobereich 1). Aus dem Verfahrensergebnis leiten sich Gestaltungsnotwendigkeiten ab (z. B. organisatorische Maßnahmen, Verringerung des Lastgewichtes oder der Ausführungszeit).

Die LMM-ZS ist ein orientierendes Verfahren. Demnach sind Tätigkeiten, die nicht durch die im Verfahren genannten Randbedingungen abgedeckt sind, hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit kritisch zu bewerten.

4.6.5 Verfahren nach DIN EN 1005-3

Hintergrund und rechtlicher Status

Die Erstellung der DIN EN 1005 Teil 3 [22] wurde von der EU-Kommission mandatiert und dient der Konkretisierung wesentlicher Sicherheitsanforderungen im Rahmen der EU-Maschinenrichtlinie 98/37/EG [3]. Sie gestattet die Berechnung von Kraftgrenzen und liefert somit dem Konstrukteur sowie Maschinenhersteller und -inverkehrbringer empfohlene Belastungsgrenzen für das Ausüben von Kräften an Maschinen.

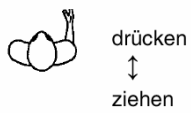


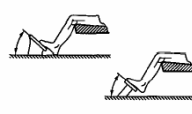
Hierzu werden Kraftgrenzen für eine gewählte Kraftausübung (Körperhaltung, Kraft-richtung, Kraftangriffspunkt) in Abhängigkeit von der beabsichtigten Nutzergruppe (Verteilung von Alter und Geschlecht) ermittelt (Tabelle 4-6, siehe Seite 110). Für



gewerbliche Anwendungen sollte vom 15. Kraftperzentil der Nutzergruppe ausgegangen werden, für häusliche vom 1. Kraftperzentil.

Das Verfahren basiert auf statischen Aktionskräften und gestattet mithilfe von Korrekturfaktoren die Bewertung von statischen und dynamischen Kraftausübungen unter Berücksichtigung von Betätigungsfrequenz, Betätigungsdauer und Arbeitsdauer. Zusätzliche Risikomultiplikatoren dienen der Definition von Risikobereichen.

Tabelle 4-6:
Isometrische Maximalkraft F_B

| | Tätigkeit | Gewerbliche Nutzung F_B in N | Häuslicher Gebrauch F_B in N |
|---|--|---|---|
| | Handarbeit (einhändig): Kraftgriff | 250 | 184 |
| <p>rein↔raus</p>  <p>hoch ↓ runter</p>  | <p>Armarbeit (sitzende Haltung, einarmig):</p> <ul style="list-style-type: none"> - aufwärts - abwärts - nach außen - nach innen - Schieben: <ul style="list-style-type: none"> - mit Rumpfabstützung - ohne Rumpfabstützung - Ziehen: <ul style="list-style-type: none"> - mit Rumpfabstützung - ohne Rumpfabstützung | <p>50</p> <p>75</p> <p>55</p> <p>75</p> <p>275</p> <p>62</p> <p>225</p> <p>55</p> | <p>31</p> <p>44</p> <p>31</p> <p>49</p> <p>186</p> <p>30</p> <p>169</p> <p>28</p> |
|  | <p>Ganzkörperarbeit (stehende Haltung):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schieben - Ziehen | <p>200</p> <p>145</p> | <p>119</p> <p>96</p> |
|  | <p>Pedalarbeit (sitzende Haltung, mit Rumpfabstützung):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Betätigung mit dem Fußgelenk - Betätigung mit dem Bein | <p>250</p> <p>475</p> | <p>154</p> <p>308</p> |



Die im Verfahren angewandten Korrekturfaktoren sind teils als wissenschaftlich gesichert, teils als Expertenurteil anzusehen.

Die Norm sieht drei unterschiedliche Berechnungsalternativen vor. Im Hauptteil (Alternative 1) wird eine Tabelle mit statischen Maximalkräften F_B angeboten, die auf einer gegebenen Alters- und Geschlechterverteilung [42] beruht.

Alternative 2 (Anhang A) ist ähnlich wie Alternative 1 aufgebaut, geht jedoch von einer Gleichverteilung von Männern und Frauen in der Nutzerpopulation aus. Alternative 3 (Anhang B) liefert die Maximalkraftwerte F_B nicht in Tabellenform, sondern gestattet deren Ermittlung auf der Basis einer beliebigen Alters- und Geschlechtsverteilung. Damit kann für den versierten Benutzer der Nachteil umgangen werden, dass in der Norm nur relativ wenige Kraftfälle F_B aufgeführt sind. Hierdurch wird es auch möglich, das umfangreiche deutsche Kraftdatenmaterial (siehe [33; 43]) für die Anwendung innerhalb dieses Verfahrens zu nutzen.

Das Berechnungsverfahren und die empfohlenen Grenzen in dieser Norm liefern eine ergonomische Risikoanalyse in Übereinstimmung mit DIN EN 1050 und weisen den Konstrukteur auf eventuell mögliche Gesundheitsgefährdungen hin.

Das Verfahren behandelt keine Risiken, die mit Unfällen in Zusammenhang stehen. Es baut auf vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen der Biomechanik, Physiologie und Epidemiologie zur körperlichen Arbeit auf.

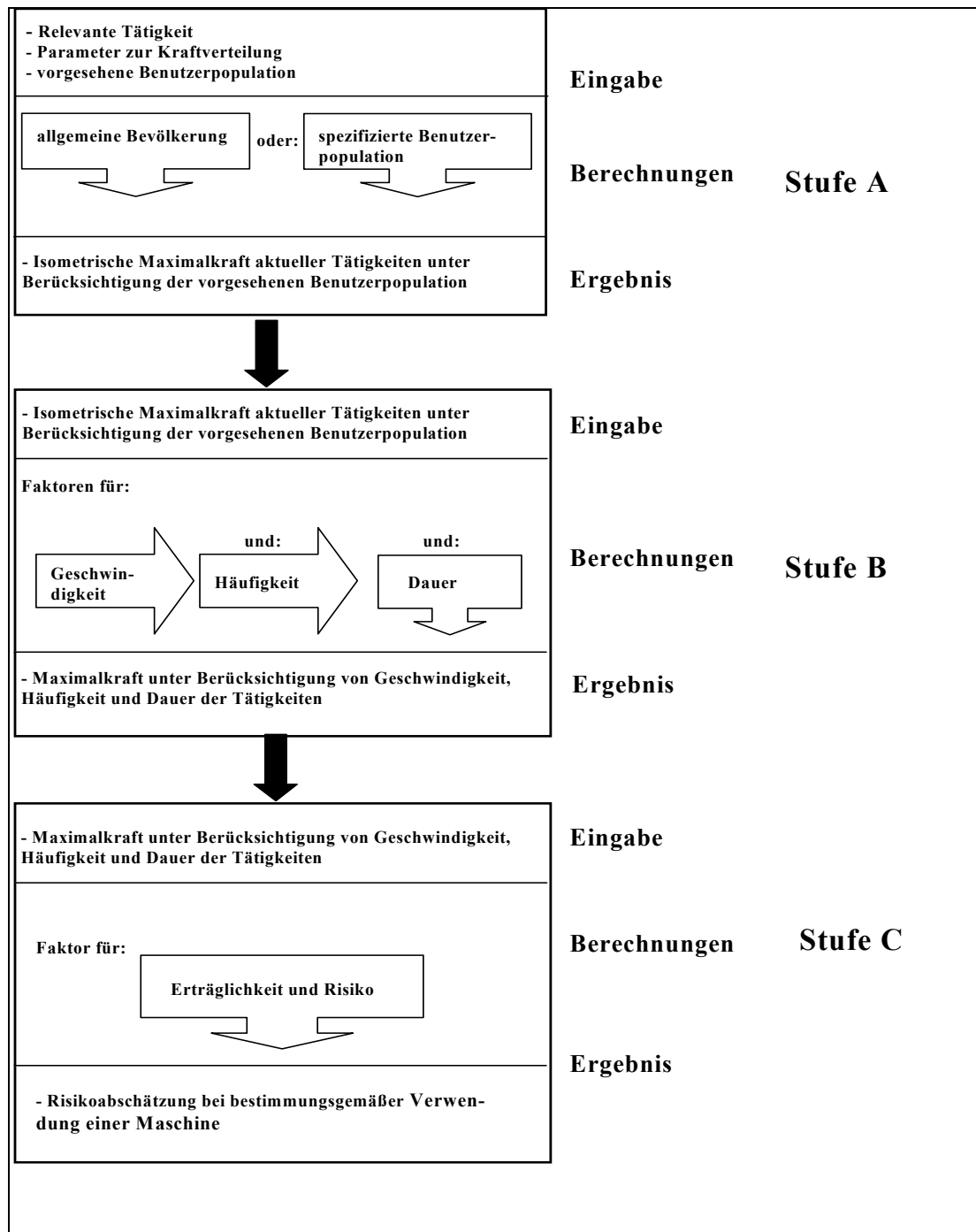
Als harmonisierte europäische Norm bietet DIN EN 1005-3 dem Konstrukteur eine Erleichterung bei der Erlangung des CE-Zeichens, wenn seine Konstruktion im Einklang mit dieser Norm entwickelt wurde.

Verfahrensablauf

Der Verfahrensablauf erfolgt nach einem dreistufigen Schema (Abbildung 4-68, siehe Seite 112).



Abbildung 4-68:
Vorgehensweise bei der Berechnung empfohlener Kraftgrenzen nach DIN EN 1005-3



Für die Berechnung stehen auch rechnergestützte Verfahren zur Verfügung (Abbildung 4-69, siehe Seite 113).



Abbildung 4-69:
Berechnung empfohlener Kraftgrenzen bei der
Maschinenbedienung nach DIN EN 1005-3

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- Navigation tabs: Heben, tragen; Ziehen, schieben; S.- Grenzlaster; synth. Verteilung; S.- Grenzkraft; Grenzlaster; **EN1005-3**; Design-Check.
- User Population (Nutzerpopulation):
 - benutzerdefiniert
 - Eur-12 [?]
- Movement Type (Bewegungsart): Ganzkörperarbeit: schieben
- Movement Frequency (Bewegungsfrequenz): Dauer < 3s, bis 0,2 pro min
- Movement Speed (Bewegungsgeschwindigkeit): langsame Bewegungen
- Usage Type (Gebrauchsart): beruflich (15 Perzentil)
- Activity Duration (Tätigkeitsdauer): < 8 Stunden
- Results:
 - Isometrische Maximalkraft: 246,3N**
 - reduzierte Kapazitätsgrenze: 123,2N**
- Buttons: Berechnen, Information, Beenden.

Nach Stufe A werden die relevanten Maximalkraftwerte F_B für die beabsichtigte Nutzerpopulation aus der zugehörigen Tabelle entnommen (Tabelle 4-6, siehe Seite 110).

Die komplette Formel für die Berechnung der Kraftgrenze lautet:

$$F_R = m_r \times F_B \times m_v \times m_f \times m_d$$

mit

| | | | |
|-------|------------------------|-------|---------------------------|
| F_R | Risikobewertungskraft | F_B | isometrische Maximalkraft |
| m_v | Geschwindigkeitsfaktor | m_f | Frequenzfaktor |
| m_d | Zeitfaktor | m_r | Risikomultiplikator |



In einem zweiten Schritt werden Maximalkräfte berechnet, die die Ausübungsgeschwindigkeit, die Ausübungsfrequenz und die Arbeitsdauer berücksichtigen (siehe Tabellen 4-6, Seite 110, bis 4-9).

Nach Tabelle 4-10 werden daraus im dritten Schritt auf der Basis eines Drei-Zonen-Modells empfohlene Kraftgrenzen für die Maschinenbedienung abgeleitet.

Tabelle 4-7:
Geschwindigkeitsfaktor m_v für die Bewegungsgeschwindigkeit

| Bewegung | Nein | Ja |
|----------|---|--|
| | es treten keine oder nur sehr langsame Bewegungen auf | Bewegungen sind eindeutig feststellbar |
| m_v | 1,0 | 0,8 |

Tabelle 4-8:
Frequenzfaktor m_f in Abhängigkeit von der Tätigkeitsdauer (Betätigungszeit) und der Betätigungsfrequenz

| Betätigungszeit min | Betätigungsfrequenz (min ⁻¹) | | | |
|------------------------|--|-------------|------------|-----------------|
| | ≤ 0,2 | > 0,2 bis 2 | > 2 bis 20 | > 20 |
| ≤ 0,05 | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,3 |
| > 0,05 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | nicht anwendbar |

| Dauer in h | ≤ 1 | > 1 bis 2 | > 2 bis 8 |
|------------|-----|-----------|-----------|
| m_d | 1,0 | 0,8 | 0,5 |

Tabelle 4-9:
Zeitfaktor m_d für die kumulierte Dauer (h) vergleichbarer Tätigkeiten

| Risikozone | m_r |
|-----------------|---------------|
| Empfohlen | ≤ 0,5 |
| Nicht empfohlen | > 0,5 bis 0,7 |
| Zu vermeiden | > 0,7 |

Tabelle 4-10:
Risikofaktor m_r zur Definition von Risikozonen



4.6.6 Verfahren nach Arbeitspapier ISO/WD 11228-2

Hintergrund und rechtlicher Status

Das Ziehen und Schieben von Lasten ist Gegenstand von ISO/WD 11228-2, in dem für beliebig wählbare Benutzerpopulationen und Griffhöhen ein Verfahren zur Berechnung empfohlener Kraftgrenzen angeboten wird [16]. Der Entwurf enthält zwei Methoden zur Risikoanalyse. Methode 1 ist eine einfache Checkliste mit qualitativer Bewertungsbasis. Methode 2 lehnt sich an die Philosophie von DIN EN 1005-3 an. Sie basiert auf statischen Maximalkräften des 15. Kraftperzentils gemäß DIN 33411-5 für das Ziehen und Schieben auf unterschiedlichen relativen Körperhöhen, welche in Abhängigkeit von der Kraftart (häufiges Ziehen/Schieben über kurze Wegstrecken oder Ziehen/Schieben über längere Wegstrecken), der Häufigkeit der Kraftausübungen und der zurückgelegten Wegstrecke reduziert werden. Ein Risikofaktor von 0,85 erzeugt einen „gelben“ Bereich, der dann erreicht wird, wenn die auszuübende Kraft nicht mehr als 15 % unter der berechneten Kraftgrenze liegt. Die Korrekturfaktoren für Häufigkeit und Wegstrecke wurden aus den Daten von *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* [24] abgeleitet. Methode 2 berücksichtigt neben muskulären auch skelettale Belastungen.

Verfahrensablauf

Die Anwendung des Verfahrens für das Ziehen und Schieben nach ISO/WD 11228-2 unterliegt folgenden Randbedingungen:

- Es treten Ganzkörperkräfte im Stehen oder Gehen auf.
- Die Kräfte werden von nur einer Person aufgebracht.
- Die Kraft wird durch zwei Hände eingeleitet.
- Kräfte werden zum Beschleunigen, zur Aufrechterhaltung der Bewegung oder zum Abbremsen eines Objektes aufgebracht.
- Die Kräfte werden kontrolliert und nicht ruckhaft aufgebracht.
- Die Kräfte werden ohne externe Unterstützung aufgebracht.



Vorgehensweise:

Die generelle Vorgehensweise bei der Durchführung der Risikoanalyse ist in Abbildung 4-70 beschrieben.

Abbildung 4-70:
Generelle Vorgehensweise bei der Durchführung der Risikobeurteilung nach Arbeitspapier zum Entwurf ISO/WD 11228-2

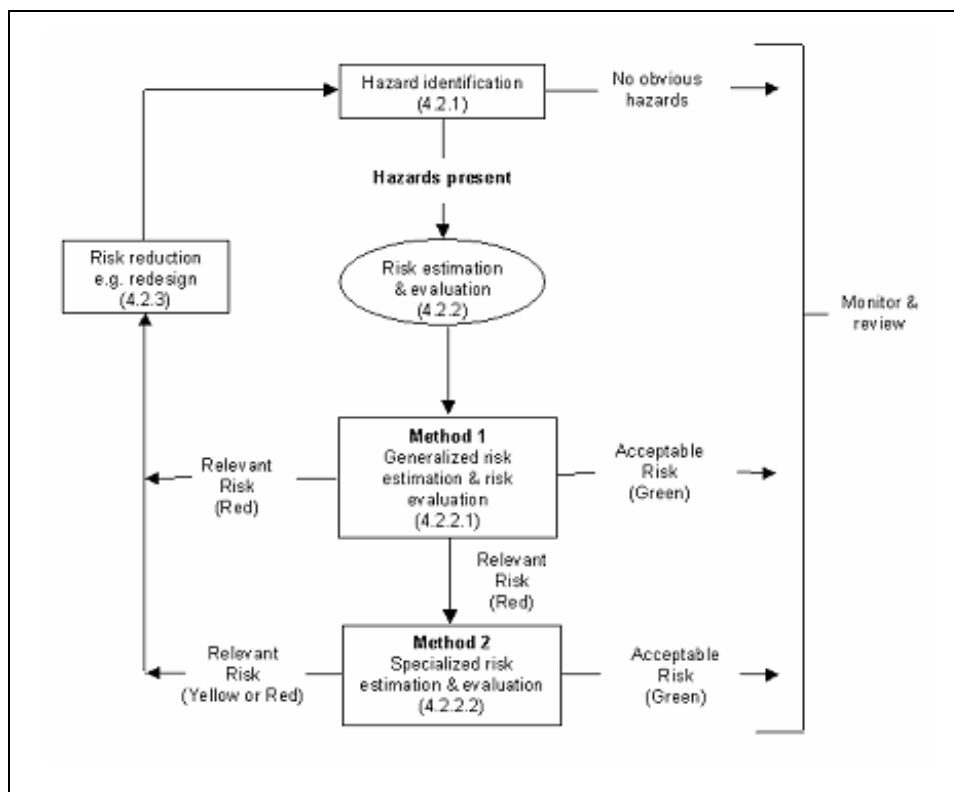


Abbildung 4-71 (siehe Seite 117) zeigt die Vorgehensweise zur Risikoeinschätzung und Risikobewertung nach Methode 2 (Arbeitspapier zum Entwurf ISO/WD 11228-2).

Die komplette Formel für die Berechnung der Kraftgrenze lautet somit:

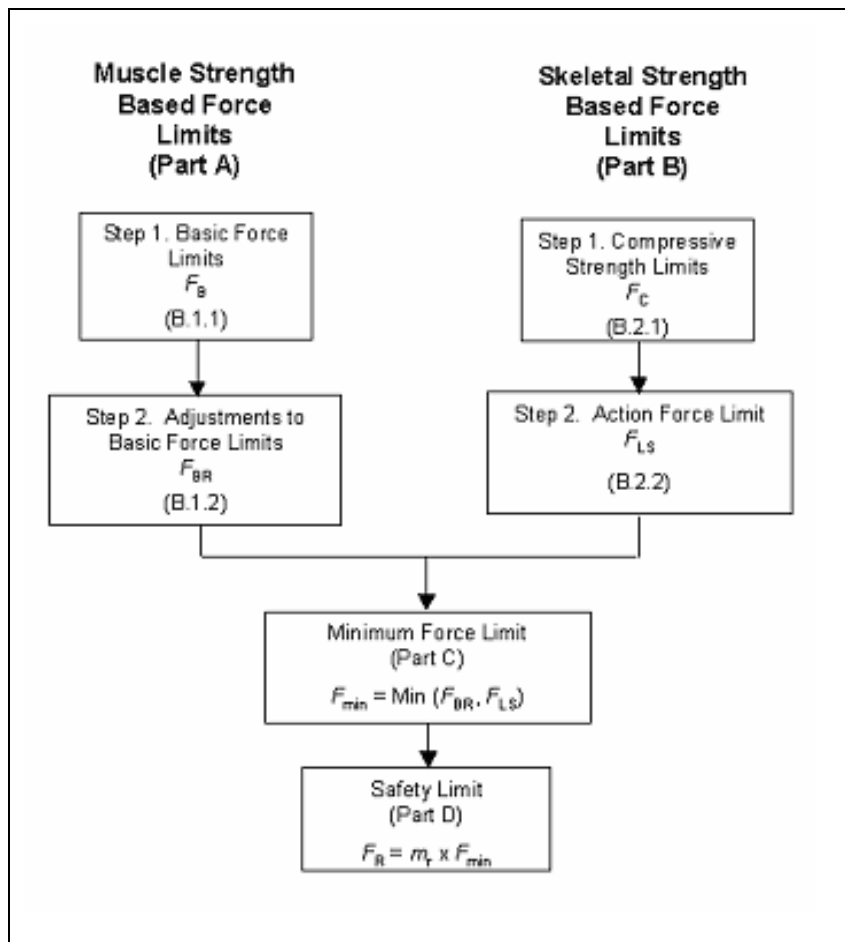
$$F_R = m_r \times F_B (1 - m_d(d) - m_f(f))$$

mit

| | | | |
|-------|--------------------------|-------|---------------------------|
| F_R | Risikobewertungskraft | F_B | isometrische Maximalkraft |
| m_d | Wegstreckenmultiplikator | m_f | Häufigkeitsmultiplikator |
| m_r | Risikomultiplikator | | |



Abbildung 4-71:
Risikoeinschätzung und Risikobewertung nach Methode 2



4.6.7 Verfahren nach ISO/CD 11228-2

Seit dem 15.03.2004 liegt der Normentwurf ISO 11228-2 nun als „Committee Draft“ vor [44]. Er wurde zur Abstimmung über die Annahme als „Draft International Standard“ (DIS) – der letzten Vorstufe einer Norm – an die betroffenen ISO-Mitglieder ausgesendet.

Aufgrund seines nunmehr offiziellen Status wird ISO/CD 11228-2 im Folgenden bei der Ableitung von Empfehlungen für maximal an Trolleys auszuübenden Aktionskräften zusätzlich zu den bereits beschriebenen Verfahren herangezogen.



4.7 Modellrechnung

Die nachfolgenden Modellrechnungen werden nach den oben beschriebenen Verfahren durchgeführt. Eine kritische Würdigung der Verfahren bezüglich ihrer Anwendbarkeit und der mit ihrer Hilfe errechneten Daten finden sich in Abschnitt 4.8 und 4.9.

Zur Berechnung der Grenzkraften werden die in Tabelle 4-11 beschriebenen Parameter benutzt. Getrennt für Ziehen und Schieben und die untersuchten Altersgruppen (< 25 Jahre, 25 bis 40 Jahre, > 40 Jahre) werden, sofern die Verfahren dies ermöglichen, Grenzkraften berechnet. Dies erfolgt auf der Basis von 30, 50 und 80 Zieh-/Schiebevorgängen pro Flug (siehe Kapitel 3). Die Flugzeit wird mit ein bis zwei Stunden angenommen; die Servicedauer pro Flug mit ca. 30 Minuten. Pro Schicht (8 h) werden ein Flug bzw. vier Flüge durchgeführt. Da die benutzten Verfahren z. T. zwischen Betätigungsdauern von 1, 2 und 8 h pro Schicht unterscheiden und dafür z. T. unterschiedliche Frequenzfaktoren ableiten, kann es zu scheinbar unlogischen oder auch gleichen Ergebnissen für die unterschiedlichen Lastfälle kommen.

Tabelle 4-11:
Parameter für die durchzuführenden Modellrechnungen

| Strecke | Anzahl Ziehen/Schieben | Alter [J] | Grenzkraft Ziehen [N] | | Grenzkraft Schieben [N] | |
|--|---------------------------|-----------|-----------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | | | 1 Flug / 8h | 4 Flüge (8h) | 1 Flug / 8h | 4 Flüge (8h) |
| BIA Trolleystudie 2000 (2 Vorgänge pro Minute; 3 Stunden pro Schicht) | 360 | 25 | 0 | | 0 | |
| | | 40 | 0 | | 0 | |
| | | 60 | 0 | | 0 | |
| Trolleystudie 2003; Kurzstrecke mit 1-2 Stunden Flugzeit; Minimal- und Maximalabschätzungen der Manipulationshäufigkeiten gemäß Kapitel 3; Tabelle 3-1 | 30 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 50 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 80 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Kraftart: Schub/Zug, Taillenhöhe, mittelfern, vor dem Körper, Blick auf Handrücken

Zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der BIA-Studie 2000 [17] werden die Modellrechnungen auch für die damals maximal angenommenen Häufigkeit von 360 Handhabungen in einer Arbeitsschicht mit einer geschätzten Servicedauer von drei Stunden durchgeführt, d. h. einer maximalen Arbeitsfrequenz von zwei Tätigkeiten



pro Minute. Im Sinne einer operationalen Definition wird dieser Lastfall im Folgenden als „Vergleich 2000“ bezeichnet.

In den nachfolgenden Modellrechnungen werden die Trolley-Gewichte – falls erforderlich – mit 50 bis 100 kg angenommen.

4.7.1 Modellrechnungen nach *Davis* und *Stubbs*

Gemäß den in Abschnitt 4.7 erläuterten Randbedingungen ergeben sich folgende Ergebnisse (Tabellen 4-12 bis 4-14, siehe Seite 121).

Tabelle 4-12:

Empfohlene Kraftgrenzen für Männer beim Ziehen und Schieben in Abhängigkeit von Arbeitshöhe, Frequenz und Alter

| Männer | | | | | | |
|--------------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|
| f ≤ 1 / min. | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 180 | 160 | 160 | 120 | 110 | 100 |
| Schulter | 350 | 350 | 340 | 200 | 180 | 170 |
| Brust | 420 | 420 | 400 | 250 | 240 | 220 |
| Hüfte | 500 | 450 | 400 | 300 | 250 | 240 |

| Männer | | | | | | |
|--------------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|
| f > 1 / min. | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 126 | 112 | 112 | 84 | 77 | 70 |
| Schulter | 245 | 245 | 238 | 140 | 126 | 119 |
| Brust | 294 | 294 | 280 | 175 | 168 | 154 |
| Hüfte | 350 | 315 | 280 | 210 | 175 | 168 |

Nach der Berechnung der empfohlenen Kraftgrenzen für Ziehen (in Hüfthöhe) ergibt sich folgender Toleranzbereich:

Obere Kraftgrenze (Alter ≤ 40, f < 1/min) = 500 N

Untere Kraftgrenze (Alter 51 bis 60, f > 1/min) = 280 N



Für das Schieben (in Hüfthöhe) werden folgende Kraftgrenzen empfohlen:

Obere Kraftgrenze (Alter ≤ 40 , $f < 1/\text{min}$) = 300 N

Untere Kraftgrenze (Alter 51 bis 60, $f > 1/\text{min}$) = 168 N

Ersichtlich wird, dass nach diesem Verfahren für das Schieben niedrigere Kraftgrenzen empfohlen werden als für das Ziehen!

Da das Verfahren nach *Davis* und *Stubbs* nur Werte für männliche Kollektive liefert, werden daraus Daten für weibliche Kollektive abgeleitet. In der Literatur wird das Maximalkraftvermögen von Frauen mit 50 % bis 67 % der Männerwerte angegeben; die zulässige Wirbelsäulenbelastung mit 73 % bis 78 %. Im Hinblick auf eine Worst-case-Analyse wird das Maximalkraftvermögen bei der Ableitung der „Frauenwerte“ herangezogen.

Tabelle 4-13:

Empfohlene Kraftgrenzen für Frauen beim Ziehen und Schieben in Abhängigkeit von Arbeitshöhe, Frequenz und Alter (bezogen auf 65 % der Männerwerte nach Tabelle 4-12)

| Frauen (0,65 * Männerwerte) | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| f $\leq 1 / \text{min.}$ | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 117 | 104 | 104 | 78 | 72 | 65 |
| Schulter | 228 | 228 | 221 | 130 | 117 | 111 |
| Brust | 273 | 273 | 260 | 163 | 156 | 143 |
| Hüfte | 325 | 293 | 260 | 195 | 163 | 156 |

| Frauen (0,65 * Männerwerte) | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| f $> 1 / \text{min.}$ | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 82 | 73 | 73 | 55 | 50 | 46 |
| Schulter | 159 | 159 | 155 | 91 | 82 | 77 |
| Brust | 191 | 191 | 182 | 114 | 109 | 100 |
| Hüfte | 228 | 205 | 182 | 137 | 114 | 109 |



Obere Kraftgrenze für Ziehen auf Hüfthöhe (Alter ≤ 40 , $f \leq 1/\text{min}$) = 325 N

Untere Kraftgrenze für Schieben auf Hüfthöhe (Alter 51 bis 60, $f \leq 1/\text{min}$) = 156 N

Für das Schieben und Ziehen in Hüfthöhe bei mehr als einem Vorgang pro Minute werden folgende Kraftgrenzen empfohlen:

Obere Kraftgrenze für Ziehen auf Hüfthöhe (Alter ≤ 40 , $f > 1/\text{min}$) = 228 N

Untere Kraftgrenze für Schieben auf Hüfthöhe (Alter 51 bis 60, $f > 1/\text{min}$) = 109 N

Tabelle 4-14:

Empfohlene Kraftgrenzen für Frauen beim Ziehen und Schieben in Abhängigkeit von Arbeitshöhe, Frequenz und Alter (bezogen auf 50 % der Männerwerte nach Tabelle 4-12)

| Frauen (0,5 * Männerwerte) | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| f $\leq 1 / \text{min.}$ | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 90 | 80 | 80 | 60 | 55 | 50 |
| Schulter | 175 | 175 | 170 | 100 | 90 | 85 |
| Brust | 210 | 210 | 200 | 125 | 120 | 110 |
| Hüfte | 250 | 225 | 200 | 150 | 125 | 120 |

| Frauen (0,5 * Männerwerte) | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| f $> 1 / \text{min.}$ | Ziehen | | | Schieben | | |
| Höhe / Alter | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 | ≤ 40 | 41-50 | 51-60 |
| Überkopf | 63 | 56 | 56 | 42 | 39 | 35 |
| Schulter | 123 | 123 | 119 | 70 | 63 | 60 |
| Brust | 147 | 147 | 140 | 88 | 84 | 77 |
| Hüfte | 175 | 158 | 140 | 105 | 88 | 84 |

Obere Kraftgrenze für Ziehen auf Hüfthöhe (Alter ≤ 40 , $f \leq 1/\text{min}$) = 250 N

Untere Kraftgrenze für Schieben auf Hüfthöhe (Alter 51 bis 60, $f \leq 1/\text{min}$) = 120 N

Für das Schieben und Ziehen in Hüfthöhe bei mehr als einem Vorgang pro Minute werden folgende Kraftgrenzen empfohlen:

Obere Kraftgrenze für Ziehen auf Hüfthöhe (Alter ≤ 40 , $f > 1/\text{min}$) = 175 N

Untere Kraftgrenze für Schieben auf Hüfthöhe (Alter 51 bis 60, $f > 1/\text{min}$) = 84 N



4.7.2 Modellrechnungen nach *Mital, Nicholson* und *Ayoub*

In den Tabellen nach *Mital, Nicholson* und *Ayoub* findet sich der geschilderte Kraffall nicht exakt wieder. Aus den zu untersuchenden Häufigkeiten ergeben sich die in Tabelle 4-15 dargestellten Betätigungsfrequenzen.

Sie liegen zwischen 0,25 (4 Flüge mit 30 Zieh-/Schiebevorgängen) und 1,3 (1 Flug, 80 Zieh-Schiebvorgänge). Bei 360 Vorgängen in 3 Stunden ergibt sich eine Betätigungsfrequenz von 2/min. Damit ergeben sich die in Tabelle 4-16 markierten empfohlenen Kraftwerte. Die Tabelle enthält die Werte für Frauen unter Berücksichtigung der 10. und 25. Perzentile körperlicher Leistungsfähigkeit; d. h. 90 % bzw. 75 % der Bevölkerung werden von den Autoren als nicht gefährdet betrachtet. Aus der Datenquelle wurde der nächstliegende Kraffall (kurze Wegstrecke, Griffhöhe ähnlich Trolley) gewählt. Berücksichtigt wird dabei der Lastfall „Beschleunigungs-/Bremskräfte“ (initial forces), da er dem vorliegenden Lastfall am nächsten kommt.

Tabelle 4-15:
Betätigungsfrequenzen für die zu untersuchenden Lastfälle

| Frequenzen [Vorgänge / Minute] | | | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------|------|----|
| Szenario | Anzahl der Vorgänge | Servicedauer | | |
| | | 1h | 2h | 3h |
| BIA 2000 | 360 | | | 2 |
| Trolleystudie 2003 | 30 | 0,5 | 0,25 | |
| | 50 | 0,83 | 0,42 | |
| | 80 | 1,3 | 0,67 | |

Die angegebenen Frequenzen sind unabhängig von der Anzahl der Flüge

Tabelle 4-16:
Empfohlene Belastungsgrenzen für Frauen – beidhändige Kraftausübung mit Griffhöhe 0,89 m nach *Mital* et al. [24]

| Griffhöhe | Entfernung | Kraftrichtung | Kraftart | Perzentil w. | 10/min | 5/min | 1/min | 0,2/min | 1/8 h |
|-----------|------------|---------------|--------------|--------------|--------|-------|-------|---------|-------|
| 0,89 m | 2,1 m | Schieben | Start / Stop | P 10 | 140 | 150 | 170 | 200 | 220 |
| | | | | P 25 | 170 | 180 | 210 | 240 | 270 |
| | | | Fahrt | P 10 | 50 | 70 | 90 | 100 | 130 |
| | | | | P 25 | 70 | 90 | 130 | 150 | 190 |
| | | Ziehen | Start / Stop | P 10 | 140 | 160 | 180 | 210 | 230 |
| | | | | P 25 | 160 | 190 | 210 | 250 | 270 |
| | | | Fahrt | P 10 | 50 | 80 | 100 | 110 | 140 |
| | | | | P 25 | 70 | 100 | 130 | 150 | 190 |



Stellt man die Tabellenwerte grafisch (Abbildungen 4-72 und 4-73, siehe Seite 124) dar, so lassen sich die empfohlenen Kraftgrenzen leicht ableiten.

Für die empfohlenen Belastungsgrenzen für Frauen ergibt sich nach der Modellrechnung (Griffhöhe 0,89 m) ein Toleranzbereich (siehe Tabelle 4-16 und Abbildung 4-73) von:

| | Perzentil | 25 | 10 |
|---|-----------|-------|-------|
| Obere Grenze für Ziehen ($f = 0,25/\text{min}$) = | | 240 N | 205 N |
| Untere Grenze für Schieben ($f = 1,3/\text{min}$) = | | 205 N | 165 N |

Bei einer Frequenz von 2/min (Vergleich 2000) ergeben sich nur geringfügig niedrigere Werte.

| | Perzentil | 25 | 10 |
|---|-----------|-------|-------|
| Obere Belastungsgrenze für Ziehen ($f = 2/\text{min}$) = | | 200 N | 170 N |
| Untere Belastungsgrenze für Schieben ($f = 2/\text{min}$) = | | 195 N | 160 N |

Abbildung 4-72:

Empfohlene Belastungsgrenzen auf der Basis der Modellrechnung nach [24] für Frauen (Griffhöhe 0,89 m)

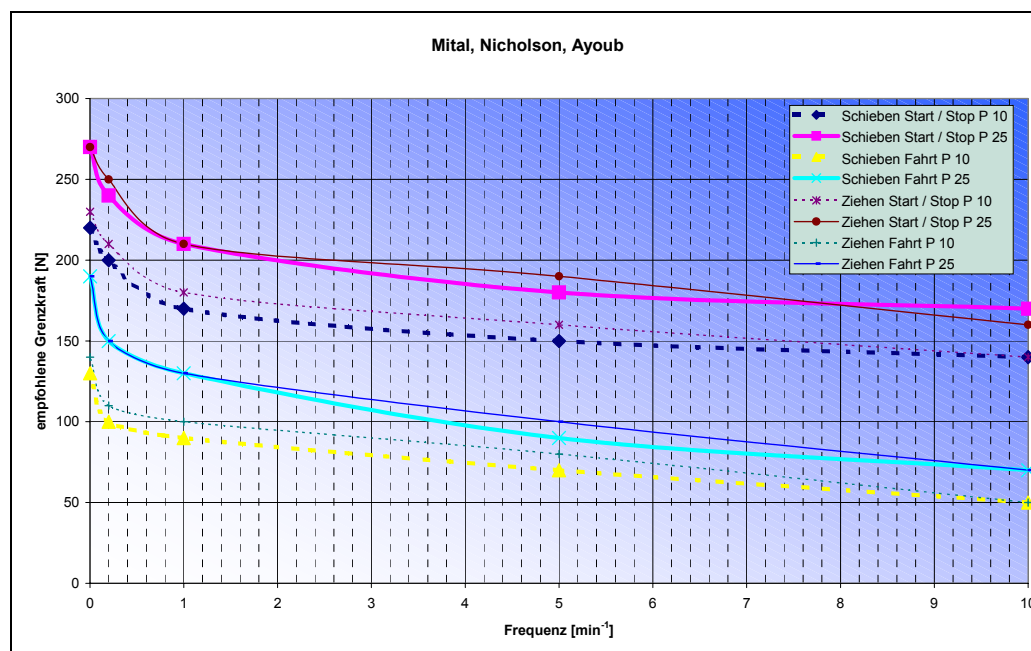
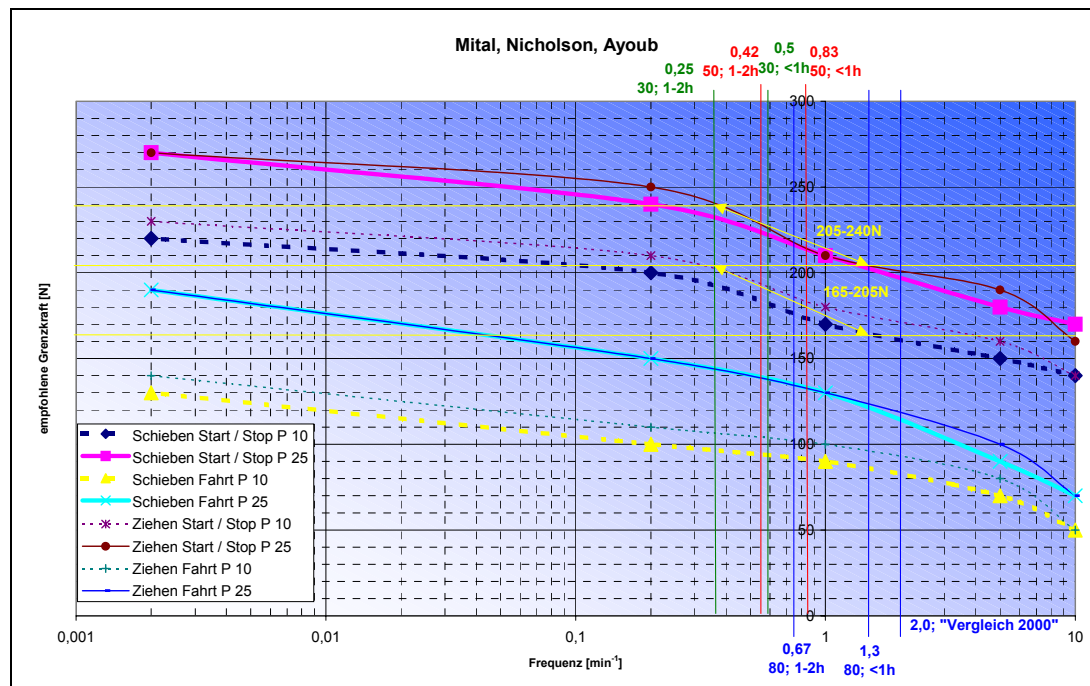




Abbildung 4-73:

Empfohlene Belastungsgrenzen auf der Basis der Modellrechnung nach [24] für Frauen (Griffhöhe 0,89 m); logarithmische Abszisse



4.7.3 Modellrechnungen nach Siemens und Derivaten

Die Berechnungen nach Siemens und Derivaten wurden für folgende Parameter durchgeführt:

| | |
|---------------------|--|
| Kraftart: | Schieben/Ziehen, |
| Kraftangriffspunkt: | Tailenhöhe, vor dem Körper, mittelfern |
| Handhaltung: | Blick auf Handrücken |

Des Weiteren finden die in Abschnitt 4.7 beschriebenen Parameter Berücksichtigung.

Die Berechnungen werden für 30, 50 und 80 Zug-/Schubmanipulationen pro Flug durchgeführt. Die Servicezeit pro Flug wird mit ca. 30 Minuten angenommen. Pro Schicht wird von einem bzw. vier Flügen ausgegangen. Die Berechnungen erfolgen daher zunächst auf einer Basis von 8 h. Da die Servicezeit jedoch bei vier Flügen nur



ca. zwei Stunden beträgt, werden die Berechnungen – soweit die verwendeten Methoden das zulassen – auch noch für einen Zeitraum von einer Stunde (1 Flug) bzw. zwei Stunden (4 Flüge) durchgeführt.

Der Lastfall 360 Verrichtungen in 3 Stunden – wie im BIA-Bericht 199922880 (Untersuchung der Belastung von Flugbegleiter(innen) beim Schieben von Service-Containern) [17] angegeben – wird im Folgenden im Sinne einer operationalen Definition als „Vergleich 2000“ bezeichnet.

Alle Berechnungen werden nach dem Originalverfahren (mit den für den angenommenen Lastfall vorgegebenen Tabellenwerten für die Maximalkraft) und auf der Basis einer Maximalkraft von 215 N (15. Kraftperzentil von synthetischer LH- und LTU-Verteilung bei Kraftart „Trolley Schieben“, siehe auch Abschnitt 4.6.3) durchgeführt. Für diesen Berechnungsfall – nachfolgend „P 15 synth.“ genannt – wurde die maximale Zugkraft (nach DIN 33411-5, Tabelle 9, 10. bzw. 15. Kraftperzentil) mit 85 % der Schiebekraft (183 N) abgeschätzt. Auch werden für diesen Berechnungsfall die Daten nicht nach Alter und Geschlecht differenziert, da die Maximalkraft des 15. Kraftperzentils für die synthetischen Kollektive (LH, LTU) bereits auf der Basis der vorgegebenen Verteilung von Alter und Geschlecht berechnet wurde.

Bei Berechnungen nach dem Originalverfahren werden die Belastungsgrenzen stets für Kollektive von weiblichen Probanden ermittelt.

In den Abbildungen 4-74 bis 4-85 (siehe Seite 126 bis 139) wird in der Abszissenbeschriftung in der ersten Zeile das Probandenalter und in der zweiten Zeile die Häufigkeit der Lastenmanipulation angegeben. In den Balkendiagrammen werden stets die Lastfälle „Ziehen“ und „Schieben“ für einen Flug bzw. vier Flüge dargestellt. Bei einem Flug werden die angegebenen Häufigkeiten (30, 50, 80) in der Rechnung berücksichtigt; bei vier Flügen der jeweils vierfache Wert (120, 200, 320 Lastenmanipulationen im Beobachtungszeitraum).

Für den „Vergleich 2000“ wird die Anzahl der Flüge nicht berücksichtigt, d. h. Berechnungsgrundlage sind stets 360 Lastenmanipulationen im Beobachtungszeitraum.



Abbildung 4-74:
Berechnungen nach dem *Bullinger*-Originalverfahren

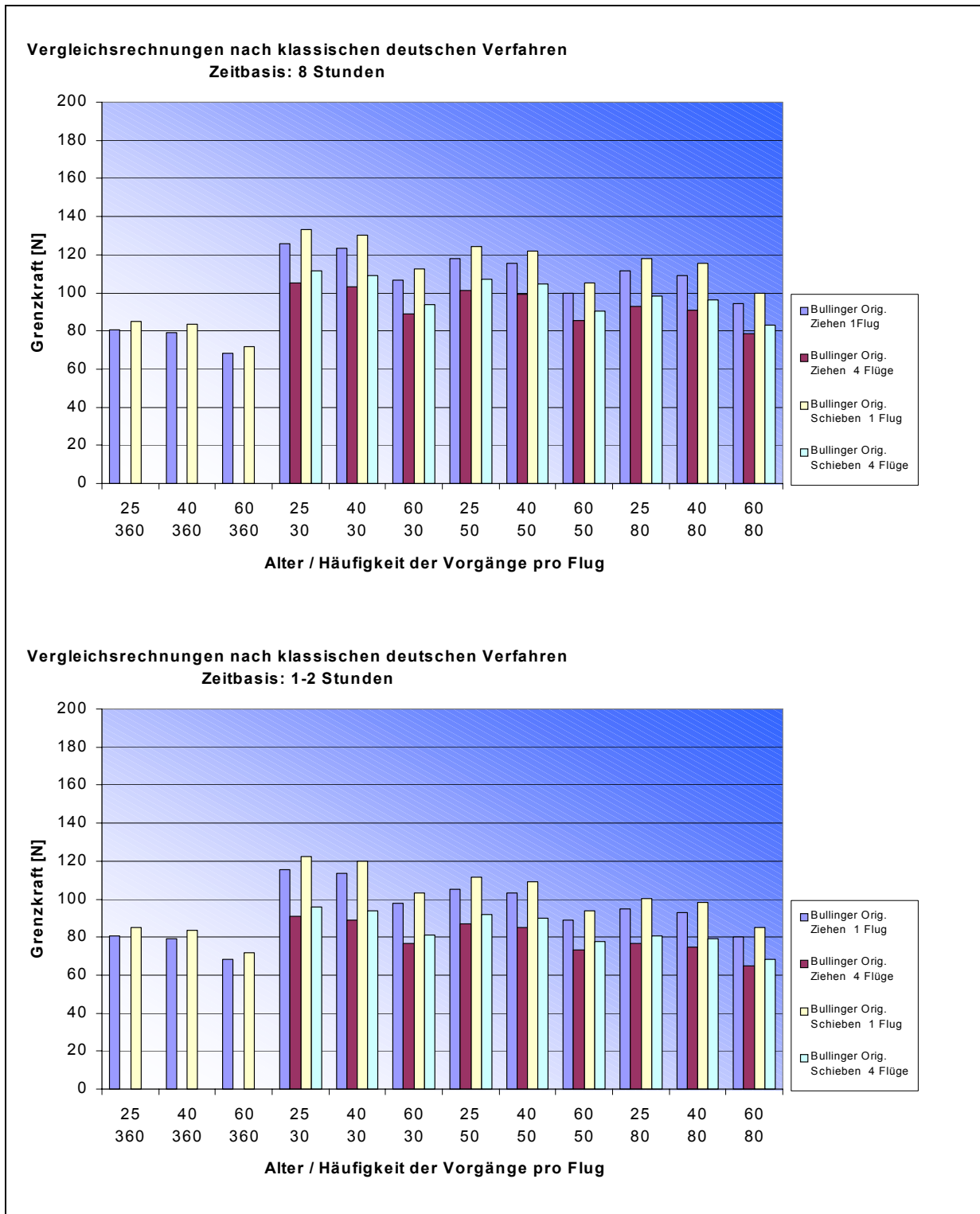
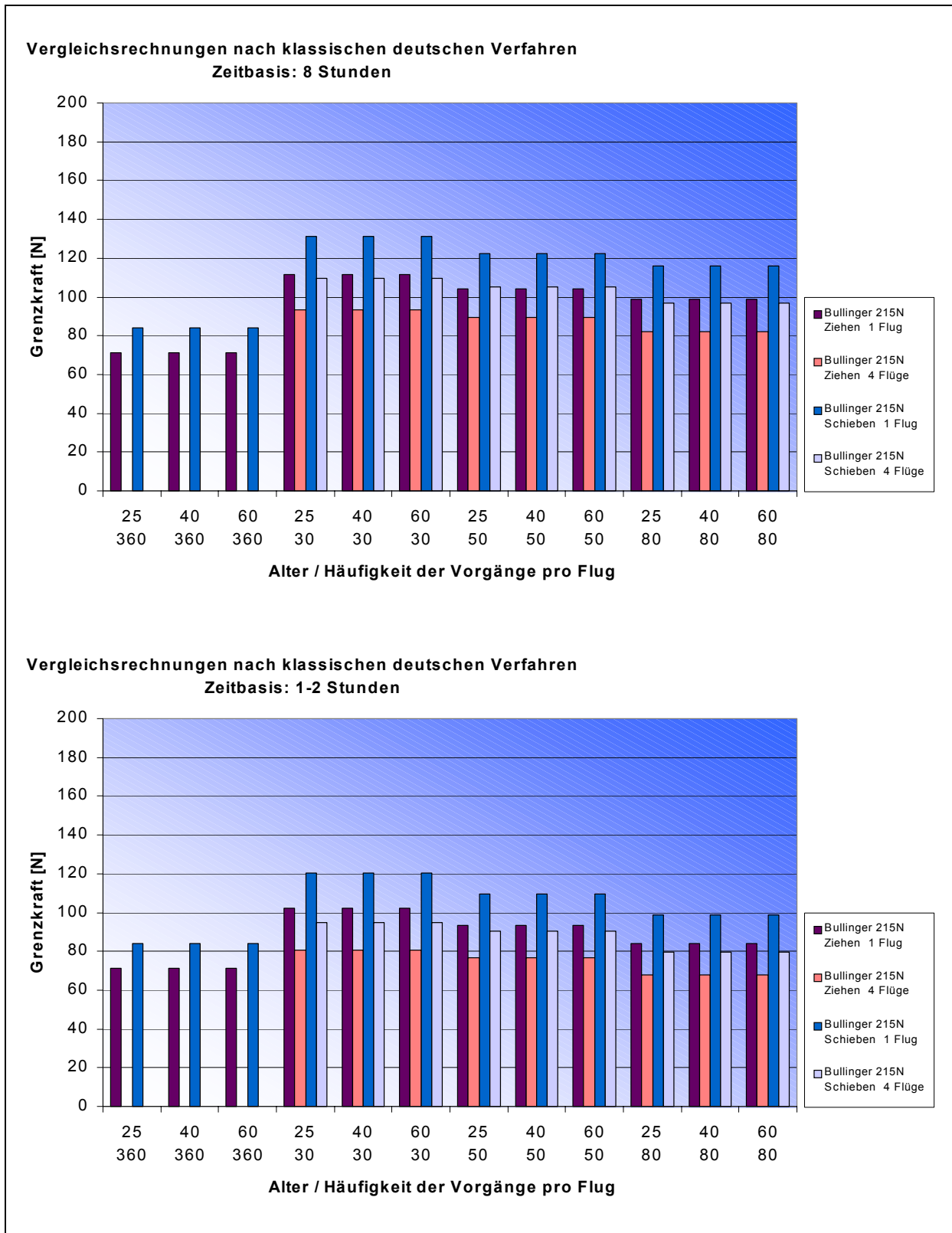




Abbildung 4-75:
Berechnungen nach Bullinger „P 15 synthetisch“





Bei den Berechnungen nach dem *Bullinger*-Originalverfahren (Abbildungen 4-74 und 4-75) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 80 und 125 N; die Schubkräfte liegen zwischen ca. 80 und 130 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 65 und 115 N und ca. 70 und 120 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P 15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 80 und 110 N; die Schubkräfte zwischen ca. 100 und 130 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 70 und 100 N und ca. 80 und 120 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 355 N/375 N (nach *Bullinger* [30]) in die Berechnung ein.

Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben altersabhängig zwischen ca. 70 N und 85 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 70 N und 85 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Für „P 15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ bei 70 N und 85 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 70 N und 85 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach dem *Burandt*-Originalverfahren (Abbildungen 4-76 und 4-77, siehe Seite 130 und 131) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 80 und 160 N; die Schubkräfte liegen zwischen ca. 65 und 125 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 65 und 140 N und ca. 50 und 110 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P 15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 80 und 105 N; die Schubkräfte zwischen ca. 95 und 125 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 65 und 90 N und ca. 75 und 110 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.



Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 460 N/360 N in die Berechnung ein.

Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben altersabhängig zwischen ca. 80 N und 90 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 80 und 90 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Für „P15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ ebenfalls zwischen ca. 80 N und 90 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 80 N und 90 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach dem REFA-Originalverfahren (Abbildungen 4-78 und 4-79, siehe Seite 132 und 133) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 70 und 130 N; die Schubkräfte zwischen ca. 70 und 140 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 60 und 115 N und ca. 60 und 120 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 80 und 100 N; die Schubkräfte zwischen ca. 90 und 120 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 65 und 90 N und ca. 80 und 110 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 355 N/375 N in die Berechnung ein.

Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben altersabhängig zwischen ca. 70 N und 100 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 80 und 90 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Für „P 15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ zwischen 60 N und 90 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 70 und 80 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.



Abbildung 4-76:
Berechnungen nach dem *Burandt*-Originalverfahren

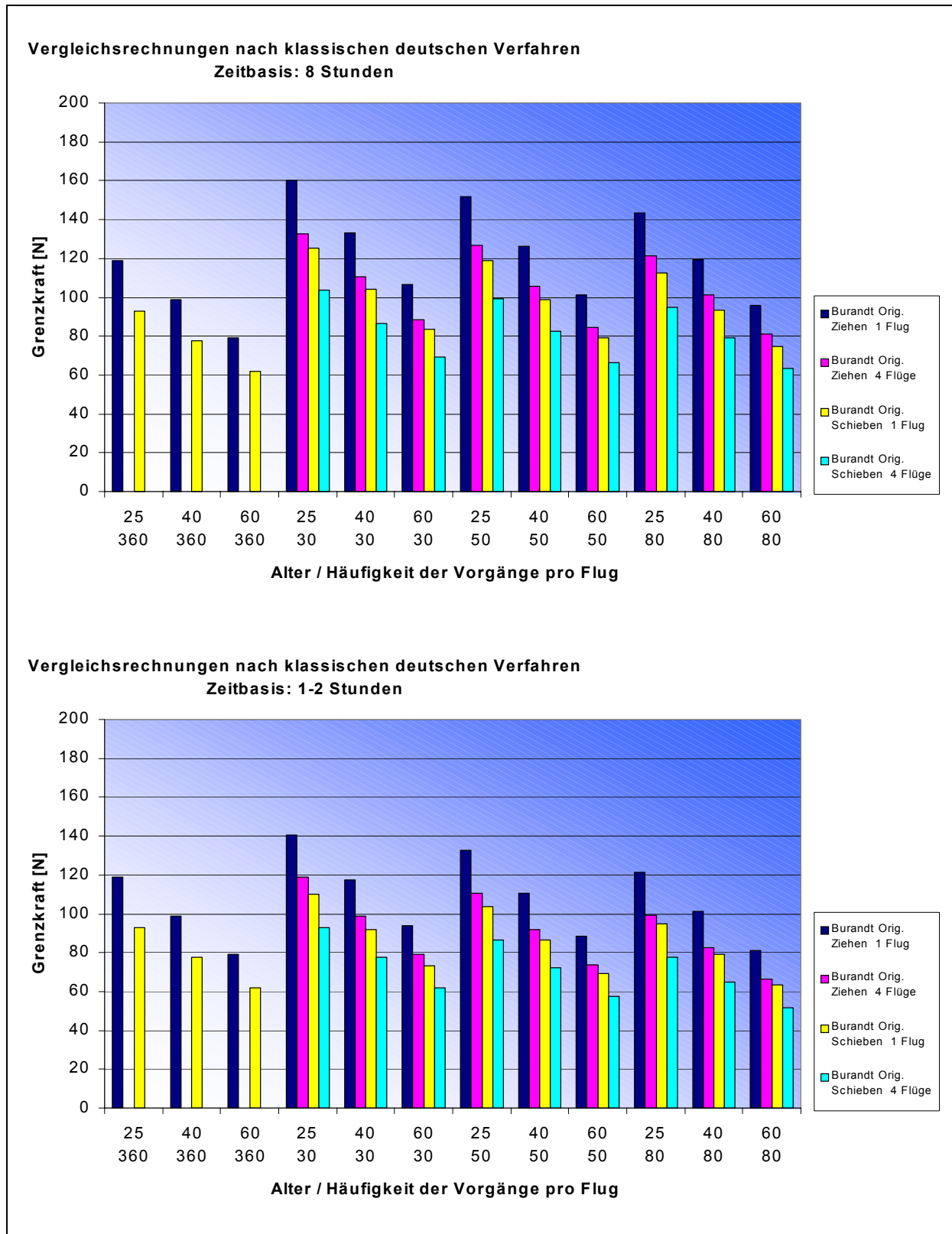




Abbildung 4-77:
Berechnungen nach *Burandt* „P 15 synthetisch“

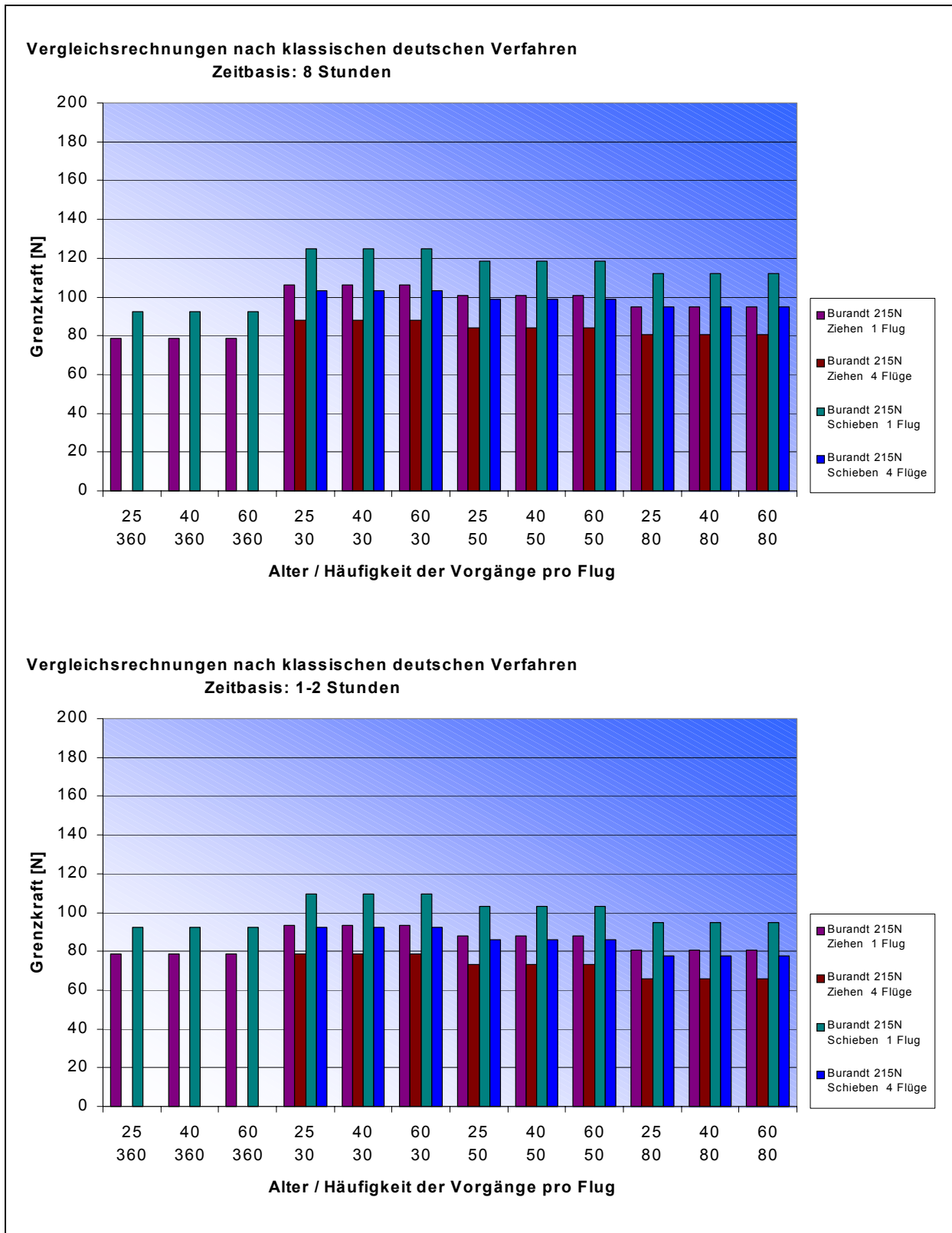




Abbildung 4-78:
Berechnungen nach dem REFA-Originalverfahren

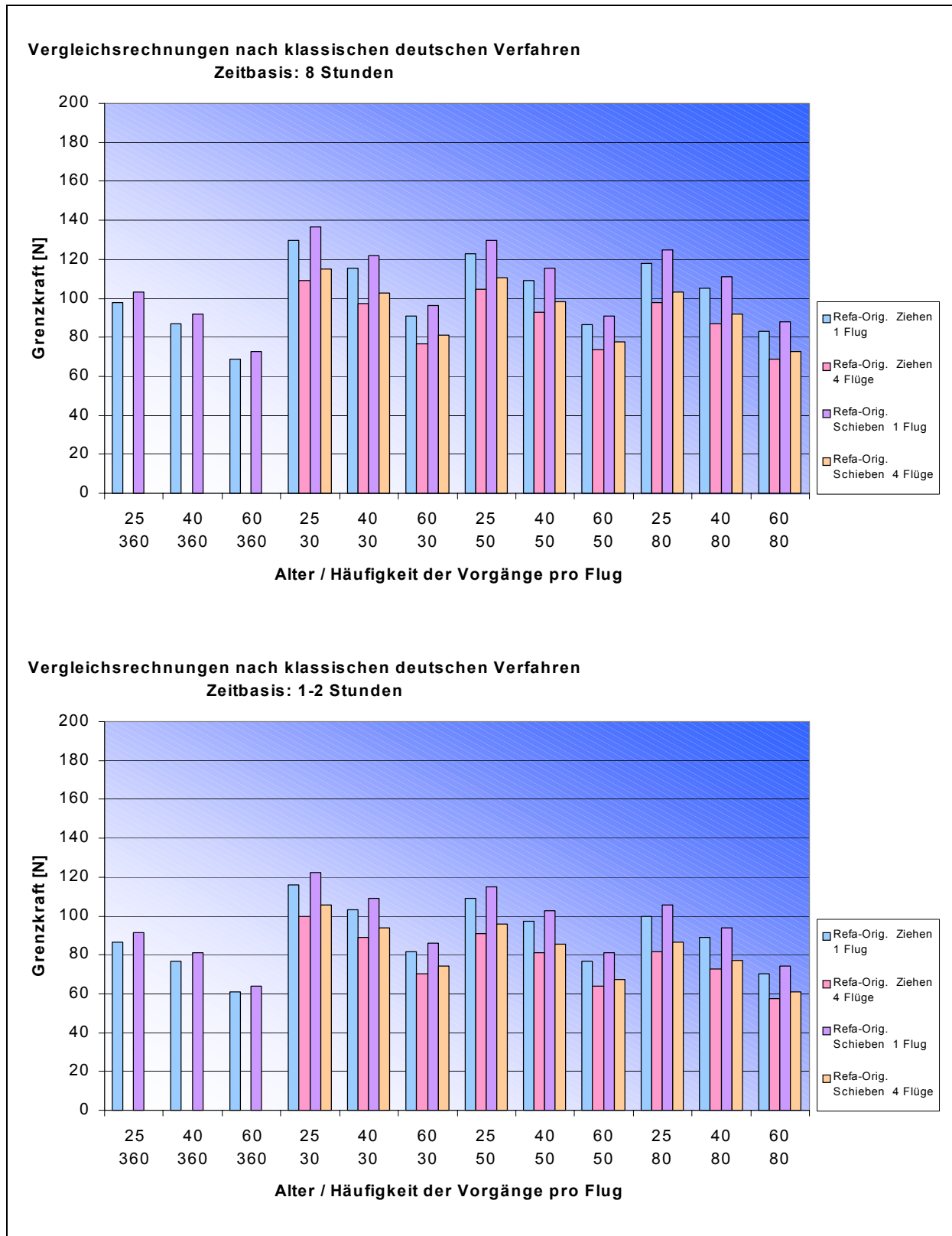
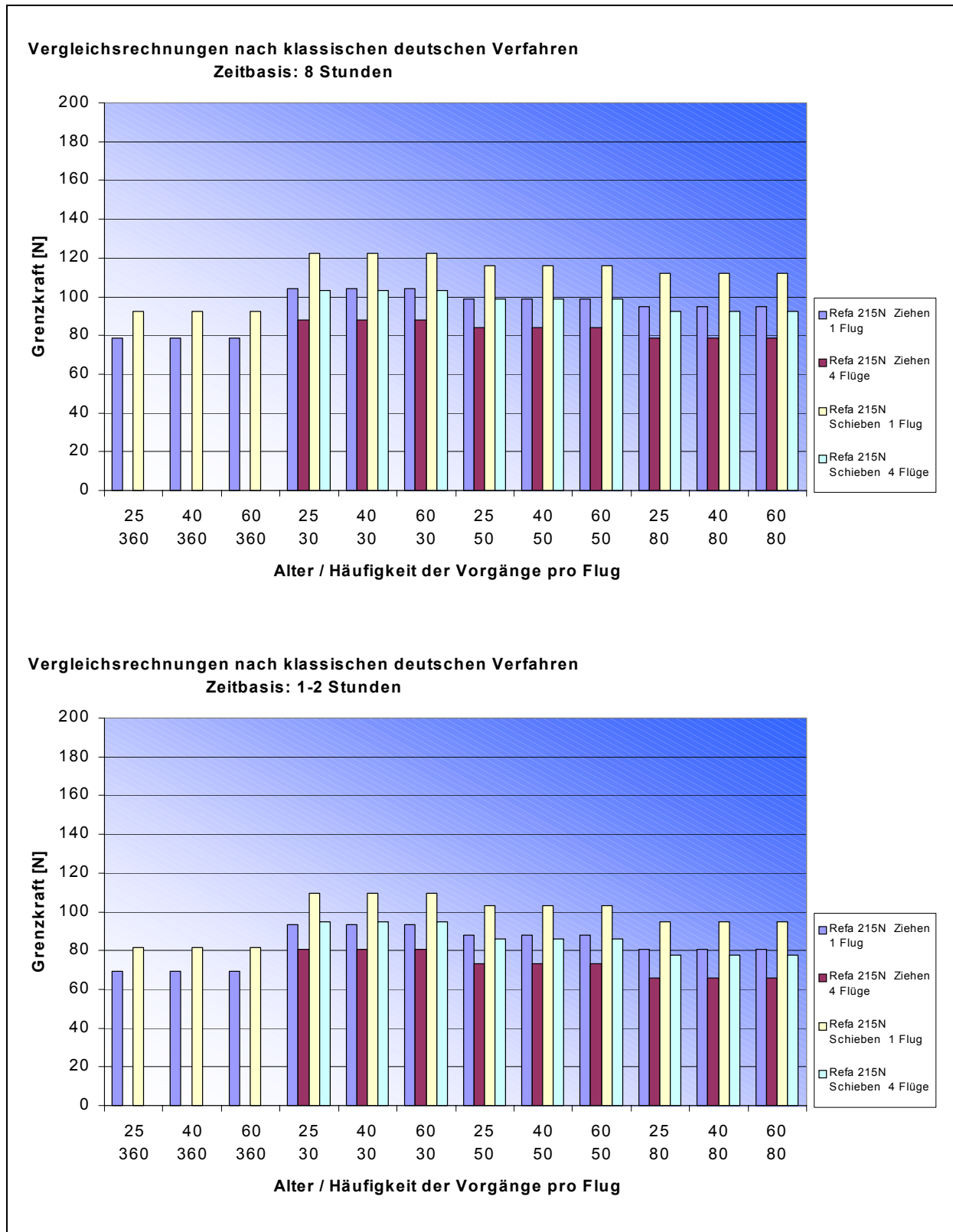




Abbildung 4-79:
Berechnungen nach REFA „P 15 synthetisch“





Das Verfahren nach *Schultetus* gestattet Grenzkraftberechnungen nur auf der Basis von 8 Stunden.

Bei den Berechnungen nach dem *Schultetus*-Originalverfahren (Abbildungen 4-80 und 4-81, siehe Seite 136) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 130 und 180 N; die Schubkräfte zwischen ca. 135 und 190 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 125 und 140 N; die Schubkräfte zwischen ca. 145 und 170 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 355 N/375 N in die Berechnung ein.

Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben zwischen ca. 130 N und 160 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Für „P 15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ zwischen 120 N und 145 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Bei den Berechnungen nach dem Siemens-Originalverfahren (Abbildungen 4-82 und 4-83, siehe Seite 137 und 138) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 145 und 180 N; die Schubkräfte zwischen ca. 150 und 190 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 110 und 180 N und ca. 115 und 190 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P 15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 110 und 140 N; die Schubkräfte zwischen ca. 130 und 165 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 125 und 145 N und ca. 145 und 170 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 355 N/375 N in die Berechnung ein.



Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben altersabhängig zwischen ca. 140 N und 150 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 110 und 115 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Für „P 15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ ebenfalls zwischen ca. 110 N und 130 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden sowie zwischen ca. 85 N und 100 N auf der Berechnungsbasis 2 Stunden.

Das Verfahren nach VDI gestattet Grenzkraftberechnungen nur auf der Basis von 8 Stunden.

Bei den Berechnungen nach dem VDI-Originalverfahren (Abbildungen 4-84 und 4-85, siehe Seite 139) liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 130 und 180 N; die Schubkräfte zwischen ca. 135 und 190 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Bei den Berechnungen nach „P 15 synthetisch“ liegen die Werte für die maximalen Zugkräfte zwischen ca. 120 und 145 N; die Schubkräfte zwischen ca. 140 und 170 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Als Maximalkraftwerte für Ziehen/Schieben gingen 355 N/375 N in die Berechnung ein.

Die Werte nach „Vergleich 2000“ liegen für Ziehen und Schieben zwischen ca. 120 N und 155 N nach dem Originalverfahren auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.

Für „P15 synthetisch“ liegen die Werte nach „Vergleich 2000“ zwischen 120 N und 140 N auf der Berechnungsbasis 8 Stunden.



Abbildung 4-80:
Berechnungen nach dem *Schultetus*-Originalverfahren

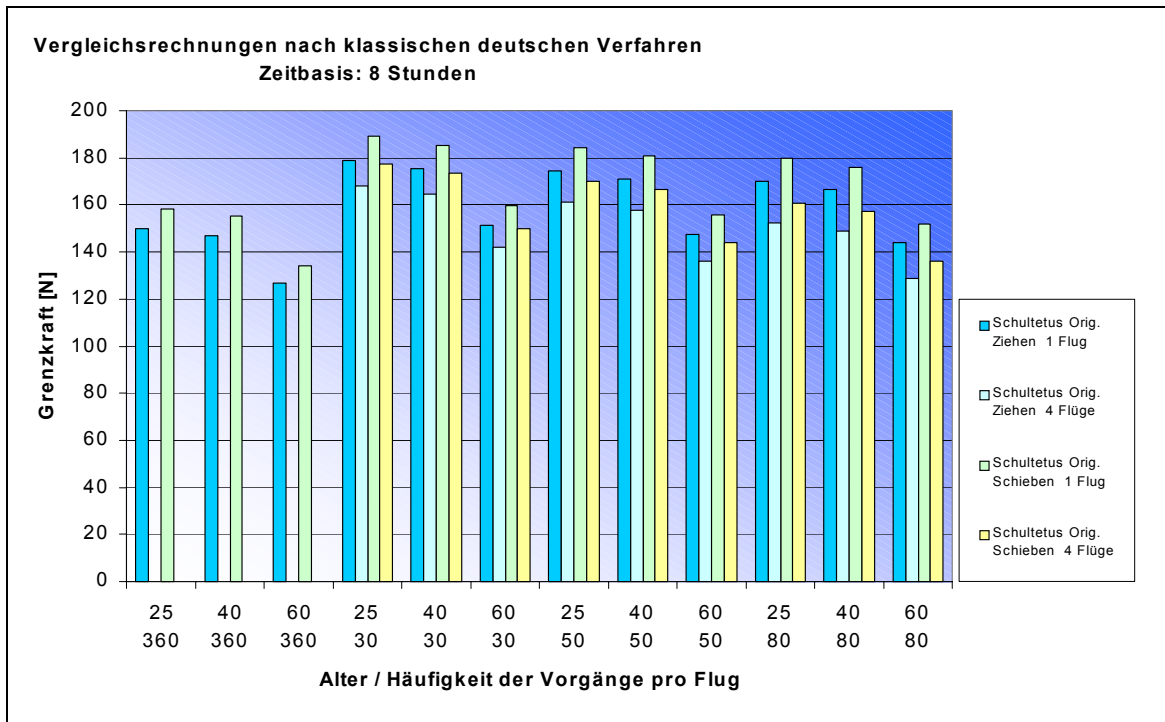


Abbildung 4-81:
Berechnungen nach *Schultetus* „P 15 synthetisch“

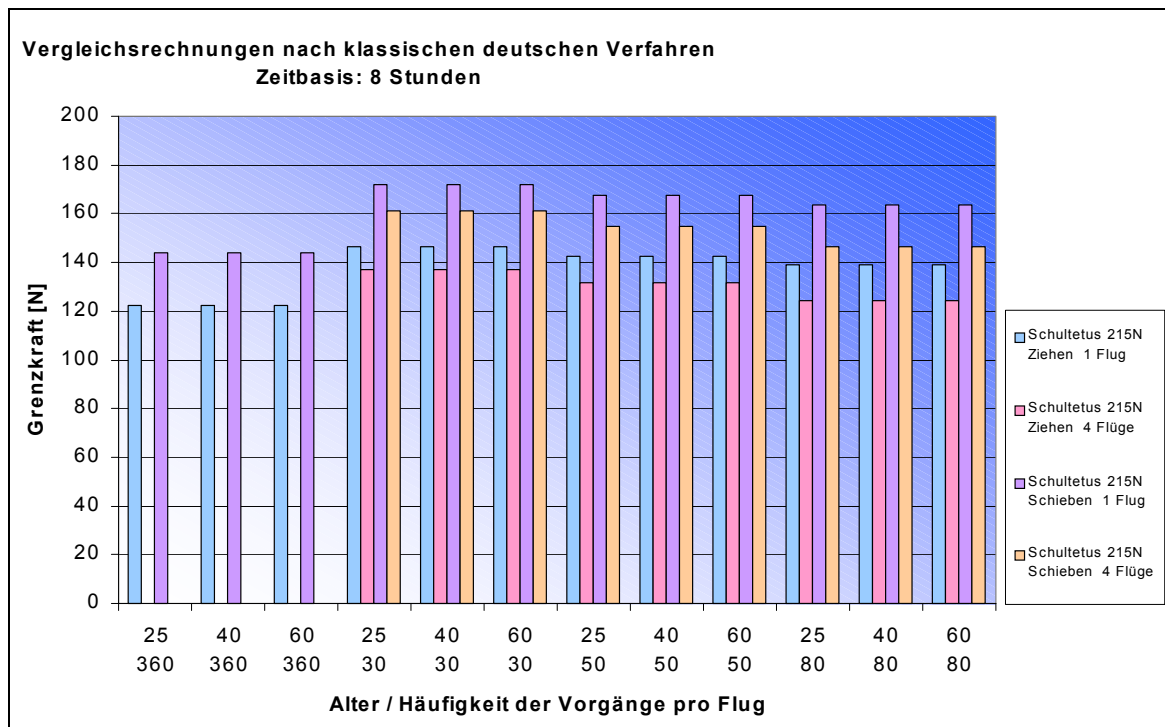




Abbildung 4-82:
Berechnungen nach dem Siemens-Originalverfahren

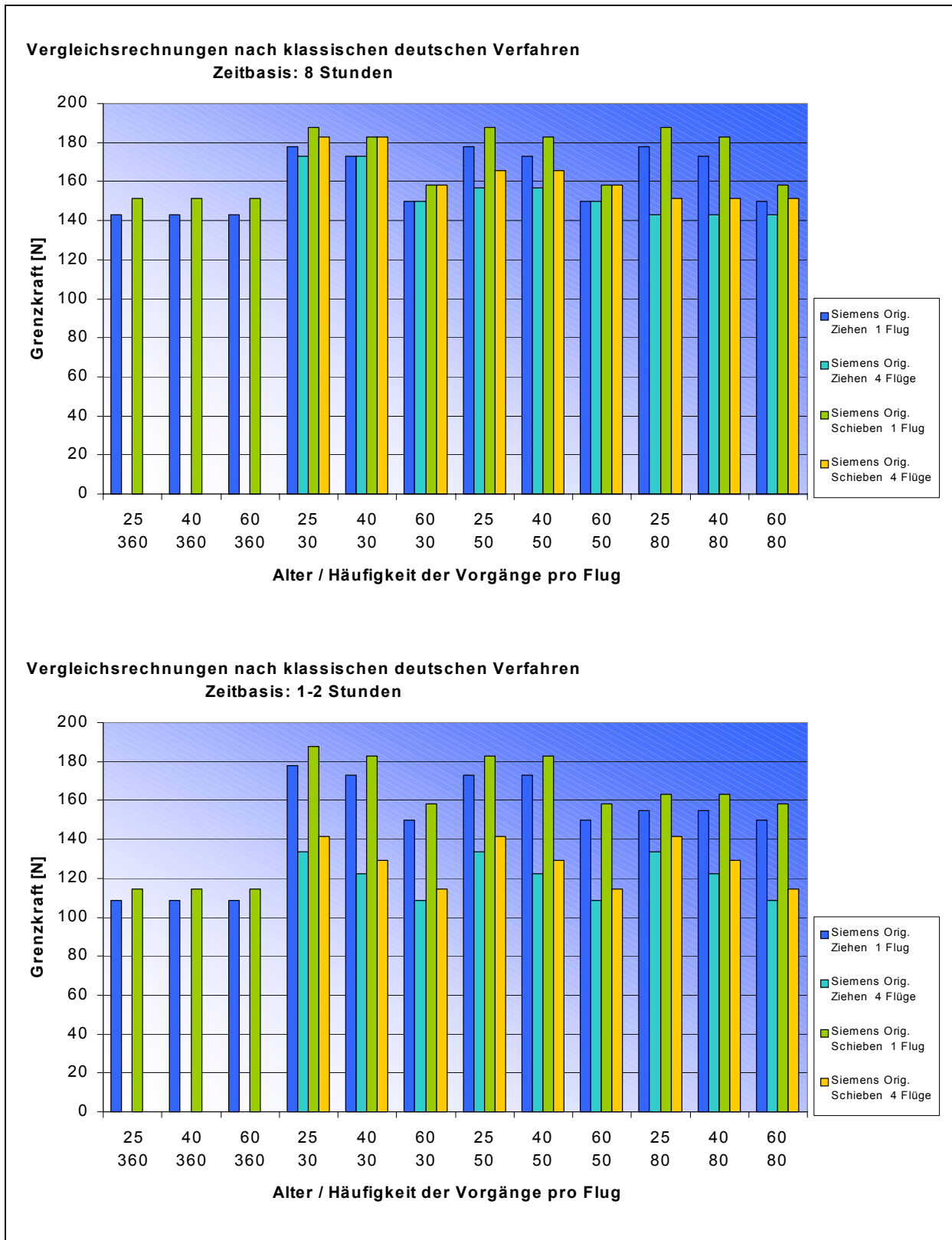




Abbildung 4-83:
Berechnungen nach Siemens „P 15 synthetisch“

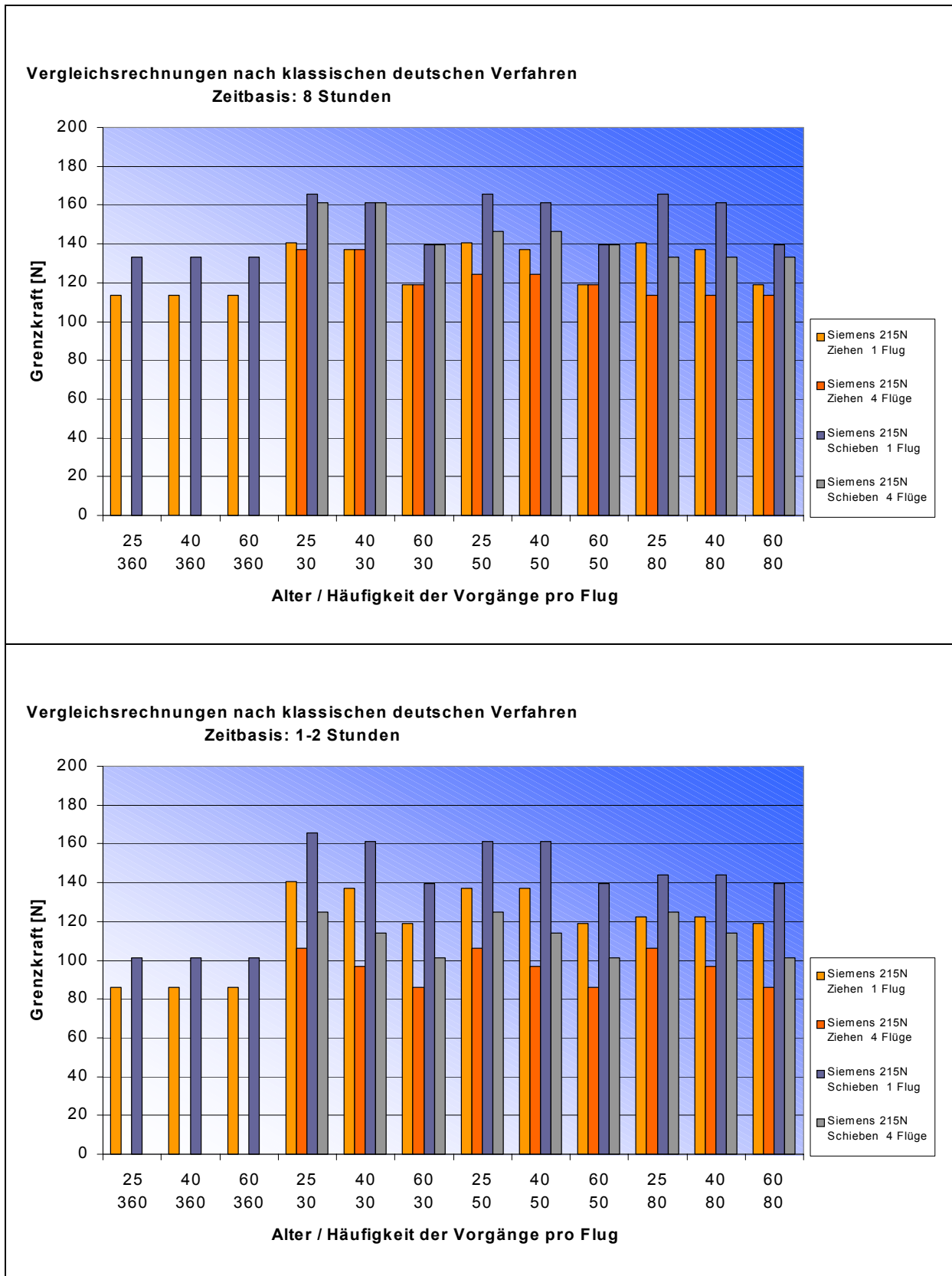




Abbildung 4-84:
Berechnungen nach dem VDI-Originalverfahren

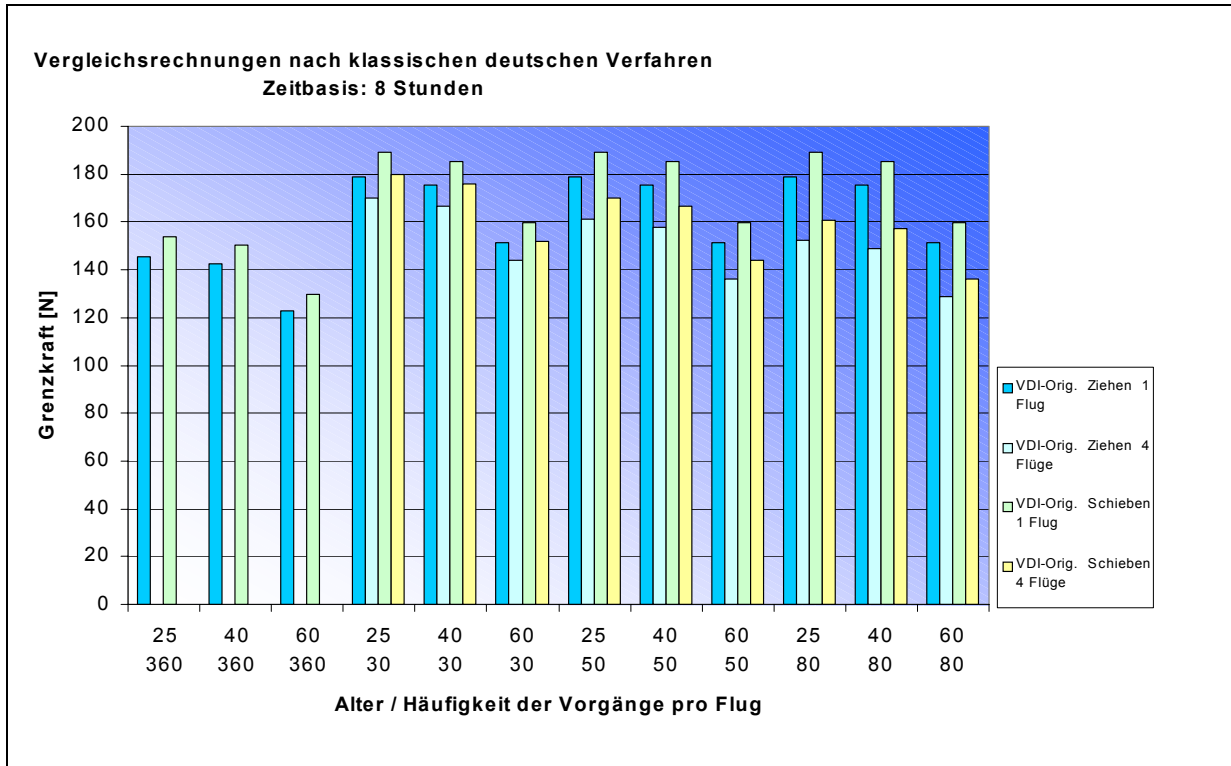
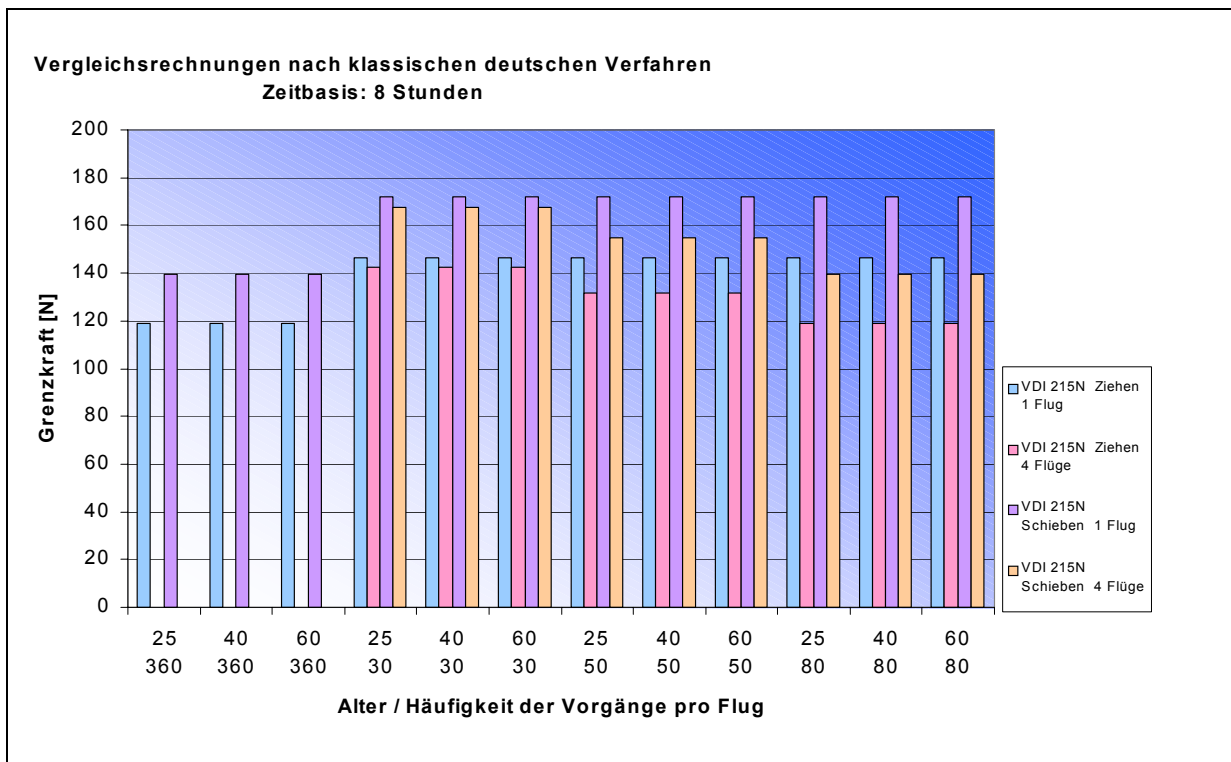


Abbildung 4-85:
Berechnungen nach VDI „P 15 synthetisch“





4.7.4 Modellrechnungen nach „Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben“ (LMM-ZS)

Das Verfahren Ziehen und Schieben nach der LMM (Abschnitt 4.6.4) bezieht als einziges der hier dokumentierten Verfahren den Neigungswinkel (0° , 0 bis 2° , 2 bis 5° , $> 5^\circ$) zur Bewertung der Schiebetätigkeit ein. Dies ist erforderlich, da keine Grenzkraft ermittelt werden, sondern die Berechnungen auf der Basis der zu manipulierenden Lastgewichte durchgeführt werden und diese für den vorliegenden Fall nicht ausreichend differenziert werden können (siehe Kapitel 5).

In den folgenden Berechnungen wird die Positioniergenauigkeit und Geschwindigkeit im Sinne einer von den Autoren der LMM-ZS ermöglichten Interpolation als „mittel“ eingestuft sowie die eingenommene Körperhaltung als aufrecht bis leicht geneigt angenommen. Das Trolley-Gewicht wird als 50 bis 100 kg eingestuft. Die Bewertung berücksichtigt weibliche Probanden.

Ebenso wie im vorigen Abschnitt werden die Modellrechnungen für 30, 50 und 80 Zug-/Schubmanipulationen pro Flug durchgeführt. Die Berechnungen erfolgen für einen Flug bzw. vier Flüge pro Schicht.

Zum Vergleich mit dem BIA-Bericht [17] wird wiederum der Lastfall 360 Verrichtungen in drei Stunden berücksichtigt (Tabelle 4-17, siehe Seite 141).

Nach Tabelle 4-17 ergibt sich ein Wertebereich für das Ziehen und Schieben von Trolleys von 10 Punkten (geringe Belastung; Überbeanspruchung unwahrscheinlich) bis zu 95 Punkten (hohe Belastung; körperliche Überbeanspruchung wahrscheinlich; Gestaltungsmaßnahmen erforderlich).

„Grüne“ Bereiche ergeben sich bei geringen Manipulationshäufigkeiten (bis 200 pro Schicht). Je geringer die Manipulationshäufigkeit, desto größer sind die tolerierbaren Neigungswinkel. So ergeben sich bei 30 Manipulationen pro Schicht auch für Neigungswinkel von 2 bis 5° noch „grüne“ Bereiche, während bei 50 bis 80 Manipulationen pro Schicht nur 0 bis 2° als „grün“ eingestuft werden. Bei zunehmenden Häufigkeiten (vier Flüge, 30 bis 50 Manipulationen pro Flug) ergeben sich „grüne“



Bereiche nur noch für einen Neigungswinkel von 0°. Bei den höchsten Häufigkeiten (vier Flüge à 80 Manipulationen, „Vergleich 2000“) ergeben sich nur noch „gelbe“ (Neigung 0 bis 2°) und „rote“ Bewertungen (Neigung > 2°).

Tabelle 4-17:
Bewertungsergebnisse nach LMM-ZS

| Szenario | # Z / S | Neigung [°] | Last [kg] | Punkte / Flug | Punkte / 4 Flüge |
|---|---------|-------------|------------|---------------|------------------|
| BIA Trolleyuntersuchung 2000 (2 Vorgänge pro Minute; Stunden pro Schicht) | 3 | 360 | 50-100 | 0 | 31 |
| | | | | 0-2 | 47 |
| | | | | 2-5 | 62 |
| | | | | >5 | 95 |
| Trolleystudie 2003 | 30 | 0 | 50-100 | 10 | 20 |
| | | 0-2 | | 16 | 30 |
| | | 2-5 | | 22 | 40 |
| | | >5 | | 33 | 60 |
| | 50 | 0 | 50-100 | 13 | 25 |
| | | 0-2 | | 20 | 36 |
| | | 2-5 | | 27 | 49 |
| | | >5 | | 40 | 74 |
| | 80 | 0 | 50-100 | 16 | 30 |
| | | 0-2 | | 25 | 44 |
| | | 2-5 | | 33 | 60 |
| | | >5 | | 49 | 90 |
| Positioniergenauigkeit und Geschwindigkeit : mittel | | | Bewertung: | 0-25 Punkte | grün |
| Körperhaltung: aufrecht bis leicht geneigt | | | | 26-50 Punkte | gelb |
| Bewertung für weibliche Probanden | | | | > 50 Punkte | rot |

4.7.5 Modellrechnungen nach DIN EN 1005-3

Ebenso wie in vorangegangenen Abschnitten werden die Modellrechnungen für 30, 50 und 80 Zug-/Schubmanipulationen pro Flug durchgeführt. Die Servicezeit pro Flug wird wiederum mit ca. 30 Minuten angenommen. Die Berechnungen erfolgen für einen Flug bzw. vier Flüge pro Schicht.

Die Modellrechnungen erfolgen gemäß DIN EN 1005-3 Anhang B (Berechnungsverfahren für Alternative 3) auf der Basis der 15. Kraftperzentile der synthetischen LH- und LTU-Maximalkraftverteilungen für das Schieben von Trolleys.



Für das Ziehen von Trolleys wurde die maximale Zugkraft nach DIN 33411-5 Tabelle 9 (10. und 15. Kraftperzentil) mit 85 % der maximalen Schubkraft abgeschätzt.

Da im Berechnungsgang nach DIN EN 1005-3 in einem letzten Verfahrensschritt nochmals „Risikomultiplikatoren“ Berücksichtigung finden, werden zusätzlich noch die reduzierten Kapazitätsgrenzen F_{Br} angegeben, die sich aus der isometrischen Maximalkraft F_B und den Multiplikatoren für Geschwindigkeit, Häufigkeit und Dauer ergeben.

Im Gegensatz zu traditionellen deutschen Verfahren, die eine Häufigkeit der Manipulationen pro Berechnungszeitraum berücksichtigen, geht DIN EN 1005-3 von festen Betätigungsfrequenzen aus. Unter Berücksichtigung der o. g. Servicezeit und der zugehörigen Anzahl von Zug-/Schub-Manipulationen ergeben sich die in Tabelle 4-18 dargestellten Frequenzfaktoren.

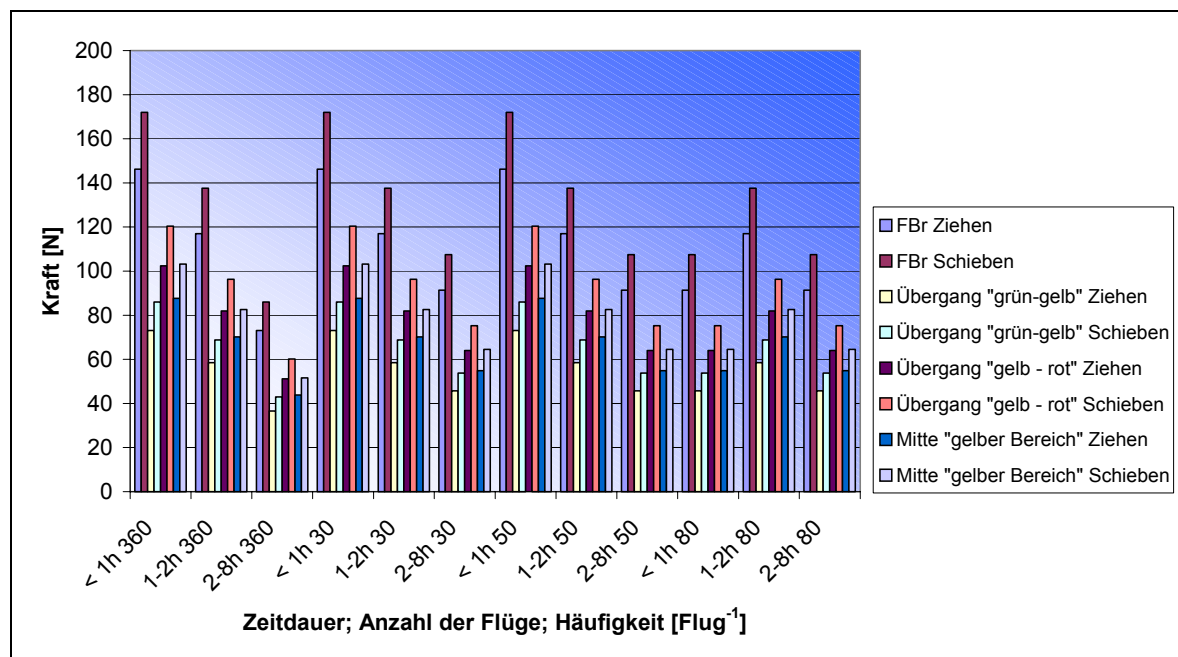
Tabelle 4-18:
Frequenzfaktoren für die Modellrechnungen best/worst case

| Manipulationen pro Flug | Anzahl Flüge | Tätigkeitsdauer m_d [h] | Frequenz $[min^{-1}]$ | best m_f | worst m_f |
|-------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|------------|-------------|
| 30 | 1 | 0,5 | 1,00 | 0,8 | 0,4 |
| 30 | 1 | 2 | 0,25 | 0,8 | 0,4 |
| 30 | 4 | 8 | 0,06 | 1 | 0,6 |
| 50 | 1 | 0,5 | 1,67 | 0,8 | 0,4 |
| 50 | 1 | 2 | 0,42 | 0,8 | 0,4 |
| 50 | 4 | 8 | 0,10 | 1 | 0,6 |
| 80 | 1 | 0,5 | 2,67 | 0,5 | 0,2 |
| 80 | 1 | 2 | 0,67 | 0,8 | 0,4 |
| 80 | 4 | 8 | 0,17 | 1 | 0,2 |
| 360 | --- | 3 | 2,00 | 0,8 | 0,4 |
| 360 | --- | 3 | 2,00 | 0,8 | 0,4 |
| 360 | --- | 3 | 2,00 | 0,8 | 0,4 |



In einer ersten Modellrechnung (best case, siehe Abbildung 4-86) wird davon ausgegangen, dass bei der Kraftausübung keine oder nur sehr langsame Bewegungen auftreten (Geschwindigkeitsfaktor $m_v = 1$) und die Dauer der Kraftausübung weniger als drei Sekunden beträgt (ergibt Frequenzfaktoren m_f zwischen 0,3 und 1,0). Die Worst-case-Modellrechnung geht von „eindeutig feststellbaren Bewegungen“ ($m_v = 0,8$) und einer Kraftausübungsdauer von mehr als drei Sekunden ($m_f = 0,2$ bis 0,6) aus (Abbildung 4-87, siehe Seite 144).

Abbildung 4-86:
Empfohlene Kraftgrenzen F_{Br} nach DIN EN 1005-3 (best case)



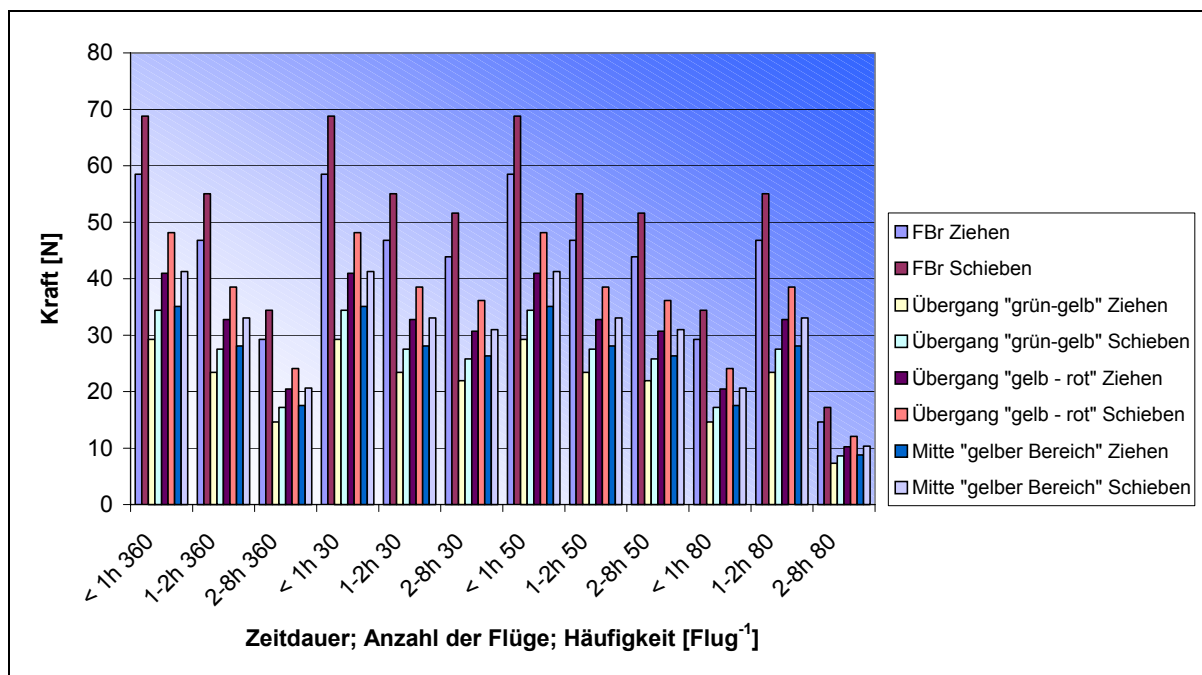
Betrachtet man die Modellrechnungen, so liegen die empfohlenen Kraftgrenzen am Übergang „grün-gelb“ frequenzabhängig zwischen ca. 20 und 70 N (best case) bzw. weniger als 10 bis 30 N (worst case).

Lässt man im Sinne einer Grenzkraftbetrachtung, wie in Abschnitt 4.7.3 dargestellt, die Risikomultiplikatoren außer Acht, so ergeben sich reduzierte Kapazitätsgrenzen zwischen ca. 55 und 170 N für das Schieben und 45 und 145 N für das Ziehen (best case). Unter Worst-case-Bedingungen werden reduzierte Kapazitätsgrenzen zwischen



ca. 15 und 70 N (Schieben) und zwischen 15 und 60 N (Ziehen) erreicht. Würde man für die Berechnung die Frequenzfaktoren aus DIN EN 1005-3 Tabelle 3 nicht bereichsweise übernehmen, sondern zwischen den Tabellenspalten interpolieren, so würden unter Best-case-Bedingungen ca. 60 N und unter Worst-case-Bedingungen ca. 20 N nicht unterschritten.

Abbildung 4-87:
Empfohlene Kraftgrenzen F_{BR} nach DIN EN 1005-3 (worst case)



Die in Tabelle 4-18 errechneten Frequenzen basieren – wie oben dargestellt – auf einer Servicedauer von 30 Minuten (30, 50 und 80 Manipulationen pro Flug) bzw. drei Stunden (360 Manipulationen). In Verbindung mit dem Zeitfaktor m_d bedeutet dies, dass die Modellrechnungen davon ausgehen, dass unter den in Tabelle 4-18 aufgeführten Frequenzen jeweils weniger als eine Stunde, ein bis zwei Stunden, oder aber zwei bis acht Stunden gearbeitet wird. Damit wird zumindest für den Fall zwei bis acht Stunden die Zahl der durchzuführenden Lastenmanipulationen als deutlich zu hoch abgeschätzt.



Berechnet man analog der Vorgehensweise in Abschnitt 4.7.2 die Frequenzfaktoren als Manipulationshäufigkeiten pro acht Stunden bzw. zwei Stunden, so ergeben sich – insbesondere bei Interpolation zwischen den Tabellenspalten – z. T. deutlich niedrigere Frequenzen (Tabellen 4-19 und 4-20) und somit höhere Frequenzfaktoren und damit höhere reduzierte Kapazitätsgrenzen F_{Br} (Abbildungen 4-88 und 4-89, siehe Seite 146).

Tabelle 4-19:
Frequenzfaktoren nach DIN EN 1005-3 auf der Zeitbasis von acht Stunden

| Manipulationen/Flug | Anzahl Flüge | Zeitdauer m_d | Frequenz [min^{-1}] | m_f |
|---------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-------|
| 30 | 1 | 8 h | 0,0625 | 1,00 |
| 30 | 4 | 8 h | 0,2500 | 0,92 |
| 50 | 1 | 8 h | 0,1042 | 1,00 |
| 50 | 4 | 8 h | 0,4167 | 0,89 |
| 80 | 1 | 8 h | 0,1666 | 0,98 |
| 80 | 4 | 8 h | 0,6660 | 0,85 |
| 360 | --- | 8 h | 0,7500 | 0,84 |

Tabelle 4-20:
Frequenzfaktoren nach DIN EN 1005-3 auf der Zeitbasis von ein bis zwei Stunden

| Manipulationen/Flug | Anzahl Flüge | Zeitdauer m_d | Frequenz [min^{-1}] | m_f |
|---------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-------|
| 30 | 1 | 2 h | 0,25 | 0,92 |
| 30 | 4 | 2 h | 1 | 0,81 |
| 50 | 1 | 2 h | 0,41666 | 0,89 |
| 50 | 4 | 2 h | 1,666 | 0,77 |
| 80 | 1 | 2 h | 0,666 | 0,85 |
| 80 | 4 | 2 h | 2,666 | 0,68 |
| 360 | --- | 3 h | 2 | 0,77 |



Abbildung 4-88:
Reduzierte Kapazitätsgrenzen nach DIN EN 1005-3 F_{Br} auf der Zeitbasis von acht Stunden

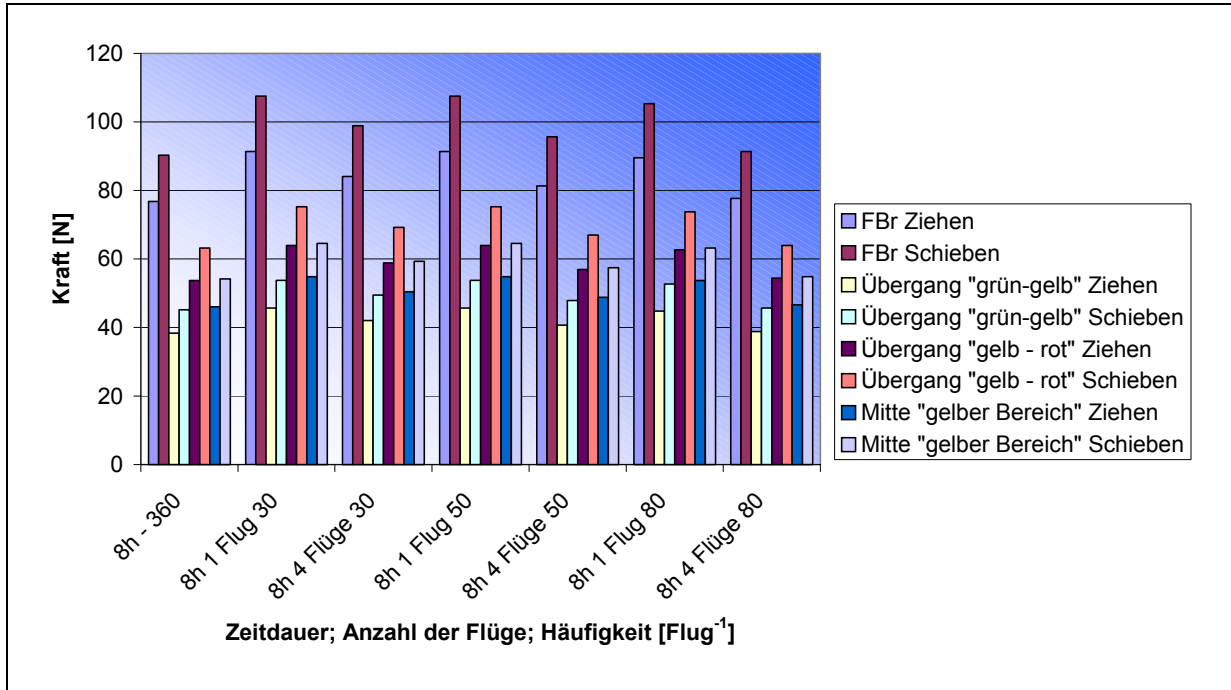
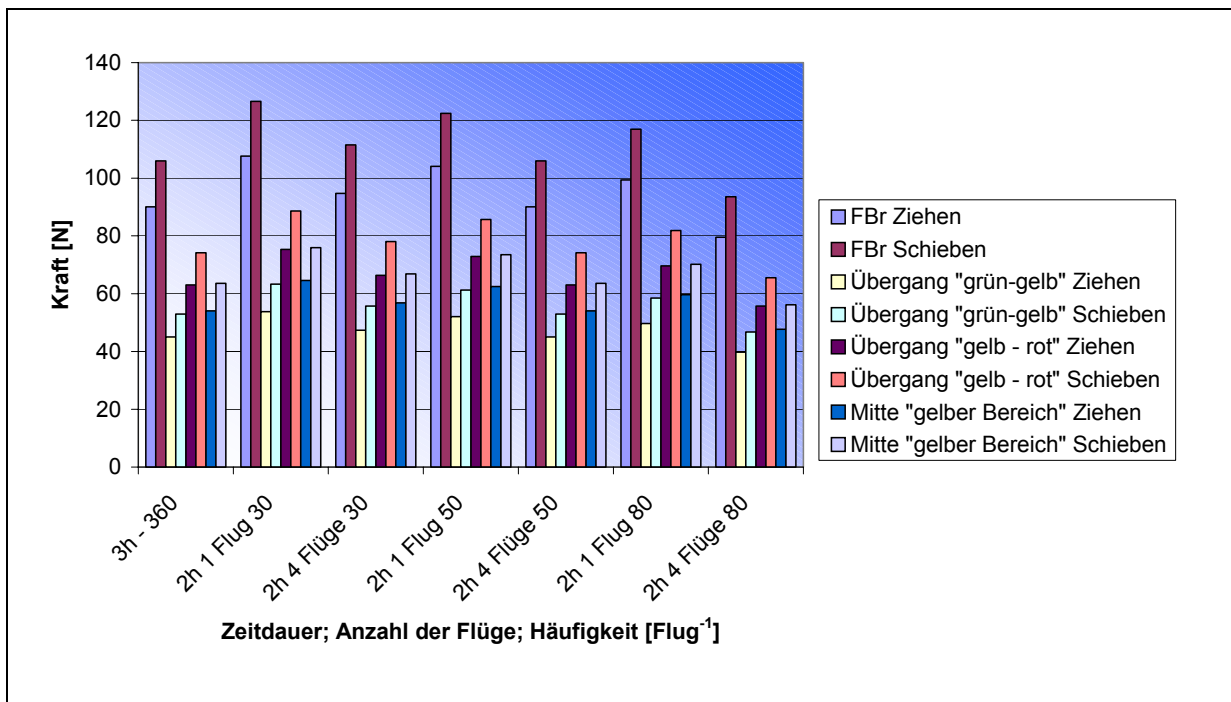


Abbildung 4-89:
Reduzierte Kapazitätsgrenzen F_{Br} nach DIN EN 1005-3 auf der Zeitbasis von zwei Stunden





Insbesondere bei den Berechnungen auf der realitätsnahen Zeitbasis ein bis zwei Stunden ergeben sich nun Kraftwerte in Höhe von ca. 90 bis 110 N für das Schieben und ca. 80 bis 90 N für das Ziehen. Dies liegt in einer vergleichbaren Größenordnung mit den Modellrechnungen in Abschnitt 4.7.3.

4.7.6 Modellrechnungen nach Arbeitspapier ISO/WD 11228-2

Für die folgenden Modellrechnungen wird wieder von 30, 50 und 80 Zug-/Schubmanipulationen pro Flug ausgegangen. Die Berechnungen erfolgen für einen bzw. vier Flüge pro Schicht (acht Stunden) sowie pro kumulierter Servicezeit (zwei Stunden). Die Modellrechnungen erfolgen gemäß ISO/WD 11228-2 Anhang B (Method 2: Specialized risk estimation and risk evaluation) auf der Basis der 15. Kraftperzentile der synthetischen LH- und LTU-Maximalkraftverteilungen für das Schieben von Trolleys. Sie werden für den Lastfall „Wegstrecke < 5 m“ durchgeführt.

Für das Ziehen von Trolleys wurde die maximale Zugkraft nach DIN 33411-5 Tabelle 9 (10. und 15. Kraftperzentil) mit 85 % der maximalen Schubkraft abgeschätzt.

Da sich ISO/WD 11228-2 von der Berechnungsphilosophie an DIN EN 1005-3 orientiert, enthält sie gegenwärtig in einem letzten Verfahrensschritt nochmals einen „Risikomultiplikator“. Dieser liegt bei 0,85 und sorgt dafür, dass das Verfahrensergebnis „gelb“ wird, wenn sich die aktuell aufzubringende Kraft näher als 15 % an die berechnete Kraftgrenze nähert. Die Kraftgrenzen berechnen sich aus dem Risikomultiplikator und der reduzierten Kapazitätsgrenze F_{Br} , die sich aus der isometrischen Maximalkraft F_B und den Multiplikatoren für Geschwindigkeit, Häufigkeit und Dauer ergeben.

Nach ISO/WD 11228-2 ergeben sich betätigungsfrequenzabhängige Kraftgrenzen (Übergang „grün-gelb“) von ca. 100 bis 110 N für das Schieben und ca. 90 bis 100 N für das Ziehen auf einer Zeitbasis von acht Stunden (Tabelle 4-21 und Abbildung 4-90, siehe Seite 148). Bei einer Betätigungszeit von ein bis zwei Stunden liegen die Kapazitätsgrenzen von ca. 90 bis 110 N für das Schieben und ca. 70 bis 100 N für das Ziehen (Tabelle 4-22 und Abbildung 4-91, siehe Seite 148).



Die Kraftgrenzen für den Übergang „gelb-rot“ liegen bei ca. 120 bis 130 N für das Schieben und ca. 100 bis 110 N für das Ziehen auf einer Zeitbasis von acht Stunden. Bei einer Betätigungszeit von ein bis zwei Stunden liegen die zugehörigen Werte zwischen ca. 100 und 130 N für das Schieben und ca. 90 und 110 N für das Ziehen.

Tabelle 4-21:
Frequenzfaktoren nach ISO/WD 11228-2 auf der Zeitbasis von acht Stunden

| Manipulationen/Flug | Anzahl Flüge | Zeitdauer m_d | Frequenz [min^{-1}] | m_f |
|---------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-------|
| 30 | 1 | 8 h | 0,0625 | 0,15 |
| 30 | 4 | 8 h | 0,25 | 0,16 |
| 50 | 1 | 8 h | 0,1041666 | 0,15 |
| 50 | 4 | 8 h | 0,41666 | 0,185 |
| 80 | 1 | 8 h | 0,1666 | 0,15 |
| 80 | 4 | 8 h | 0,666 | 0,225 |
| 360 | --- | 8 h | 0,75 | 0,23 |

Abbildung 4-90:
Kraftgrenzen nach ISO/WD 11228-2 auf der Zeitbasis von acht Stunden

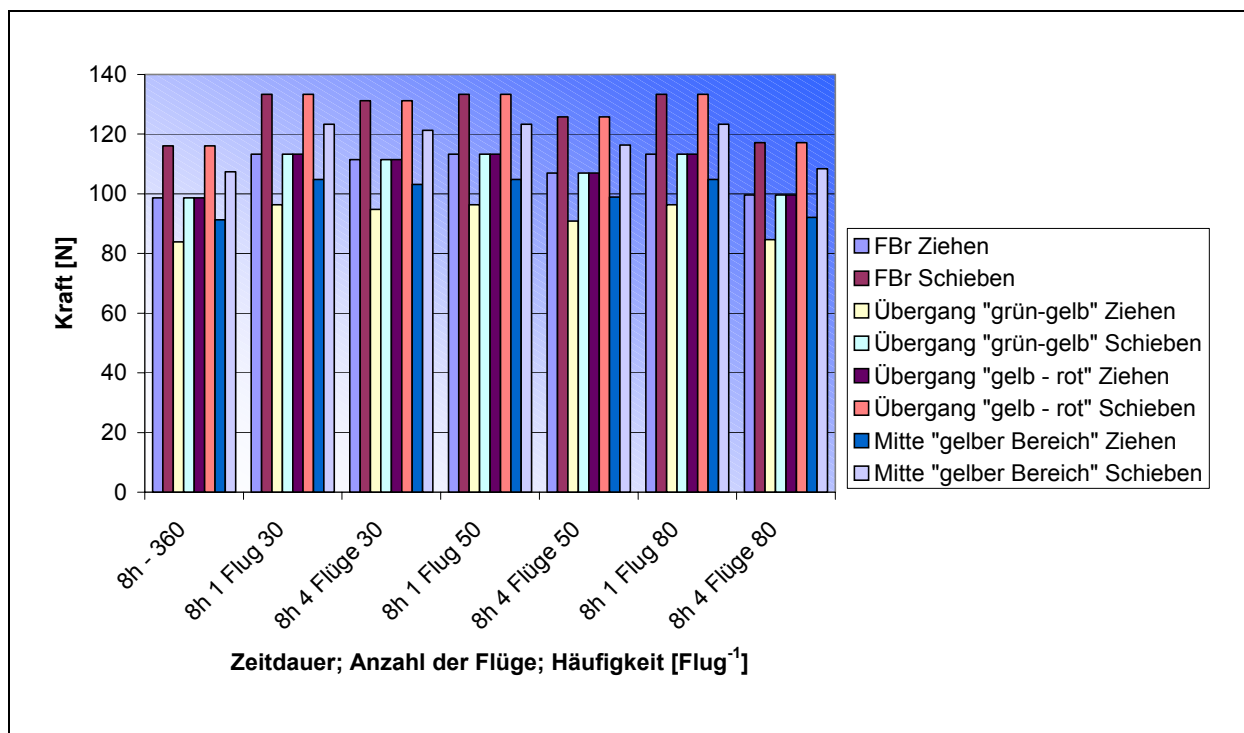




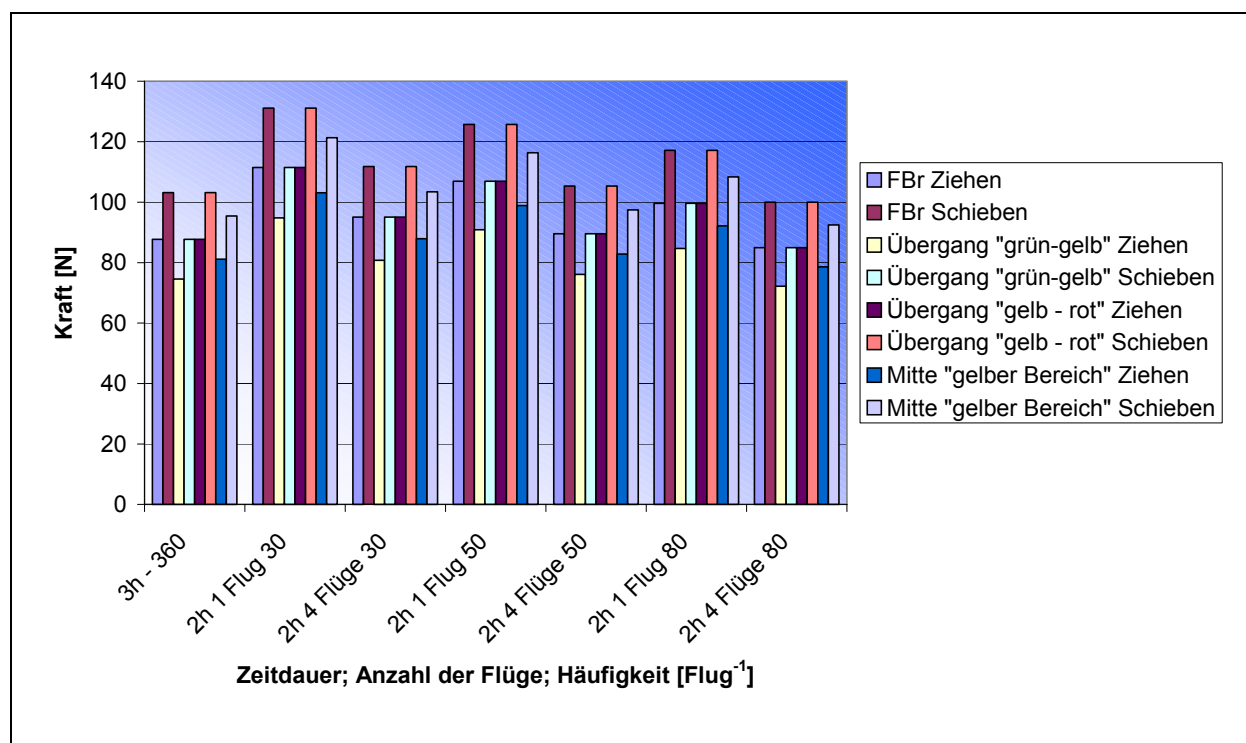
Tabelle 4-22:

Frequenzfaktoren nach ISO/WD 11228-2 auf der Zeitbasis von zwei Stunden

| Manipulationen / Flug | Anzahl Flüge | Zeitdauer m_d | Frequenz [min ⁻¹] | m_f |
|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|-------|
| 30 | 1 | 2 h | 0,25 | 0,16 |
| 30 | 4 | 2 h | 1 | 0,25 |
| 50 | 1 | 2 h | 0,41666 | 0,185 |
| 50 | 4 | 2 h | 1,666 | 0,28 |
| 80 | 1 | 2 h | 0,666 | 0,225 |
| 80 | 4 | 2 h | 2,666 | 0,305 |
| 360 | --- | 3 h | 2 | 0,29 |

Abbildung 4-91:

Kraftgrenzen nach ISO/WD 11228-2 auf der Zeitbasis von zwei Stunden





4.7.7 Modellrechnungen nach ISO/CD 11228-2

Den nachfolgenden Modellrechnungen liegen die gleichen Randbedingungen zugrunde (30, 50 und 80 Zug-/Schubmanipulationen pro Flug bei einem Flug bzw. vier Flügen pro Schicht (8 Stunden) und einer kumulierten Servicezeit von 2 Stunden). Die Ermittlung der betätigungsfrequenzabhängigen Kraftgrenzen erfolgt gemäß Anhang B mit nachfolgender Formel [44]:

$$F_R = m_r \times F_B (1 - m_d(d) - m_f(f))$$

mit

F_R = Risikobewertungskraft

F_B = isometrische Maximalkraft (215 N Schieben, 185 N Ziehen)

m_d = Wegstreckenmultiplikator

m_f = Häufigkeitsmultiplikator

m_r = Risikomultiplikator

Die Werte für Häufigkeits- und Risikomultiplikator können dem vorangegangenen Abschnitt entnommen werden.

Der Wegstreckenmultiplikator m_d wurde für eine durchschnittliche Wegstrecke von ca. 2,5 m pro Trolley-Zug-/Schubmanipulation gemäß ISO/CD 11228-2, Tabelle B.1.11 mit 0,122 (geschlechtlich gewichtet als 80 % Frauen und 20 % Männer) angenommen.

Die Berechnungen werden wiederum für eine Zeitbasis von zwei und acht Stunden durchgeführt. Bei den Modellrechnungen ergeben sich betätigungsabhängige Kraftgrenzen (Risikobewertungskraft als Übergang „grün-gelb“) von 110 bis 130 N für das Schieben und 90 bis 110 N für das Ziehen bei einer Zeitbasis von zwei Stunden. Bei einer Zeitbasis von acht Stunden ergeben sich geringfügig höhere Kraftwerte von 120 bis 130 N für das Schieben und 100 bis 110 N für das Ziehen (siehe Abbildungen 4-92 und 4-93, Seite 151).



Abbildung 4-92:

Risikobewertungskraft F_R nach ISO/CD 11228-2 auf einer Zeitbasis von acht Stunden

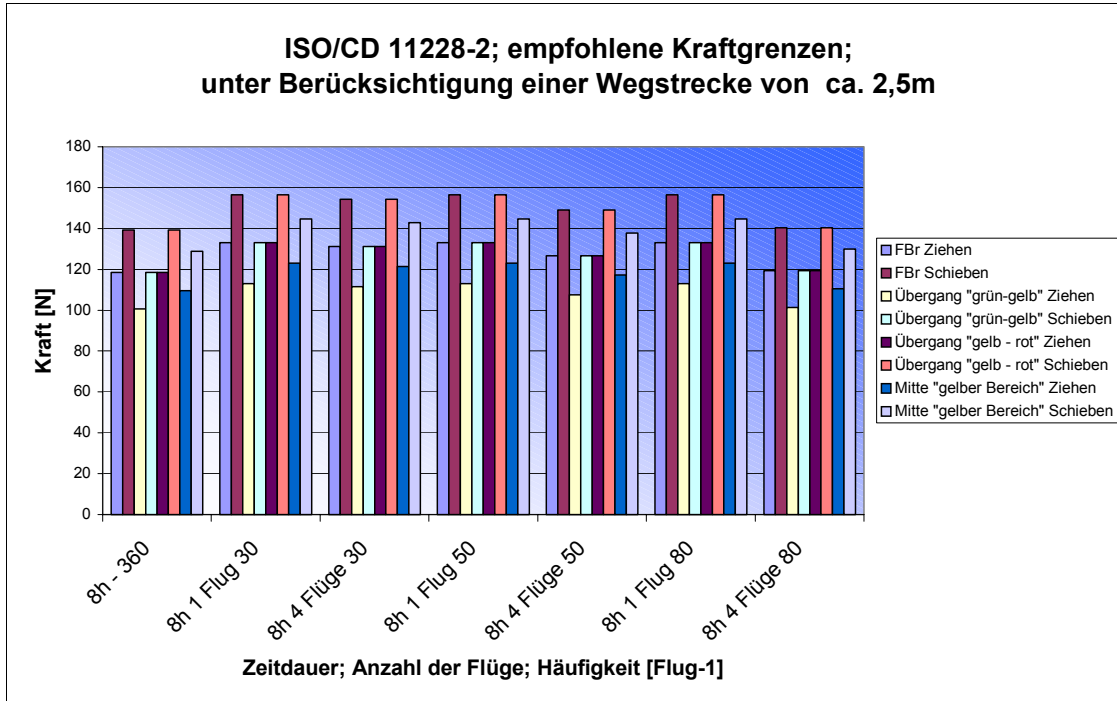
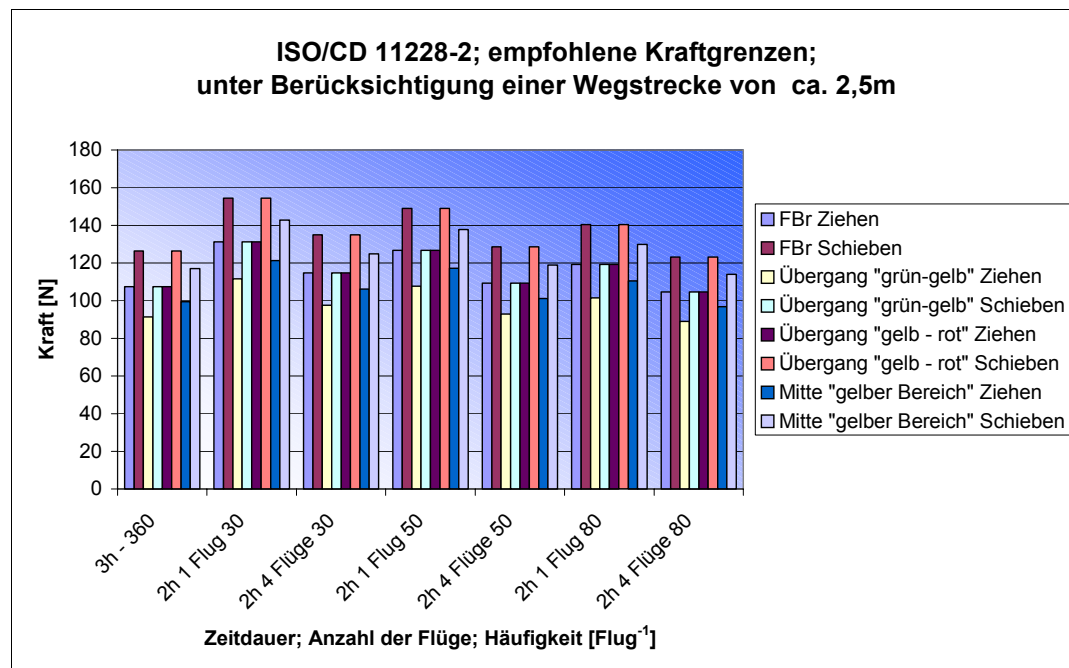


Abbildung 4-93:

Risikobewertungskraft F_R nach ISO/CD 11228-2 auf einer Zeitbasis von zwei Stunden





4.8 Bewertung der Modellrechnungen

4.8.1 Verfahren nach *Davis* und *Stubbs*

Die Untersuchungen von *Davis* und *Stubbs* zielen darauf ab, Belastungsgrenzen für verschiedene Formen von Kraftausübungen zu spezifizieren, bei deren Einhaltung Rückenbeschwerden nicht signifikant erhöht auftreten sollen. Da Rückenbeschwerden nicht nur muskulär ausgelöst werden können, sondern auch u. a. durch Gefügeveränderungen der Wirbelsäule und dadurch verursachte Affektionen des Nervengewebes und des umgebenden Weichteilmantels, scheint das Verfahren zur Ermittlung empfohlener Belastungsgrenzen hinsichtlich muskulärer Engpässe als nicht ausreichend geeignet. Es könnte jedoch für vergleichende Betrachtungen mit den in Kapitel 6 ermittelten Wirbelsäulenbelastungen herangezogen werden. Dabei sollte jedoch nicht auf die Originalwerte (an männlichen Probanden ermittelt), sondern vorzugsweise auf die für weibliche Kollektive abgeleiteten Werte (dann allerdings auf der Basis des Kriteriums Wirbelsäulenbelastung) zurückgegriffen werden.

Da die Wirkung des intraabdominalen Drucks in der Fachwelt kontrovers diskutiert wird, sollte dieses Verfahren bei der Ableitung von empfohlenen Belastungsgrenzen nicht weiter berücksichtigt werden.

4.8.2 Verfahren nach *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub*

Die von *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* erstellten Datensätze mit empfohlenen Belastungsgrenzen für unterschiedliche Arten von Lastenmanipulationen entstammen einer Literaturübersicht und basieren auf einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen [24]. Daten werden für männliche und weibliche Kollektive angegeben. Wegen des relativ geringen Anteils männlicher Flugbegleiter in den untersuchten Kollektiven LH und LTU wurden für die Vergleichsrechnungen die Daten für weibliche Probanden herangezogen. Das Verfahren berücksichtigt

- epidemiologische,
- biomechanische,



- physiologische und
- psychophysische

Bewertungsansätze.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass keiner der genannten Bewertungsansätze alleine in der Lage sei, „sichere“ Belastungsgrenzen zu garantieren, wurde versucht, die Belastungsgrenztabelle so zu erstellen, dass keines der genannten Bewertungskriterien verletzt wurde.

Für die Lastfälle des häufigen Ziehens und Schiebens gingen die Autoren davon aus, dass das biomechanische Bewertungskriterium nicht der begrenzende Faktor sei.

Diese Annahme widerspricht in Teilbereichen den Ergebnissen dieser Studie (siehe Kapitel 6), berührt jedoch nicht negativ die Aussagefähigkeit dieser Datenbasis im Hinblick auf muskuläre Bewertungsansätze.

Die Tabellen mit empfohlenen Kraftgrenzen, um Objekte in Bewegung zu setzen (initial forces) bzw. in Bewegung zu halten (sustained forces), leiten sich aus dem psychophysischen Bewertungsansatz ab, der dort korrigiert wurde, wo physiologische Gestaltungskriterien verletzt wurden. Da der physiologische Ansatz primär zentralphysiologisch orientiert ist und lokale Muskelbelastungen nur in Form der isometrischen Maximalkraft (maximum isometric force) berücksichtigt werden, ist er zur Bewertung muskulärer Engpässe nur bedingt geeignet. Die Tabellenwerte zielen auf die Engpässe von (Muskulatur und) Herz-Kreislauf-System ab und scheinen deshalb für die Bewertung des Schiebens und Ziehens von Trolleys geeignet; muskuläre Engpässe, die zu lokaler Muskelermüdung führen, würden jedoch nur bedingt Berücksichtigung finden.

Das Verfahren liefert empfohlene Kraftgrenzen für das Schieben und Ziehen von Trolleys im Bereich von 160 bis 205 N. Dies liegt im Extremfall nur um 10 N unterhalb des Maximalkraftniveaus für das 15. Kraftperzentil der synthetischen LH- und LTU-Verteilungen. Eine Berücksichtigung von zurückgelegter Wegstrecke und Manipulationshäufigkeit würde somit Maximalkraftreduktionen von nur knapp 5 % bedeuten. In

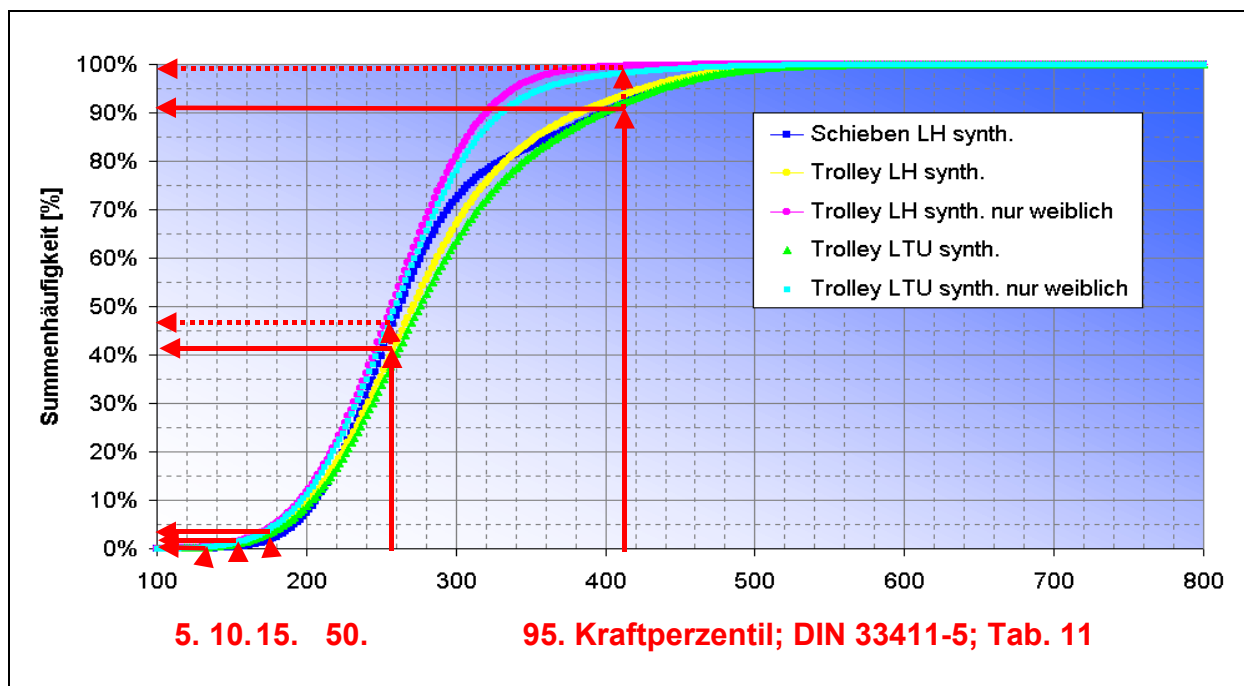


ISO/WD 11228-2, die Reduktionsfaktoren für Manipulationshäufigkeit und zurückgelegte Wegstrecke auf der Basis der Daten von *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* ermittelte, werden Reduktionsfaktoren von minimal 38 % für die vorliegenden Lastfälle vorgesehen! Auch die klassischen deutschen Bewertungsverfahren sehen für die Betätigungshäufigkeit Reduktionsfaktoren von minimal 20 % vor.

Aus den genannten Gründen scheinen die in dieser Quelle genannten empfohlenen Kraftgrenzen als überhöht. Ein Grund hierfür könnte in der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit der Kollektive „Flugbegleitpersonal“ und „weibliche industrielle Beschäftigte“ liegen, die den Untersuchungen von *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* zugrunde liegen. Vergleicht man rein weibliche synthetische LH- und LTU-Verteilungen mit den weiblichen gewerblichen Beschäftigten nach DIN 33411-5 (Tabelle 11), so fällt auf, dass ihr Maximalkraftniveau im Bereich hoher Kraftperzentile unter denen der rein weiblichen gewerblichen Beschäftigten liegt (Abbildung 4-94).

Abbildung 4-94:

Einordnung der synthetischen weiblichen Verteilungen in die Grundgesamtheit der weiblichen gewerblichen Beschäftigten, DIN 33411-5; Tabelle 11, Griffhöhe 1 350 mm [33]





Nur der 20-prozentige Anteil männlicher Flugbegleiter lässt das Gesamtkollektiv des Flugbegleitpersonals gegenüber den weiblichen gewerblichen Beschäftigten als „stärker“ erscheinen. Eine ähnliche Tendenz dürfte auch im Vergleich zu den amerikanischen gewerblichen Beschäftigten vorliegen.

Aus diesem Grunde sollten die Daten nach *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* für die Ermittlung von Belastungsgrenzen nicht angewendet werden, sondern nur im Sinne einer orientierenden Überblicksbewertung herangezogen werden.

4.8.3 Verfahren nach Siemens und Derivate

Das bei Siemens entwickelte Verfahren zur Ermittlung zulässiger Belastungsgrenzen für Kräfte, Drehmomente und Lastenmanipulationen wurde in modifizierter Form von mehreren Autoren (*Burandt*, *Schultetus*, VDI, REFA, *Bullinger*) publiziert. Die Verfahren gestatten eine geschlechtsspezifische Berechnung empfohlener Kraftgrenzen. Dabei wird zwischen männlichen und weiblichen Kollektiven unterschieden, gemischt geschlechtliche Kollektive mit unterschiedlicher Altersstruktur sind in diesen Verfahren nicht vorgesehen. Die Verfahren wurden für die Bewertung von Aktionskräften bei aufrechter Körperhaltung (in industriellen Fertigungen) entwickelt und nicht für das Ziehen und Schieben von Lasten über lange Strecken. Eine Anwendung dieser Verfahren für den Fall des Ziehens und Schiebens von Trolleys ist deshalb nur bedingt möglich.

Hier ist zunächst der Einfluss der Körperhaltung zu nennen. Bei frei wählbaren Körperhaltungen erhöht sich das Maximalkraftvermögen aufgrund verbesserter Haltungsstabilität substantiell [10], sodass das in den Verfahren hinterlegte Maximalkraftvermögen wohl zu konservativ abgeschätzt ist. Andererseits werden die Kräfte nicht gegen ein starres Stellteil aufgebracht, sondern gegen bewegliche Massen, sodass ein Ausüben von Maximalkräften im klassischen Sinne kaum möglich ist. Dies spräche dafür, niedrigere Maximalkräfte in den Berechnungsgang einfließen zu lassen.

Auch der zeitliche Ablauf der Kraftausübungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys während des Service entspricht nicht den Modellannahmen der genannten Verfahren. Vor dem Hintergrund industrieller Fertigung gehen die Verfahren davon aus, dass die



zu berücksichtigenden Krafftausübungen im Wesentlichen getaktet und damit relativ gleichmäßig über eine Schicht (oder Teile davon) ausgeübt werden. Beim Ziehen und Schieben von Trolleys während des Service finden die Krafftausübungen nur während der kurzen Servicezeit von ca. 30 Minuten statt. Die Modellrechnungen auf einer Zeitbasis von acht Stunden unterschätzen somit die Belastung. Bei einer angenommenen täglichen Arbeitszeit von acht Stunden und Modellrechnung für ein bis vier Flüge pro Schicht beträgt der Zeitraum der Krafftausübungen insgesamt nur 0,5 bzw. 2 Stunden (ein bzw. vier Flüge pro Schicht). Deshalb wurden die Modellrechnungen nochmals auf einer Zeitbasis von ein bis zwei Stunden (bzw. drei Stunden für „Vergleich 2000“) durchgeführt. Letztere Modellrechnungen überschätzen allerdings die Belastung, da sie beim Lastfall „Vier Flüge pro Schicht“ von einer kontinuierlichen Krafftausübung über einen zweistündigen Zeitraum hinweg ausgehen.

Da die beschriebenen Verfahren nur zwischen männlichen und weiblichen Kollektiven unterscheiden, wurden die Berechnungen sowohl mit den Originalkraftwerten (weibliche Kollektive) als auch auf der Basis einer maximalen Schubkraft von 215 N – dem 15. Kraftperzentil der LH-/LTU-Grundgesamtheit – durchgeführt. Dabei ergaben sich frequenzabhängig und bei einer Zeitbasis von acht Stunden Kraftgrenzen in einem Bereich von 70 bis 190 N nach den Originalverfahren und von 80 bis 170 N auf der Basis einer maximalen Schubkraft von 215 N. Auffällig ist die große Bandbreite der Ergebnisse. Die Ergebnisse gliedern sich dabei im Wesentlichen in zwei Cluster: die höheren Kraftwerte nach den Verfahren Siemens, *Schultetus* und VDI sowie die niedrigeren Kraftwerte nach *Burandt* und REFA und die etwas darunter liegenden Werte nach *Bullinger*. Die Verfahren nach *Burandt* und REFA liefern annähernd identische Ergebnisse; Ähnliches gilt für die Verfahren nach Siemens, *Schultetus* und VDI. Die Differenzen in den Ergebnissen sind umso erstaunlicher, da die genannten Verfahren (außer *Burandt*, bei dem die Zugkräfte größer sind als die Schubkräfte) die gleichen maximalen Schub- und Zugkräfte in ihren Berechnungen verwenden und auch der Einfluss von Alter und Geschlecht nur marginal variiert. Differenzen ergeben sich allerdings in den Nomogrammen zum Ablesen der Häufigkeitsfaktoren.



Die Abbildungen 4-95 bis 4-98 (siehe Seiten 157 bis 159) zeigen einen Ergebnisvergleich der berücksichtigten Verfahren auf der Zeitbasis von acht Stunden. Die Ergebnisse für die Zeitbasis ein bis zwei Stunden liegen in einer ähnlichen Größenordnung.

Abbildung 4-95:
Grenzkraftermittlung für Zugkräfte nach den Originalverfahren
(Zeitbasis: acht Stunden)

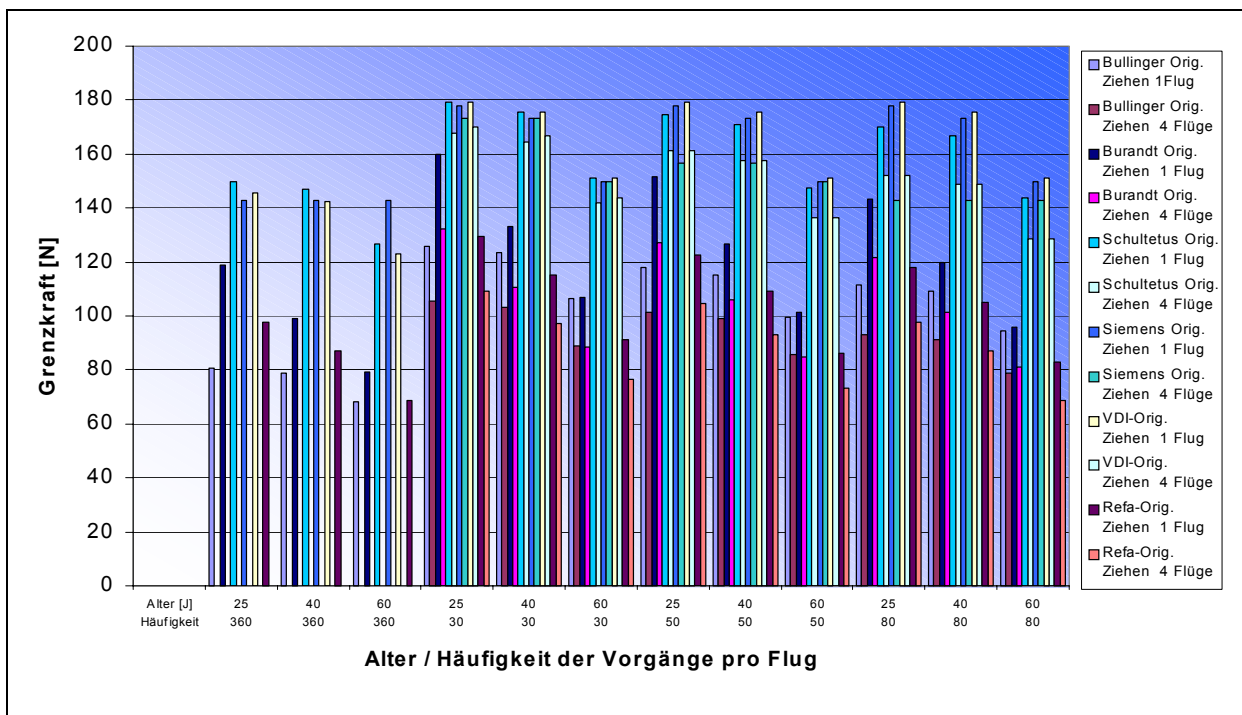




Abbildung 4-96:
Grenzkraftermittlung für Schubkräfte nach den Originalverfahren
(Zeitbasis: acht Stunden)

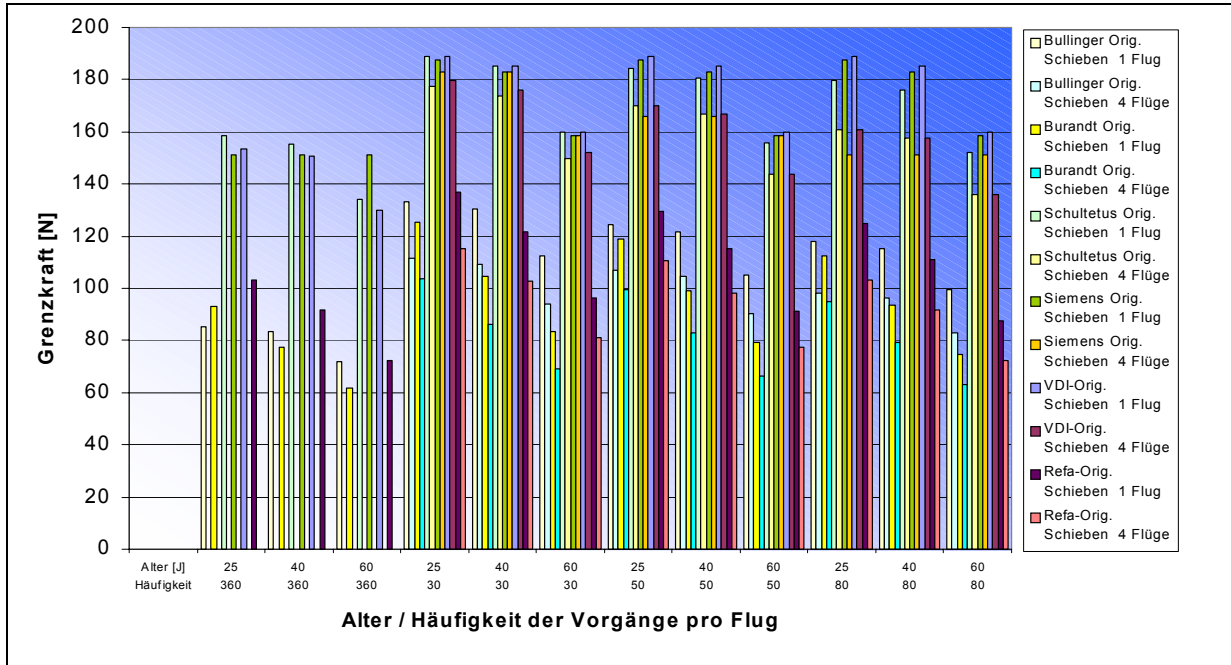


Abbildung 4-97:
Grenzkraftermittlung für Zugkräfte auf der Kraftbasis von 215 N
(Zeitbasis: acht Stunden)

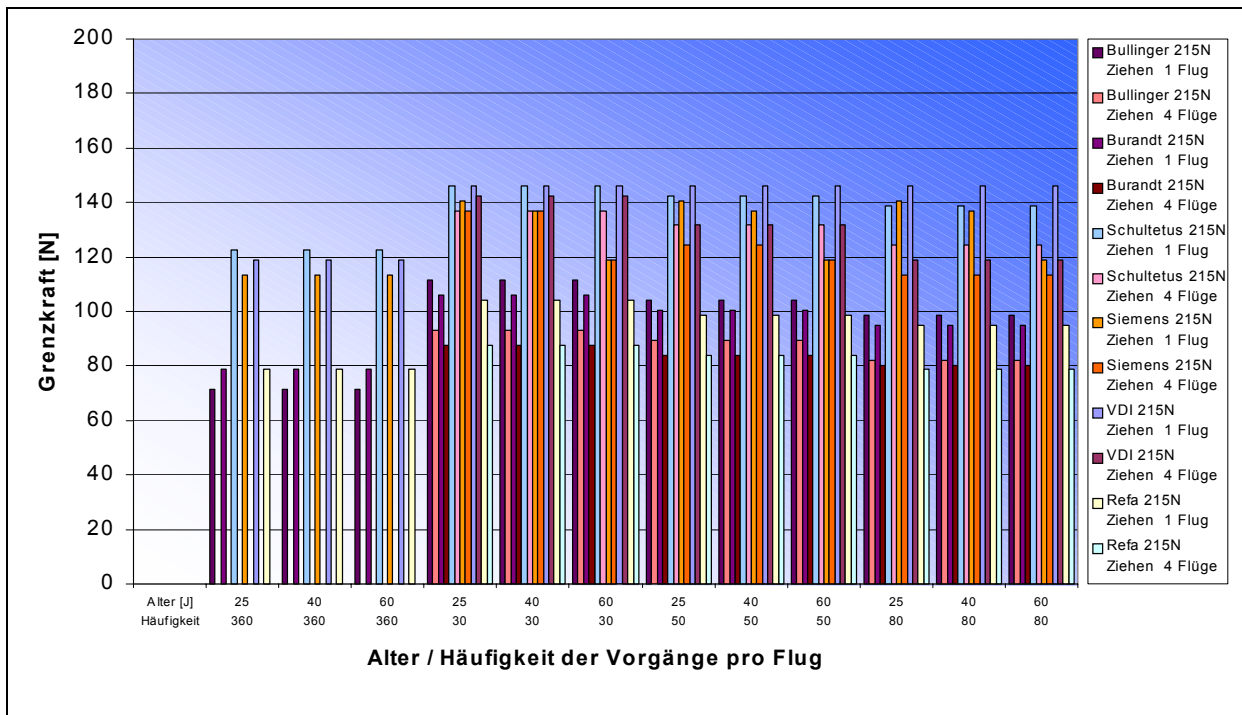
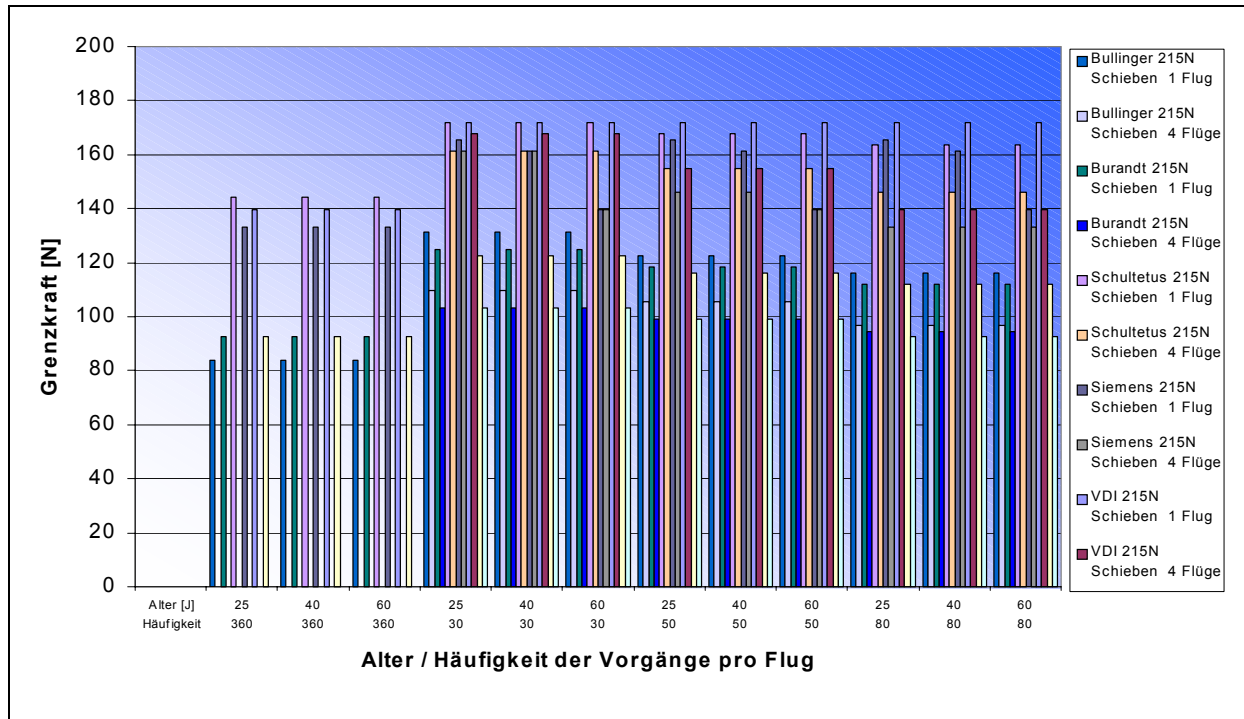




Abbildung 4-98:
Grenzkraftermittlung für Schubkräfte auf der Kraftbasis von 215 N
(Zeitbasis: acht Stunden)



4.8.4 Verfahren nach „Leitmerkmalmethode

Ziehen und Schieben (LMM-ZS)“

Die Leitmerkmalmethode Ziehen und Schieben wurde speziell für Lastenhandhabungen beim Ziehen und Schieben von Trolleys entwickelt. Sie könnte damit als eines der am besten geeigneten Bewertungsverfahren erscheinen. Einschränkend sei allerdings erwähnt, dass sich die Methode in der Entwicklung befindet und noch nicht abschließend validiert ist. Auch wäre die Methode aufgrund ihres Screening-Charakters nur bedingt geeignet, maximal empfohlene Trolley-Gewichte abzuleiten.

Die in den Ausführungsbedingungen beschriebenen Charakteristika der Lastenmanipulation z. B. Kopplungsbedingungen des Systems „Rad-Boden“ treffen den Lastfall „Ziehen und Schieben von Trolleys“ nur in ungenügender Weise, weshalb die Ergebnisse dieses Verfahrens bei der Ermittlung maximal empfohlener Belastungsgrenzen beim Ziehen und Schieben von Trolleys nicht weiter berücksichtigt werden sollten. Dies



gilt auch wegen der mangelnden Differenzierung der Lastgewicht (50 bis 100 kg). Im Umkehrschluss wäre es hilfreich und wünschenswert, wenn die im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse Eingang finden würden in eine überarbeitete Version der LMM-ZS.

Die Modellrechnungen wurden für weibliche Kollektive durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass sich bei einem mittleren Trolley-Gewicht von 75 kg und Neigungswinkeln von $> 5^\circ$ nie günstige („grüne“) Bedingungen einstellen. Günstige Bedingungen ergeben sich bei einem Neigungswinkel von bis zu 5° bei bis zu 30 Manipulationen pro Schicht. Bei einem Flug pro Schicht und 50 bzw. 80 Manipulationen pro Flug ergeben sich bei Neigungswinkel von bis zu 2° nach der LMM-ZS günstige Bedingungen. Bei vier Flügen pro Schicht ergeben sich günstige Bedingungen nur bei 30 und 50 Manipulationen pro Flug in der Ebene. Für den Lastfall „Vergleich 2000“ ergeben sich keine „grünen“ Situationen.

4.8.5 Verfahren nach DIN EN 1005-3

DIN EN 1005-3 [22] wurde als harmonisierte europäische Norm zur Konkretisierung der Maschinenrichtlinie entwickelt. Diese Norm dient der ergonomischen Risikobeurteilung von auszuübenden Aktionskräften an einer Maschine in einer frühen Konstruktionsphase. Da die Betriebsbedingungen zu einem frühen Konstruktionszeitpunkt noch nicht genau bekannt sind, wird die Risikobeurteilung u. a. mithilfe von Risikomultiplikatoren sehr konservativ durchgeführt.

Die empfohlenen Kraftgrenzen liegen sehr niedrig und sind deshalb für Planungsanalysen sinnvoll. Jedoch werden für Ist-Analysen unrealistisch niedrige Werte ermittelt, weshalb dieses Verfahren u. a. zur Beurteilung des Ziehens und Schiebens von Trolleys nicht in der Originalform herangezogen werden sollte. Aussagefähiger wären im vorliegenden Fall die reduzierten Kapazitätsgrenzen F_{Br} , die sich aus den maximalen isometrischen Aktionskräften unter Berücksichtigung von Betätigungsdauer, -häufigkeit und -geschwindigkeit ableiten. Sie böten auch den Vorteil, dass sie – im Gegensatz zu fast allen anderen Verfahren – Aussagen zu einer nach Alter und Geschlecht definierten Benutzergruppe ermöglichen.



Angewandt auf das 15. Kraftperzentil (gewerbliche Nutzung) ergeben sich frequenzabhängig reduzierte Kapazitätsgrenzen zwischen ca. 80 und 110 N bei einer Zeitbasis von acht Stunden sowie von 80 bis 130 N bei einer Zeitbasis von ein bis zwei Stunden.

4.8.6 Verfahren nach dem Arbeitspapier ISO/WD 11228-2

ISO/WD 11228-2 [16] wird derzeit zur körperhöhenunabhängigen Bewertung des Ziehens und Schiebens von Lasten entwickelt. Dabei sollen sowohl muskuläre als auch skelettale Engpässe betrachtet werden. Aufgrund seines Fokus erscheint dieser Normvorentwurf als das am besten geeignete Verfahren zur Bewertung des Ziehens und Schiebens von Trolleys.

ISO/WD 11228-2 liegt derzeit nur als erster Arbeitsgruppenentwurf vor. Modifikationen sind in Teilbereichen noch möglich. Für die Modellrechnungen wurde vom neuesten Stand ausgegangen, der in dieser Form in Kürze als Committee Draft erscheinen wird. Die Modellrechnungen beschränken sich auf den muskulären Bereich.

ISO/WD 11228-2 bietet den Vorteil – ebenso wie DIN EN 1005-3 – benutzergruppenorientiert zu arbeiten.

Die empfohlenen Kraftgrenzen nach diesem Arbeitspapier liegen bei ca. 90 bis 110 N bei einer Zeitbasis von acht Stunden sowie von ca. 70 bis 110 N bei einer Zeitbasis von zwei Stunden.

Lässt man die Risikomultiplikatoren unberücksichtigt, so ergeben sich Kraftgrenzen zwischen ca. 100 und 130 N auf der Zeitbasis von acht Stunden sowie von 90 bis 130 N auf einer Zeitbasis von zwei Stunden.

Experimentiert man mit diesem neuen Verfahren und lässt den Einfluss von Wegstrecke ($m_d = 0$) und Risikomultiplikator ($m_r = 1$) unberücksichtigt, so ergeben sich unabhängig von der gewählten Zeitbasis empfohlene Kraftgrenzen von ca. 140 bis 165 N. Dies entspricht in etwa den statischen Grenzkraften nach Siemens, *Schultetus* und VDI auf einer Kraftbasis von 215 N. Da die Trolleys während des Servicevorgangs jedoch immer bewegt werden, sollten diese erhöhten Werte keine Anwendung finden.



Sie helfen jedoch bei der Diskussion der Ergebnisunterschiede zwischen *Burandt*, REFA und *Bullinger* einerseits und Siemens, *Schultetus* und VDI andererseits.

4.8.7 Verfahren nach ISO/CD 11228-2

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, erscheint ISO/CD 12288-2 [44] nach der Annahme als Committee Draft als das Verfahren der Wahl zur Ermittlung empfohlener Kraftgrenzen bezüglich des Ziehens und Schieben von Trolleys.

Da die körperliche Belastung bei Berechnungen auf einer Zeitbasis von zwei Stunden eher überschätzt, bei einer Berechnung auf einer Zeitbasis von acht Stunden eher unterschätzt wird und die Ergebnisse nahe beieinander liegen, wird im Weiteren ein kombiniertes Ergebnis aus beiden Zeitbasen (maximale Wertebereiche) ermittelt.

4.9 Empfohlene maximale Aktionskräfte für das Ziehen und Schieben von Trolleys

Im folgenden Abschnitt werden die im Detail durchgeführten Modellrechnungen gemeinsam verglichen. In die nähere Betrachtung gingen die Modellrechnungen nach Abschnitt 4.8 ein. Der besseren Übersicht halber sind sie nochmals in Tabelle 4-23 (siehe Seite 163) zusammengestellt. Alle Werte beziehen sich auf weibliche Kollektive; ausgenommen die in DIN EN 1005-3 und ISO/WD 11228-2, die auf der Basis der synthetischen LH-/LTU-Verteilungen arbeiten. Alle Werte wurden auf Vielfache von 10 N gerundet.



Tabelle 4-23:
Zusammenstellung empfohlener Grenzkraften nach unterschiedlichen Verfahren

| Verfahren | Empfohlene Kraftgrenzen | | Zur Anwendung |
|--|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| | Ziehen [N] | Schieben [N] | |
| <i>Davis und Stubbs</i> ¹⁾ | 180 bis 230 | 110 bis 140 | Nicht empfohlen |
| <i>Mital, Nicholson, Ayoub</i> ²⁾ | 200 bis 240 | 160 bis 200 | Nicht empfohlen |
| <i>Burandt, REFA, Bullinger</i> ³⁾ | 70 bis 100 | 80 bis 130 | Bedingt empfohlen |
| <i>Siemens, Schultetus, VDI</i> ⁴⁾ | 90 bis 140 | 100 bis 170 | Nicht empfohlen |
| Leitmerkmalmethode Z/S ⁵⁾ | - | - | Nicht empfohlen |
| DIN EN 1005-3 ^{3) 6)} | 80 bis 110 | 90 bis 130 | Empfohlen |
| ISO/WD 11228-2 ^{3) 6)} (working draft) | 70 bis 110 | 90 bis 130 | Empfohlen, aber nicht mehr aktuell |
| ISO/CD 11228-2 ^{7) 8)} | 90 bis 110 | 110 bis 130 | Empfohlen als Ver- fahren der Wahl |

1) Auf Hüfthöhe, in Abhängigkeit vom Alter und einer Häufigkeit > 1/min..

2) 10-25. Kraftperzentil. Griffhöhe 0,89 m. Wegstrecke 2,1 m.

3) Kraftbasis 215 N (15. Kraftperzentil "Flugbegleitpersonal"). Berechnungen für 1 Flug (30, 50, 80 Manipulationen pro 2 h) und 4 Flüge (120, 200, 320 Manipulationen pro 2 h).

4) Berechnungen nur auf Basis *Siemens-Verfahren*, da Verfahren nach *Schultetus* und VDI nur auf der Zeitbasis 8 h arbeiten.

5) Liefert keine Grenzkraften, sondern Risikobereiche

6) Ergebnisse auf der Basis von „reduzierten Kapazitätsgrenzen“ F_{Br} [16]

7) Kraftbasis 215 N (15. Kraftperzentil „Flugbegleiter“). Berechnungen für 1 Flug (30, 50, 80 Manipulationen pro 2 h und 8 h) und 4 Flüge (120, 200, 320 Manipulationen pro 2 h und 8 h).

8) Ergebnisse auf der Basis der „Risikobewertungskraft“ (safety limit) F_R [44]

4.9.1 Vergleichende Bewertung der durchgeführten Modellrechnungen

Vergleicht man die mit verschiedenen Bewertungsverfahren durchgeführten Modellrechnungen, so erschien zu Redaktionsschluss das Verfahren nach dem internen Arbeitspapier zu ISO/WD 11228-2 aufgrund seiner Konzeption und seines Datenhintergrundes als die Methode der Wahl zur Beurteilung des Schiebens und Ziehens von Trolleys. Da das Verfahren jedoch noch nicht öffentlich verfügbar und damit auch



nicht zitierbar und für die Adressaten des vorliegenden Berichtes nicht nachvollziehbar war, bot sich eine Ableitung von maximal empfohlenen Aktionskräften für das Schieben und Ziehen von Trolleys auf der Basis der reduzierten Kapazitätsgrenzen (F_{Br}) in Anlehnung an DIN EN 1005-3 an. Dieses Verfahren kommt der Philosophie des ISO-Entwurfes am nächsten, da es die Möglichkeit bietet, ein beabsichtigtes Nutzerkollektiv (Zusammensetzung nach Alter und Geschlecht) zu definieren und für dieses Kollektiv ermittelte und angepasste Kraftdaten (15. Perzentil der maximalen Trolley-Schubkraft der synthetischen LH-/LTU-Grundgesamtheit des Flugbegleitpersonals) im Sinne der Ermittlung maximal empfohlener Aktionskräfte anzuwenden.

Nach dem Erscheinen von ISO/CD 11228-2 als Committee Draft [44] ist dieser Entwurf nun öffentlich verfügbar und zitierbar und erscheint als das Verfahren der Wahl zur Ableitung von empfohlenen Kraftgrenzen für das Ziehen und Schieben von Trolleys.

Auch sei abschließend noch auf die Verfahren nach *Burandt*, REFA und *Bullinger* verwiesen, deren Anwendung zu Ergebnissen in der gleichen Größenordnung wie DIN EN 1005-3 (reduzierte Kapazitätsgrenzen) und ISO/WD 11228-2 (internes Arbeitspapier) führen.

Im Hinblick auf die Anmerkungen zu den Verfahren nach Siemens, *Schultetus* und VDI (siehe Abschnitt 4.8.3) sollten diese Verfahren bei den weiteren Diskussionen eine untergeordnete Rolle spielen.

4.9.2 Empfehlungen für maximal an Trolleys auszuübende Aktionskräfte

Empfehlungen für maximal an Trolleys auszuübende Aktionskräfte lassen sich in häufigkeitsabhängige und häufigkeitsunabhängige Kraftausübungsfälle unterscheiden. Überschreitet die für das Ziehen oder Schieben von Trolleys erforderliche Aktionskraft den Maximalkraftwert des 15. Perzentils von Flugbegleitpersonal (215 N für Schieben; 185 N für Ziehen), so ist dies in jedem Fall – unabhängig von der Betätigungshäufigkeit – als „kritisch, Maßnahmen erforderlich“ (dunkelgrau) anzusehen.



In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Kraftausübungen reduziert sich die als maximal zu akzeptierende Aktionskraft. Die Ableitung von häufigkeitsabhängigen teilweise „kritisch, Maßnahmen empfohlen“ (hellgrau) und stets akzeptablen (weißen) Wertebereichen geschieht unter Berücksichtigung der in den vorigen Kapiteln durchgeführten Modellrechnungen.

In Abwägung der zur Anwendung empfohlenen Bewertungsverfahren und der daraus ermittelten Kraftwerte ergeben sich für das Schieben und Ziehen von Trolleys – unter Berücksichtigung der zugrunde gelegten Manipulationshäufigkeiten – empfohlene maximale Aktionskräfte von ca. 90 bis 110 N für das Ziehen und 110 bis 130 N für das Schieben.

Überschreiten die für eine Trolley-Handhabung erforderlichen Aktionskräfte diese Wertebereiche, so ergeben sich oberhalb von ihnen teilweise kritische „hellgraue“ Bereiche, die sich bis zu den Maximalkraftwerten des 15. Kraftperzentils des Flugbegleitpersonals (Grenze hellgrau – dunkelgrau) erstrecken.

Das für die Ableitung von empfohlenen Kraftgrenzen gewählte Verfahren (ISO/CD 11228-2) liefert aufgrund der gewählten Randbedingungen konservativ abgeschätzte Werte.

Randbedingungen:

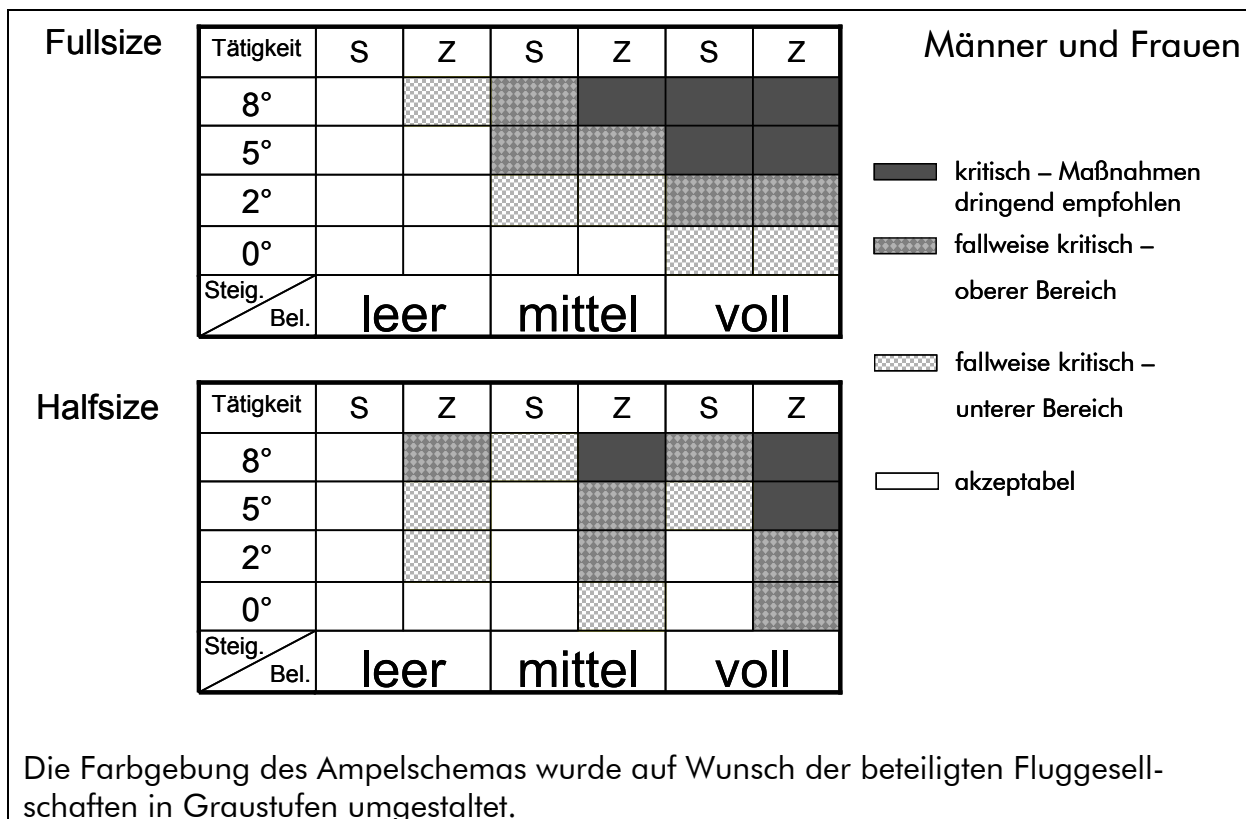
- Das Gewicht der Trolley-Zuladungen verringert sich mit fortschreitendem Service nicht.
- Der Neigungswinkel bleibt – insbesondere während der höher belastenden Servicephase zu Flugbeginn – konstant und verringert sich nicht.
- Der komplette Service findet – bei einer Zeitbasis von zwei Stunden – während einer zusammenhängenden zweistündigen Phase statt (und nicht in vier Phasen über eine Schicht (acht Stunden) verteilt).
- Die Anzahl der Zieh- und Schiebevorgänge beträgt max. 320 Kraftausübungen pro Schicht.



Zur Definition der Grenze „weiß-hellgrau“ werden aus diesem Grunde die oberen Endwerte der Kraftbereiche (110 N für Ziehen; 130 N für Schieben; „Risikobewertungskraft“ als Übergang „grün-gelb“ (siehe Abschnitte 4.7.7. und 4.9) herangezogen.

Da der „graue“ Bereich oft mehrere Steigungen umfasst, wird er in einen „unteren grauen“ (weiß-grau) und einen „oberen grauen“ (grau-dunkelgrau) Bereich unterschieden. Abhängig von der Betätigungshäufigkeit wird der „untere graue“ Bereich künftig als „Langstreckenflug“ (geringe Betätigungshäufigkeit), der „obere graue“ Bereich als „Kurzstreckenflug“ (höhere Betätigungshäufigkeit) bezeichnet. Die Grenze zwischen „oberen“ und „unterem grauen“ Bereich liegt dabei in der Bereichsmitte zwischen „weiß“ und „dunkelgrau“ (148 N für Ziehen und 173 N für Schieben (Abbildung 4-99)).

Abbildung 4-99:
Empfehlungen zu Trolley-Handhabungen aufgrund körperlicher Leistungsfähigkeit und Betätigungshäufigkeit





Bei „Langstreckenflügen“ wird von einer geringen Betätigungsfrequenz ausgegangen. In diesem Fall wird der „weiß-graue“ Bereich als akzeptabel (weiß) angesehen, der „grau-dunkelgraue“ als fallweise kritisch (hellgrau), Maßnahmen empfohlen. Der dunkelgraue Bereich „Kritische, Maßnahmen erforderlich“ bleibt bestehen (Abbildung 4-100).

Abbildung 4-100:
Empfehlungen zur Trolley-Handhabung bei Langstreckenflügen

| Fullsize | | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | Männer und Frauen |
|----------|----------------|-----------|-------------|---|---------------|---|-------------|---|-------------------|
| | 8° | | | | | | | | |
| | 5° | | | | | | | | |
| | 2° | | | | | | | | |
| | 0° | | | | | | | | |
| | Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |
| Halfsize | | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | |
| | 8° | | | | | | | | |
| | 5° | | | | | | | | |
| | 2° | | | | | | | | |
| | 0° | | | | | | | | |
| | Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |

Bei Kurzstreckenflügen (Abbildung 4-101, Seite 168) wird aufgrund der erhöhten Betätigungshäufigkeit zusätzlich zum bereits bestehenden „dunkelgrauen“ Bereich auch der „obere graue“ (grau-dunkelgrau) Bereich aus Abbildung 4-99 als kritisch, Maßnahmen erforderlich angesehen; der „untere graue“ Bereich erscheint nun als fallweise kritisch (hellgrau). Der akzeptable „weiße“ Bereich bleibt bestehen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass mit den durchgeführten Modellrechnungen nur das Ziehen und Schieben von Trolleys im Gang betrachtet wird, andere körperliche Belastungen beim Service (z. B. Austeilen und Einsammeln der Tablett) aber



unberücksichtigt bleiben. Da auch das Austeilen und Einsammeln der Tablettts selbst grenzwertige Belastungssituationen ergeben [45], sollte eine Abschätzung maximaler Trolley-Gewichte oder maximaler Neigungswinkel konservativ erfolgen, zumal Arbeiten mit dem Trolley und andere Tätigkeiten wie Tablettmanipulationen zum Teil gleiche Muskelgruppen belasten.

Abbildung 4-101:
Empfehlungen zur Trolley-Handhabung bei Kurzstreckenflügen

| Fullsize | | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | Männer und Frauen |
|----------|----------------|-----------|-------------|---|---------------|---|-------------|---|-------------------|
| | 8° | | | | | | | | |
| | 5° | | | | | | | | |
| | 2° | | | | | | | | |
| | 0° | | | | | | | | |
| | Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |

| Halfsize | | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | Männer und Frauen |
|----------|----------------|-----------|-------------|---|---------------|---|-------------|---|-------------------|
| | 8° | | | | | | | | |
| | 5° | | | | | | | | |
| | 2° | | | | | | | | |
| | 0° | | | | | | | | |
| | Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |

4.10 Literatur

[1] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (Arbeitsschutz-Rahmen-RL). ABl. EG Nr. L 183 (1989), S. 1-8

[2] Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA): Arbeitsplatz – Neue Regelungen für Sicherheit und Gesundheitsschutz. Roco Druck, Wolfenbüttel 1997



- [3] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen (EU-Maschinenrichtlinie). ABl. EG (1998) Nr. L 207, S.1-46
- [4] Richtlinie 91/383/EWG des Rates vom 25. Juni 1991 zur Ergänzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes von Arbeitnehmern mit befristetem Arbeitsverhältnis oder Leiharbeitsverhältnis. ABl. EG (1991) Nr. L 206, S. 19-21
- [5] Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten und Tragen.
<http://www.baua.de/prax/lasten/lasten01.htm>
- [6] DIN EN 614: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Leitsätze. Teile 1 (4/95) und 2 (10/00). Beuth, Berlin 1995 und 2000
- [7] DIN EN 1050: Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung (01/97). Beuth, Berlin 1997
- [8] DIN EN 1005: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung. Teil 1: Begriffe (02/02); Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen (09/03); Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung (05/02); Teil 4 (Norm-Entwurf): Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen (05/02); Teil 5: Risikobewertung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen (08/03). Beuth, Berlin 2002 und 2003
- [9] *Schaub, K.; Bookcock, M.; Greve, R.; Kapitaniak, B.; Ringelberg, A.*: The implementation of risk assessment models for musculoskeletal disorders in CEN standards. In: *Søgaard, G.; Fallentin, N.* (Hrsg.): Proceedings of the symposium "Risk assessment for musculoskeletal disorders". Nordic Satellite Symposium under the auspices of ICOH '96, Copenhagen, Denmark 13 - 14 September 1996, S. 73-74
- [10] *Schaub, K.; Berg, K.; Wakula, J.*: Postural and workplace related influences on maximal force capacities. In: IEA '97 (Ed.): From Experience to Innovation. Vol. 4, the



13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, Finland, 29 June - 4 July 1997, S. 219-221

[11] *Steinberg, U.; Behrendt, S.; Bradl, I.; Caffier, G.; Gebhardt, Hj.; Liebers, F.; Müller, B. H.; Schäfer, A.; Schlicker, M.; Schulze, J.*: Erprobung und Evaluierung des Leitfadens Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 897. Wirtschaftsverlag NW, Berlin 2000

[12] Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben.
<http://www.baua.de/prax/lasten/lasten01.htm>

[13] *Schaub, K.; Storz, W.; Landau, K.*: Nachhaltige Risikobeurteilung von Montageprozessen in der Automobilindustrie. In: *Landau, K.; Luczak, H.* (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. Carl Hanser, München 2001

[14] *Schaub, K.*: Evaluation of physical workload by means of IAD-BkA. Lecture on the occasion of the 2nd International Conference on Occupational Risk Prevention, 20-22 Februar 2002, Gran Canaria Island

[15] *Schaub, K.; Winter, G.*: Design-Check: ein Screeningverfahren zur Beurteilung körperlicher Belastungen. *Der Orthopäde* 31 (2002) Nr. 10, S. 987-996

[16] ISO/WD 11228-2: Ergonomics – Manual handling – Part 2: Pushing and pulling (2002)

[17] *Kupfer, J.; Ellegast, R.; Ottersbach, H. J.*: Untersuchung der Belastung von Flugbegleiter(innen) beim Schieben von Service-Containern. Untersuchungsbericht Nr. 199922880. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 2000

[18] *Jäger, M.; Jordan, C.; Luttmann, A.; Dettmer, U.; Bongwald, O.*: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie: Ermittlung der Belastung der Wirbelsäule bei ausgewählten beruflichen Tätigkeiten. Wissenschaftlicher Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 1998



- [19] *Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Luttmann, A.*: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2: Ermittlung und Beurteilung vergleichbarer Teiltätigkeiten hinsichtlich der Körperhaltung und der Wirbelsäulenbelastung bei verschiedenen beruflichen Tätigkeiten. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 2001, S. 196-206
- [20] *Spitzer, H.; Hettinger, Th.; Kaminsky, G.*: Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit. 6. Aufl. Beuth, Berlin 1982
- [21] *Schultetus, W.; Lange, W.; Doerken, W.* (Hrsg.): Praxis der Ergonomie – Montagegestaltung. TÜV Rheinland, Köln 1987
- [22] DIN EN 1005-3: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung (05/02). Beuth, Berlin 2002
- [23] *Rohmert, W.*: Statische Haltearbeit des Menschen. Beuth, Berlin 1960
- [24] *Mital, A.; Nicholson, A. S.; Ayoub, M. M.*: A Guide to Manual Materials Handling. Taylor & Francis, London 1993
- [25] *Schaub, K.*: Biomechanical modelling of maximal static action forces of the hand-arm system. In: *Mital, A.; Krueger, H.; Kumar, J.; Menozzi, M.; Fernandez, J.* (Hrsg.): Advances in occupational ergonomics and safety I, Vol. 2. Proceedings of the XIth Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference held in Zurich, Switzerland, 8-11 July 1996. International Society for Occupational Ergonomics and Safety. Cincinnati, Ohio, USA, S. 442-447
- [26] DIN 33411-5: Körperkräfte des Menschen – Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte (11/99). Beuth, Berlin 1999
- [27] *Rühmann, H.; Schmidtke, H.*: Körperkräfte des Menschen. Dokumentation Arbeitswissenschaft Bd. 31. O. Schmidt, Köln 1992
- [28] *Rohmert, W.*: Umdruck zur Vorlesung. Arbeitswissenschaft I. 19. Aktualisierte Ausgabe. Darmstadt 1991 (unveröffentlicht)



- [29] Ermitteln zulässiger Grenzwerte für Kräfte und Drehmomente. Firmeninterne Schulungsunterlage zur Arbeitsgestaltung. Hrsg.: Siemens, 1978
- [30] *Bullinger, H.-J.; Ilg, R.; Schmauder, M.:* Ergonomie – Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Täubner, Stuttgart 1994
- [31] Handhaben von Lasten. Seminarunterlage. Hrsg.: REFA-Fachausschuss Chemie, Darmstadt 1987
- [32] Handbuch der Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI Verlag, Düsseldorf 1980
- [33] DIN 33411-5: Körperkräfte des Menschen – Maximale statische Aktionskräfte – Werte (11/99). Beuth, Berlin 1999
- [34] *Davis, P. R.; Stubbs, D. A.:* Safe levels of manual forces for young males (3). *Appl. Ergonomics* 9 (1978) Nr. 1, S. 33-38
- [35] Leitfaden Ergonomische Gemeinschaftsaktion Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl. Hrsg.: Sekretariat der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl, 1980
- [36] *Bartelink, D. L.:* The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. *J. Bone Joint Surg.* 39 (1957) Nr. 4, S. 718-725
- [37] *McGill, S. M.; Norman, R. M.:* Reassessment of the role of intraabdominal pressure in spinal compression. *Ergonomics* 30 (1987) Nr. 11, S. 1565-1588
- [38] *Burandt, U.:* Ergonomie für Design und Entwicklung. O. Schmidt, Köln 1978
- [39] Arbeitsgestaltung in der Produktion. Hrsg.: REFA. Carl Hanser, München 1993
- [40] Ermittlung von Grenzkraften. Firmeninterne Unterlage von Mercedes Benz (unveröffentlicht)



- [41] Arbeitshilfen für die ergonomische Gestaltung. Hrsg.: Robert Bosch. 3. Aufl., 1986
- [42] Eur 12, Europa der 12 – Erhebung über Arbeitskräfte. Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1993
- [43] *Rohmert, W.; Berg, K.; Bruder, R.; Schaub, Kh.*: Kräfteatlas. Datenauswertung statischer Aktionskräfte, Teil 1-3. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1994
- [44] ISO/CD 11228-2: Ergonomics – Manual handling – Part 2: Pushing and pulling (2003)
- [45] *Rohmert, W.; Schaub, K.; Wakula, J.*: Belastung und Beanspruchung von Ser-viertätigkeiten bei Flugbegleitern. Interner Abschlussbericht für die Deutsche Lufthansa. Darmstadt 1995



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 Flugzeughodennachbildung
- 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

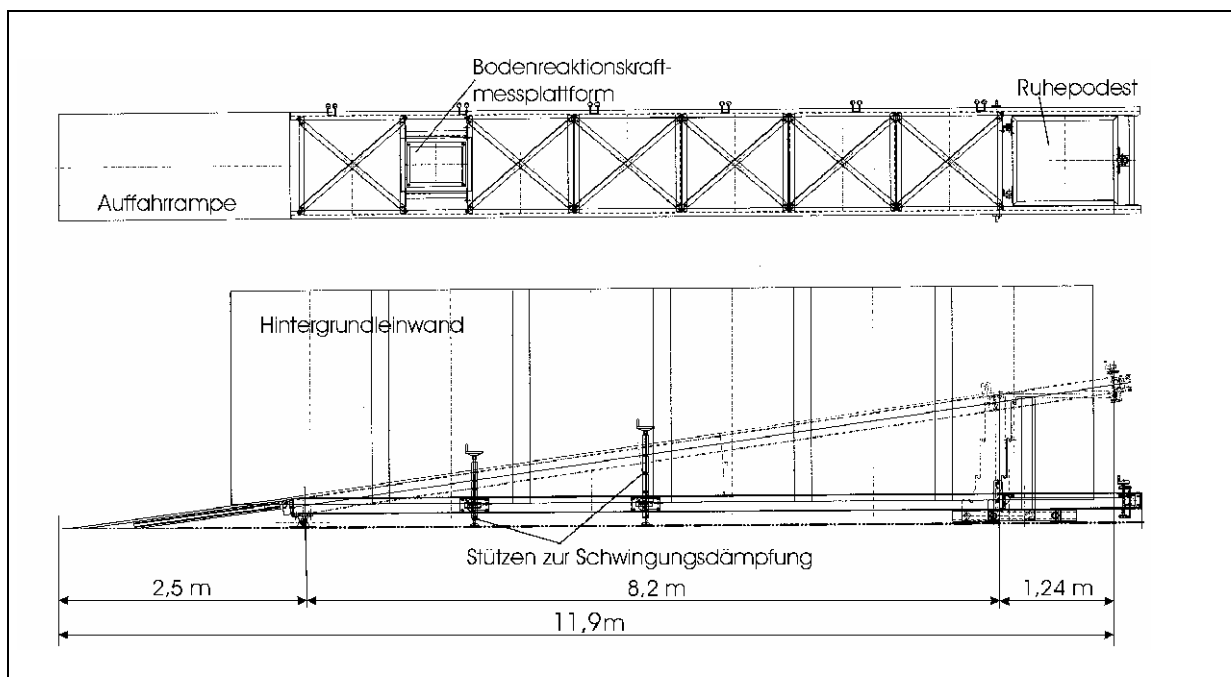
Die Recherche der Arbeitsbedingungen für das Servieren mit Trolleys hatte ergeben, dass die Flugzeugneigung beim Service in der Regel höchstens bis etwa 5° beträgt. In



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 | -- | -- | | | | | |

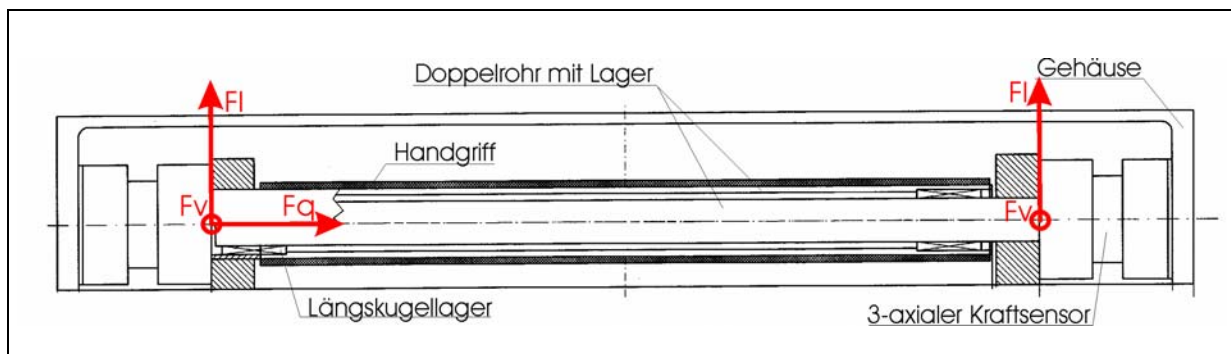
| Geometrie der Rollen des Fullsize-Trolleys | | | | | | | Geometrie der Rollen des Halfsize-Trolleys | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|----|-----|-----|--|----|-----|-----|----|-----|-----|
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Maße in mm | A | D | E | F | B | L | Maße in mm | 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.

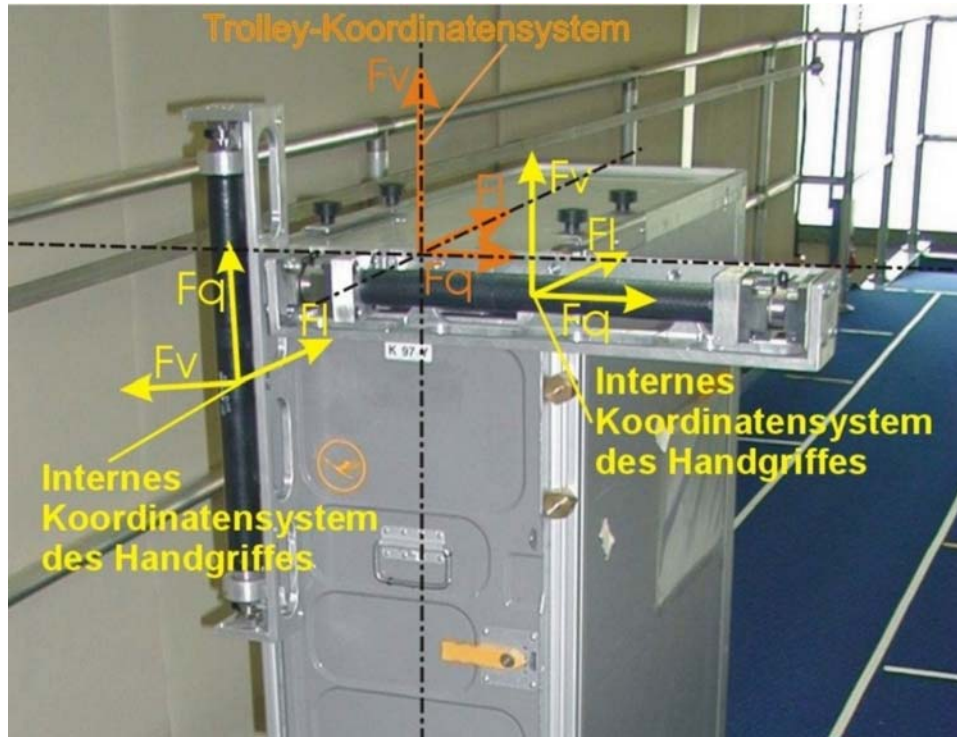
Zwischen den Flanschplatten der Rohrenden und den inneren Flächen der Gehäuseböden wurde auf jeder Seite eine dreiaxiale Kraftmesszelle montiert. Es wurden piezoelektrische Sensoren der Fa. Kistler-Instrumente eingesetzt. Die Planparallelität der Montageflächen lag innerhalb der diesbezüglichen Spezifikationsdaten 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



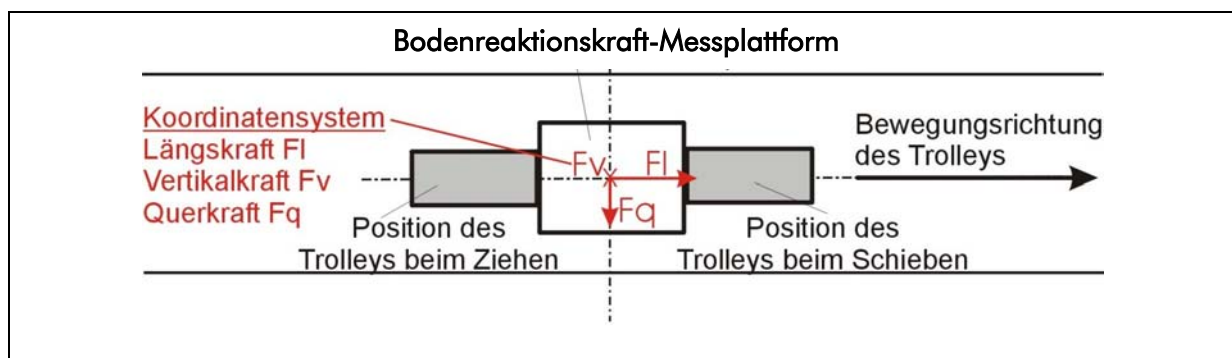
Abtastfrequenz pro Kanal betrug 50 Hz. Das Kraftmesssystem wurde zentral mit allen anderen Messsystemen getriggert. Die gesamte Messzeit betrug 45 Sekunden.

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.

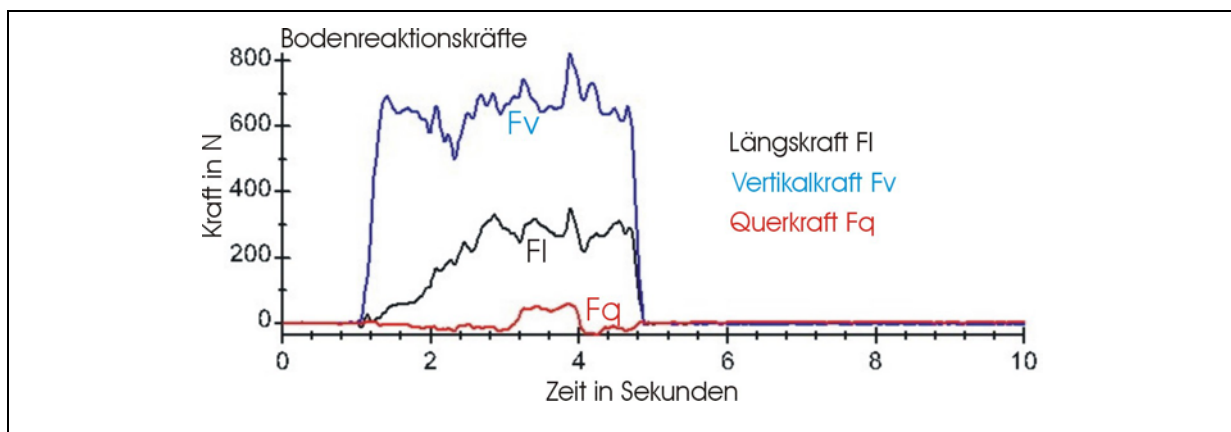
Abbildung 5-9:
Positionen des Trolleys beim Starten des Schiebe- oder Ziehversuches





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



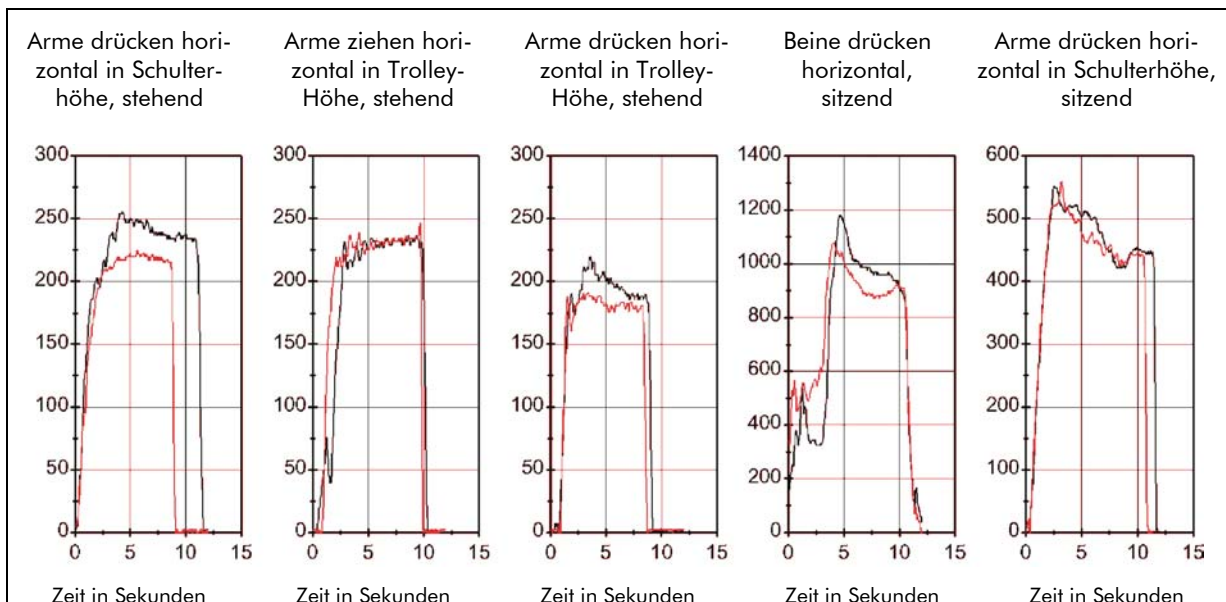
Zur Maximalkraftmessung an den oberen Extremitäten wurde eine einaxiale Kraftmesszelle mit vorgebautem rohrförmigen Handgriff genutzt. Zur Ermittlung der Maximalkraft der unteren Extremitäten in sitzender Position mit flach angelegtem Rücken-/Beckenübergang wurde ebenfalls ein einaxialer Kraftmesssensor 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-/Ziehkräften 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



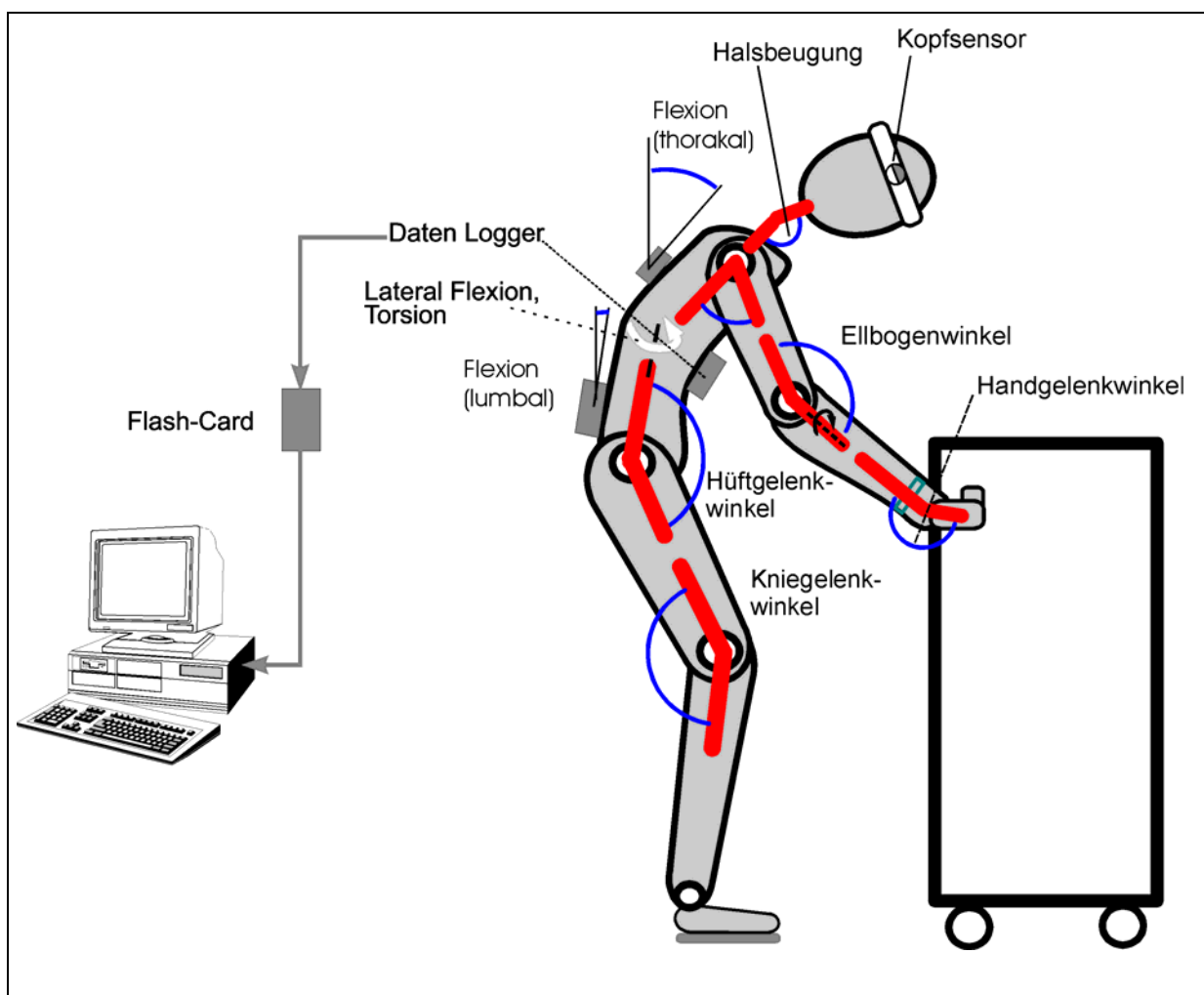
In den einzelnen Diagrammen sind jeweils beide Messsignale der verschiedenen Maximalkrafttests dargestellt. Aus jedem Messsignal wurde die maximale mittlere Kraft bei einem Zeitintervall von 1,5 Sekunden berechnet. Die beiden Werte wurden jeweils gemittelt, sodass für jeden Probanden fünf charakteristische 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.



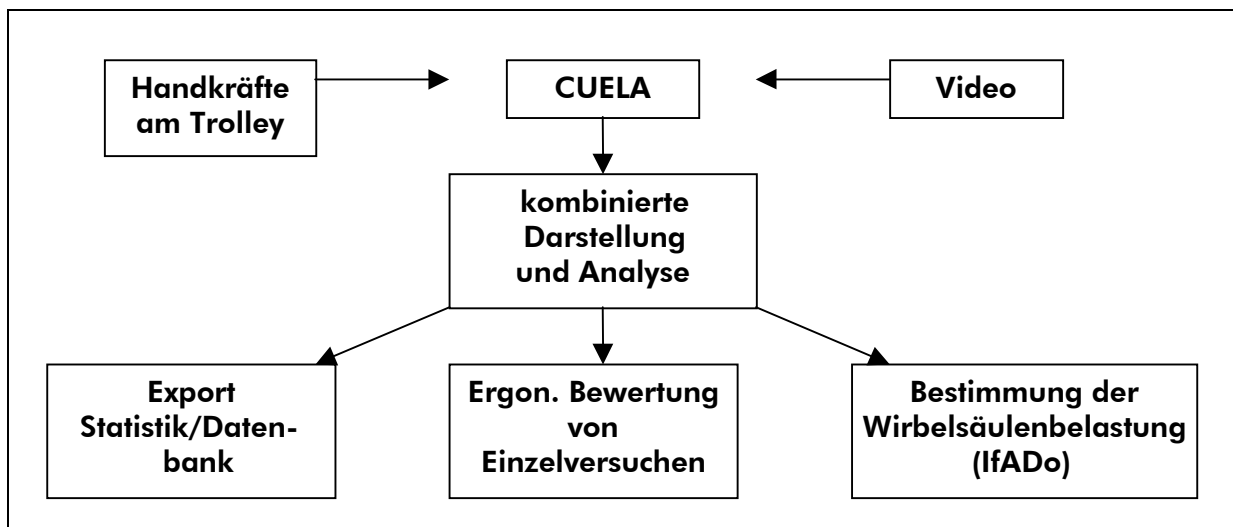
Die WIDAAN-Software bietet Exportschnittstellen, um die Daten weitergehenden statistischen Analysen zu unterziehen oder sie in einer Datenbank abzulegen (Abbildung 5-17, siehe Seite 198).

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

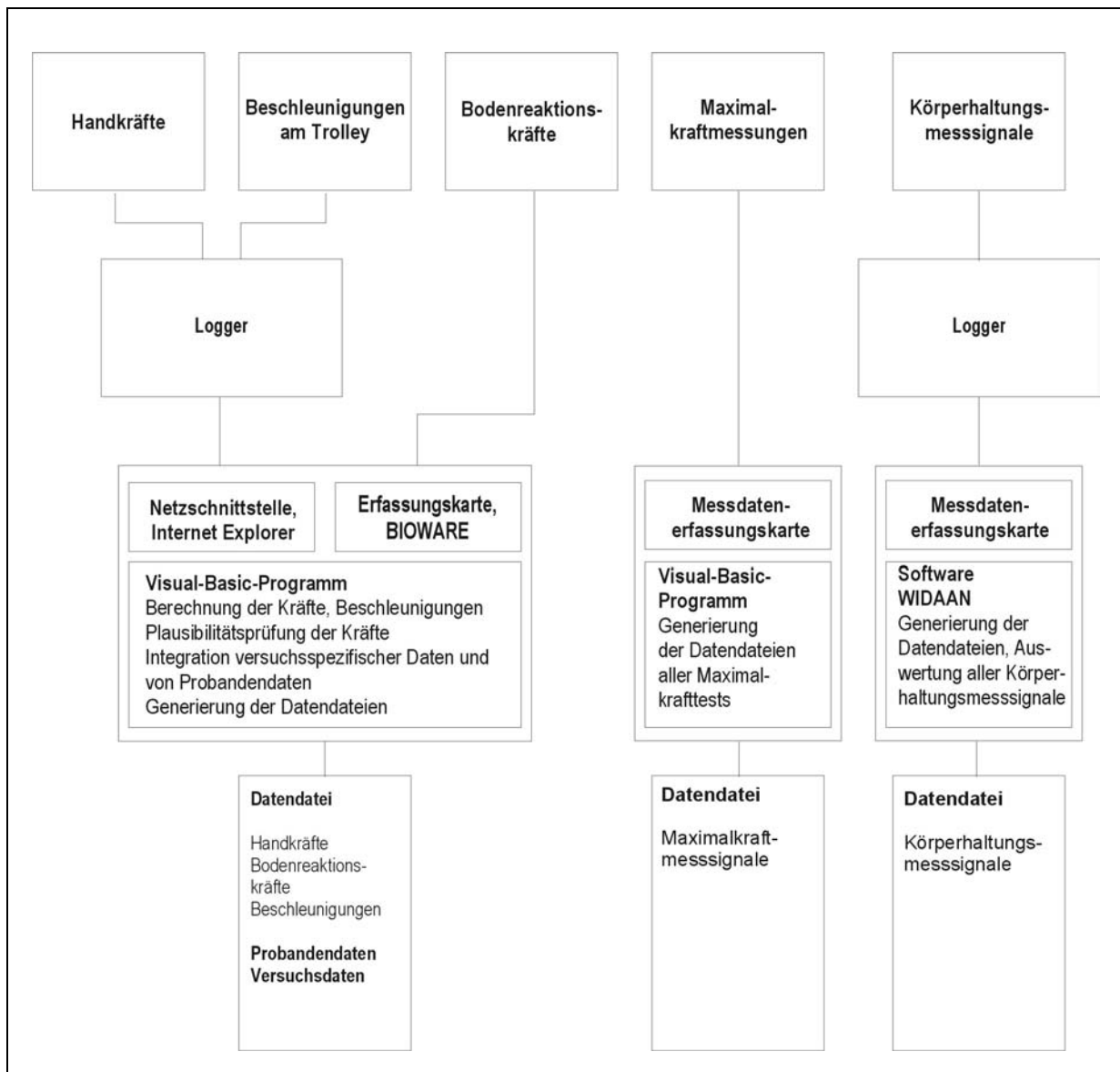


5.2.8 Messdatenerfassung und Auswertung

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 Schiebeversuches dargestellt. Im Diagrammkopf sind alle Randdaten zur Typisierung und Identifizierung aufgeführt. Bei der Darstellung handelt es sich um einen Schiebeversuch 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

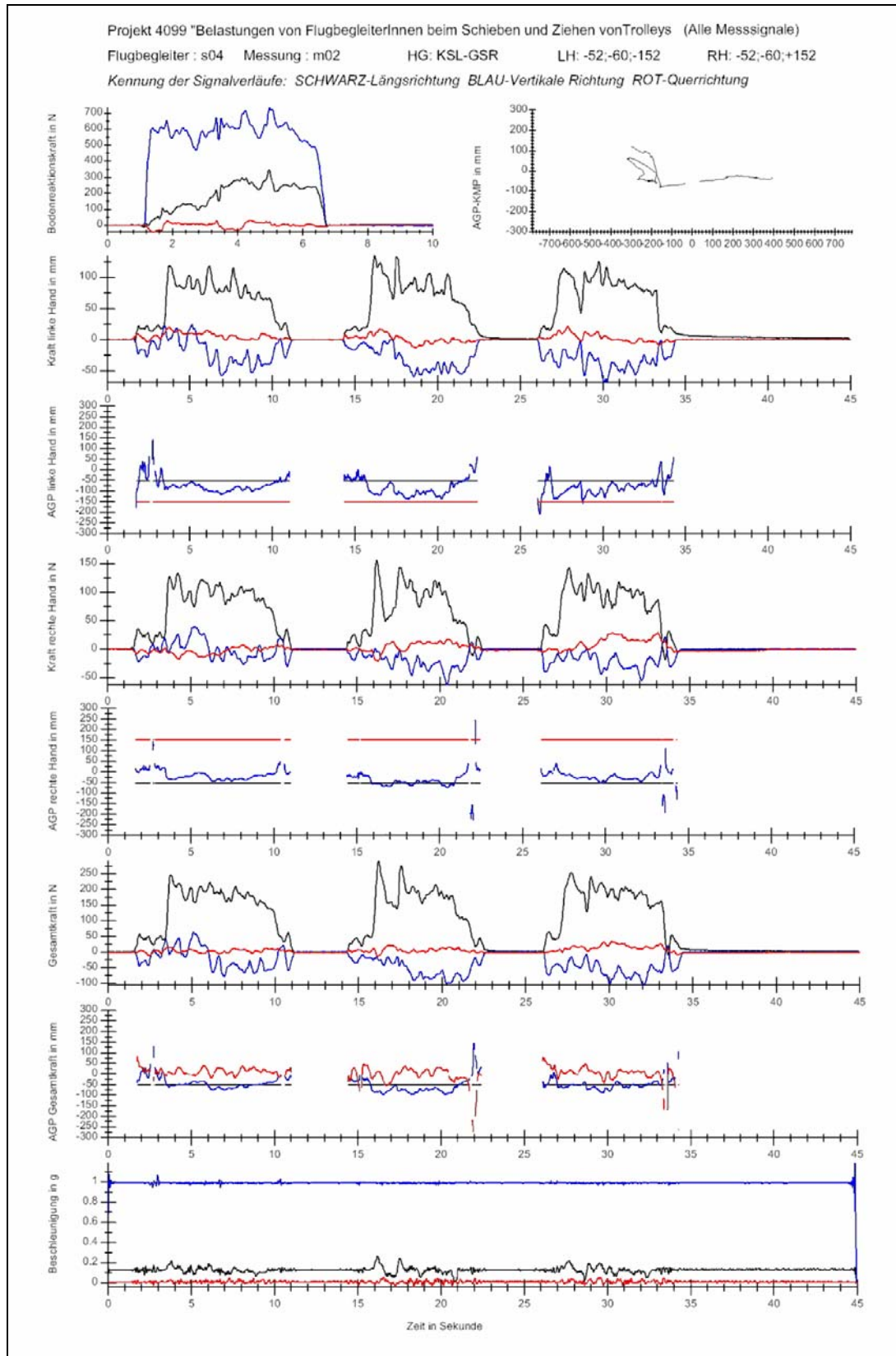
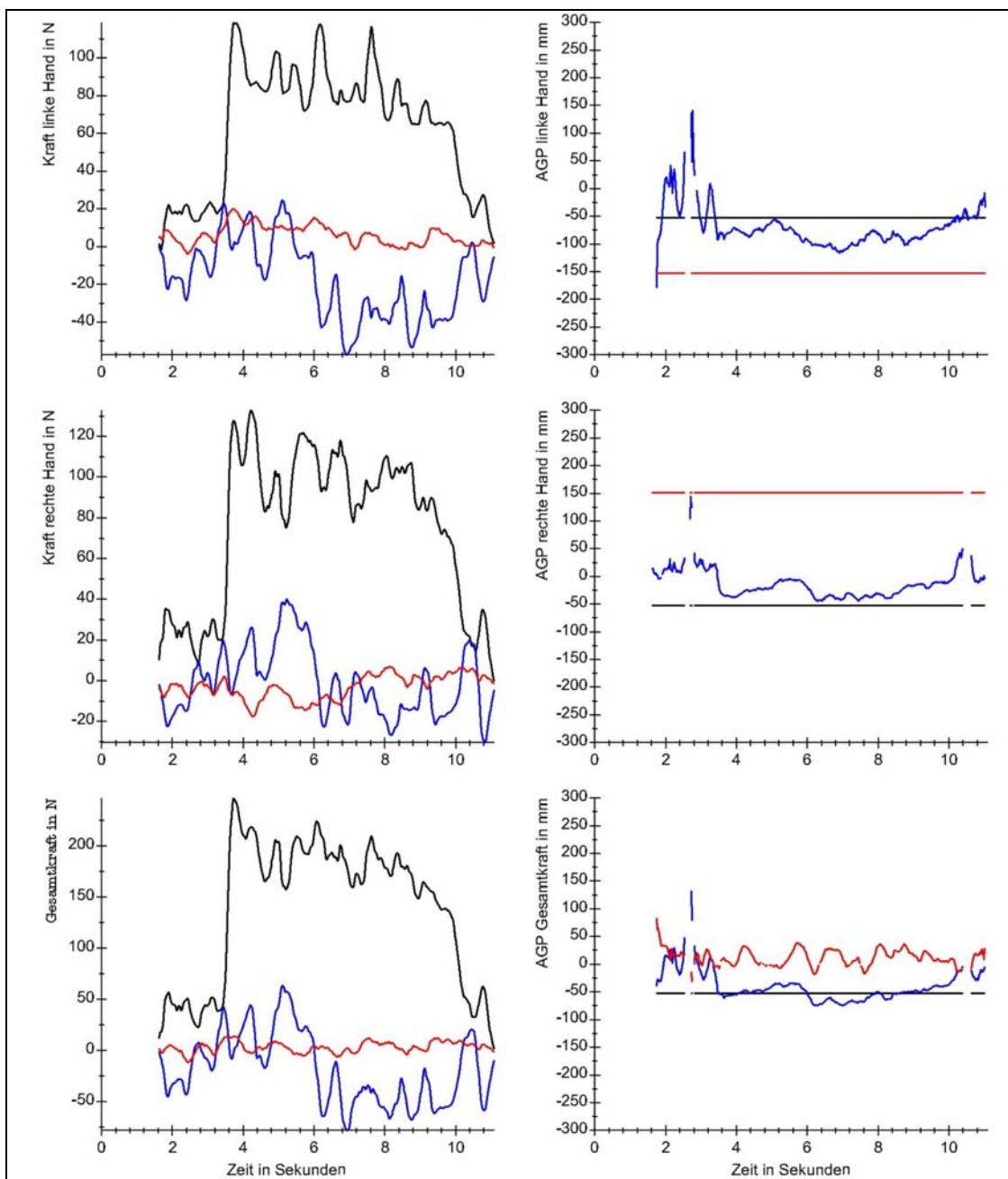




Abbildung 5-20:
Messprotokoll der Aktionskräfte

| | |
|---|----------------------|
| 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 |

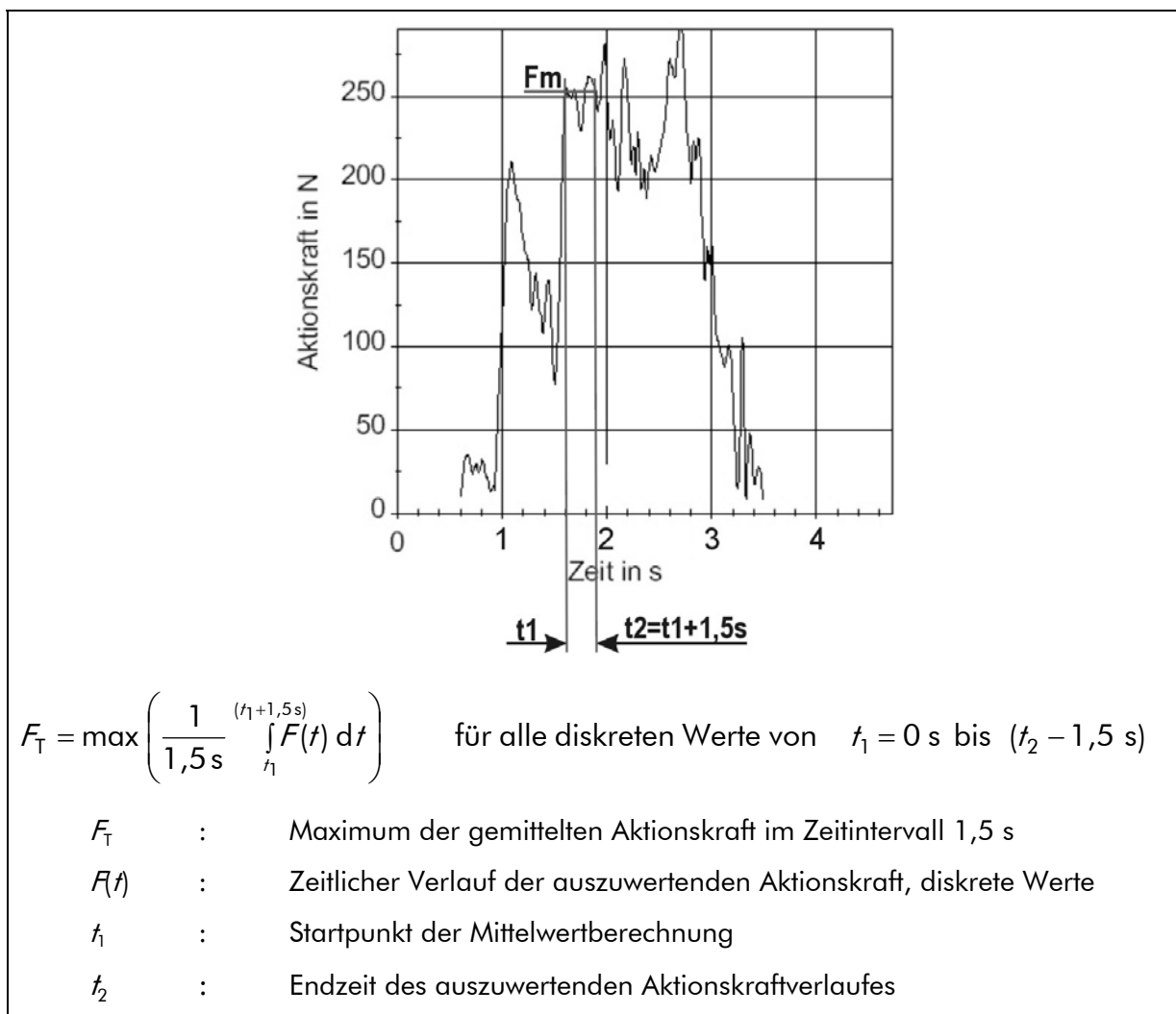
Kennung der Signalverläufe: SCHWARZ-Längsrichtung, BLAU-Vertikale Richtung, ROT-Querrichtung





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

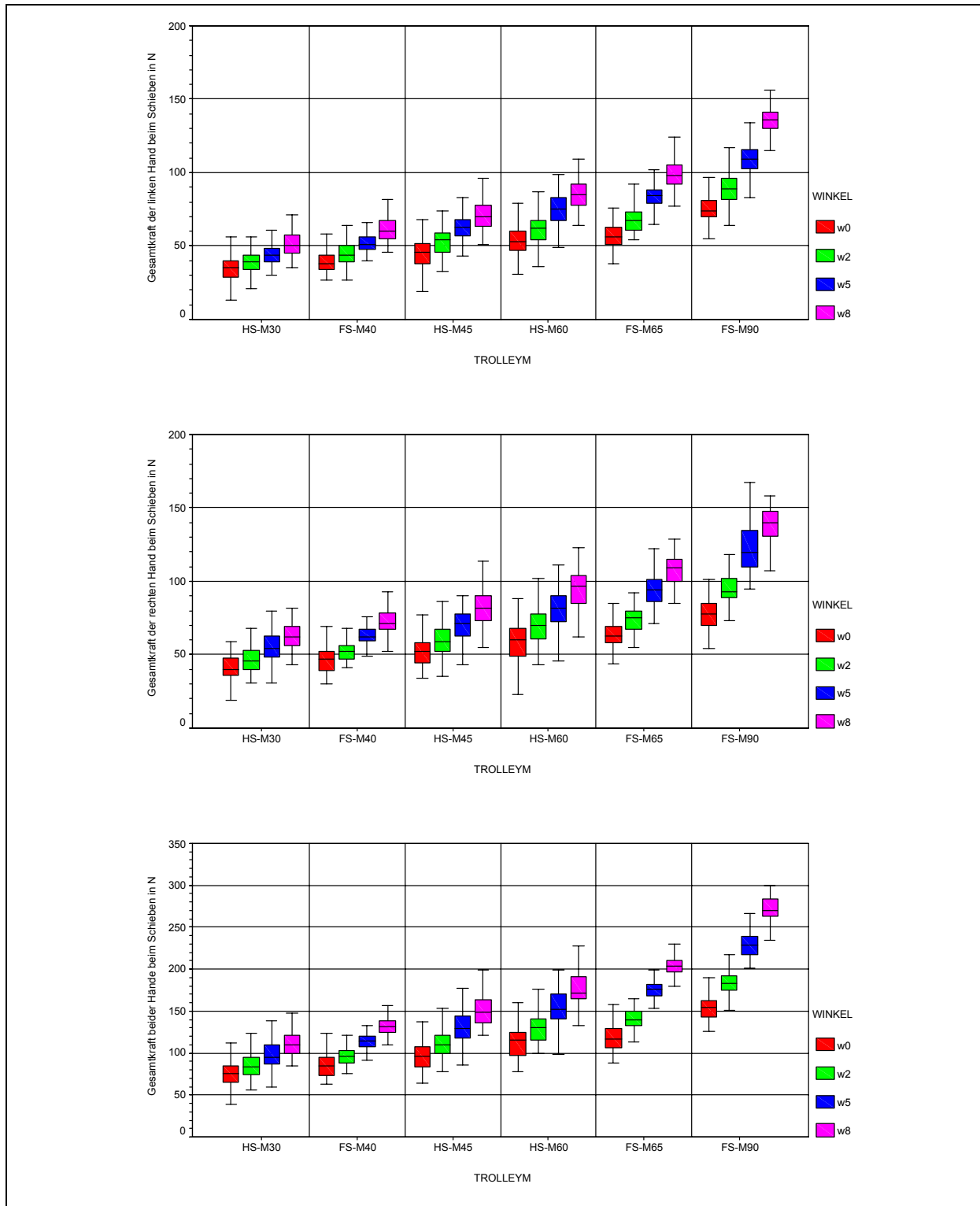




Abbildung 5-23:
Box-Plots der Gesamtkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

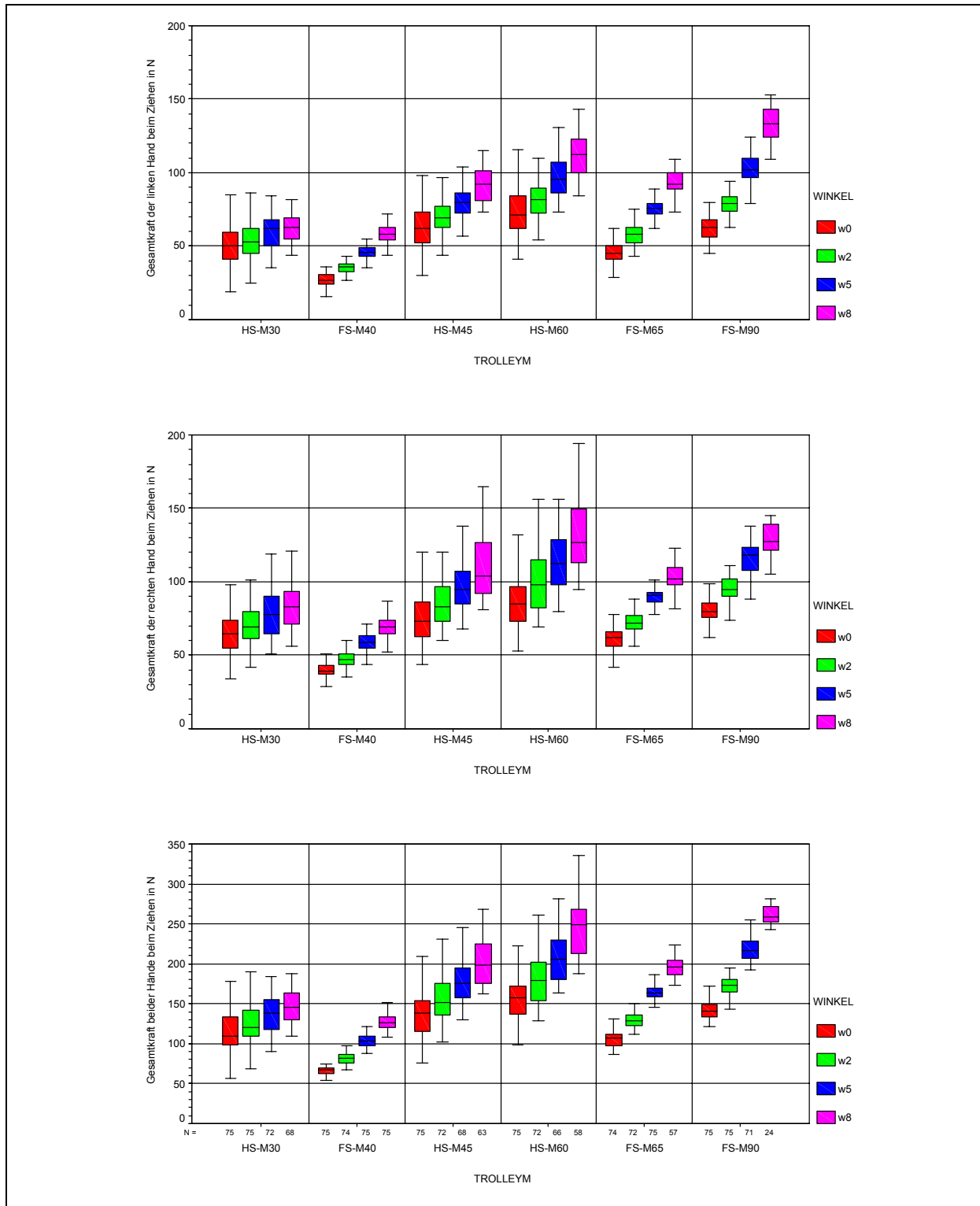




Tabelle 5-11:
Statistische Daten der Längskraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

| 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

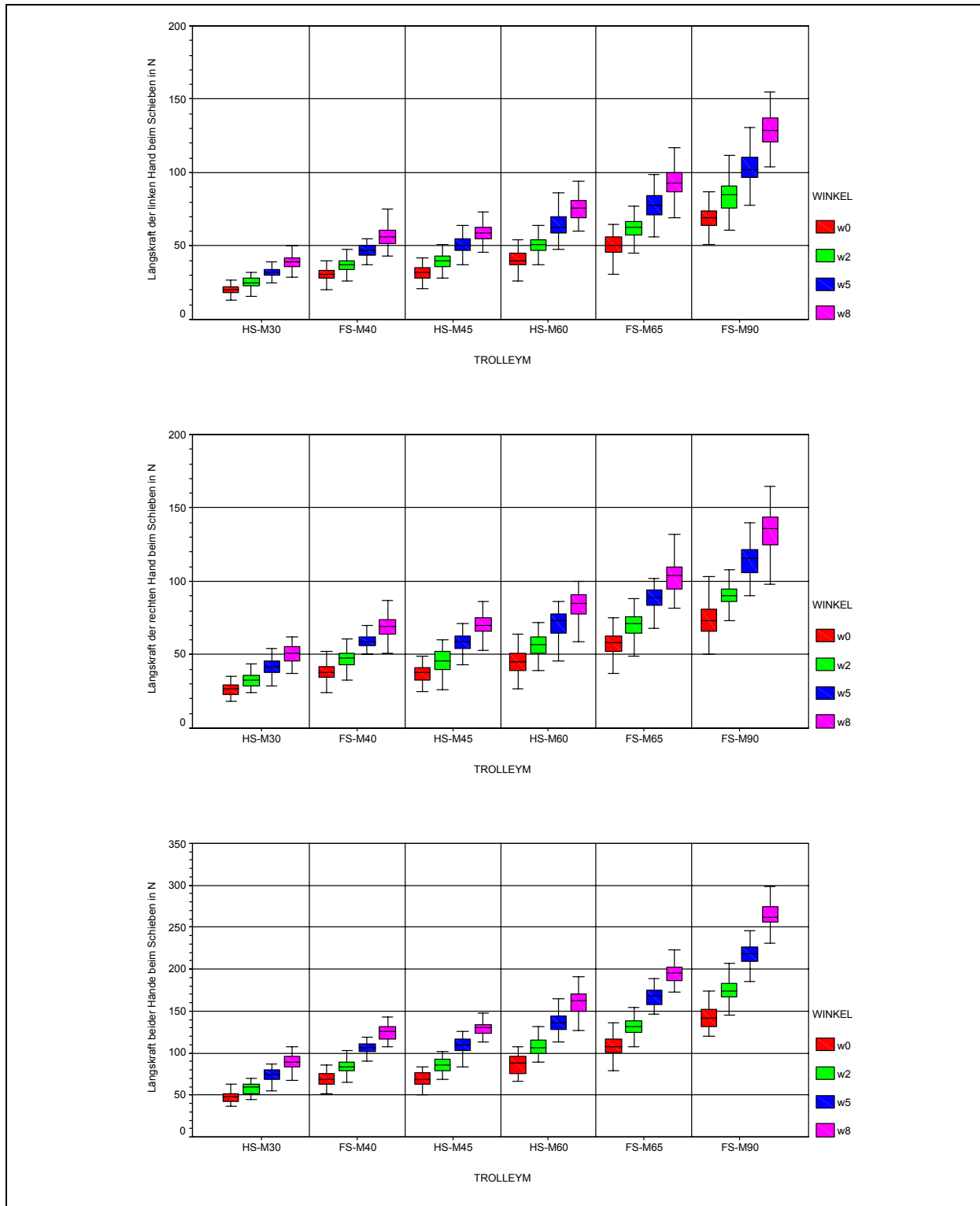




Abbildung 5-25:
Box-Plots der Längskraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

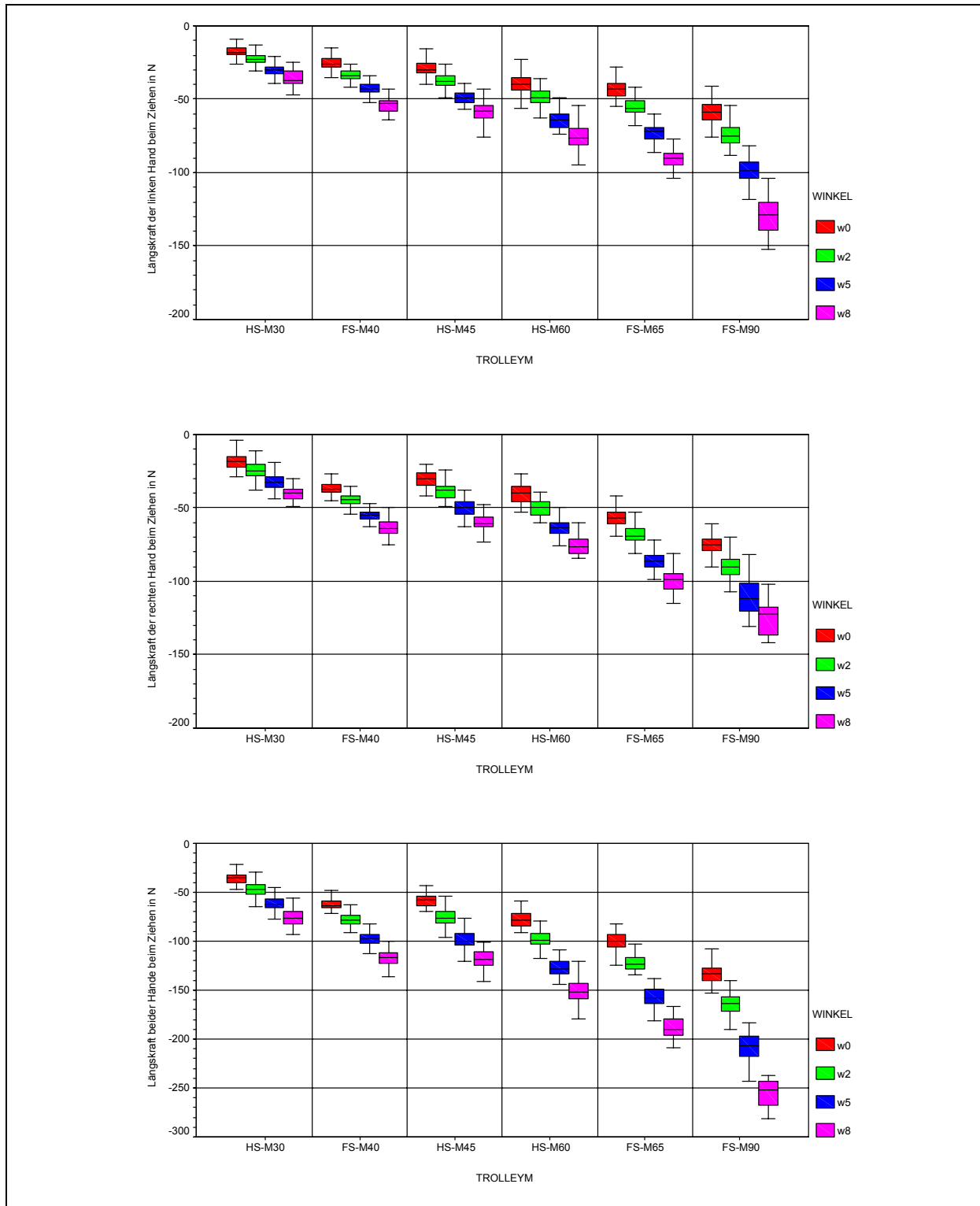




Tabelle 5-12:
Statistische Daten der Vertikalkraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

| 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

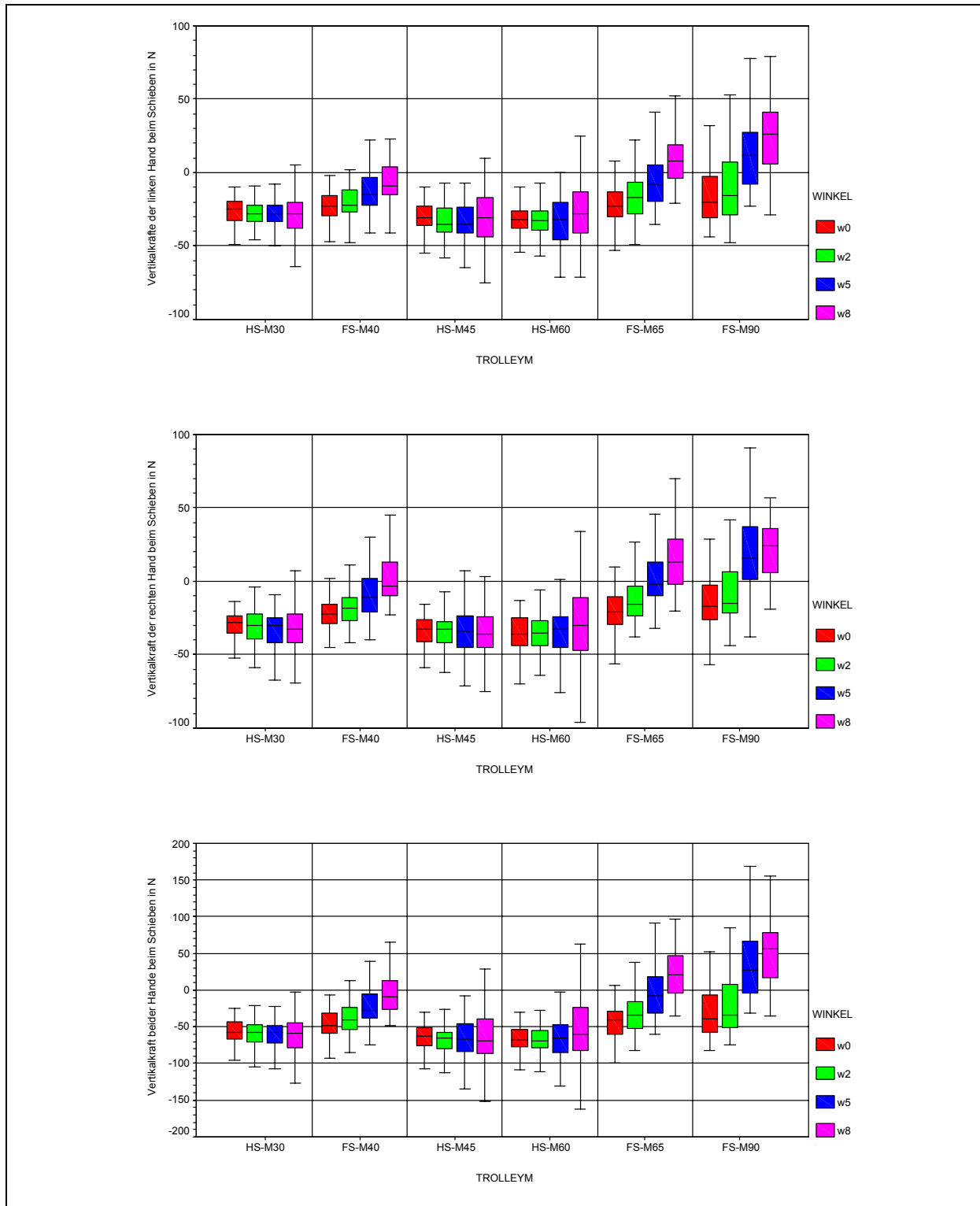




Abbildung 5-27:
Box-Plots der Vertikalkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

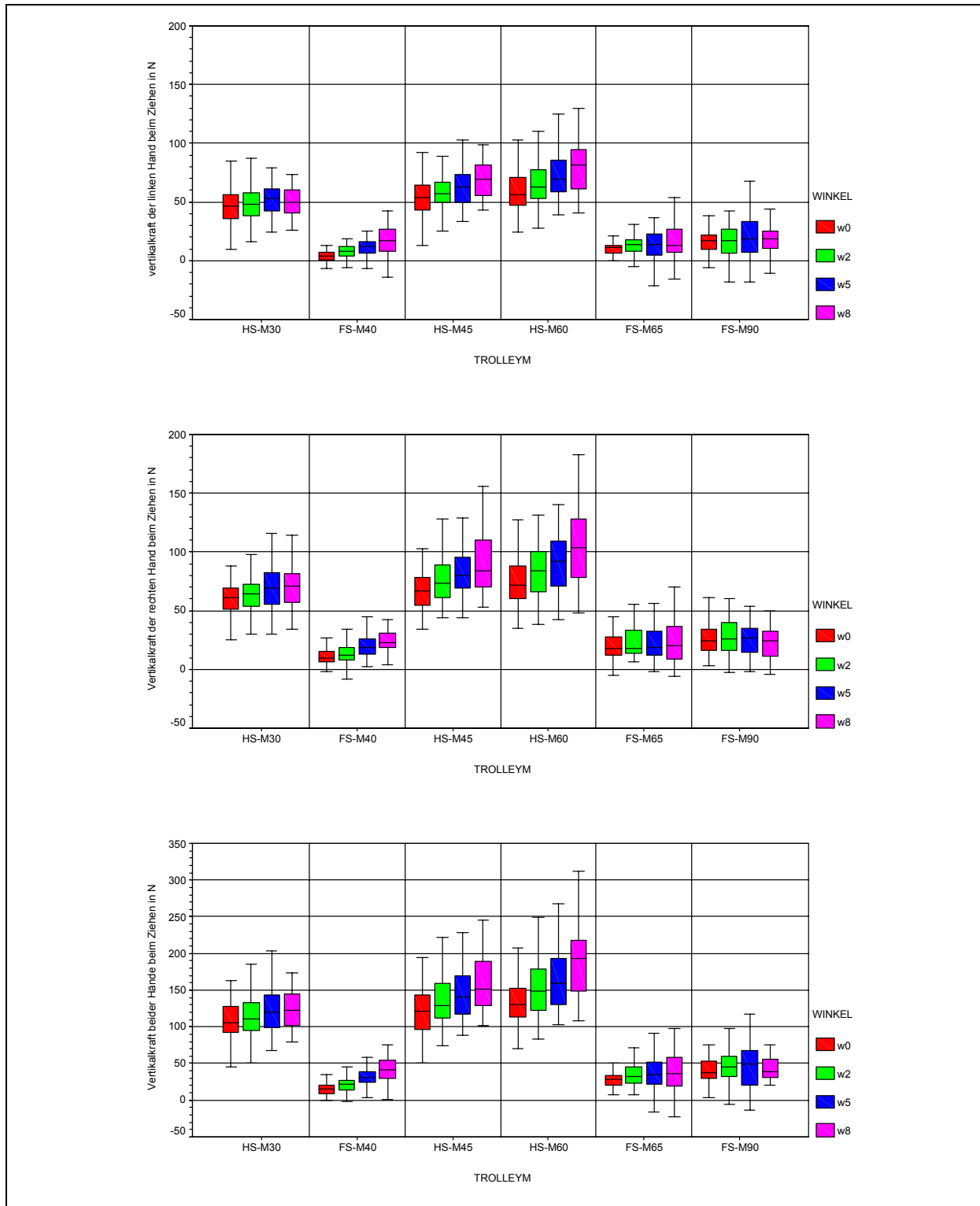




Tabelle 5-13:
Statistische Daten der Querkraft von linker und rechter Hand sowie für beide Hände

| 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

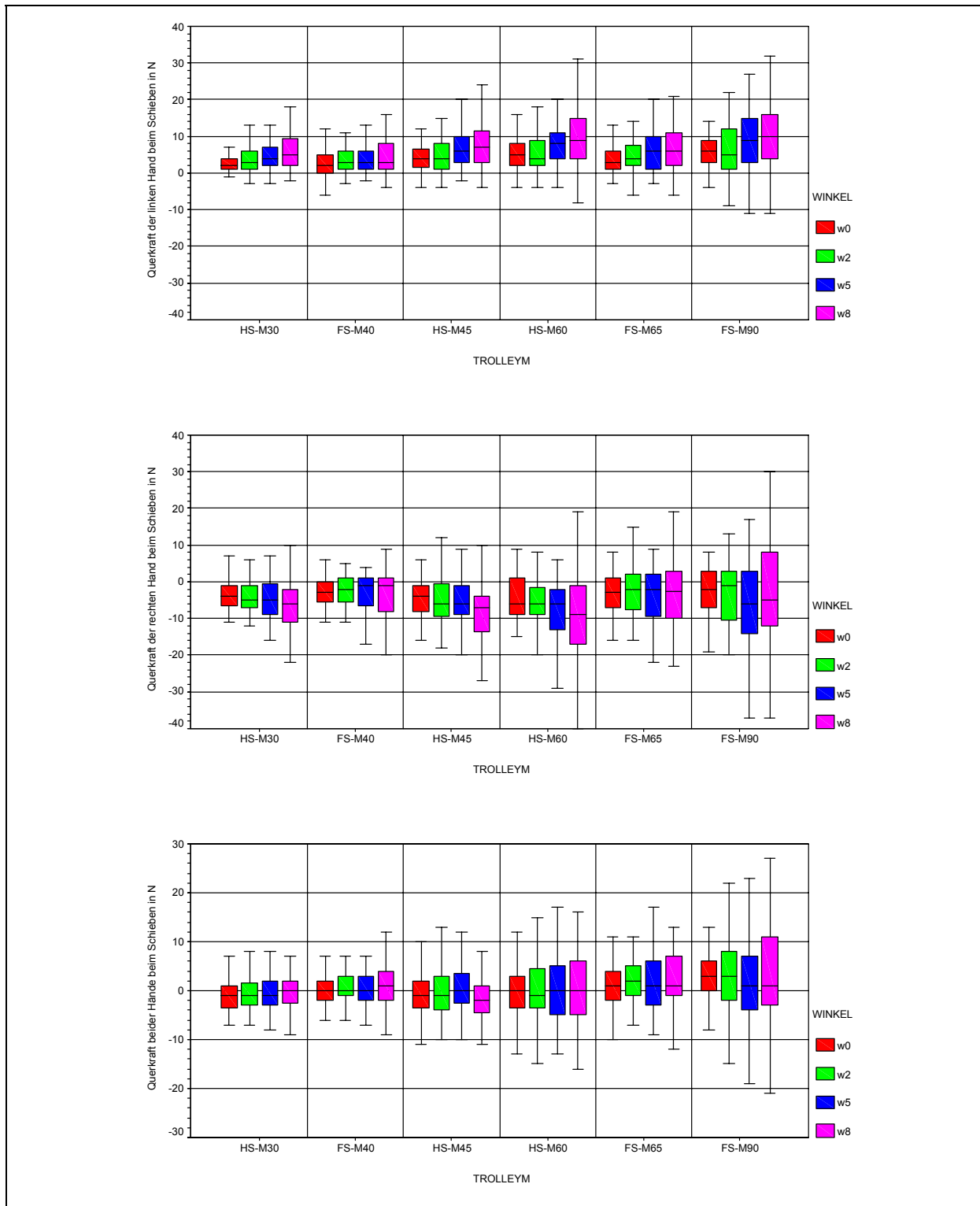




Abbildung 5-29:
Box-Plots der Querkraft von linker und rechter Hand
sowie für beide Hände beim Ziehen

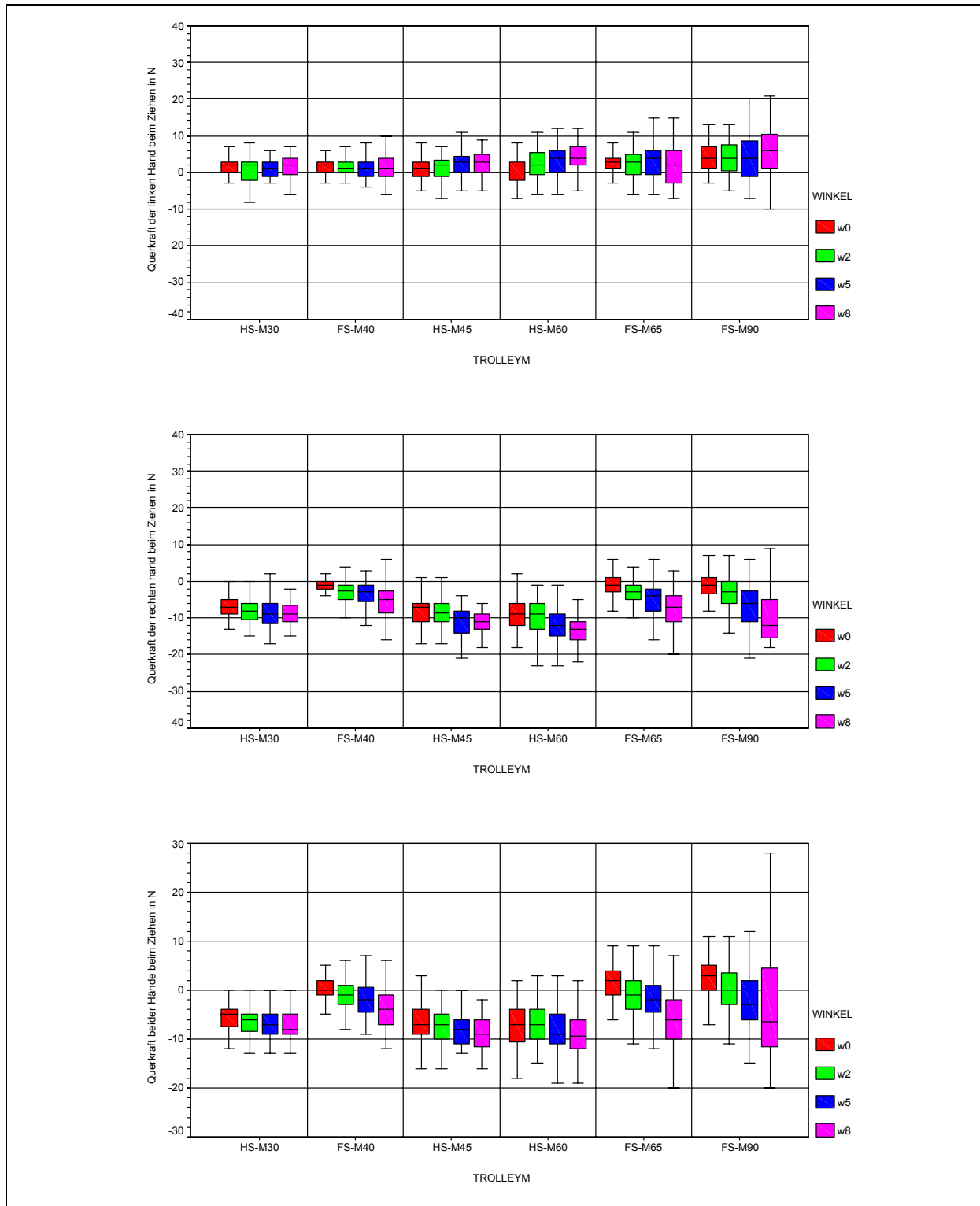




Tabelle 5-14:
Zentralwerte (Mediane) aller Kräfte für die einzelnen Versuchsarten

| 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)

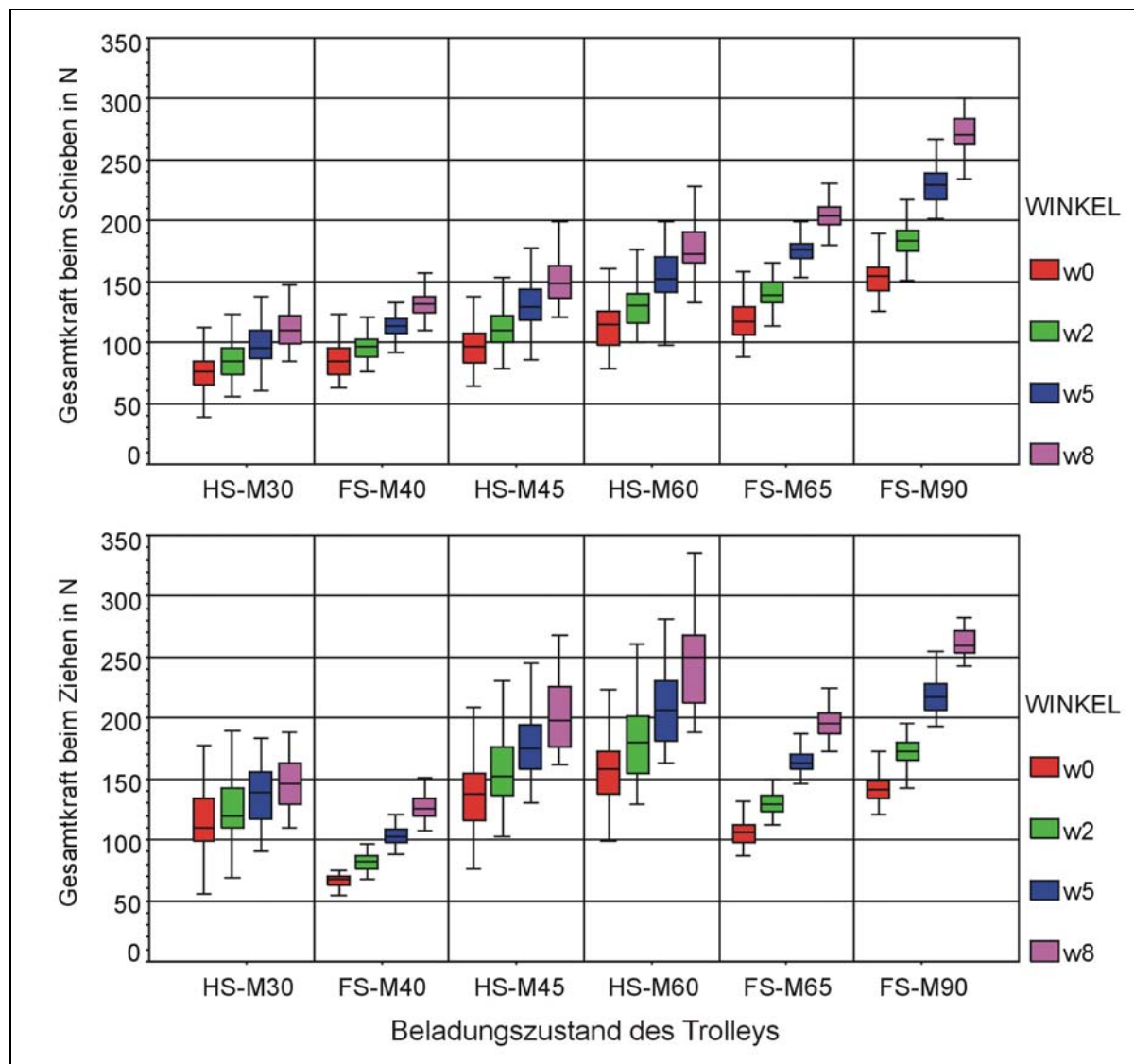
| T | TB | WI | Gesamtkraft | | | Längskraft | | | Vertikalkraft | | | Querkraft | | |
|-----|-----|-----|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | | | linke Hand | rechte 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)

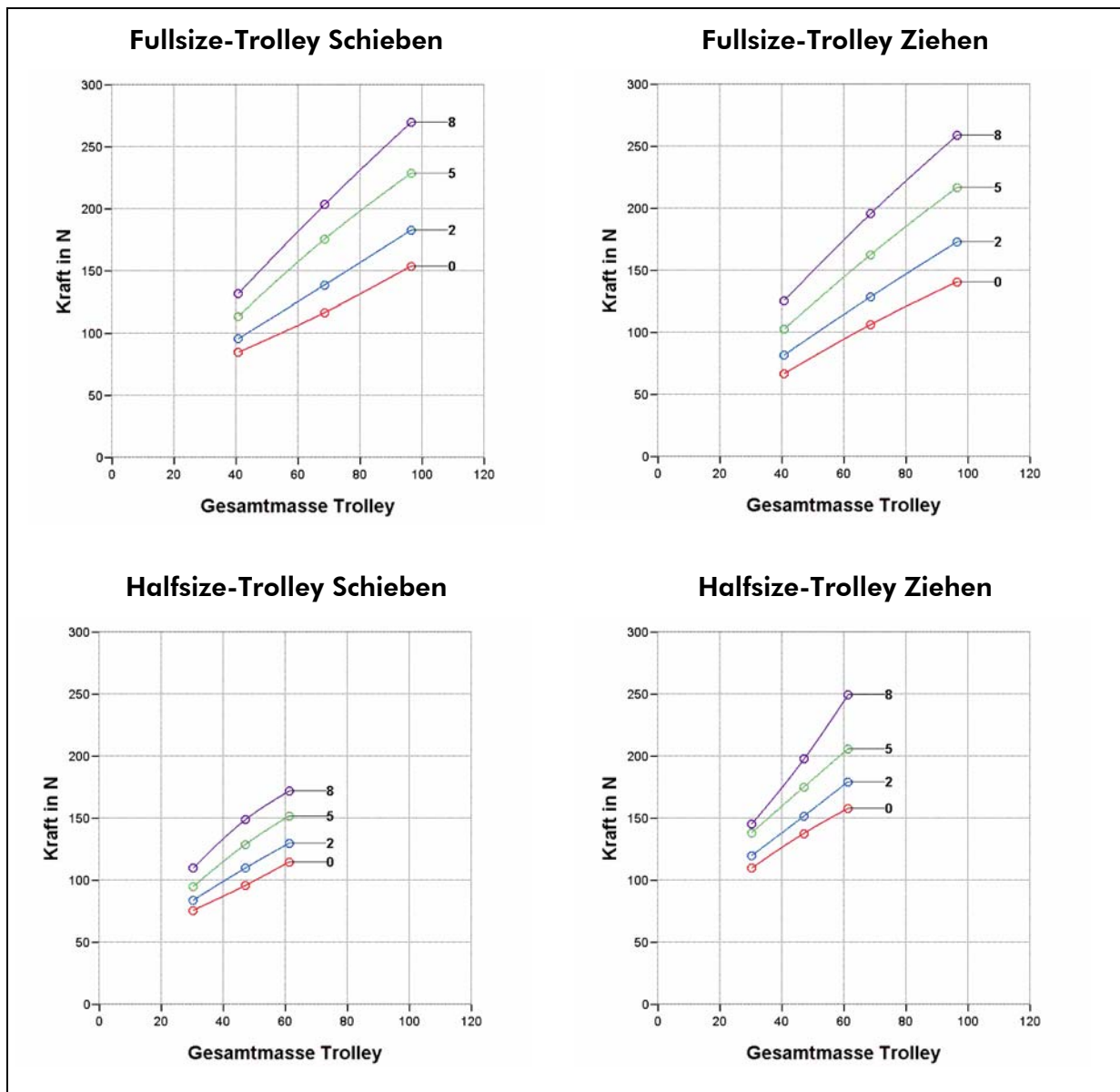


Die Box-Plots in Abbildung 5-30 zeigen den systematischen und dominanten Einfluss der äußeren Parameter „Gesamtmasse des Trolleys“ und „Neigungswinkel der Ebene“



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)

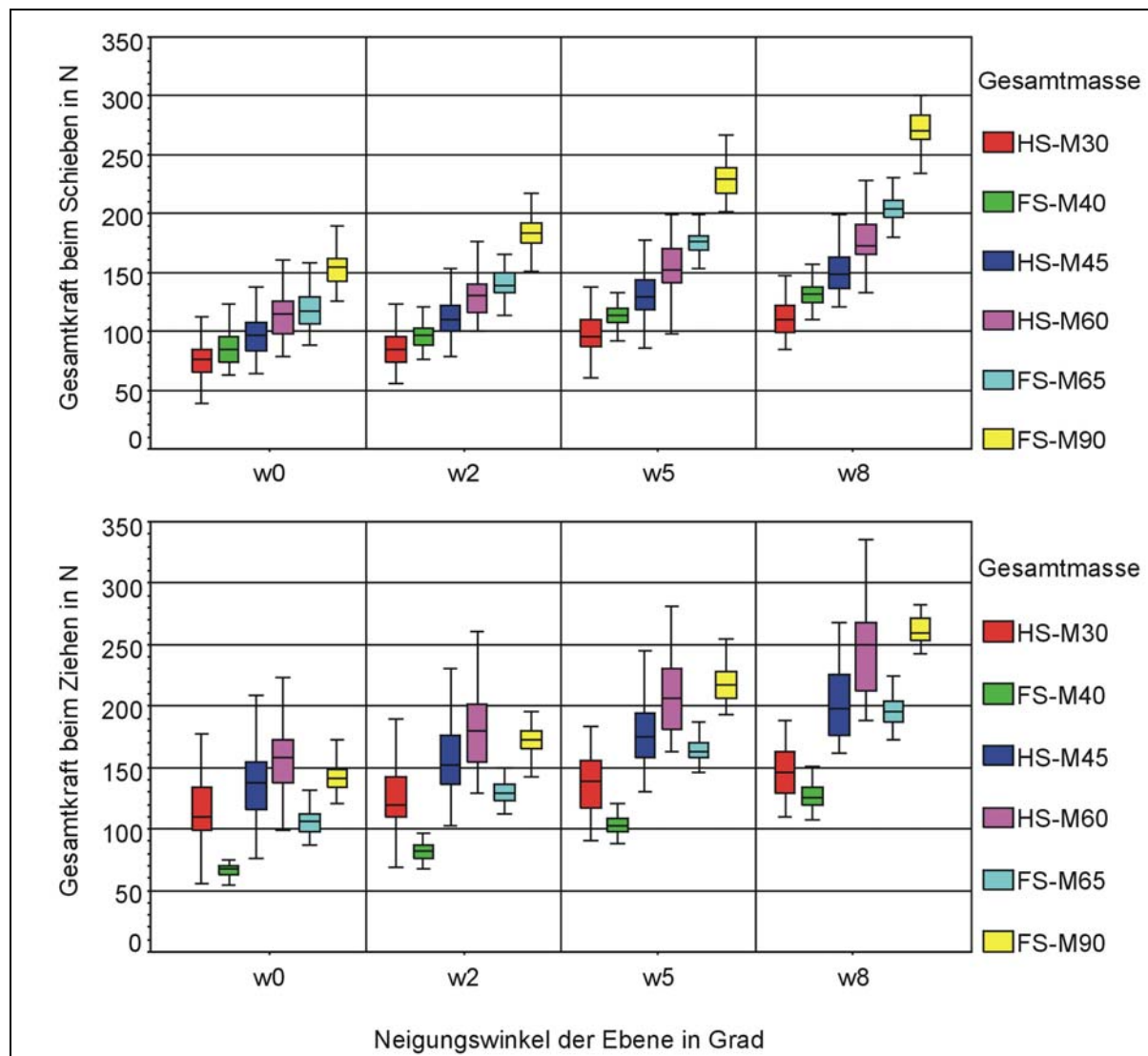
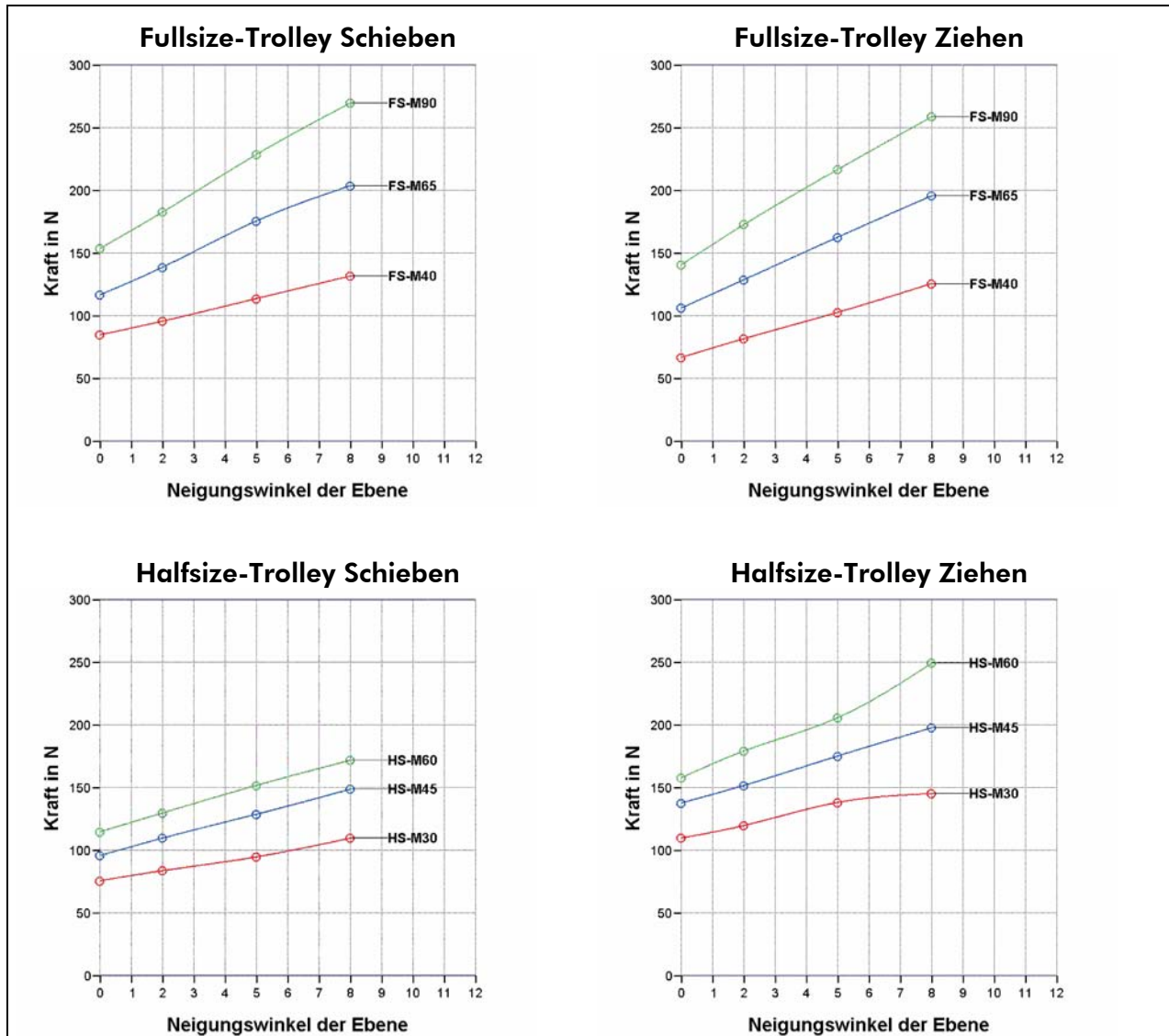




Abbildung 5-33:
Ausgleichskurven der Mediane der Gesamtkraft
(Gruppierung Beladungszustand bei Winkel)



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

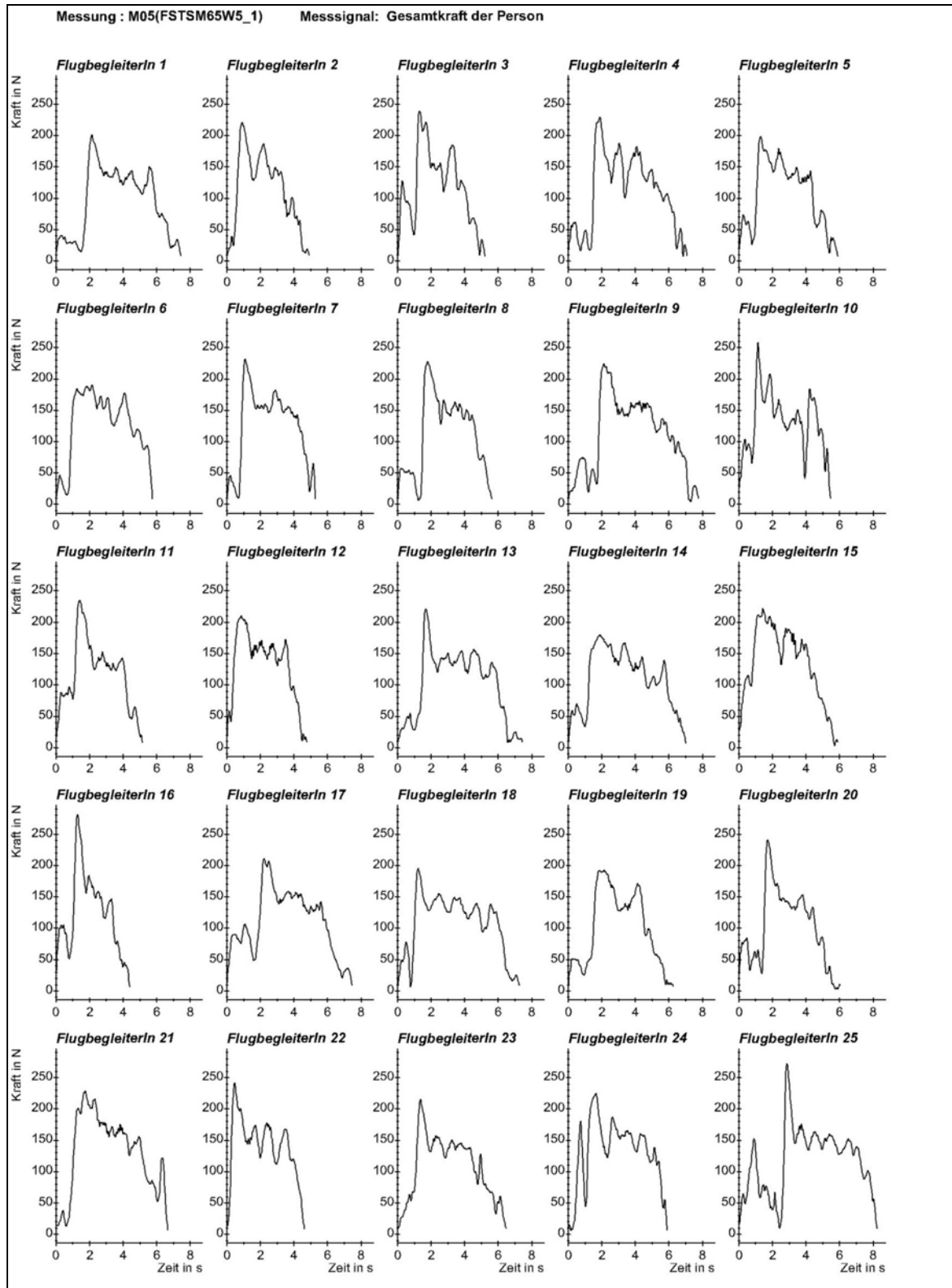
| Trolley-Art und Tätigkeit | Regressionsformeln mit: <i>F</i> : Aktionskraft beim Ziehen/Schieben <i>TM</i> : Beladungszustand des Trolleys <i>WI</i> : Neigungswinkel der Ebene | Maximale und minimale Abweichung von den Medianen | |
|---------------------------|--|---|----------|
| | | MIN in N | MAX 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

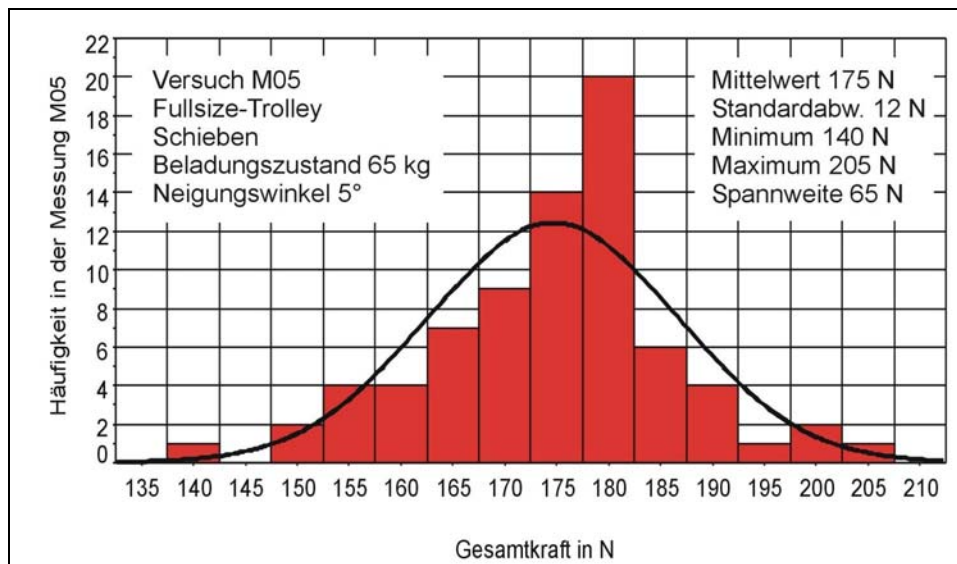




Um einen Eindruck von der Streuung der Gesamtkräfte zu erhalten, sind in Abbildung 5-34 (siehe Seite 235) die Gesamtkräfte aller 25 Flugbegleiter-/innen der Versuchsvariante M05 dargestellt. Es handelt sich um die erste Schiebephase mit dem Fullsize-Trolley bei 5° Neigungswinkel der Ebene und einer Gesamtmasse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



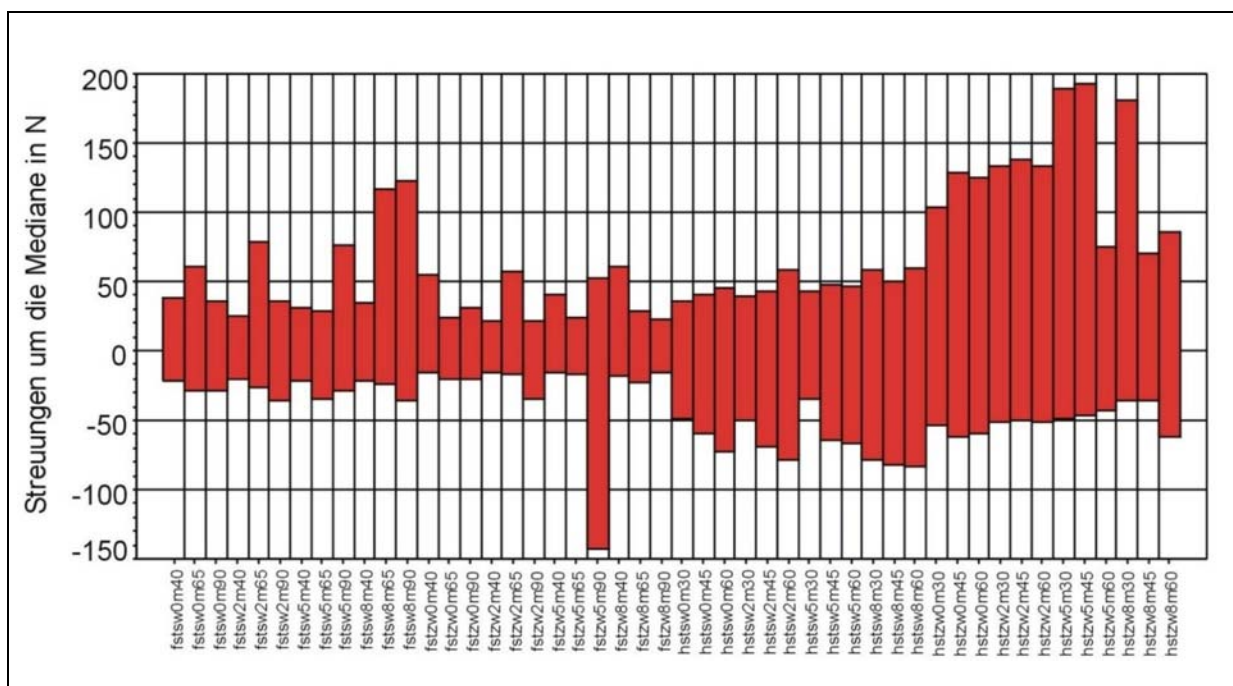
Um eine Beurteilung der Streuungen der Gesamtkräfte zu gewinnen, sind in Abbildung 5-36 (siehe Seite 237) die Streuungen, begrenzt durch das 10. und 90. Perzentil



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

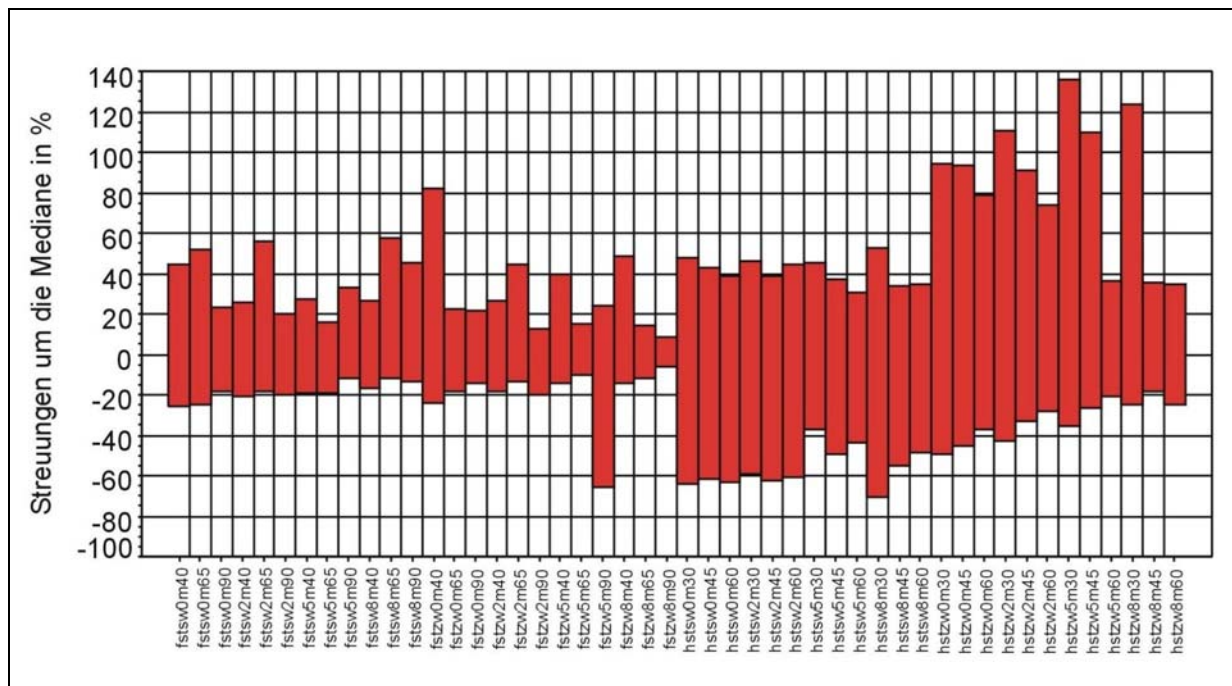


Die linken 24 Balken in den Abbildungen 5-36 und 5-37 stellen die Streuungen zwischen dem 10. und dem 90. Perzentil beim Fullsize-Trolley dar. Innerhalb dieser Gruppe sind die linken 12 Balken die Schiebeversuche und die rechten 12 Balken die Ziehversuche. Entsprechend diesem Schema sind die rechten 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)



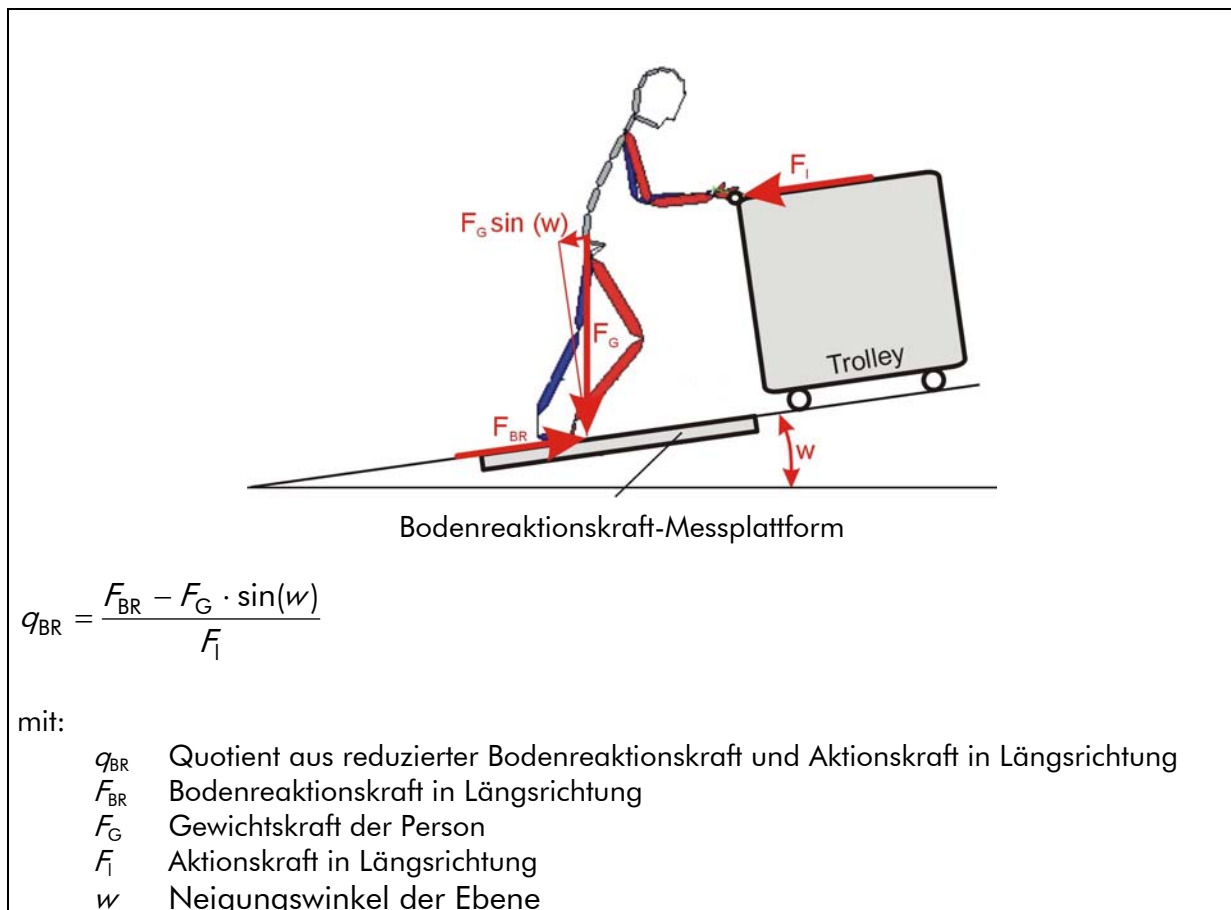
5.3.2 Bodenreaktionskräfte zu Beginn von Zieh- und Schiebevorgängen

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



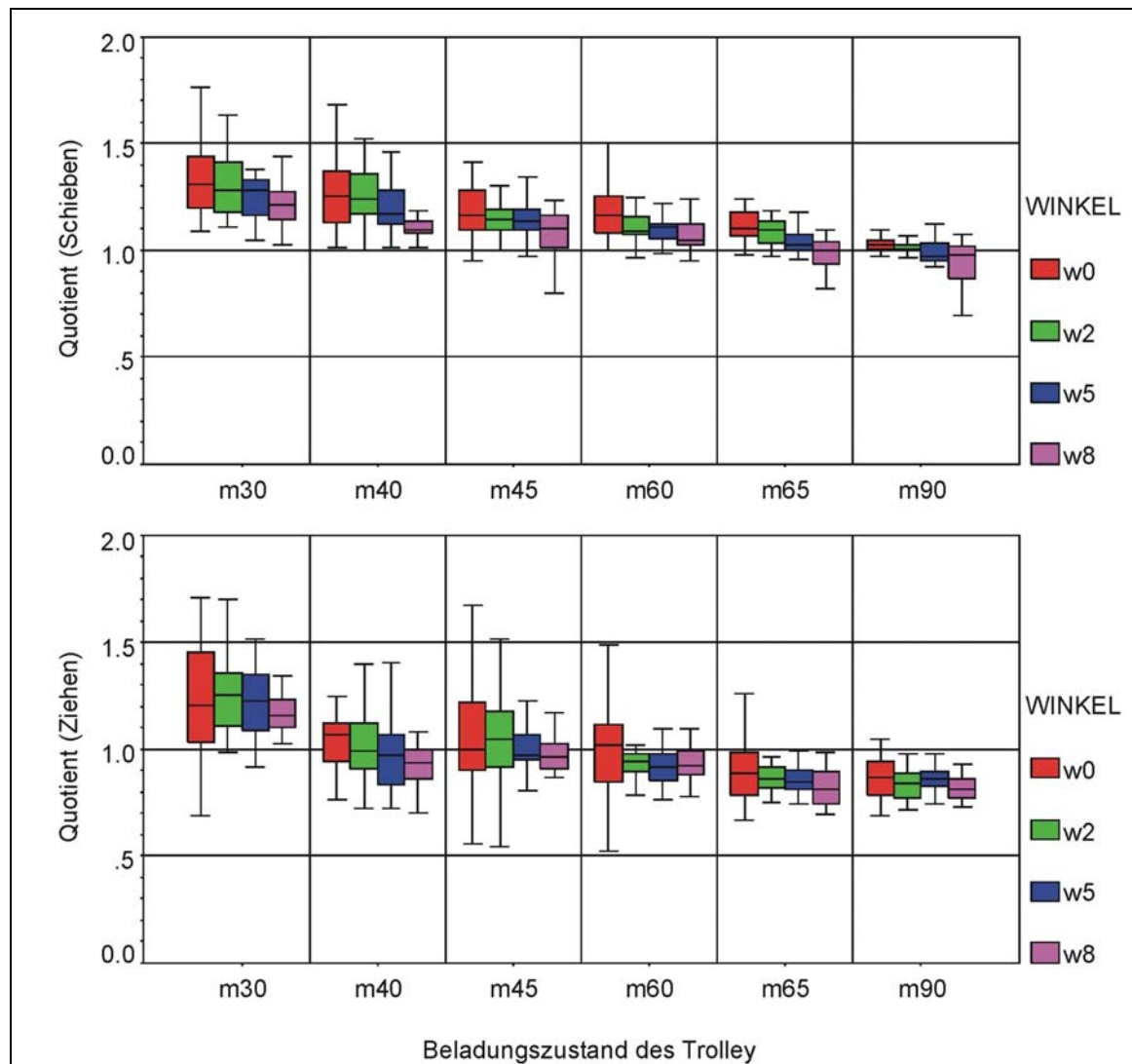
Die Quotienten sind für die Tätigkeiten Schieben und Ziehen in Abbildung 5-39 (siehe Seite 240) in Form von Box-Plots (siehe Beschreibung in Abschnitt 5.3.1) dargestellt. In den Box-Plots sind verschiedene Tendenzen erkennbar.

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.

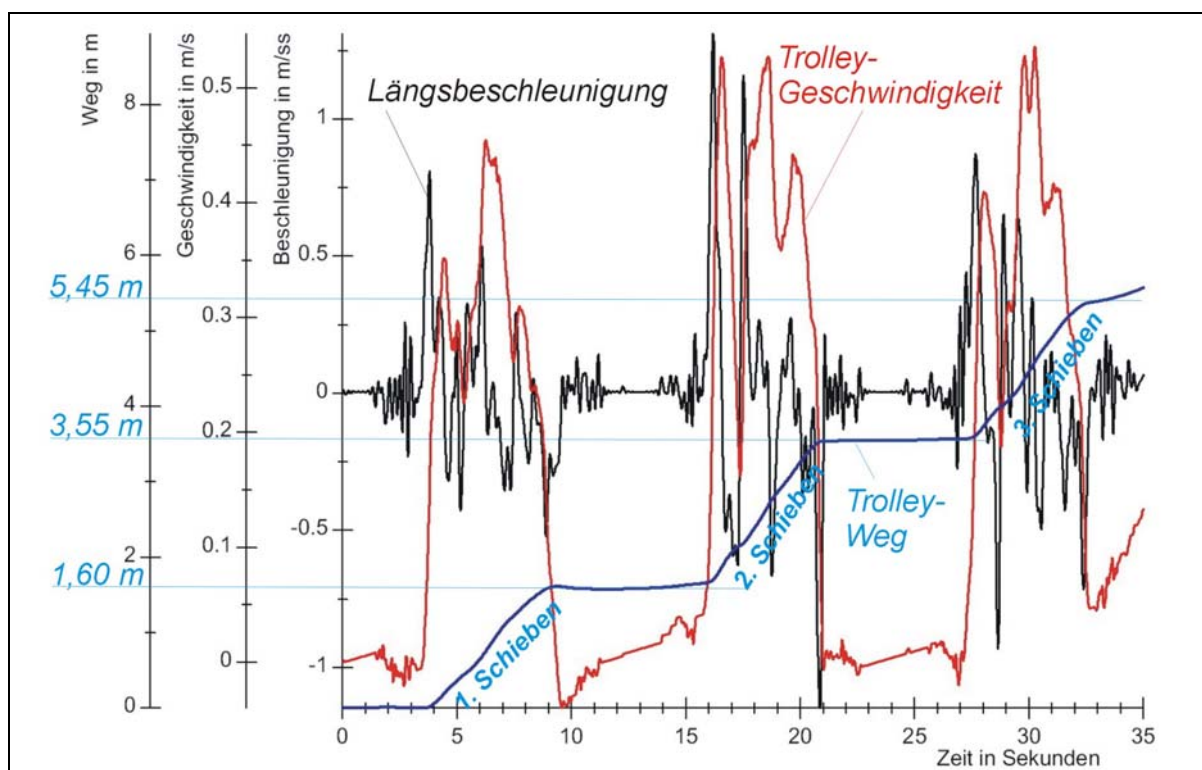
5.3.3 Auswertung der Beschleunigungssignale

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

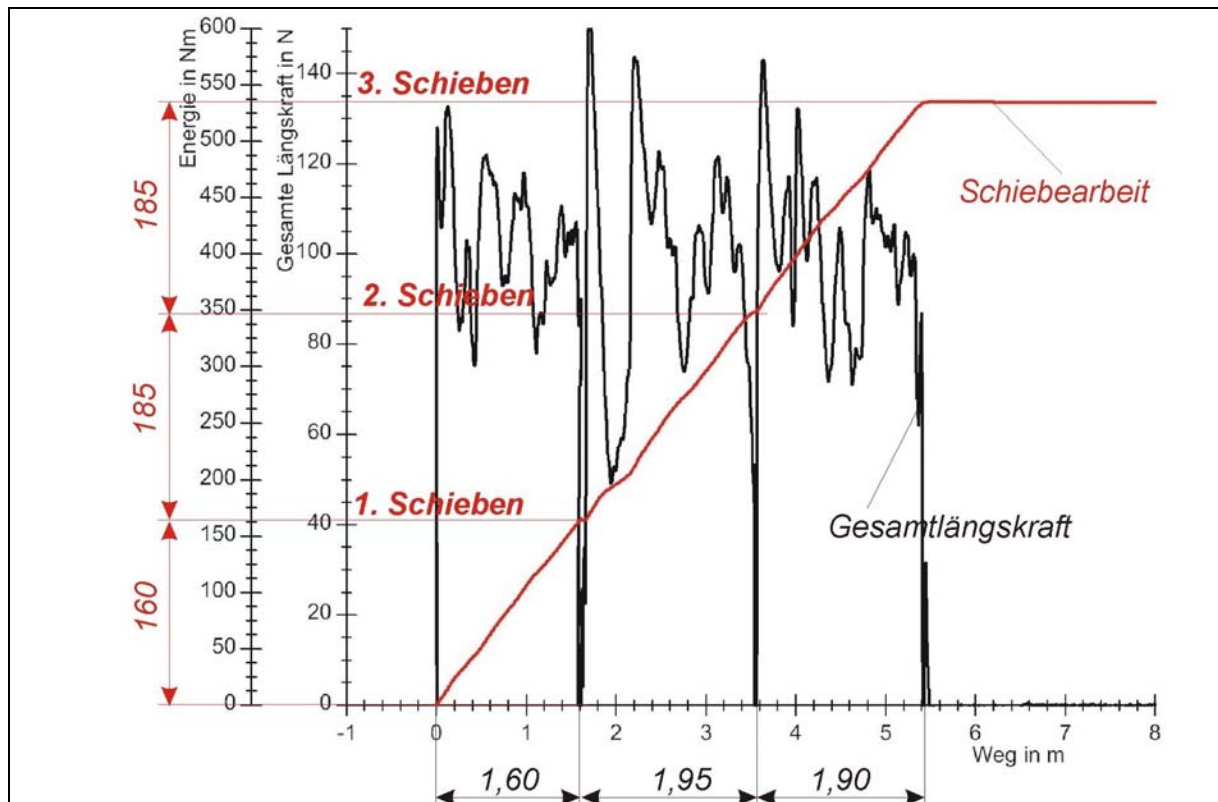


Tabelle 5-18:
Schiebearbeit in den drei Phasen

| 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 |

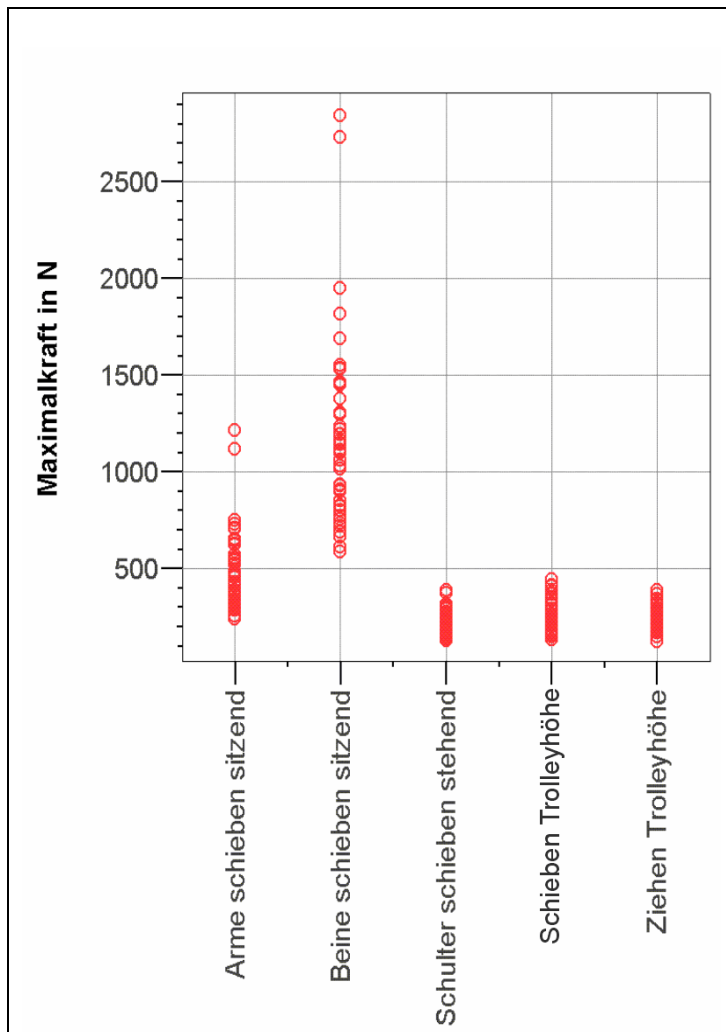


Abbildung 5-42:
Punktescharen der Maximalkräfte
des BIA-Probandenkollektivs



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.

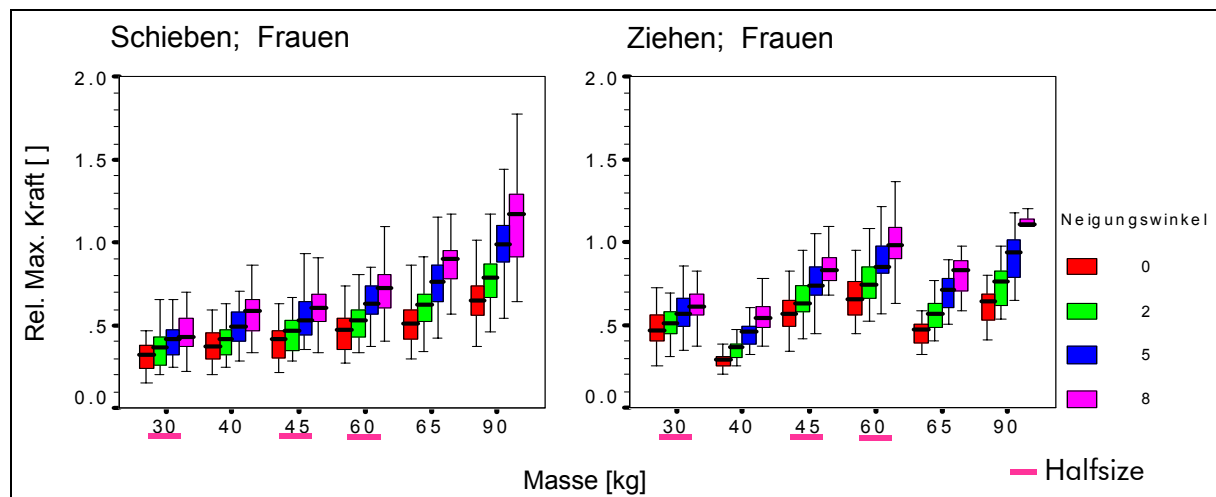
Aus sportwissenschaftlicher Sicht sollte der erforderliche Kraftaufwand einer wiederkehrenden Arbeitstätigkeit, wie hier das Ziehen und Schieben von Trolleys, nicht mehr als ca. 70 % der individuellen isometrischen Maximalkraft übersteigen. Sonst erreicht die Tätigkeit den Belastungsbereich eines sportorientierten 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.

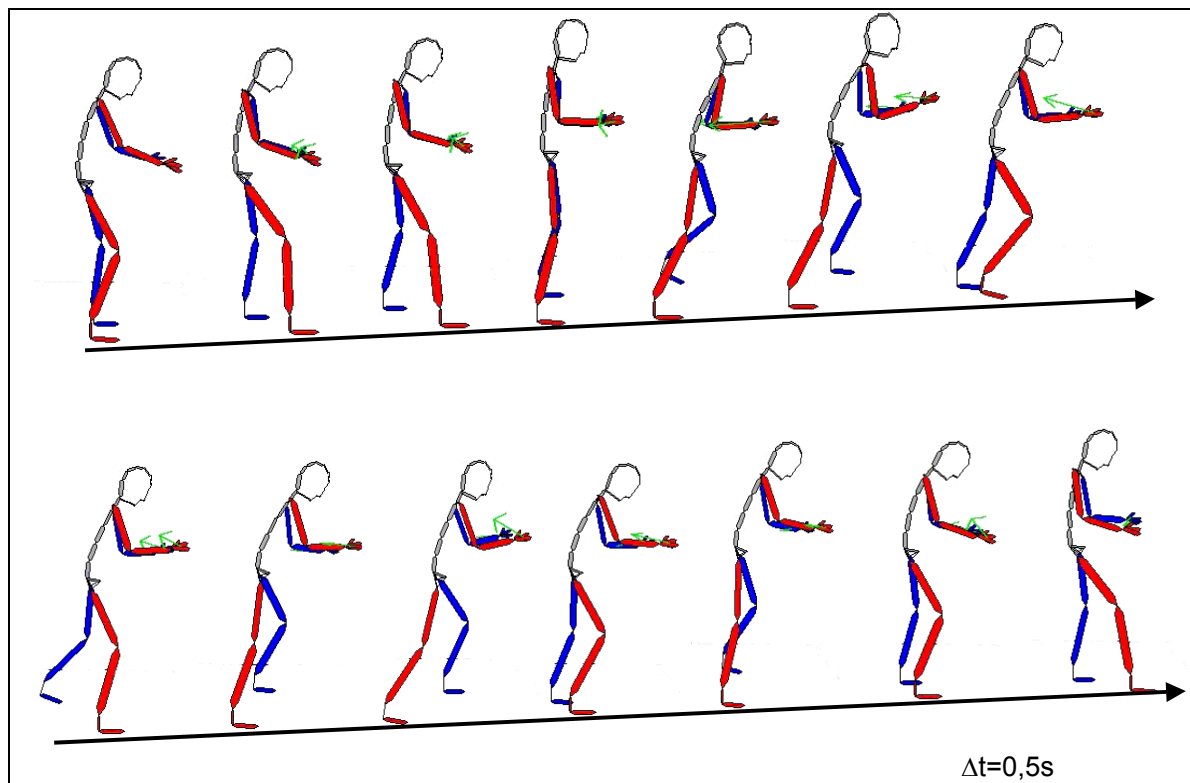


5.3.6.1 Kinematik und äußere Belastungssituation des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben

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

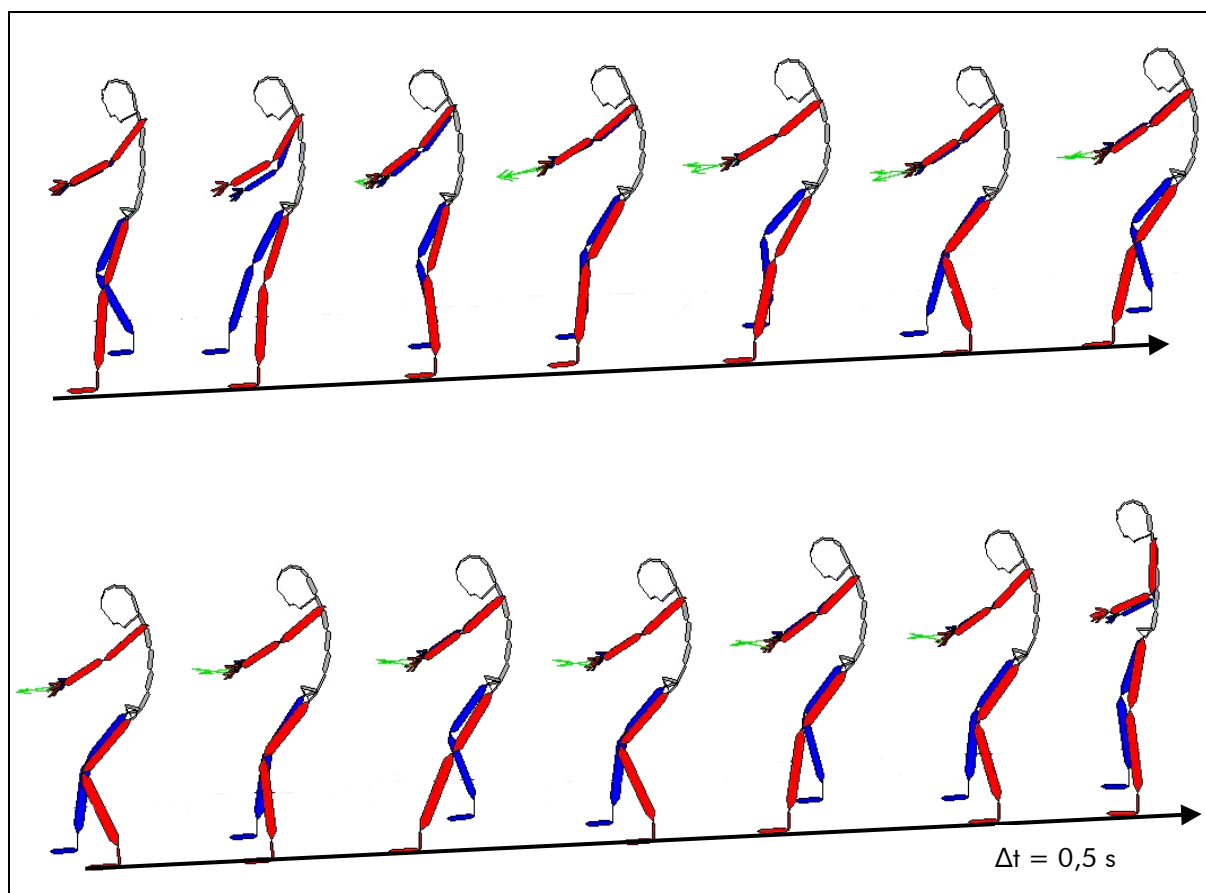




Die grün dargestellten Pfeile stellen die Reaktionskräfte an den Trolley-Griffen dar. Beim Schieben lassen die Reaktionskräfte typischerweise ein Abstützen der Versuchsperson gegen bzw. auf den Trolley erkennen. Die damit verbundene höhere Belastung der Hände und der Arme führt als „Nebeneffekt“ zu einer 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:
Kinogramm eines Ziehvorgangs von Versuchsperson 4 mit einem Fullsize-Trolley bei 5° Steigung und 65 kg Trolley-Masse

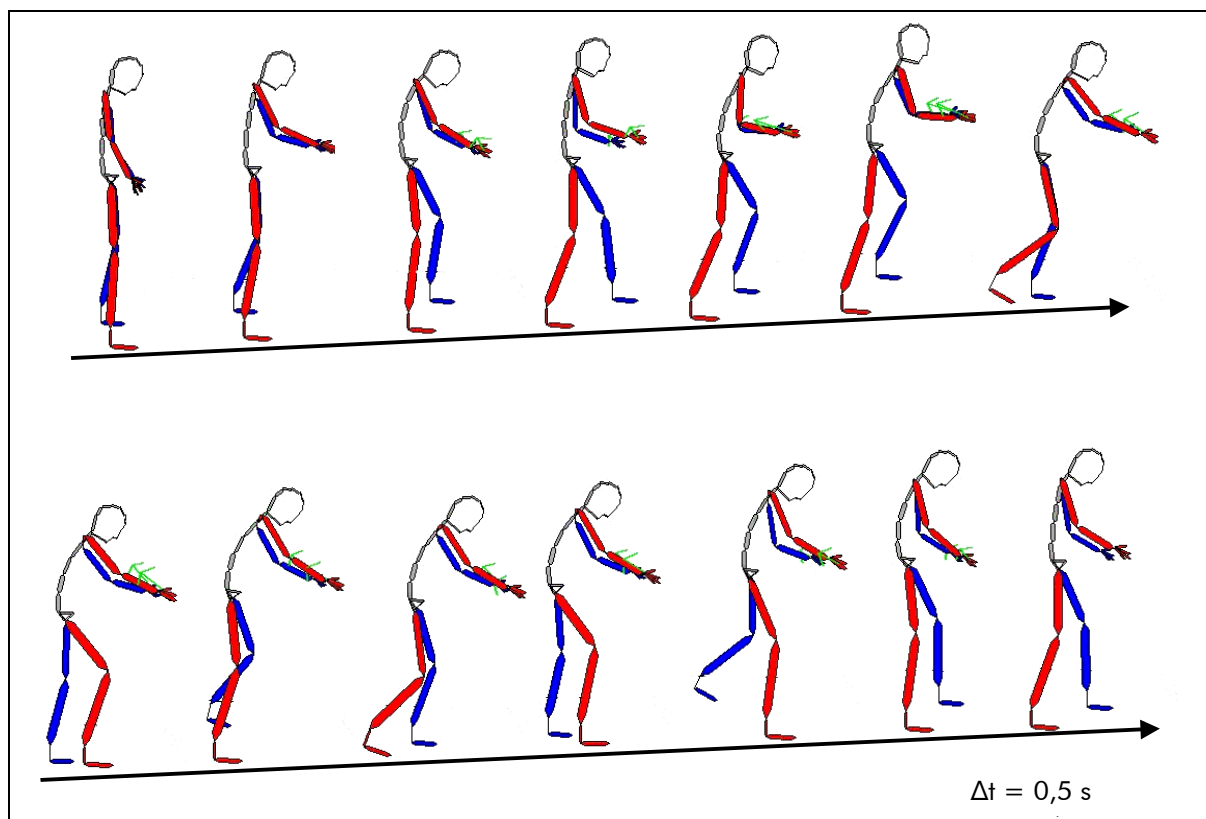




Der Ziehvorgang beginnt mit dem Greifen des Trolleys und dem Lösen der Bremse mit dem rechten Fuß. Durch Zurücklehnen des Körpers bei nahezu gestreckten Armen wird der Zug auf den Trolley erhöht, bis er sich in Bewegung setzt. Die Reaktionskräfte des Trolleys weisen eine Zugbelastung auf das Muskel-Skelett-System 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

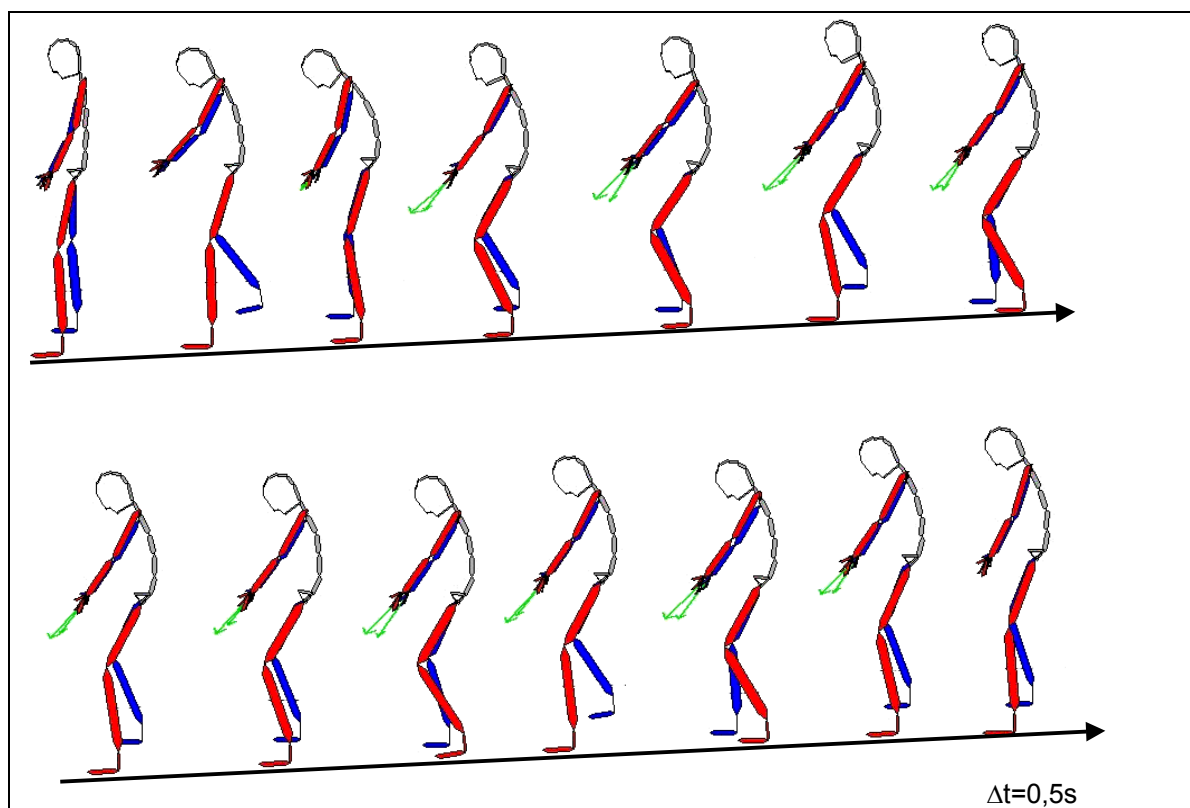




Der Schiebevorgang ist dem mit dem Fullsize-Trolley im Grunde ähnlich. Tendenziell ist die Rückenkrümmung etwas stärker ausgeprägt und das Drücken von oben auf den Trolley ist noch deutlicher zu erkennen. Dieses Verhalten hat offensichtlich mit der geringeren Kippstabilität des Halfsize-Trolleys zu tun.

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

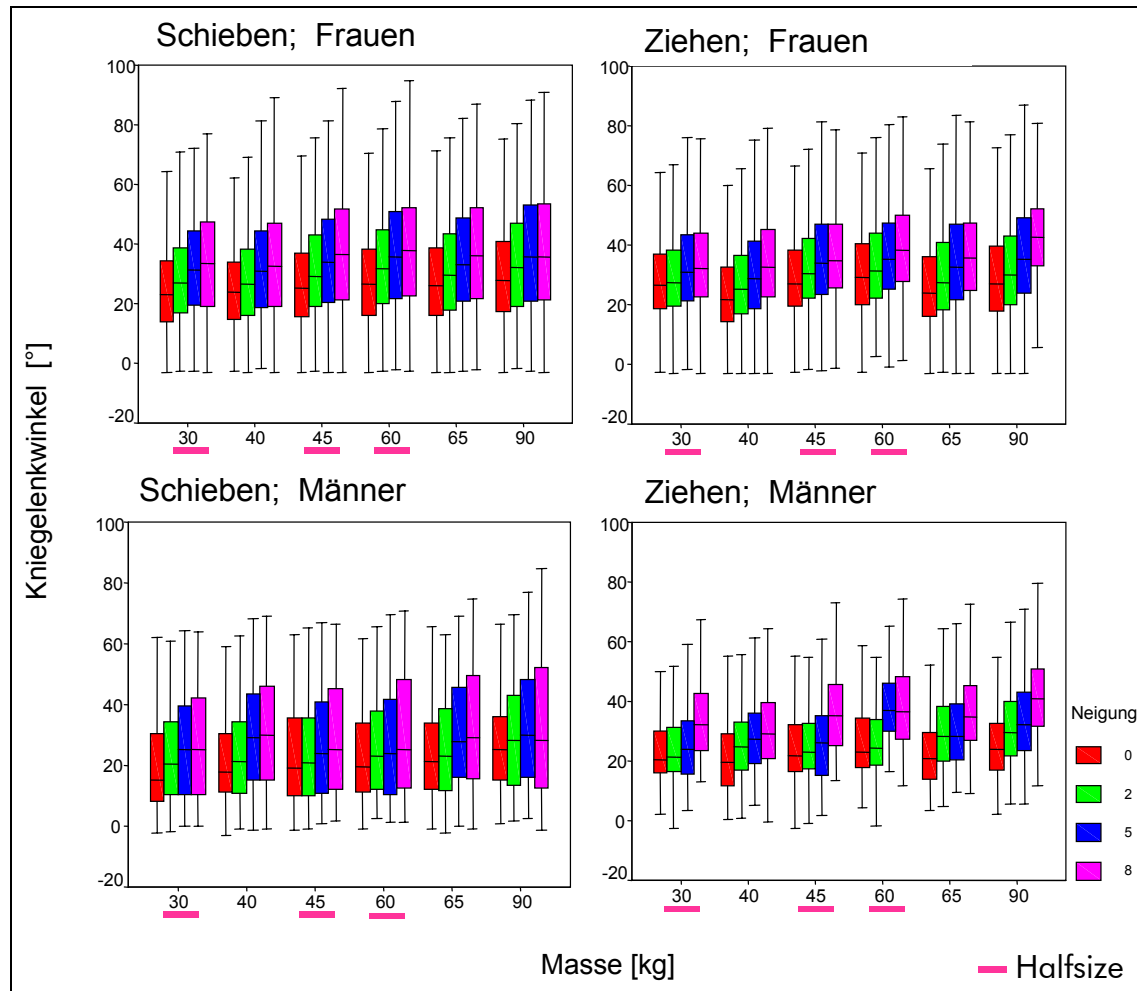
Die Analyse der Körperhaltung erfolgt auf Basis der Winkelhäufigkeitsverteilung der erfassten Gelenke über eine Tätigkeitsphase (Schieben oder Ziehen). Hierzu werden sogenannte „Box-Plots“ eingesetzt, die den Median (schwarzer Querstrich), den mittleren 50-%-Bereich (farbige Box) und die Eckwerte der 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



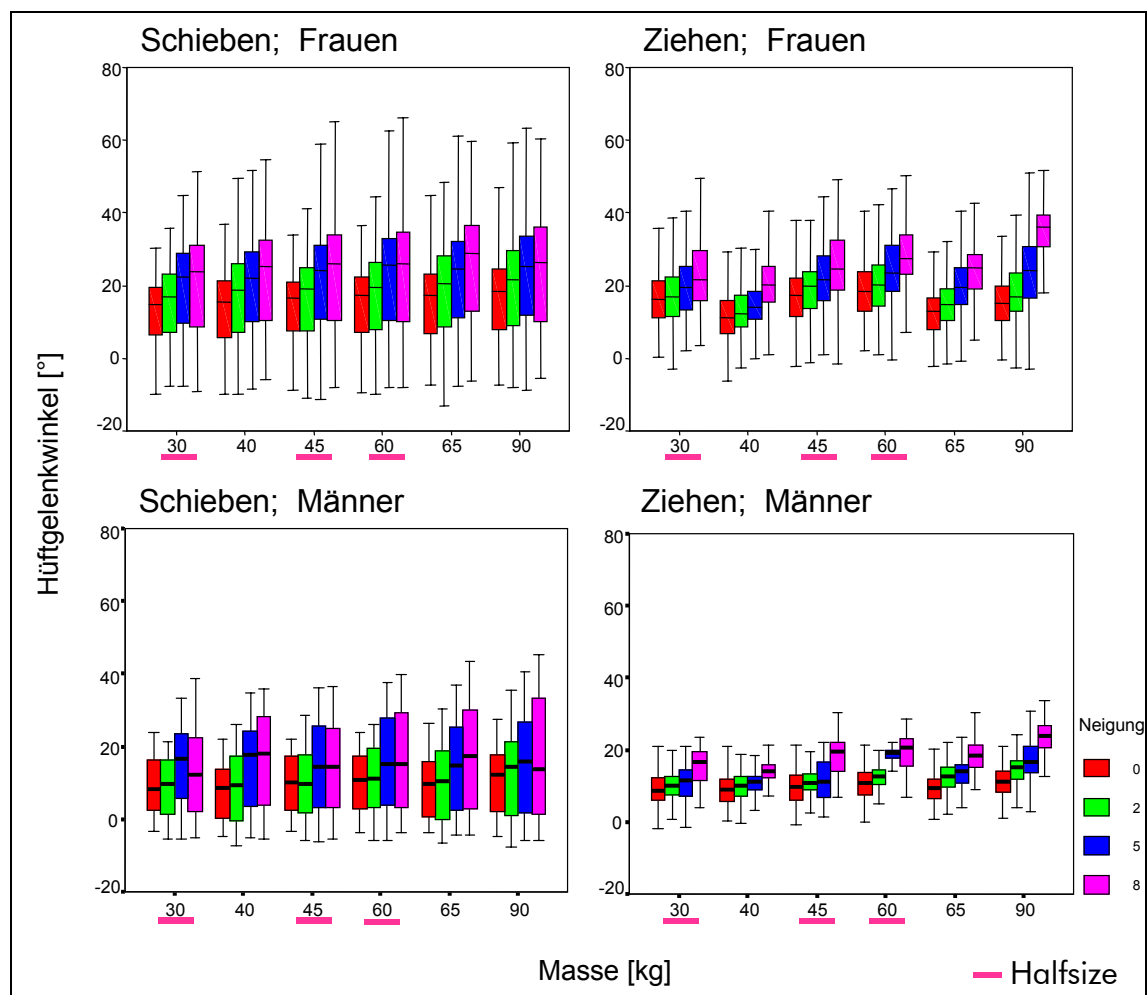
Die Winkelverteilung des Hüftgelenks deutet generell eine Flexion unter allen Versuchsbedingungen an (Abbildung 5-49, Seite 257). Meistens liegen die Medianwerte unter 25° Flexion. Bei den Frauen tritt beim Schieben häufiger eine leichte Extension bis ca. 10° auf. Diese tritt meist am Ende der Stützphase 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



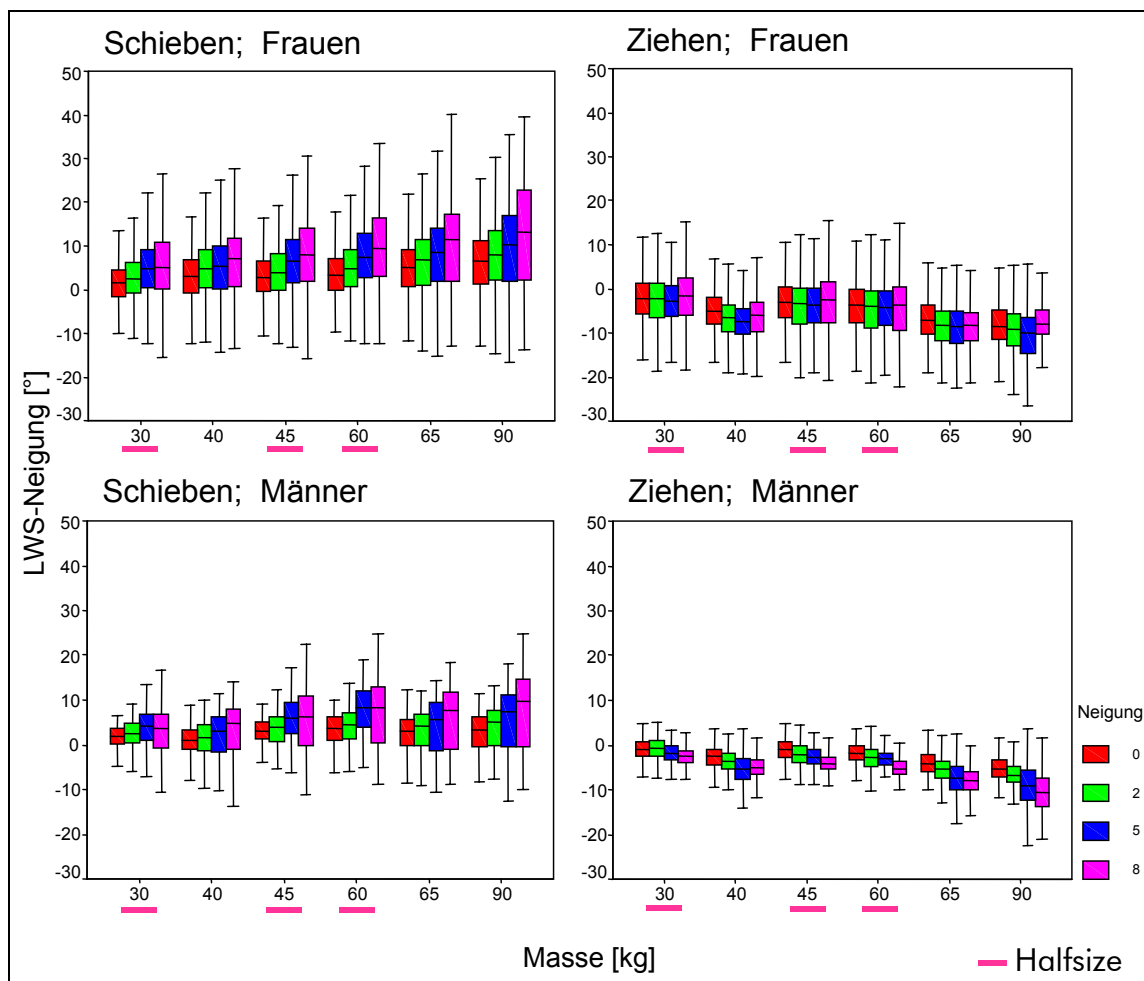
Die LWS-Neigung beschreibt den Rumpfwinkel auf Höhe der Lendenwirbelsäule bzgl. der Senkrechten in der Sagittalebene, wobei ein Beugen des Rumpfes nach vorne durch positive Winkel angezeigt wird. Generell weist die LWS-Neigung beim Schieben auf ein Vorbeugen hin, wogegen beim Ziehen häufig ein Zurücklehnen 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

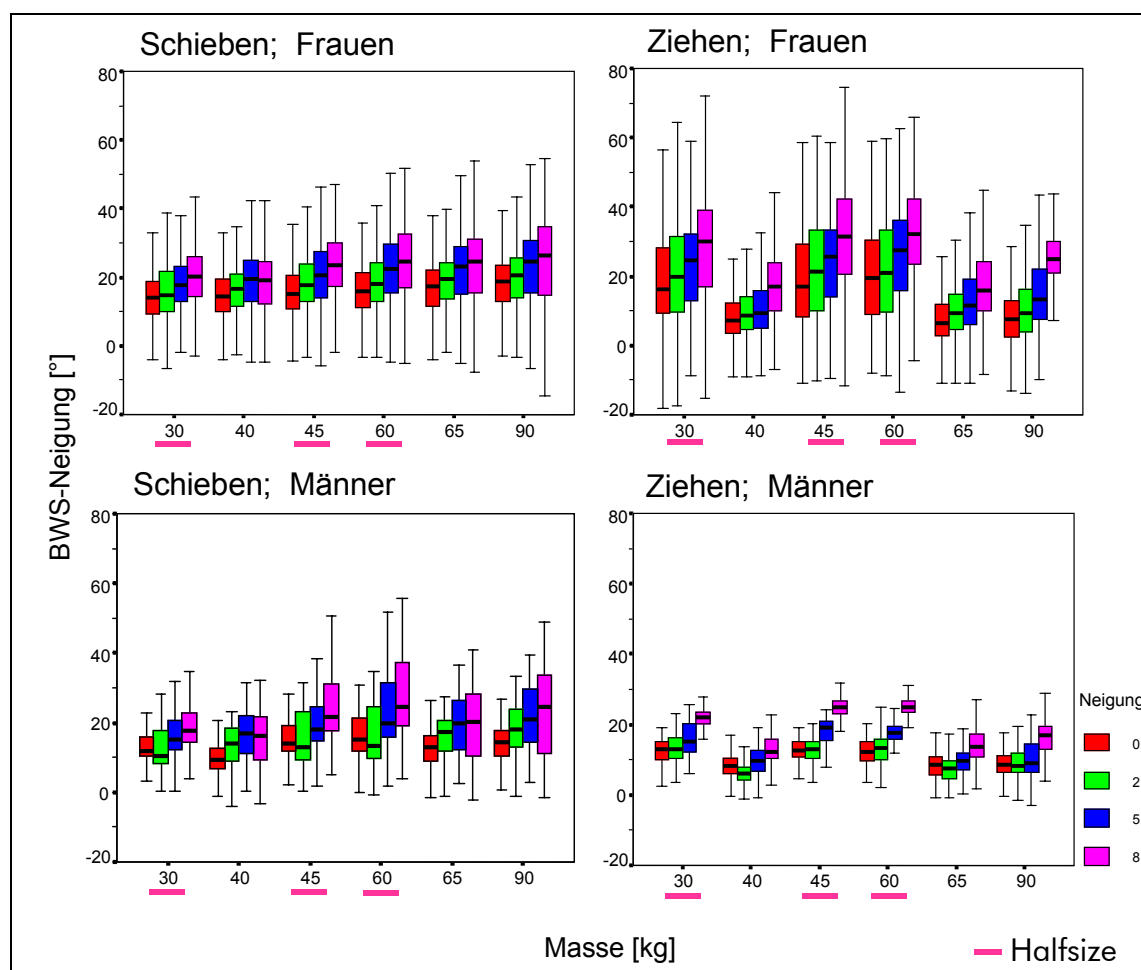




Die BWS-Neigung beschreibt analog der LWS-Neigung das Vorbeugen des Oberkörpers auf Höhe der oberen Brustwirbelsäule. Beim Schieben nimmt die BWS-Neigung mit der Steigung und der Beladung tendenziell zu (Abbildung 5-51).

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

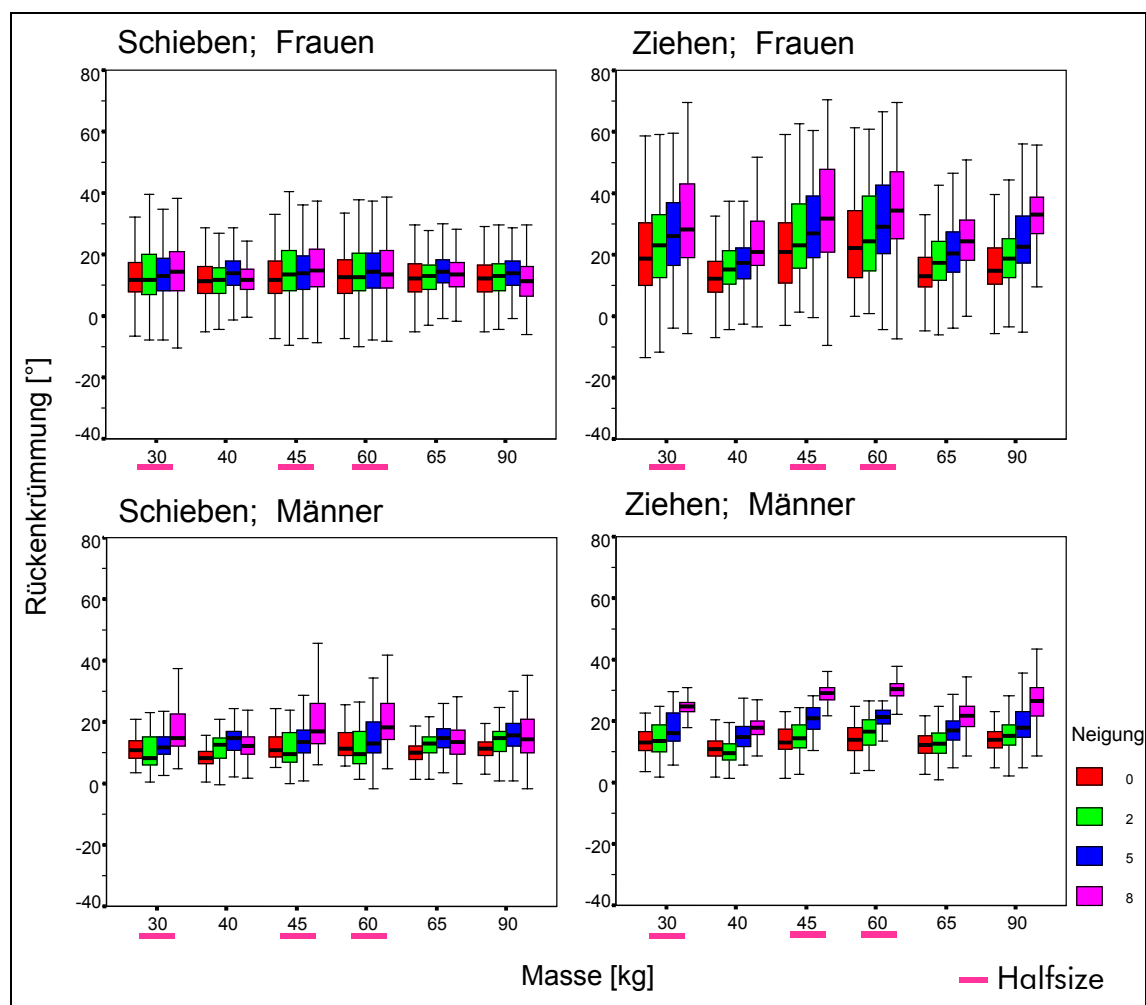


zum Teil über 60° Vorbeugung. Hierbei fällt insbesondere der Halfsize-Trolley mit den größten Streubereichen auf. Dieses Phänomen ist durch einen Komplex von Faktoren bedingt, zu denen Körpergröße, Greifhöhe am Trolley, Bewegungstechnik und weitere Parameter zu zählen sind. Eine klare Wirkungsbeziehung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





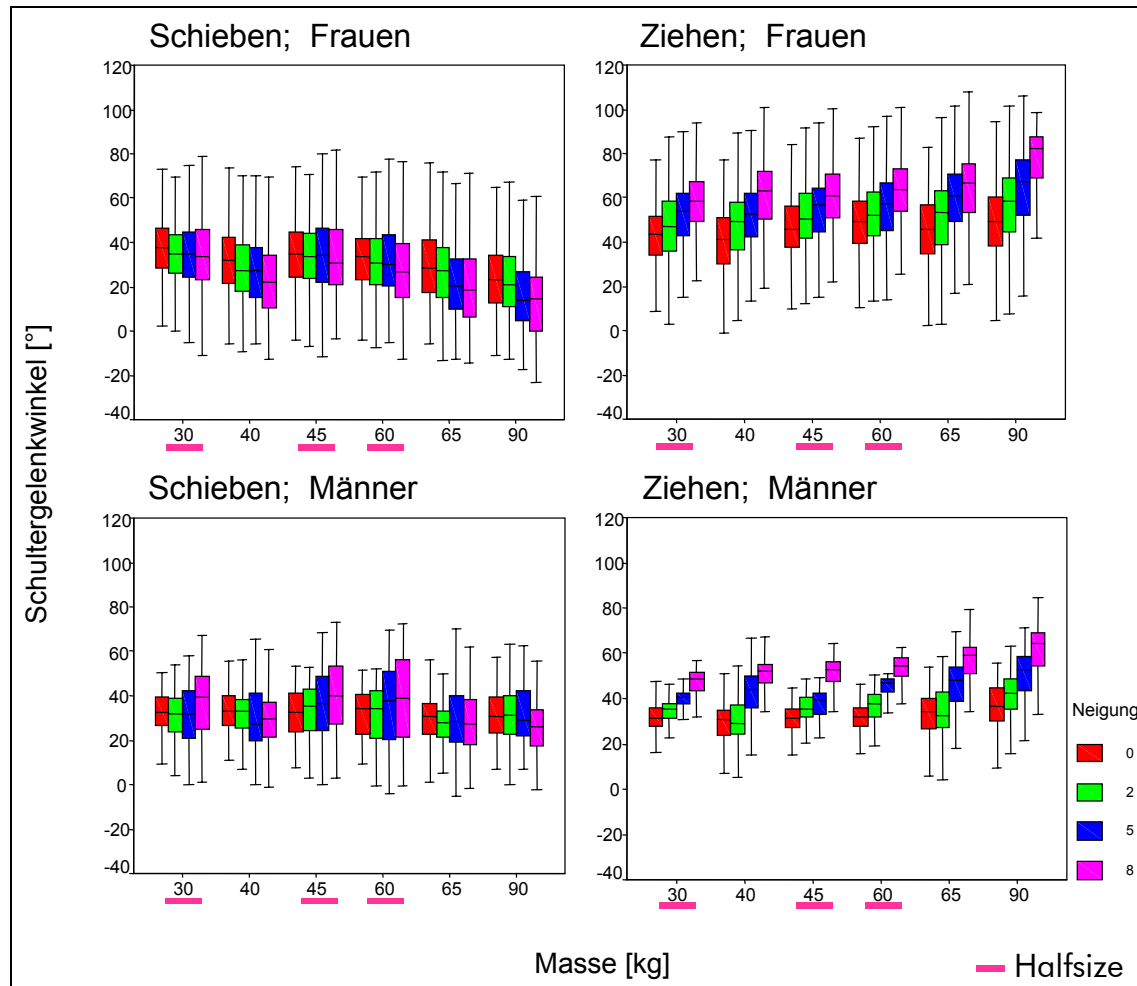
Beim Schieben bleibt die Rückenkrümmung sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern in meist unbedenklichen Bereichen von unter 30° Vorbeugung. Bei den Frauen weist die Rückenkrümmung beim Ziehen einerseits eine hohe Streubreite von bis zu 90° auf, andererseits liegen sogar die Medianwerte teilweise 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 Oberkörpervorneigung 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

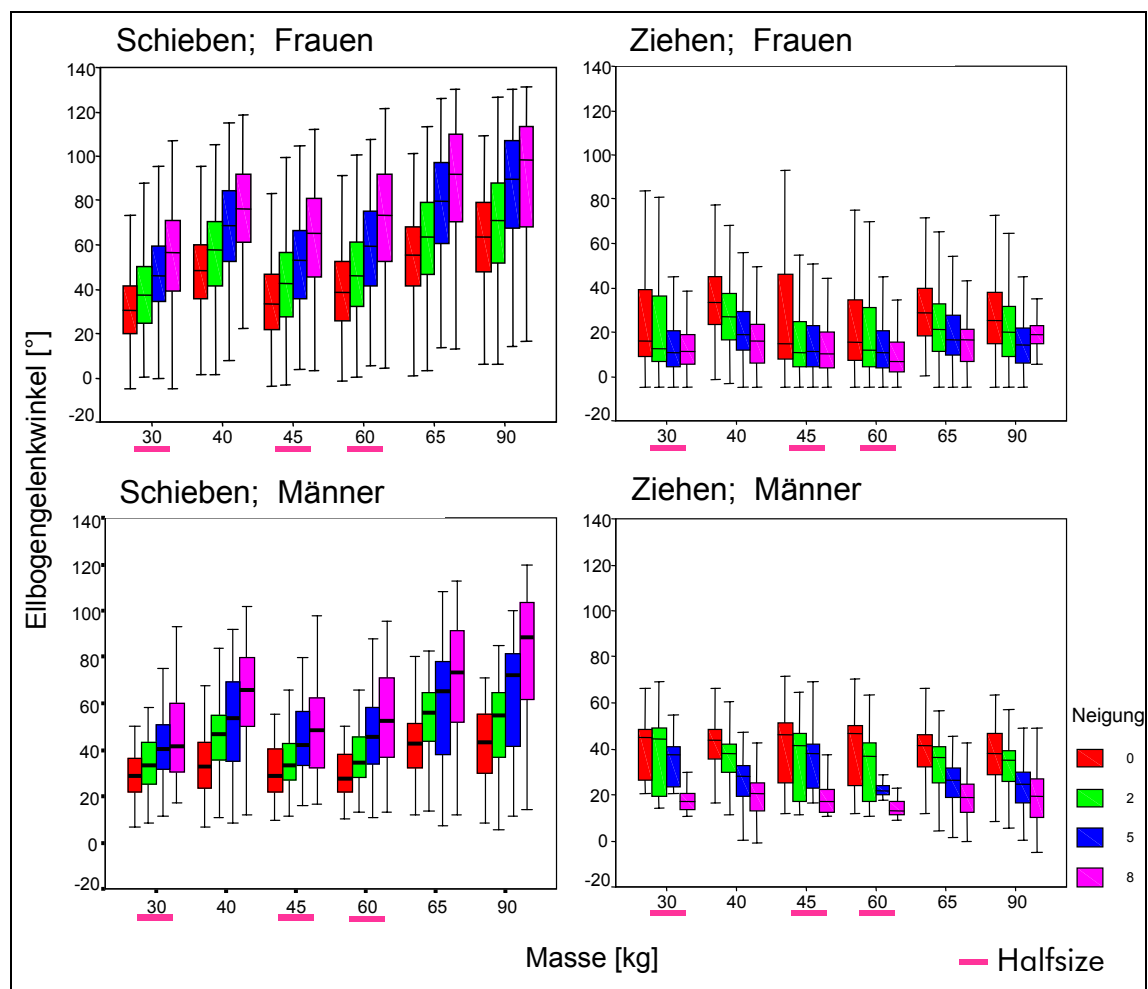


Die Winkelverteilung der Beugung des Ellbogengelenks (Flexion) zeigt bei Frauen und Männern ein ähnliches Verhalten, indem beim Schieben die Beugung mit der Schwere der Versuchsaufgabe deutlich zunimmt (Abbildung 5-54, siehe Seite 263). Hinsichtlich der Körperhaltung ist (unter Vernachlässigung der Gelenkmomentbelastung) 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-

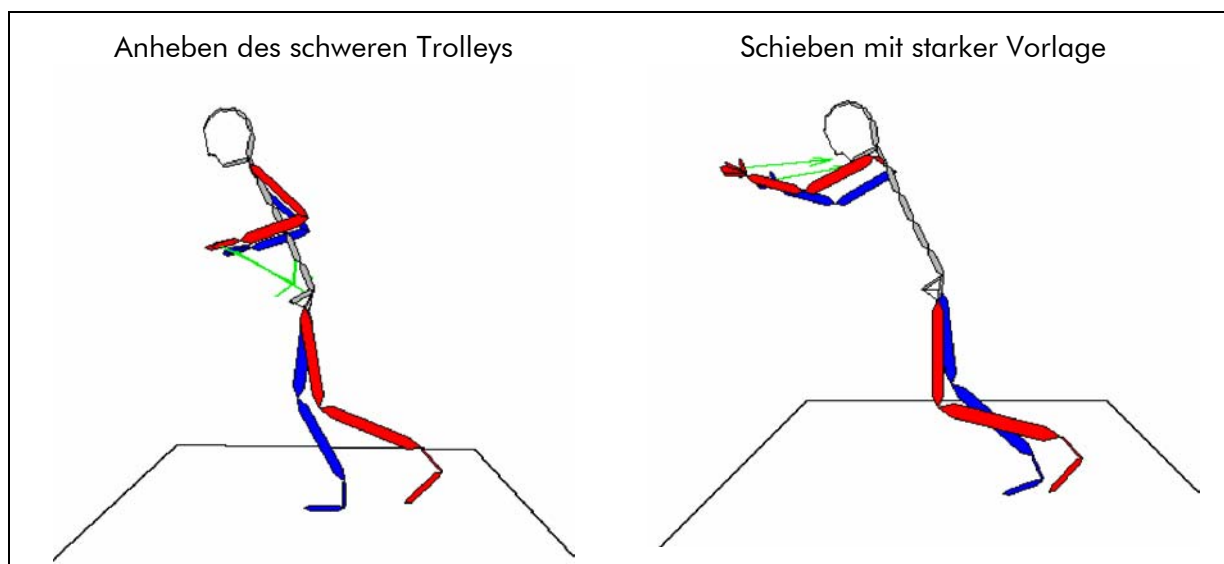


fällige Trolley-Handhabungen vorgestellt und daraus grundsätzliche Empfehlungen für ein ergonomisch günstigeres Verhalten abgeleitet.

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



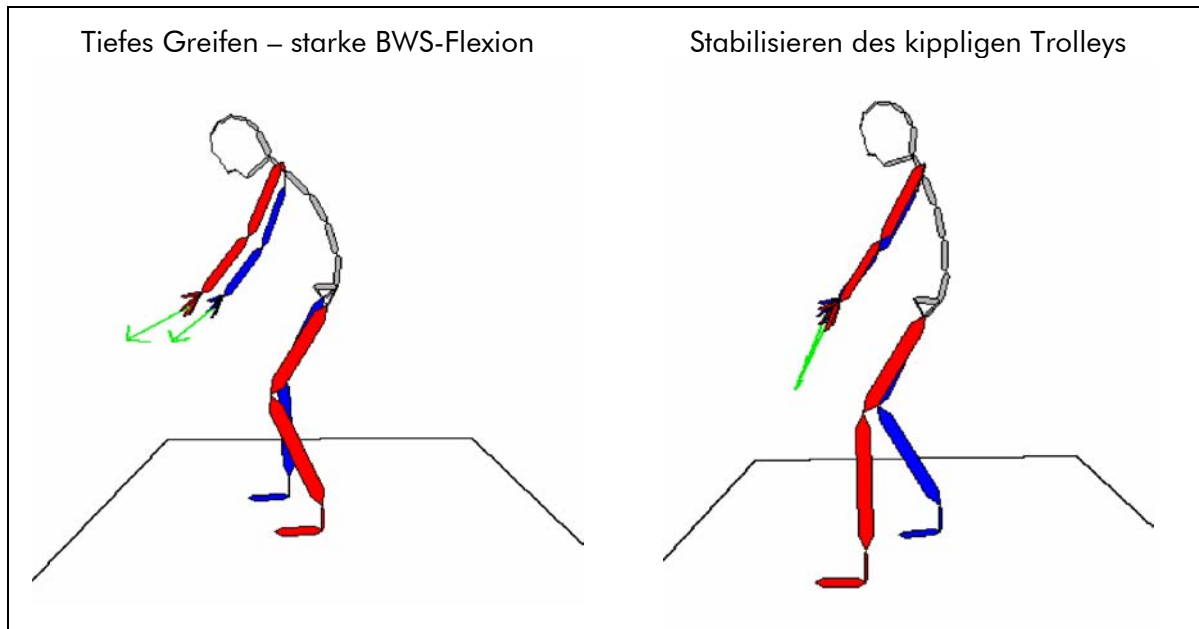
der Ellbogen- und Schultergelenke geringer, da die Wirkungslinien der Trolley-Reaktionskräfte dicht an ihnen vorbeilaufen. Zusätzlich kann das Kippmoment des Körpers für den Anschub des Trolleys genutzt werden und das Abstützen des Oberkörpers mit den Armen kann die Wirbelsäulenbelastung verringern. 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-

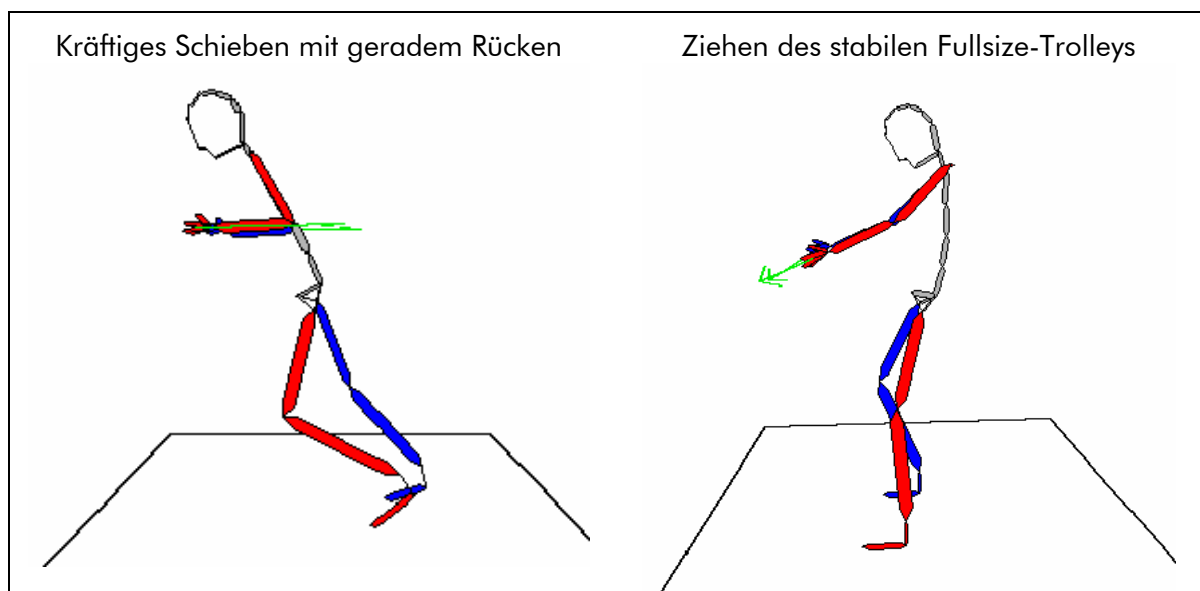


gelenk gebeugt (möglichst nicht über 120°) werden sollten, damit der Trolley relativ nah am Körper gut steuerbar geschoben werden kann. Mit einem relativ gestreckten Körper kann man sich dann dosiert gegen den Trolley lehnen, um ihn in Bewegung zu versetzen. Der Druck mit den Händen sollte immer nach 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.

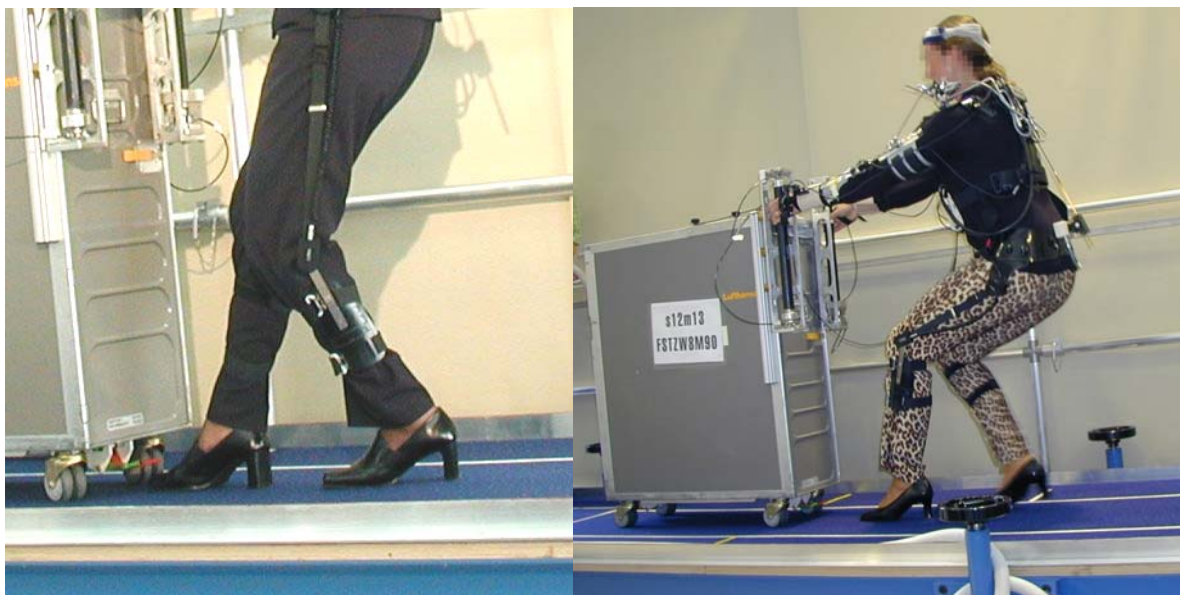
Das Rutschen der Schuhe trat immer bei Schuhen mit Ledersohle auf. Daher sollten die Dienstschuhe von Flugbegleiter/-innen immer zusätzlich zur Ledersohle mit einer (dünnen) rutschhemmenden Gummisohle ausgerüstet sein, um die Standsicherheit zu verbessern und das Hantieren mit den Trolleys etwas zu erleichtern.

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



6 Belastung der Wirbelsäule beim Ziehen und Schieben von Trolleys

Bei Tätigkeiten des beruflichen Alltags wie dem Handhaben von Lasten ist die Wirbelsäule im Lendenbereich häufig hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt; hohe lumbale Belastungen („lumbal“ bedeutet „auf die Lendenwirbelsäule bezogen“) wurden deshalb bei der Konzipierung dieses Forschungsvorhabens für das Bewegen von Trolleys nicht ausgeschlossen und stellen somit eine der Hauptfragestellungen der durchgeführten Untersuchungen dar. Diese Einschätzung wird gestützt durch die Befragungsergebnisse zu aktuellen Einschätzungen von Belastungen und Beschwerden der Flugbegleiter/-innen (siehe Abschnitt 4.4.1 und Kapitel 3). Wie einleitend erläutert, wurde die Vorgehensweise zur Ermittlung der Belastung der Lendenwirbelsäule interdisziplinär konfiguriert. In den voranstehenden Kapiteln der vorliegenden Beschreibung wurden im Wesentlichen die Erhebungsmethoden und Ergebnisse zur individuellen Maximalkraft der an den Untersuchungen teilnehmenden Flugbegleiter/-innen sowie zu den aufgewendeten Aktionskräften beim Ziehen und Schieben der Trolleys erläutert. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, wie mithilfe der messtechnisch gestützt erhobenen Daten zu Körperhaltungen und Handkräften beim Bewegen der Trolleys und nachfolgenden so genannten biomechanischen Modellrechnungen die Wirbelsäulenbelastung nach Maß und Zahl bestimmt wurde. Diese „indirekte“ Methodik der Modellrechnung wurde gewählt, weil die Belastung an der Wirbelsäule bei „direkter“ Erhebungstechnik invasiv, beispielsweise mithilfe von in eine Bandscheibe eingeführten Drucksensoren (z. B. *Wilke et al. [1]*), ermittelt wird und invasive Messungen aus ethischen Gründen nicht infrage kamen. Sind Körperhaltungen und Aktionskräfte bekannt, wie in dieser Untersuchung nach erfolgter Messung im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BIA, können auf der Basis derartiger Modellrechnungen, bei denen die Regeln und Gesetze der Mechanik auf das Skelett- und Bewegungssystem des menschlichen Körpers angewendet werden, mehrere Kenngrößen der mechanischen Belastung der Lendenwirbelsäule (z. B. Kräfte, Momente, Druck an einer oder mehreren Bandscheiben) bestimmt werden.



6.1 Methodik

6.1.1 Kenngrößen der Belastung der Lendenwirbelsäule

Beim Handhaben von Lasten wird die Belastung der Wirbelsäule üblicherweise anhand von mechanischen Kenngrößen wie Beuge- oder Torsionsmomenten sowie Druck- oder Scherkräften bezüglich der untersten Bandscheibe beschrieben. Diese ist zwischen dem untersten, d. h. dem fünften Lendenwirbel und dem oberen Teil des Kreuzbeins, dem ersten Kreuzbein- oder Sakralwirbel, lokalisiert und wird daher als „L5-S1“ bezeichnet; diese „lumbosakrale Bandscheibe“ gilt im Allgemeinen als ein auffälliger Belastungsschwerpunkt mit hoher Erkrankungshäufigkeit. Dieser „Engpassbetrachtung“ folgend wird auch in diesem Vorhaben die Lendenwirbelsäulenbelastung anhand der Höhe von Kräften und Momenten an der Bandscheibe L5-S1 beschrieben. Dabei stellt die Kenngröße „Moment“ das Produkt aus Kraft und deren Abstand von einem Bezugspunkt – hier der Referenzbandscheibe L5-S1 – dar, sodass hohe Momentenwerte bei großen Kräften oder großen Abständen bzw. bei Überlagerung von großen Kräften und großen „Hebelarmen“ vorliegen.

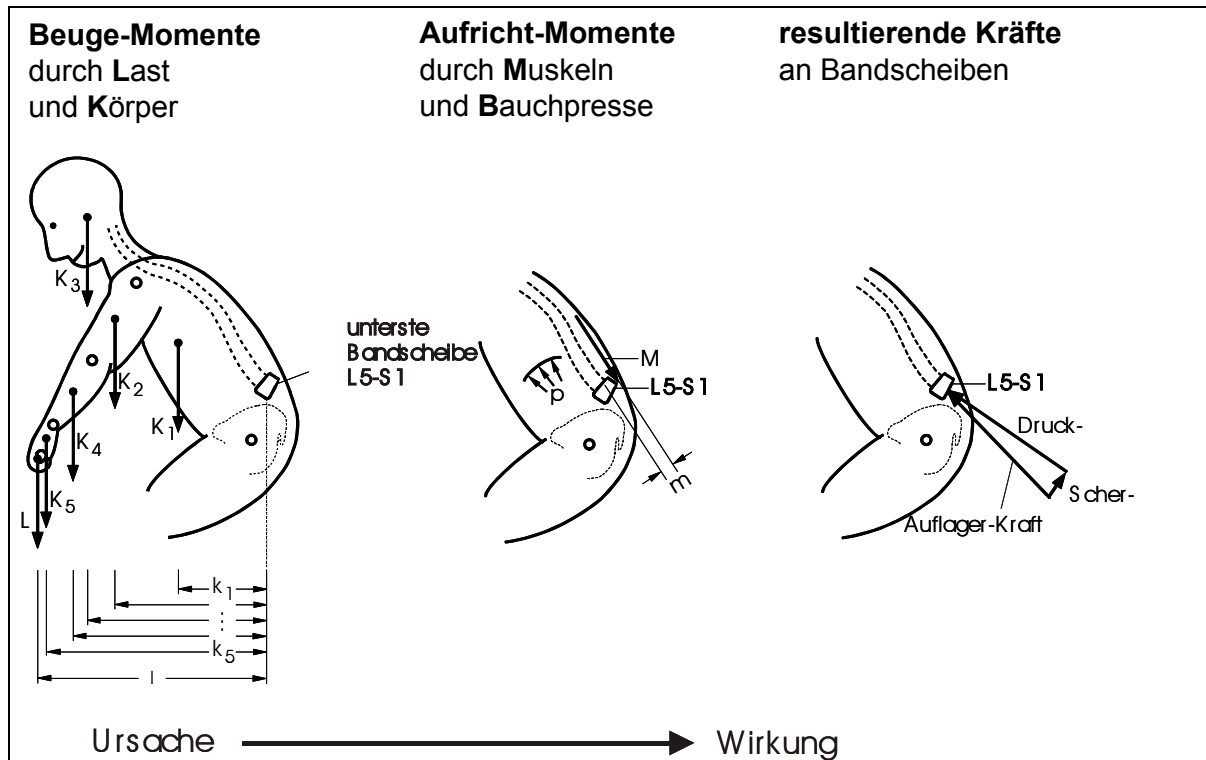
Zur Erläuterung ist in Abbildung 6-1 (siehe Seite 275) das Halten eines Lastobjektes in einer vorgebeugten Körperhaltung skizziert: Durch das Gewicht der Körperteile oberhalb des Bezugspunktes sowie der Last ($K_1 \dots K_5, L$) und die korrespondierenden haltungsspezifischen Hebelarme ($k_1 \dots k_5, l$) werden Momente an der Bezugsbandscheibe erzeugt (siehe linker Abbildungsteil); die Summe der durch Körperteile und Last induzierten Momente wird als eine erste Belastungskenngröße – Beugemoment nach vorn oder Sagittalmoment – verstanden. In Übertragung dieses Prinzips auf das Ziehen oder Schieben eines Trolleys ist die „Lastkraft“ dabei allerdings nicht vertikal, sondern in der Regel schräg nach vorn bzw. hinten gerichtet. Dem Beugemoment nach vorn sind Momente mit „aufrichtender Wirkung“ überlagert (siehe Abbildungsmitte), die im Wesentlichen auf Rücken-Muskel-Aktivität und nachrangig auf die Wirkung des Bauchrauminnendrucks zurückzuführen sind. Bei der hier vorausgesetzten Haltetätigkeit in konstanter Körperhaltung befinden sich Beuge- und Aufrichtmomente im Gleichgewicht. Aufgrund dieses „Momentengleichgewichts“ lässt sich dann bei



Kenntnis von Körperhaltung und -gewicht sowie bei bekannten Kräften an den Händen die „für das Gleichgewicht erforderliche“ Rückenmuskelkraft ableiten.

Abbildung 6-1:

Prinzipielle Vorgehensweise zur Bestimmung biomechanischer Kenngrößen der Belastung der Lendenwirbelsäule (nach Jäger et al. [2])



Zur Bestimmung der über die Bezugsbandscheibe übertragenen Kräfte wird, analog zum Momentengleichgewicht, ein „Kräftegleichgewicht“ an L5-S1 vorausgesetzt: Die Summe von Rückenmuskelkräften sowie Last- und Körpergewichtskräften entspricht dann einer „Auflager-Kraft“ an der Bandscheibe, die im rechten Abbildungsteil in Druck- und Scherkräftkomponenten, die weitere Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung darstellen, aufgeteilt ist. Dabei wird deutlich, dass aufgrund der anatomisch bedingten Form der Wirbelsäule die Bandscheibe L5-S1 gegenüber der Rumpflängsachse auch im aufrechten Stand nach vorn gekippt ist; durch das Eigengewicht der oberen Körperteile wirken daher auf diese Bandscheibe Druck- und Scherkräfte sogar dann, wenn keine Lasten gehalten oder sonstige Aktionskräfte ausgeübt werden.



Insgesamt kann gefolgert werden, dass sich bei Anwendung der „indirekten“ Methodik von biomechanischen Modellrechnungen mehrere Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung, beispielsweise Momente und Kräfte an einer Bandscheibe, rechnerisch ermitteln und somit eine invasive Erhebungsmethodik vermeiden lassen. Zur angemessenen Analyse von Tätigkeiten des manuellen Lastentransports wie das Bewegen von Trolleys wurde am Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (IfADo), ausgehend von der erläuterten prinzipiellen Vorgehensweise, ein umfassenderes computergestütztes Werkzeug („Der Dortmunder“) entwickelt, mit dem die Kräfte und Momente sowie deren Komponenten an den fünf Bandscheiben der Lendenwirbelsäule berechnet werden können. Mit diesem System, dessen wesentliche Eigenschaften im folgenden Unterkapitel beschrieben werden, können nicht nur beidseitig symmetrische Belastungsfälle – wie bei der Prinzipierläuterung vorausgesetzt –, sondern auch asymmetrische und zeitvariante („dynamische“) Handhabungsvorgänge analysiert werden.

6.1.2 Biomechanische Modellierung zur Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung

Für die in diesem Forschungsvorhaben durchgeführten Berechnungen zur Belastung der Lendenwirbelsäule wurde das vormals zur Analyse von Lastenhandhabungen entwickelte Werkzeug „Der Dortmunder“ verwendet. Mit diesem Ansatz werden die wesentlichen biomechanischen Eigenschaften und Zusammenhänge des menschlichen Stütz- und Bewegungssystems im Hinblick auf lumbale Belastungen angemessen beschrieben. Auf Grundlage von vielfältigen Modellierungen – beispielsweise von Skelett, Muskulatur und Bauchraum-Innendruck-Wirkung – werden aus Eingabedaten zur Körperhaltung und deren Veränderung, zu Lastposition und -verteilung, zu ausgeübten Aktionskräften an den Händen sowie zu weiteren tätigkeitsbeschreibenden Bedingungen wie Zeitangaben oder Lastform und zur Anthropometrie Kenngrößen der mechanischen Belastung wie Druck- und Scherkräfte sowie Beuge- und Torsionsmomente an der Lendenwirbelsäule bestimmt. Im vorliegenden Report werden Ergebnisse allerdings lediglich für zwei ausgewählte Indikatoren – Druckkraft und sagittales Beugemoment an L5-S1 – vorgestellt. Somit sind lumbal-biomechanische Analysen durch Anwendung des „Dortmunder“ prinzipiell für fast jegliche Form von Lastenhandhabungen wie



Halten, Heben, Umsetzen oder Tragen von Gegenständen möglich und insbesondere auch für die in diesem Vorhaben zu untersuchenden Tätigkeiten des Ziehens und Schiebens von Trolleys verschiedener Masse über unterschiedlich geneigte Wegstrecken.

Die Skelettstruktur des Menschen wird im „Dortmunder“ durch 30 Körpersegmente nachgebildet (Abbildung 6-2, siehe Seite 278), die im Sinne der Mechanik jeweils als „starre Körper“ angenommen sind und für die somit keine Verformung unterstellt wird: Füße, Unter- und Oberschenkel, Hände, Unter-, Oberarme sowie Schultern, Becken, mehrere Rumpfsegmente und Kopf wurden „modelliert“. Auch wenn in der Abbildung lediglich durch stabförmige Elemente skizziert, wurden für die Körperteile räumliche Massenverteilungen angenommen, deren mechanische Eigenschaften durch Länge, Radius, Gewicht und Lage des Schwerpunktes zum benachbarten Gelenk beschrieben werden. Zur Nachbildung realer Körperhaltungen und -bewegungen, die durch die jeweilige Stellung eines jeden Segmentes in Bezug auf die Raumrichtungen gekennzeichnet werden, sind die Körperteile in insgesamt 27 punktförmig angenommenen Gelenken gelagert. Die Bandscheiben im Rumpfbereich sind als Gelenke modelliert und ermöglichen somit die Simulation der real auftretenden Wirbelsäulenverformung mit von der natürlichen S-Form abweichenden Krümmungen nach vorn und zur Seite („sagittal“ bzw. „lateral“) sowie von Torsionsbewegungen. In Erweiterung des „Ein-Muskel-Modells“ der Erläuterung der prinzipiellen Vorgehensweise bei biomechanischen Modellrechnungen (siehe Abschnitt 6.1.1) wird im „Dortmunder“ die Wirkung von insgesamt 14 Muskelsträngen zur Bestimmung der körperinternen Muskelkräfte im Lendenbereich berücksichtigt, sodass insbesondere auch die Wirkung beidseits unsymmetrischer Körperhaltungen und -bewegungen oder Aktionskräfte einschließlich horizontaler, nicht-sagittaler Fälle untersucht werden können.

Darüber hinaus ist im Analysesystem „Der Dortmunder“ ein Modellierungsalgorithmus implementiert, mit dem – auf der Basis früherer Laboruntersuchungen von *S/ote* und *Stone* [3] – Körper- bzw. Körperteilbewegungen aus der Angabe von einzelnen Segmentstellungen während der Ausführung eines Bewegungsvorganges generiert werden können; allerdings wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf die Nutzung



der Bewegungsmodellierung im „Dortmunder“ aufgrund der deutlich unterschiedlichen Bewegungseigenschaften in jenen Labormessungen und beim Bewegen der Trolleys verzichtet. Demzufolge bleibt bei den vorliegenden Trolley-Untersuchungen die – als gering eingeschätzte – Beschleunigungswirkung durch Körperbewegungen unberücksichtigt, während die beschleunigungsinduzierte Wirkung durch Trolley-Bewegung einbezogen ist.

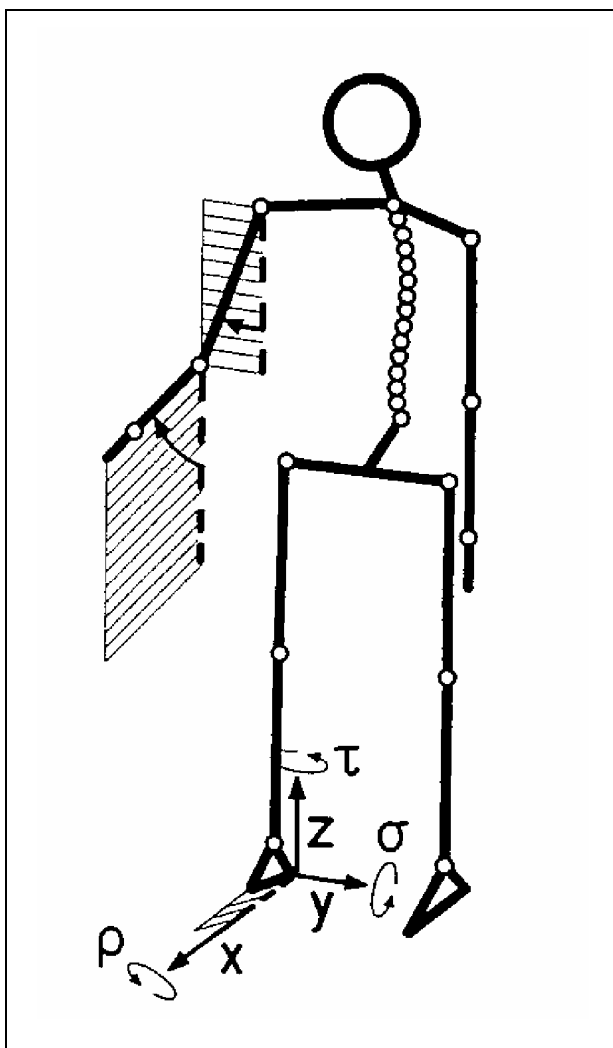


Abbildung 6-2:
Modellierung der menschlichen Skelettstruktur im System „Der Dortmunder“ einschließlich der zugrunde liegenden Definitionen von Koordinatensystem (x, y, z) und Rotationswinkel (ρ , σ , τ) bei Körperhaltungsveränderungen durch Drehung von Körperteilen gegenüber den Koordinatenrichtungen

Zur Erläuterung weiterer Systemeigenschaften des „Dortmunder“ wird auf frühere Publikationen verwiesen (z. B. Jäger et al. [2; 4]).



6.2 Erläuterungen zur Erhebung der Daten und zum Datentransfer

Aufgrund des interdisziplinären Ansatzes dieses Vorhabens und daher unterschiedlichen Bearbeitungsschwerpunkten wurden beispielsweise die Messungen zur Ermittlung der Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben der Trolleys im BIA durchgeführt, während die auf den resultierenden Messergebnissen basierenden Berechnungen zur Quantifizierung der Belastung der Lendenwirbelsäule im IfADo erfolgten. Dieser für routinemäßige Untersuchungen erstmals gewählte Ansatz – primäre Kompatibilitätsprüfungen und -anpassungen wurden innerhalb der so genannten „Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2“ vorgenommen (*Jäger* [5]) – erforderte eine Reihe von weiteren „bilateralen“ technischen Abstimmungen, Interaktionen und Entwicklungen, um die im BIA erhobenen Messergebnisse zu Körperhaltungen und Aktionskräften als Eingabedaten für die lumbal-biomechanischen Modellrechnungen im IfADo nutzbar zu machen.

6.2.1 Lumbal-biomechanische Analyse auf der Basis externer Belastungsdaten

Die Bestimmung der Belastung der Lendenwirbelsäule stützte sich ausschließlich auf die im BIA durchgeführten Datenerhebungen zu Körperhaltungen und Aktionskräften sowie zu Körperhöhe und -gewicht der Flugbegleiter/-innen (siehe Kapitel 5). Zur besseren Übersicht ist im Folgenden der für die lumbal-biomechanischen Analysen genutzte Erhebungsumfang für die tätigkeitsbezogenen Bedingungen zusammenfassend skizziert:

- 25 Flugbegleiter/-innen (22 Frauen, 3 Männer)
- zwei Trolley-Typen (Fullsize-Trolley und Halfsize-Trolley)
- vier Bodensteigungen (0°, 2°, 5°, 8°)
- drei Gewichte je Trolley-Typ, einschließlich Beladung
(Fullsize-Trolley: 90 kg, 65 kg, 40 kg bzw. Halfsize-Trolley: 60 kg, 45 kg, 30 kg)



- zwei Handhabungsarten („bergauf“ ziehen bzw. schieben)
- drei Wiederholungen je Messbedingung
 - je Flugbegleiter/-in: Insgesamt 144 Zeitverläufe mehrerer Kenngrößen vorhanden – entsprechend drei Ausführungen bei 48 Messbedingungen.

Für die biomechanischen Modellrechnungen mit dem „Dortmunder“ waren keine Einflussgrößen zu berücksichtigen, die über den vom BIA an das IfADo übertragenen und somit als vollständig anzusehenden Datenumfang hinausgingen, da die Einflussgrößen im Vorfeld abgestimmt und die entsprechenden Aspekte des Messaufbaus im BIA auf die für den „Dortmunder“ erforderlichen Datensätze ausgerichtet wurden. Dies ist bezüglich der Aktionskräfte darauf zurückzuführen, dass die beim Bewegen eines Trolleys auf den Körper über die Hände einwirkenden Kräfte beidseitig mithilfe von dreiachsigen Kraftmessaufnehmern am Trolley aufgenommen wurden, Richtung und Verteilung der Aktionskräfte daher erfasst und somit auch Auswirkungen beispielsweise von Rollreibung und Trolley-Beschleunigung oder -verzögerung in den Messdaten enthalten sind. Ferner wurden bei den Messungen (a) eine realistische Beschaffenheit des Untergrundes des Transportweges ähnlich zum Flugzeugboden gewährleistet, (b) auf eine wirklichkeitsnahe Beladung und Schwerpunktsanordnung der Trolleys geachtet sowie (c) Originaltrolleys der beteiligten Fluglinien benutzt. Allerdings waren an den Trolleys ursprünglich keine Griffe, die zur Montage der Kraftaufnehmer an den Trolleys notwendig waren, vorhanden; dennoch wurde den Flugbegleitern/-innen die Möglichkeit einer individuell wählbaren Handpositionierung zur Kraftaufbringung gegeben, sodass die Trolleys trotz der Messeinrichtungen wie gewohnt geschoben oder gezogen werden konnten. Somit waren auch die in der Realität ggf. auftretenden unsymmetrischen Greifhaltungen möglich und in ihrer Wirkung auf gewählte Körperhaltung und ausgeübte Kräfte messtechnisch erfasst.

Da insgesamt die lumbal-biomechanischen Erhebungen im Sinne einer Engpassbetrachtung auf die Tätigkeit des Schiebens und Ziehens der Trolleys „in gerader Richtung“ – analog zu einem Gang in einem Flugzeug – beschränkt war und somit Handhabungen wie Herausheben aus der Galley, Rangieren und Positionieren der Trolleys



oder auch sonstige Arbeitsinhalte der Flugbegleiter/-innen wie Herausnehmen der Tablett aus dem Trolley oder Servieren der Speisen bzw. Getränke hier unberücksichtigt blieben, beinhalteten die Daten des BIA zu Körperhaltung und Aktionskräften sämtliche notwendigen Angaben zur Quantifizierung der Wirbelsäulenbelastung für den in diesem Forschungsvorhaben gewählten Analysefokus.

6.2.2 Transfer der externen Belastungsdaten

Die im BIA erhobenen Daten zur Körperhaltung und zu Aktionskräften waren einerseits bezüglich der erfassten Kenngrößen als auch andererseits hinsichtlich der Formatierung dahingehend anzupassen, dass die BIA-Messergebnisse als Eingabedaten für das im IfADo verwendete Analysesystem zur Quantifizierung der Wirbelsäulenbelastung („Der Dortmunder“) genutzt werden konnten. Als Datensatzstruktur zwischen dem IfADo und dem BIA wurde eine „Dortmunder“-spezifische, die so genannte Tätigkeitsdatei, vereinbart sowie für den Datentransfer und -austausch verwendet. Dazu wurde im BIA eine Software entwickelt, mit dem die jeweilige Körperhaltung zu jedem Zeitpunkt beschreibenden Lage- und Winkeldaten des CUELA-Systems (*Ellegast* [6]) zusammen mit den Aktionskraftkomponenten beider Arme (siehe Abschnitt 5.3) in das vereinbarte Format der Tätigkeitsdatei des „Dortmunder“ überführt werden. Dabei werden zur Beschreibung einer Körperhaltung Bezugswinkel für die Körperteile, die die Positionierung zu den Achsen eines raumfesten kartesischen Koordinatensystems beschreiben, angegeben. Diese Bezugswinkel der Körperteile weisen allerdings in der Regel unterschiedliche Definitionen im Vergleich zum CUELA-System auf, sodass eine Vielzahl von Umrechnungen und Koordinatentransformationen notwendig waren (siehe Abschnitt 6.2.2.2).

In einer „Tätigkeitsdatei“ sind im Allgemeinen alle erforderlichen Angaben, insbesondere bezüglich Anthropometrie, Zeit- und Lasteigenschaften sowie zur Körperhaltung, mit dem Ziel einer eindeutigen Beschreibung einer einzelnen Belastungssituation enthalten. Aufgrund des Ansatzes, auf die im „Dortmunder“ zwar implementierte, allerdings hier nicht sinnvoll Bewegungssimulation zu verzichten (siehe Abschnitt 6.1.2), wurde für jede Körperhaltung während eines Vorganges eine individuelle Tätigkeits-



datei erstellt. Somit besteht ein einzelner Schiebe- oder Ziehvorgang von etwa 6 Sekunden Dauer bei einer Abtastrate von 50 pro Sekunde aus etwa 300 vorgangsspezifischen Tätigkeitsdateien. Zur Bearbeitung derartiger Dateigruppen wurde eine spezifische Software entwickelt, die – analog zur Vorgehensweise in der so genannten „Dortmunder Lumbalbelastungsstudie“, bei der eine Art Belastungsmonitoring bezüglich der Lendenwirbelsäule über einige komplette Schichten durchgeführt wurde (Jäger et al. [7]) – eine teil-automatisierte Dateneingabe für die Situationssequenzen während eines Bewegungsvorgangs ermöglichte.

6.2.2.1 Prinzipieller Aufbau einer tätigkeitsbeschreibenden Datei

Eine Tätigkeitsdatei besteht aus etwa 300 Zeilen. In ihr finden sich alle Angaben zur Körperhaltung, zu einem eventuell gehaltenen oder bewegten Lastobjekt, zu einwirkenden Kräften an den Händen, zu Bewegungszeiten, zur Größe und zum Gewicht des Probanden oder zum gewählten Berechnungsbezugspunkt, hier die Bandscheibe L5-S1. Ein großer Anteil der Datei, etwa 150 Zeilen, umfasst die ggf. zeitvarianten Körperteilstellungen anhand von Winkelangaben relativ zu den Raumachsen; eine Gruppe von etwa 50 Zeilen enthält Winkelangaben zur Beschreibung eventueller Wirbelsäulenkrümmungen und -verdrehungen, ausgehend von einer „natürlich-normalen“ S-Form in der Sagittalebene ohne Torsion. Annähernd 100 Zeilen ermöglichen die Berücksichtigung von Aktionskraftdaten beider Seiten einschließlich der jeweiligen Komponenten nach vorn/hinten, nach oben/unten oder nach links/rechts.

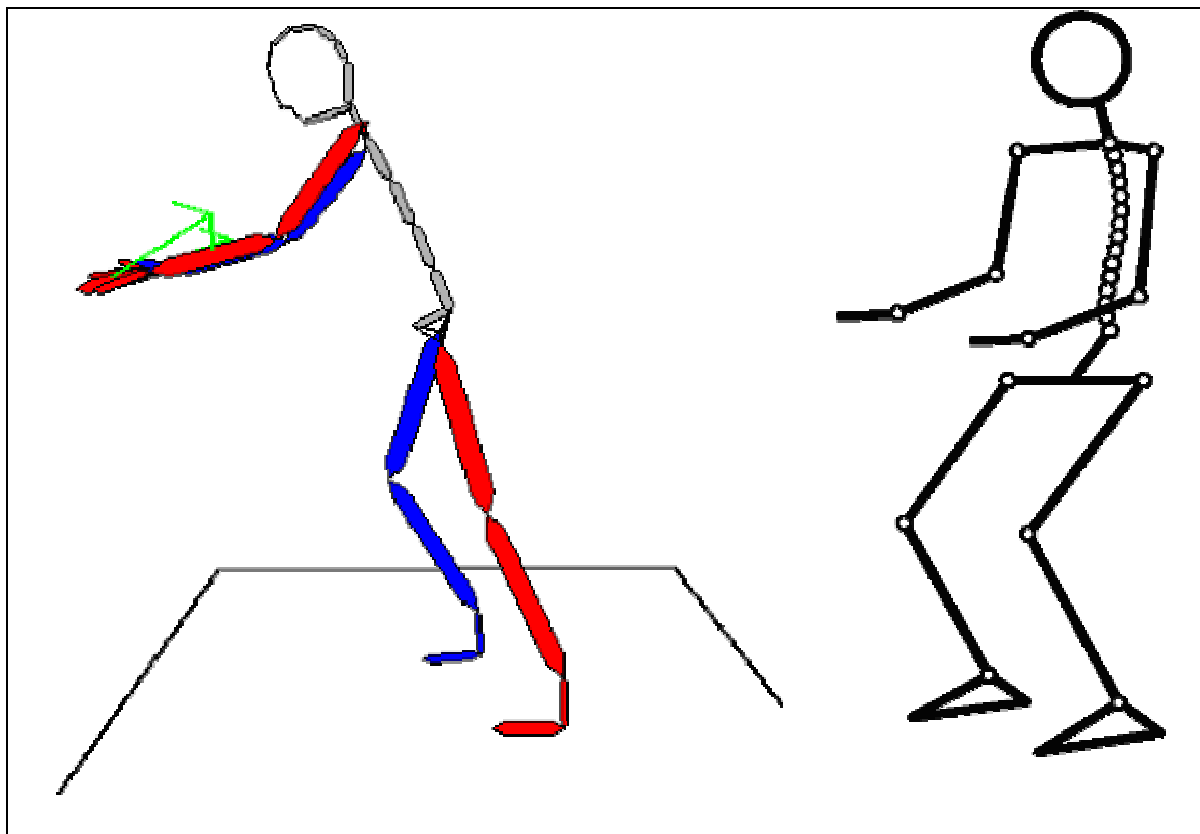
6.2.2.2 Anpassung der Datensätze

Bei diesem Forschungsvorhaben wurde eine auch für größere Datenmengen nutzbare Schnittstelle zwischen den Ausgabedaten der im BIA verwendeten Systeme CUELA bzw. WIDAAN und den Eingabedaten des im IfADo genutzten Systems „Der Dortmunder“ erstellt. Diese Entwicklung erforderte intensive und umfangreiche Interaktionen und Anpassungen, da die zugrunde liegenden Koordinaten sowie Winkel- und Kraftangaben in Struktur und Definition differieren (siehe Abbildung 6-3). Ziel dieser datenstrukturellen Modifikationen war die Erstellung von Umrechnungsroutinen, mit denen



jede in CUELA- bzw. WIDAAN-Format beschriebene Körperhaltung in eine für den „Dortmunder“ „einlesbare“ so genannte Tätigkeitsdatei konvertiert werden kann, sodass letztendlich ein Transfer auch von größeren Datenmengen zuverlässig bewerkstelligt werden konnte (siehe Abschnitt 6.2.2.1). Dabei war insbesondere zu vermeiden, dass sich aufgrund der verschiedenen Beschreibungsarten kleine Winkeldifferenzen beispielsweise in der Schulterhaltungsbeschreibung durch die folgenden Körperteile „fortpflanzen“ und in der Folge zu deutlichen Unterschieden der Handkoordinaten, die wesentlich für die Höhe der Wirbelsäulenbelastung sind, führen.

Abbildung 6-3:
Modellierung der menschlichen Skelettstruktur in den Analysesystemen CUELA (links) und „Der Dortmunder“ (rechts)



Im Folgenden werden ausgewählte Unterschiede zwischen den beiden Systemen CUELA und „Der Dortmunder“ skizzenhaft erläutert:



Zu den wesentlichen Unterschieden der beiden Systeme gehört u. a. die Lage des Koordinatenursprungs einerseits in der Hüfte, andererseits an der rechten Ferse. Darüber hinaus werden Angaben zur Körperhaltung bzw. Körperhaltungsänderung beim „Dortmunder“ für jedes Körperelement in Bezug auf den spezifischen Koordinatenursprung sowie die zeitlich unveränderlichen Richtungen angegeben, während Lage bzw. Positionsänderungen bei den Gliedmaßen in CUELA relativ zum jeweils benachbarten Körperteil definiert werden (z. B. Bewegung der Hand relativ zum Unterarm). Eine besondere Sorgfalt war bei den Koordinaten- und Winkeltransformationen auch dahingehend erforderlich, dass – obwohl der folgende Sachverhalt keine Bewertung hinsichtlich der Genauigkeit oder Eindeutigkeit der Beschreibungsarten zulässt – in CUELA zwei Winkel und beim „Dortmunder“ bis zu drei Winkel zur Angabe der Positionierung der einzelnen Körpersegmente angegeben werden.

Weitere Systemunterschiede zwischen CUELA und „Dortmunder“ finden sich in den anthropometrischen Beschreibungen: CUELA berechnet die Koordinaten der Körpergelenke aus den individuellen Körperteilmaßen der Flugbegleiter/-innen, während im „Dortmunder“ gemeinhin, und so auch in diesem Forschungsvorhaben, konstante Körperproportionen einer in der Körperhöhe veränderlichen „Durchschnittsperson“ vorausgesetzt sind. Dies bedeutet, dass die Körperteillängen nach den Maßen jenes „Kunstmenschen“ und nicht individuell angesetzt wurden. Die entsprechenden Angaben wurden aus zahlreichen Publikationen der Literatur abgeleitet und gehen zu einem großen Teil auf Körpermaße männlicher Soldaten zurück (Erläuterungen: siehe *Jäger* [8]). Da 22 der untersuchten 25 Flugbegleiter/-innen weiblich waren, zeigten sich erwähnenswerte Unterschiede bei der Hüft- und Schulterbreite, wenn auch die Hüftbreite bei diesen lumbal-biomechanischen Untersuchungen als irrelevant anzusehen sind. Da die Differenzen bei der Schulterbreite lediglich bis zu 2 cm betragen und beim Bewegen der Trolleys in erster Näherung symmetrische Armhaltungen anzutreffen waren, erschien für diese Untersuchungen eine anthropometrische Anpassung im „Dortmunder“ aufgrund des resultierenden Zeitaufwandes nicht gerechtfertigt.

Wesentliche(re) Transformationsalgorithmen waren für die Haltungsbeschreibung des Rumpfes zu erarbeiten: Beim „Dortmunder“ werden Rumpfkrümmungen oder

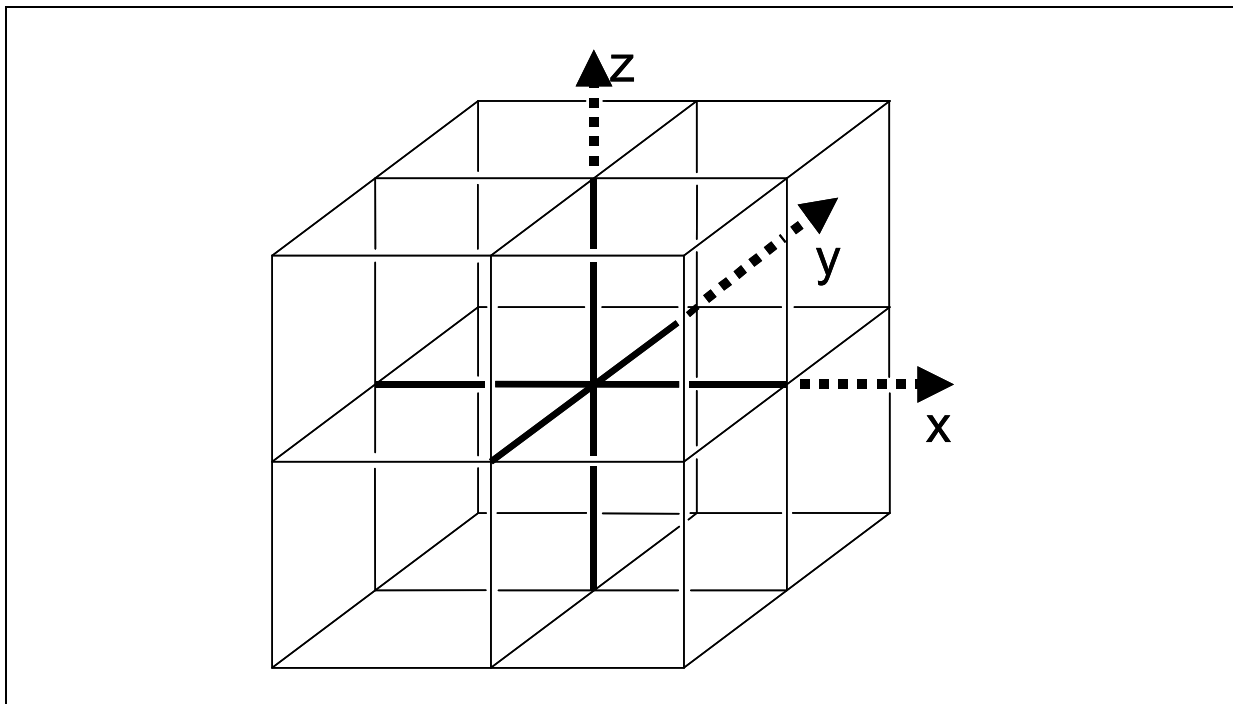


-verdrehungen und somit die „Beweglichkeit der Wirbelsäule“ durch rumpfinterne Winkelangaben für 15 Wirbel- bzw. Bandscheibenelemente angegeben, während die Wirbelsäulenform bei CUELA auf der Basis der Neigung von Lenden- und Brustwirbelsäule im Vergleich zu einer Referenzhaltung – gemeinhin aufrechter Stand – sowie anhand der Verdrehung der Brust- relativ zur Lendenwirbelsäule angegeben wird.

Bei der Transformation der in CUELA bzw. WIDAAN digital beschriebenen Körperhaltungen zu Eingabedaten für Tätigkeitsdateien des „Dortmunder“ erfolgten besondere Umrechnungen bei Körpersegmentstellungen, bei denen die Längs- oder Querachse des Körperteils nur geringfügig von einer Grenze eines „Raumoktanden“ abwich, d. h., Körperteil- und Koordinatenachsen standen in extrem spitzem Winkel zueinander. Zur Erläuterung zeigt Abbildung 6-4 (siehe Seite 286) Raumoktanden in einem xyz-System mit einem Koordinatenursprung „in der Mitte“, d. h., die Koordinaten x, y und z können sowohl positive als auch negative Werte annehmen; somit beschreiben die Oktanden die acht Anteile des Raumes, die bei Annahme eines dreiachsigen Koordinatensystems entstehen – analog zu den „Quadranten“ einer Fläche, die die vier Anteile der Fläche bei Annahme eines zweiachsigen Koordinatensystems definieren. Da bei der Koordinatenbestimmung beispielsweise von Gelenk- oder Schwerpunkten der Körperteile Tangens- oder Kotangensfunktionen verwendet werden, führen die korrespondierenden Berechnungen bei Körperteilstellungen in der Nähe von Koordinatenachsen ggf. zu Divisionen durch sehr kleine Werte oder sogar durch den Wert „Null“, d. h., bei extrem kleinen Winkeln bzw. in der Nähe von 90° , 180° , 270° oder 360° nehmen die trigonometrischen Funktionen undefiniert große Werte an, die eine automatisierte Datentransformation verhindern würden. Demzufolge wurden in derartigen Fällen entsprechende Datenanpassungen vorgenommen.



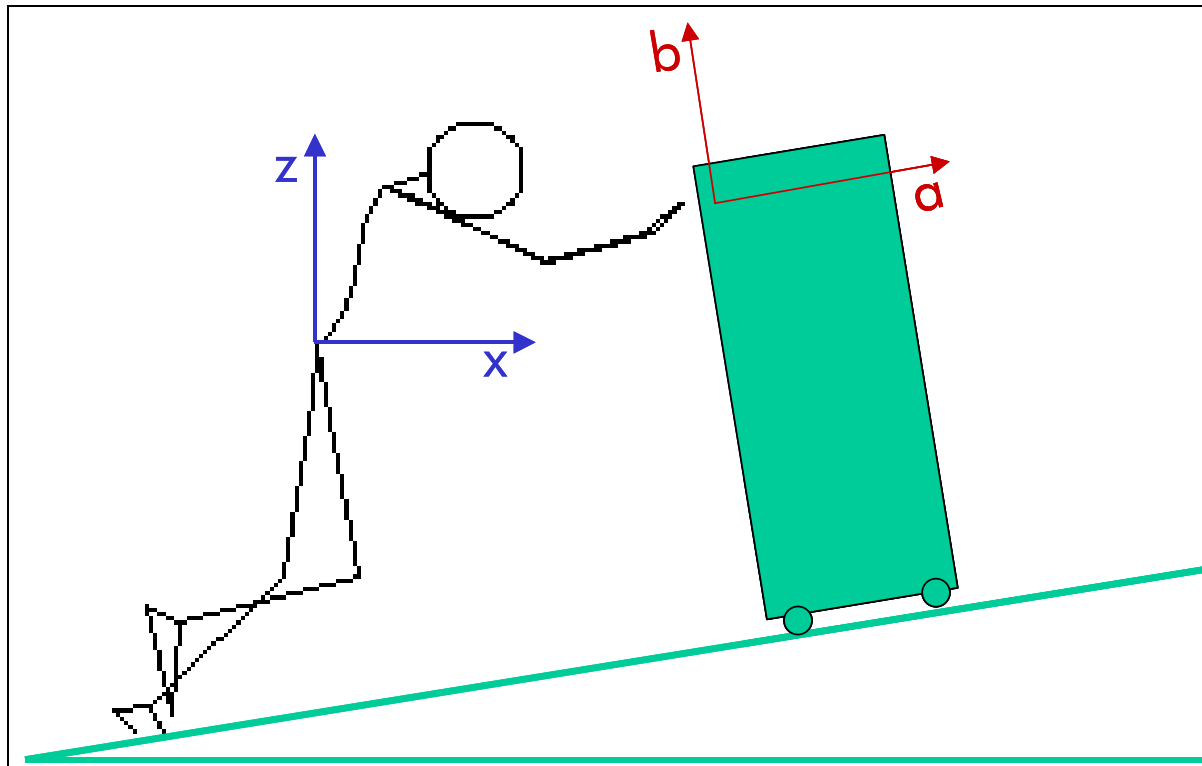
Abbildung 6-4:
„Raumoktanten“ an einem dreidimensionalen karthesischen Koordinatensystem



Abschließend wird der vergleichsweise einfach einzubeziehende Sachverhalt der Boden­neigung erläutert: Die am Trolley erfassten Kräfte und Kraftkomponenten basieren auf einem Koordinatensystem, das, sofern die Messungen nicht auf waagerechtem Transportweg erfolgten, gegenüber dem bei CUELA zugrunde liegenden Koordinatensystem entsprechend der jeweiligen Boden­neigung gekippt ist. In der auf die Zeichenebene beschränkten Darstellung in Abbildung 6-5 (siehe Seite 287) ist dazu eine Kippung der trolleybezogenen Koordinaten (hier: a, b) im Vergleich zu den gravitationsbezogenen Koordinatensystemen von CUELA bzw. „Dortmunder“ (hier: x, z) skizziert. Dementsprechend waren bei der Einarbeitung der gemessenen Aktionskraftdaten in die zu erstellenden Tätigkeitsdateien des „Dortmunder“ zahlreiche neigungsentsprechende Komponentenerlegungen durchzuführen.



Abbildung 6-5:
Koordinatentransformation infolge Bodenneigung



6.3 Analyse einzelner typischer Bewegungsvorgänge

Die Analyse von Bewegungsvorgängen kann mehrere Aspekte betreffen, zum einen Körperhaltungen, zum anderen die ausgeübten Aktionskräfte oder auch die aus Körperhaltung und Aktionskräften resultierenden Belastungen der Lendenwirbelsäule. Da diese drei Aspekte funktional miteinander verbunden sind, wurde unterstellt, dass sich ähnliche Merkmale und Auffälligkeiten in allen drei Bereichen finden lassen. Auf die Aktionskräfte und Körperhaltungen wurde detailliert in Kapitel 5 eingegangen; im Folgenden wird die Belastung der LWS ausführlicher behandelt. Dabei können neben den Unterschieden zwischen den einzelnen Probanden (interindividuelle Unterschiede) und den Unterschieden bei gleichem Probanden bei den jeweils drei Messdurchgängen unter gleichen Tätigkeitsbedingungen (intraindividuelle Unterschiede) ggf. auch Gemeinsamkeiten oder Ähnlichkeiten identifiziert und typische Kennzeichen in



den Bewegungsvorgängen ausgemacht werden. Diese Unterschiede einerseits und Analogien andererseits bieten dann die Möglichkeit, wesentliche Einflussgrößen auf die Belastungshöhe und -art zu isolieren und daraus ergebnisgestützte Richtlinien abzuleiten.

6.3.1 Abtastrate

Um die vom BIA kontinuierlich gemessenen Zeitverläufe zu verschiedenen Körperhaltungs- oder Aktionskraftkenngrößen für die nachfolgenden biomechanischen Modellrechnungen zur Bestimmung von Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung nutzen zu können, war zunächst eine geeignete Abtastrate zu finden. Die ersten Zeitverläufe wurden zur Begrenzung der Datenmenge mit einer Abtastrate von fünf Positionen pro Sekunde erstellt (Abbildung 6-6, siehe Seite 289), somit bestand ein durchschnittlicher Zeitverlauf aus etwa 30 Dateien. Allerdings erwies sich diese Darstellung als zu grob, sodass wesentliche Informationen wie das Erkennen eines Spitzenwertes nur unzureichend erfasst würden. Daraufhin wurde eine Rate von 50 Positionen pro Sekunde gewählt, und daher verzehnfachte sich die Anzahl der Daten und auch der Dateien auf dann etwa 300 pro Zeitverlauf (Abbildung 6-7, siehe Seite 289). Als Beispiel der Gegenüberstellung verschiedener Abtastraten in den Abbildungen 6-6 und 6-7 sind die Verläufe der auf das Wirbelsäulensegment L5-S1 wirkenden Kräfte für einen Schiebevorgang mit einem Fullsize-Trolley (FST) von 65 kg bei einer Bodenneigung von 5° gewählt. Versuchsperson war Flugbegleiterin 04 („s04“, weiblich, 1,71 m, 58 kg).

In schwarz ist der Verlauf der auf die Bandscheibe wirkenden Druckkraft dargestellt, in blau die Scherkraft nach vorn bzw. hinten („Sagittal-Scherkraft“) und in grün die Komponente zur Seite („Lateral-Scherkraft“; auf die genaue Bedeutung dieser Kräfte wird im späteren Verlauf dieses Kapitels noch eingegangen). Auf der horizontalen Achse ist der Verlauf der Zeit in s, auf der vertikalen Achse die Kraft an L5-S1 in kN angetragen.



Abbildung 6-6:
Kräfte an L5-S1 bei einer Abtastrate von fünf Positionen pro Sekunde
(Schieben, FST, 65 kg, 5°, s04)

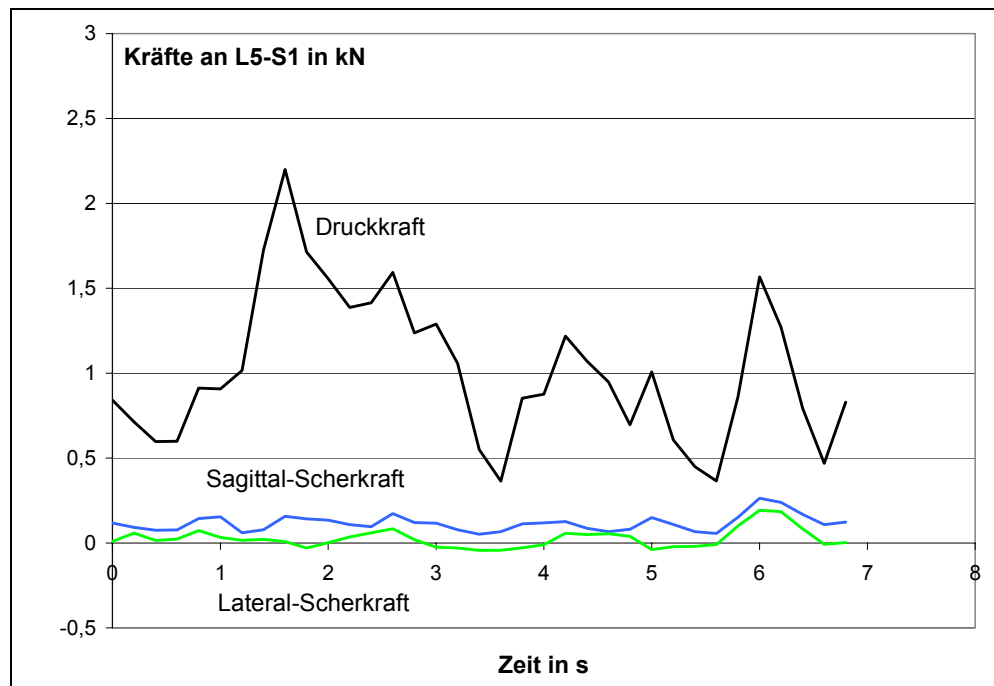
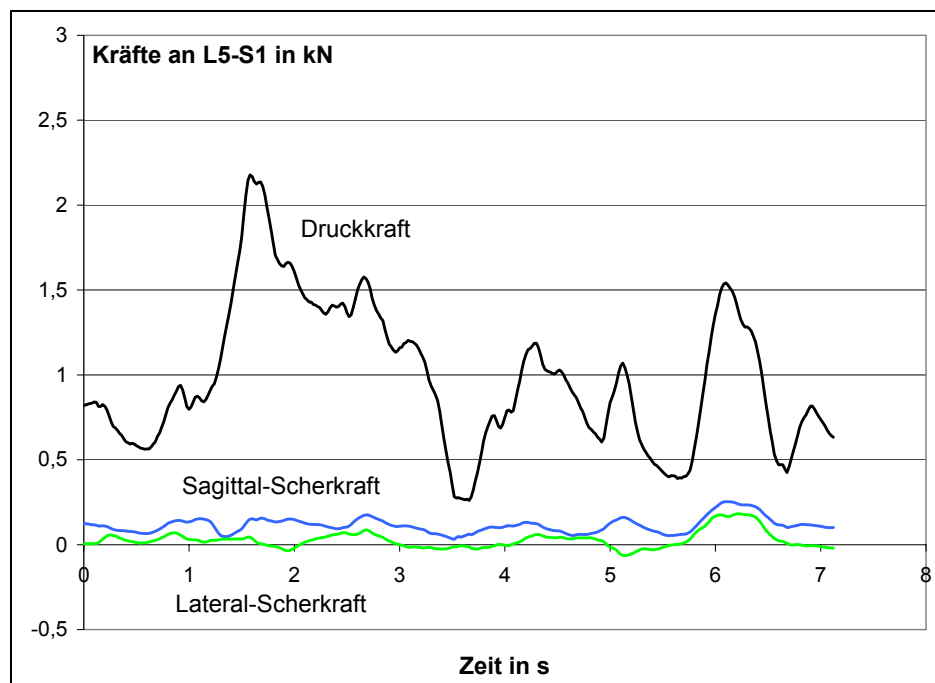


Abbildung 6-7:
Kräfte an L5-S1 bei einer Abtastrate von 50 Positionen pro Sekunde
(Schieben, FST, 65 kg, 5°, s04)





Im Vergleich der Zeitverläufe in beiden Abbildungen sind insbesondere die durch die grobe Abtastung entstehenden Ungenauigkeiten zu erkennen. Deshalb erfolgten alle folgenden Analysen auf der Basis der „feineren“ Abtastung von 50 Positionen pro Sekunde.

6.3.2 Zeitliche Segmentierung von Schiebe- oder Ziehvorgängen

Am Anfang und am Ende der einzelnen Messungen nimmt der/die Flugbegleiter/-in eine „Standardkörperhaltung“ mit aufrechtem Oberkörper und hängenden Armen vor dem Trolley ein. Der eigentliche Zieh- oder Schiebevorgang kann dabei in mehrere Tätigkeitsabschnitte gegliedert werden:

- Stehen mit hängenden Armen
- Vorbeugen des Oberkörpers, Greifen nach dem Trolley
- Lösen der Bremse
- Losbrechen bzw. Anschieben/-ziehen des Trolleys
- Ziehen bzw. Schieben (mehrere Schritte)
- Verzögern des Trolleys (nicht aktiv), evtl. Wiederaufrichten des Oberkörpers
- Betätigen der Fußbremse
- Stehen mit hängenden Armen.

Ausgewertet wurden zum einen die Zeitverläufe der Aktionskräfte rechts und links in den drei Raumrichtungen und zum anderen die an dem Wirbelsäulensegment L5-S1 wirkenden Kräfte und Momente. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden in den Beispielen der folgenden Abschnitte Zeitverläufe jeweils derselben Flugbegleiterin (s04, weiblich, 1,71 m, 58 kg) mit einem mittleren Trolley-Gewicht (65 kg FST) bei 5° Bodenneigung gewählt.

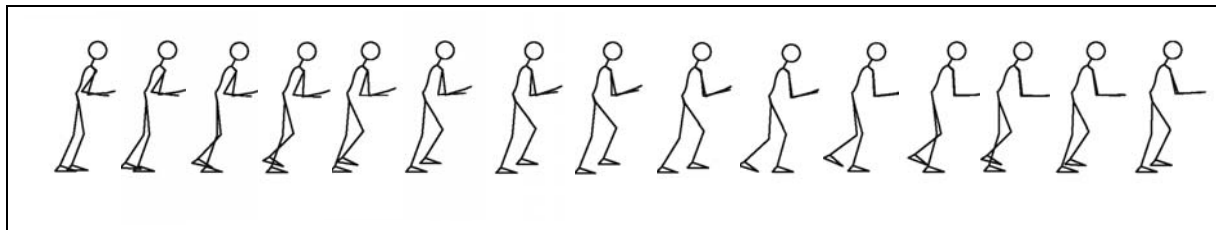


6.3.3 Exemplarische Darstellung von Körperhaltungssequenzen

In Kapitel 5 wurde ausführlich auf die Analyse der Körperhaltungen eingegangen, sodass unten stehend die zu den Beispielen korrespondierenden Zeitverläufe der Körperhaltung in skizzierter Form dargestellt werden. Das erste Beispiel (siehe Abbildung 6-8) betrifft den erwähnten Schiebevorgang eines FST mit 65 kg bei einer Bodenneigung von 5°, ausgeführt durch Probandin Nr. 4 („Stewardess s04“). Die abgebildeten Sequenzen von Strichfiguren in den Abbildungen 6-8 und 6-9 entsprechen den Körperhaltungen in einem zeitlichen Abstand von jeweils ½ Sekunde; für die Analysen genutzt wurde – wie erwähnt – eine Folge mit zehnfacher zeitlicher Dichte.

Abbildung 6-8:

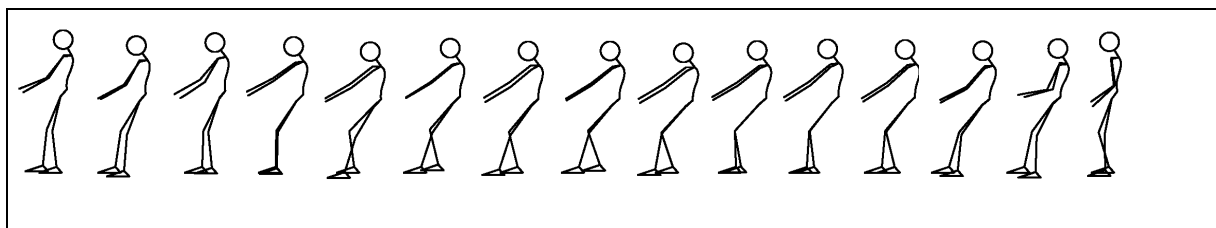
Kinematogramm für den Belastungsfall „Schieben, FST, 65 kg, 5°, s04“, Zeitabstand zwischen den Figuren: ½ Sekunde (siehe Abbildung 5-35)



Bei diesem Schiebevorgang ist die Körperhaltung leicht vorgebeugt. Beim Schieben erfährt die Wirbelsäule durch das Aufstützen auf dem Trolley eine leichte Unterstützung, während die Wirbelsäule beim Ziehen in den gegebenen Körperhaltungen mit rückwärtig gelehntem Oberkörper, wie das Kinematogramm in Abbildung 6-9 zeigt, eher belastungserhöhenden Kräften und Momenten ausgesetzt ist.

Abbildung 6-9:

Kinematogramm für den Belastungsfall „Ziehen, FST, 65 kg, 5°, s04“, Zeitabstand zwischen den Figuren: ½ Sekunde (siehe Abbildung 5-36)





Analog zum Schiebevorgang des Fullsize-Trolleys ist nachfolgend der entsprechende Vorgang des Ziehens (ansonsten gleiche Bedingungen) dargestellt.

Obwohl der folgende Sachverhalt nicht Gegenstand detaillierter Analysen darstellt, fällt bei einem Vergleich der Kinematogramme zum Schieben bzw. Ziehen auf, dass sicherlich nicht nur auf die Wirbelsäule, sondern auch die anderen Körperteile unterschiedliche Kräfte einwirken. Dies kann insbesondere daraus gefolgert werden, dass die Arme beim Schieben stark angewinkelt und beim Ziehen durchgestreckt werden und dass die Krafrichtungen beim Schieben und Ziehen entgegengesetzt orientiert sind.

6.3.3.1 Zeitverlauf eines Schiebevorganges

In den Abbildungen 6-10 bis 6-16 (siehe Seite 294 bis 298) wird der exemplarisch gewählte Schiebevorgang des Fullsize-Trolleys mit einem Gewicht von 65 kg bei einer Boden­neigung von 5° , ausgeführt durch Flugbegleiterin 04 und dargestellt mit der Abtastrate von 50 Positionen pro Sekunde, im Hinblick auf die Aktionskräfte und deren Komponenten an beiden Händen erläutert. Zunächst werden die Komponenten getrennt dargestellt, danach erfolgen spezifische Darstellungen der Summen bzw. Differenzen der rechts bzw. links aufgebrauchten Kräfte; abschließend wird der Zeitverlauf der Gesamtkraft, d. h. der Betrag der vektoriellen Summe der Kraftkomponenten beider Seiten erläutert.

Zu erkennen sind in diesen Zeitverläufen die zuvor erwähnten einzelnen Phasen eines typischen Schiebevorganges:

- Zu Anfang wird die Bremse gelöst und die Trolley-Griffe werden gefasst. Anschließend erfolgt das Anschieben des Trolleys; dabei wird eine relativ große Kraft nach vorne aufgebracht, der Trolley wird „partiell angehoben“ und beide Arme drücken zusätzlich zur Mitte hin. In dieser Anschiebephase wird der Spitzenwert der Gesamtkraft erreicht.



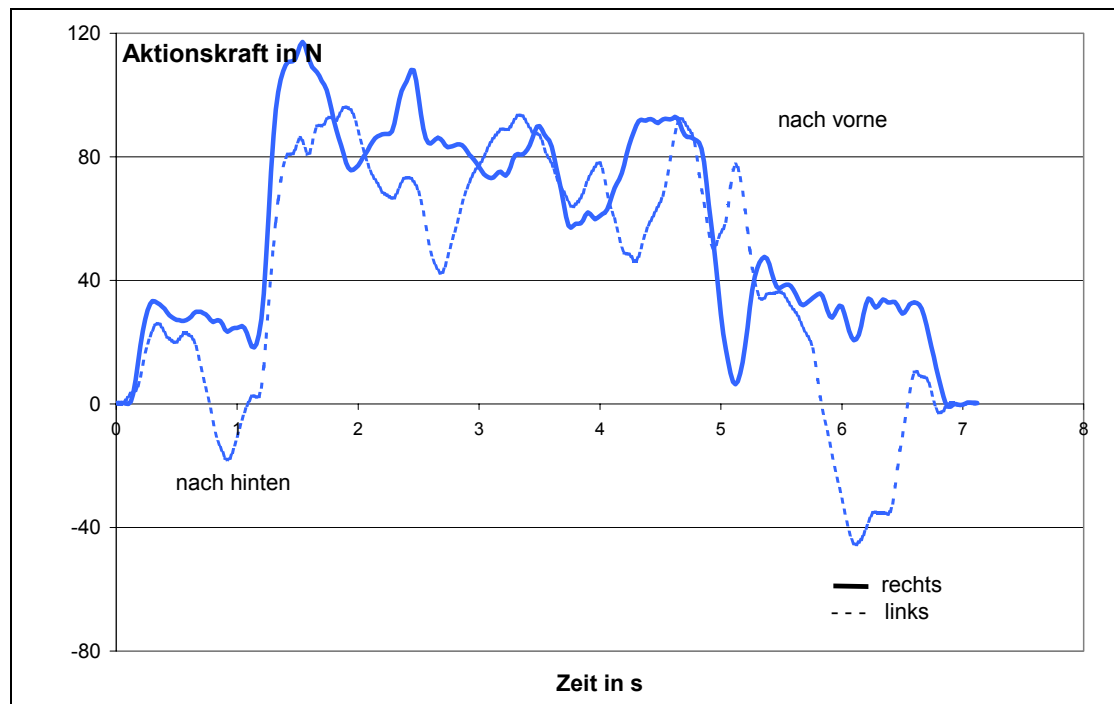
- Während der eigentlichen Schiebephase wird der Trolley nicht mehr angehoben, der/die Flugbegleiter/-in lehnt sich ein wenig auf den Wagen. Auch die Kraft nach vorne nimmt etwas ab. Die Schwankungen in den Zeitverläufen während der Schiebephase sind auf die wechselnde Körperhaltung bei den Schritten zurückzuführen.
- Zum Ende des Schiebevorganges wird der Trolley verzögert, wobei aufgrund der Gravitation und der Reibung keine Kraftausübung durch den/die Flugbegleiter/-in nötig ist. Danach wird die Feststellbremse getreten. Dabei nimmt der Proband eine asymmetrische Körperhaltung ein, die sich auch in den ungleichen Aktionskräften der beiden Hände widerspiegelt.

In den folgenden Diagrammen sind die Kräfte, die nach vorne bzw. hinten aufgebracht wurden, blau dargestellt, die Kräfte nach rechts und links sind grün und die Kräfte nach oben bzw. unten schwarz dargestellt. Für die linke Hand wurde eine gestrichelte, für die rechte Hand eine durchgezogene Linie gewählt. Auf der horizontalen Achse ist der Zeitverlauf in s, auf der vertikalen Achse die gemessene Aktionskraft in N aufgetragen.

In Abbildung 6-10 ist an den positiven Werten der Kräfte „nach vorne“ (im gewählten Koordinatensystem in x-Richtung) zu erkennen, dass die Zeitverläufe einen Schiebevorgang repräsentieren; beim Ziehen wären die Kräfte mit negativen Werten belegt. Festzustellen ist auch, dass die Aktionskraft in x-Richtung beim Anschieben des Trolleys (ca. 1 bis 1 ½ s) stark ansteigt und einen Spitzenwert (ca. 1 ½ s) erreicht. Es folgt ein Abfall von diesem Maximalwert während der eigentlichen Schiebephase (ca. 1 ½ bis 5 ½ s). Die Schwankungen der Schiebekräfte in dieser Phase sind zum einen bedingt durch die wegen der Schritte unsymmetrische Körperhaltung, zum anderen durch eventuelle Ausgleichsbewegungen, um ein Kippen des Trolleys zu verhindern. Beim Lösen (ca. ½ bis 1 s) und Feststellen (ca. 6 bis 6 ½ s) der Bremse sind aufgrund der Betätigung des Fußhebels und der daraus resultierenden „schrägen“ Körperhaltung unsymmetrische Handkräfte aufgetreten. Sowohl die Handhabungen vor als auch die nach dem eigentlichen Schiebevorgang bewirken nur geringe Aktionskräfte nach vorn.



Abbildung 6-10:
 Aktionskräfte nach vorne (in x-Richtung)
 (Schieben, FST, 65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)



Die seitwärts gerichteten Aktionskräfte (y-Richtung, siehe Abbildung 6-11) sind in ihrer Größenordnung nur etwa ein Viertel so groß wie die nach vorn gerichteten Aktionskräfte. In der Anschiebephase wird der Trolley von rechts und links „zusammengedrückt“, die Kraftverläufe sind annähernd symmetrisch bezüglich der Zeitachse. Auch bei dieser Kraftkomponente wird das Maximum in der Anschiebephase erreicht. Wie die Zeitverläufe zeigen, werden diese Kräfte ebenfalls durch die unsymmetrische Körperhaltung beim Bremsen gegen Vorgangsende beeinflusst.

Bei den Aktionskräften in z-Richtung („nach oben“, siehe Abbildung 6-12) ist zunächst ein Abstützen auf dem Trolley und dann ein partielles Anheben des Trolleys während des Anschiebens zu beobachten. Ist der Trolley in Bewegung, wird er nicht mehr „angehoben“; stattdessen stützt sich der/die Flugbegleiter/-in wieder leicht auf dem Trolley ab. Auch hier führt das Treten der Bremse zu unsymmetrischen Kraftverläufen.



Abbildung 6-11:
Aktionskräfte zur Seite (in y-Richtung) für Schieben,
FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

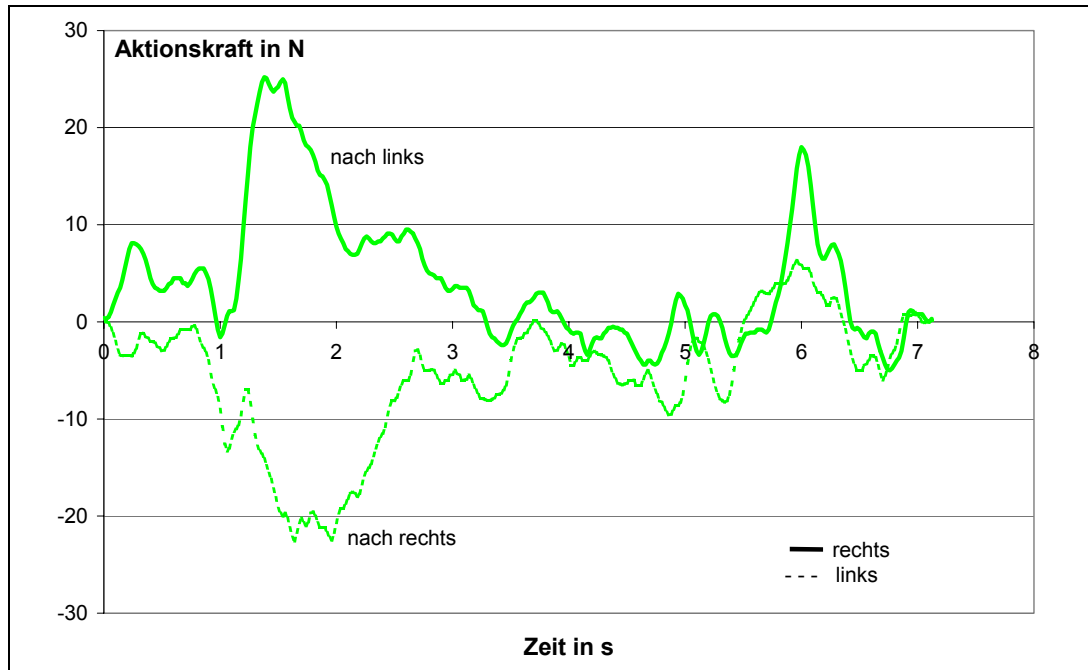
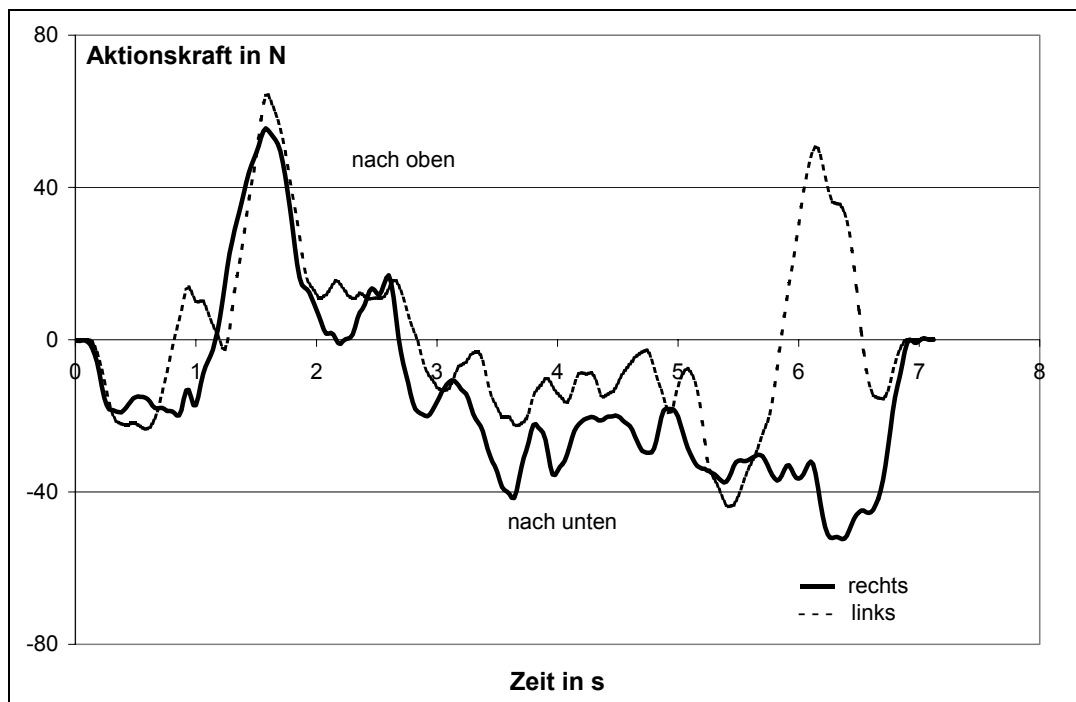


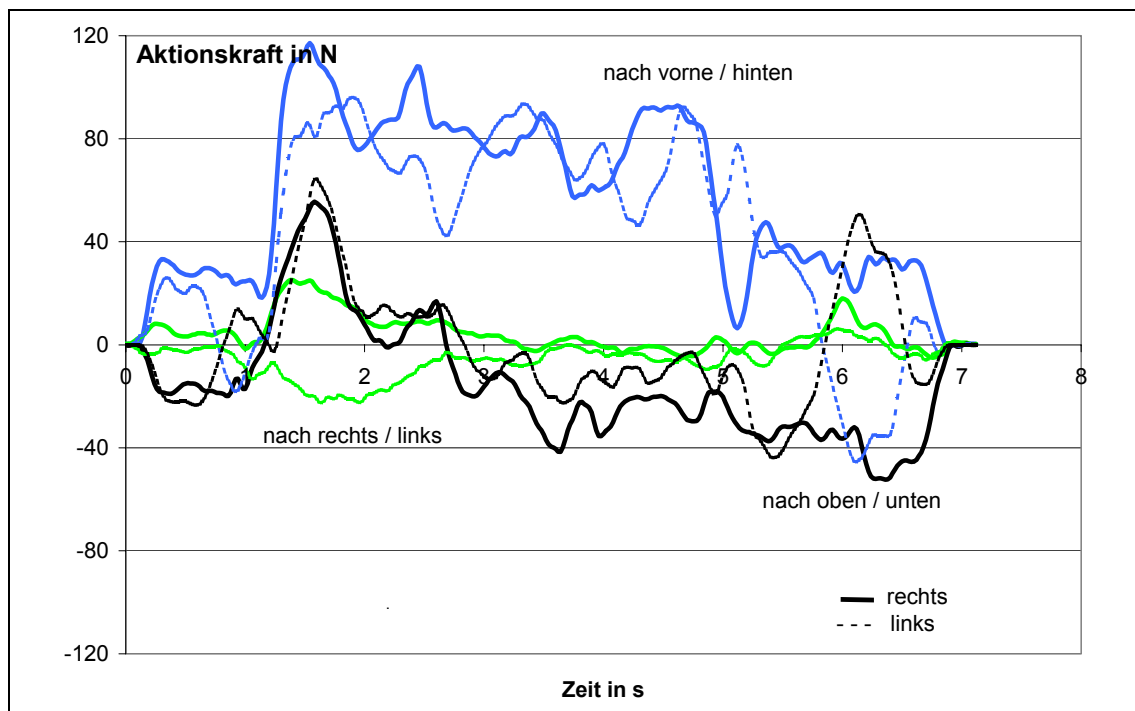
Abbildung 6-12:
Aktionskräfte vertikal (in z-Richtung) für Schieben,
FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





Zusammengefasst ergibt sich für die Aktionskräfte beider Arme sowie die Komponenten in den drei Raumrichtungen das Diagramm in Abbildung 6-13.

Abbildung 6-13:
Alle Aktionskräfte für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)



Die Summen der Aktionskräfte an der rechten und linken Hand, getrennt nach Kraftrichtungen, sind in Abbildung 6-14 dargestellt und verdeutlichen insbesondere die Schiebephase anhand des blauen Kraftverlaufs (ca. 1 ½ bis 5 s) sowie das anfängliche partielle Anheben (Spitze im schwarzen Kraftverlauf bei ca. 1 ½ s).

Die Darstellung der Differenz der Kräfte der rechten und der linken Hand ($F_{\text{rechts}} - F_{\text{links}}$) (Abbildung 6-15) verdeutlicht die einzelnen Schritte des Flugbegleiters. Die Wirkung der unsymmetrischen Körperhaltung beim Treten der Bremse ist hier besonders eindeutig zu erkennen (bei ca. 6 s).



Abbildung 6-14:
Summe der Aktionskräfte der rechten und der linken Hand für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

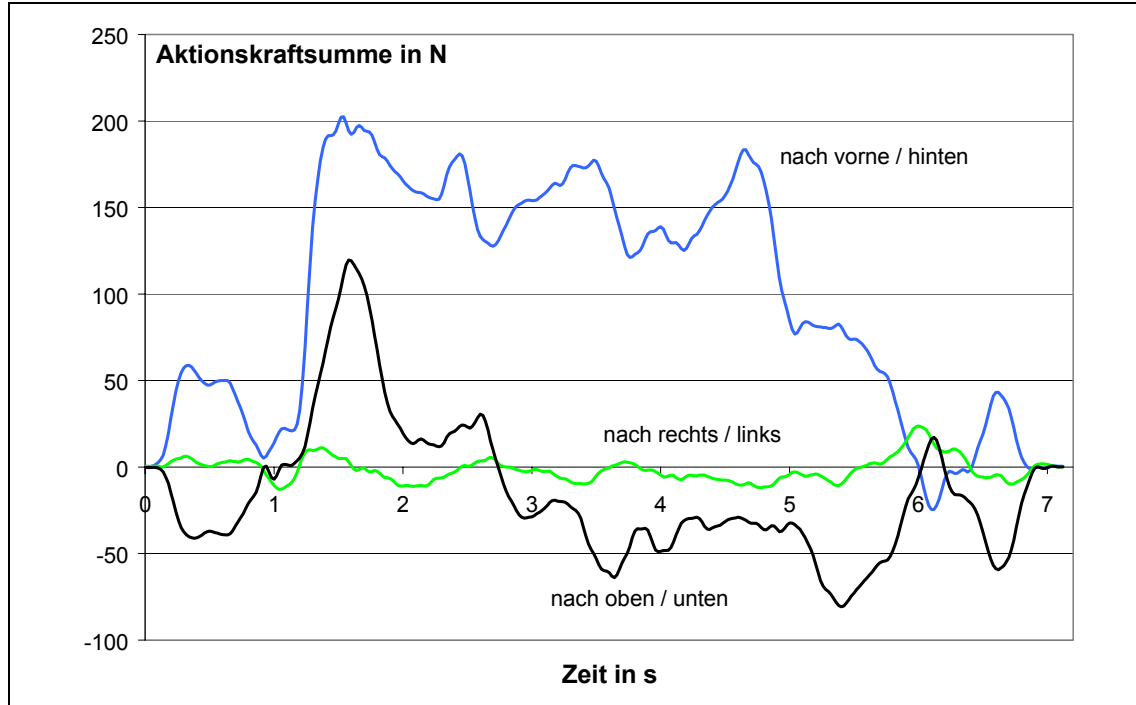
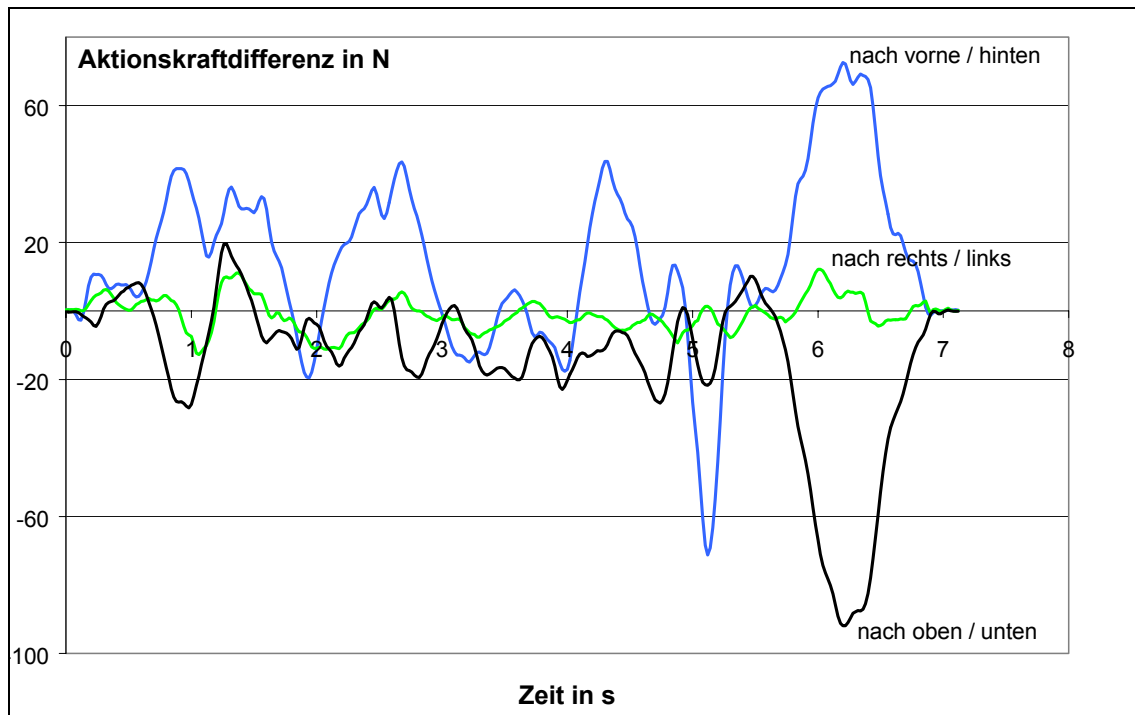


Abbildung 6-15:
Aktionskraftunterschiede: Differenz der Kräfte der rechten und der linken Hand ($F_{\text{rechts}} - F_{\text{links}}$) für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





Auch der Verlauf der Gesamtaktionskraft (Betrag der vektoriellen Summe aller aufgewendeten Kräfte beider Seiten) erreicht das Maximum in der Anschiebephase (siehe Abbildung 6-16). Danach fällt die Gesamtaktionskraft zunächst stark, dann schwächer sowie nochmals stark ab, wobei schrittinduzierte Schwankungen überlagert sind. Ein ähnlicher Verlauf wie der hier dargestellte ist bei fast allen Gesamt(aktions)kraft-Zeitverläufen der 25 Flugbegleiter/-innen zu finden (siehe z. B. auch Abbildungen 5-34 und 6-37).

Abbildung 6-16:

Gesamtaktionskraft: Betrag der vektoriellen Summe aller aufgewendeten Aktionskräfte rechts und links für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)



6.3.3.2 Zeitverlauf eines Ziehvorganges

Analog zu den Diskussionsaspekten beim Schiebevorgang lassen sich auch beim Ziehen aus den Zeitverläufen Rückschlüsse auf die Handhabung des Trolleys durch den/die Flugbegleiter/-in ziehen. Als Beispiel wurde wiederum ein Vorgang der Flugbegleiterin 04 für den Fullsize-Trolley mit 65 kg bei einer Bodenneigung von 5° gewählt.



Auch beim Ziehen – wie in Abbildung 6-17 für die Komponenten der drei Richtungen, in Abbildung 6-18 (siehe Seite 300) für die komponentenbezogenen Summen der rechten und linken Seite sowie in Abbildung 6-19 (siehe Seite 300) für die Gesamtaktionskraft zu erkennen ist – ist das Maximum der Aktionskräfte in der „Losbrechphase“ lokalisiert. Dabei sind die Kräfte in x-Richtung negativ, da die Kraft beim Ziehen zum Körper hin erfolgt. Die Größenordnung der Kräfte entspricht der beim Schieben. Der Verlauf der Gesamtaktionskraft (Abbildung 6-19) ist analog zu dem beim Schieben, allerdings sind die schrittinduzierten Schwankungen sowohl bezüglich der Amplitude als auch der Frequenz unterschiedlich; auch die Dauer hoher Kraftausübung ist hier ein wenig geringer.

Abbildung 6-17:
Aktionskräfte beim Ziehen, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

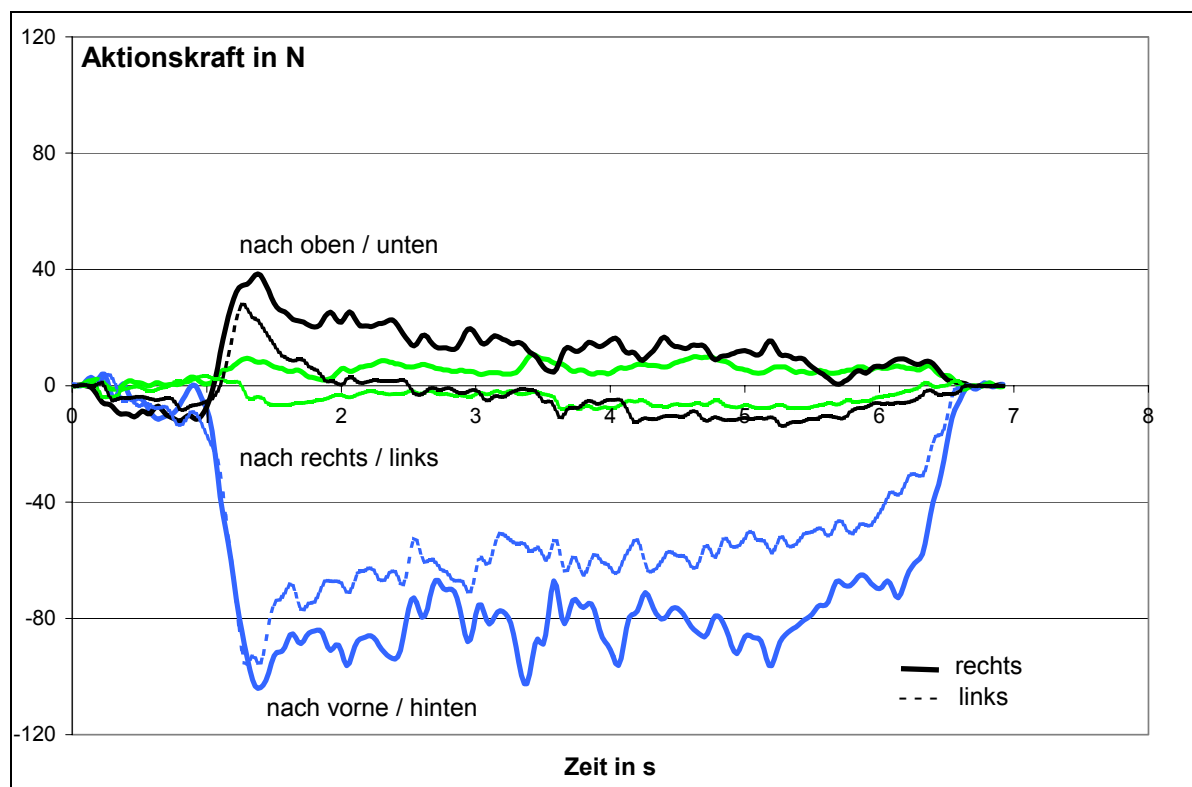




Abbildung 6-18:
Summe der Aktionskräfte der rechten und linken Hand, aufgeteilt nach Wirkungsrichtungen für Ziehen, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

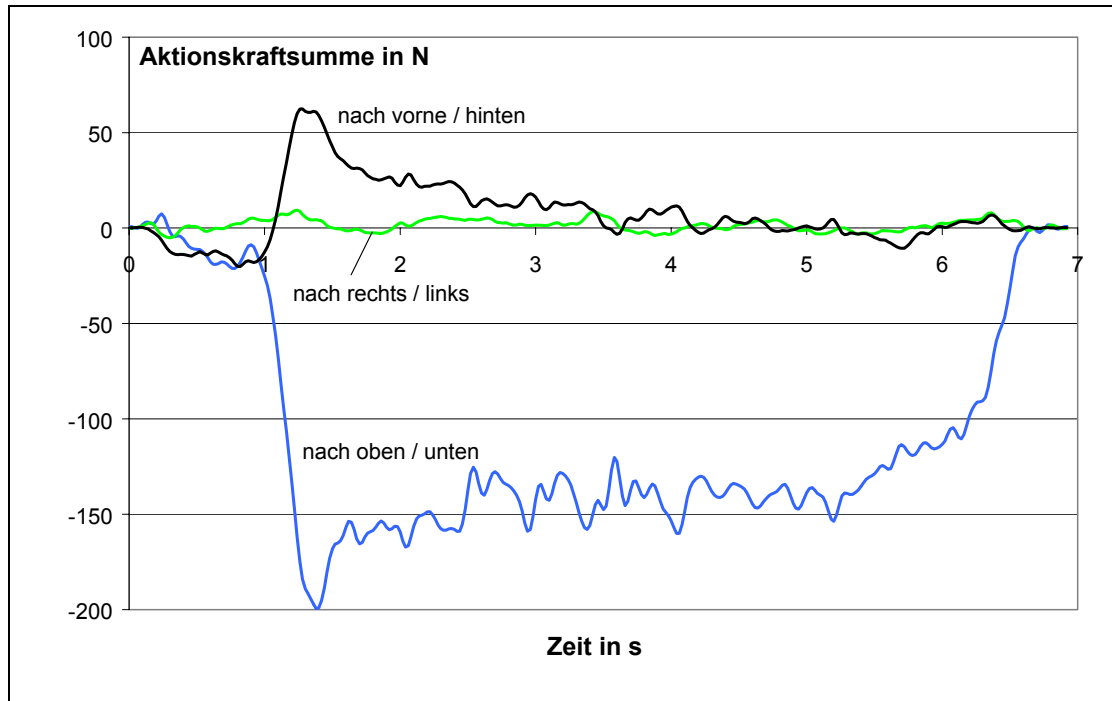
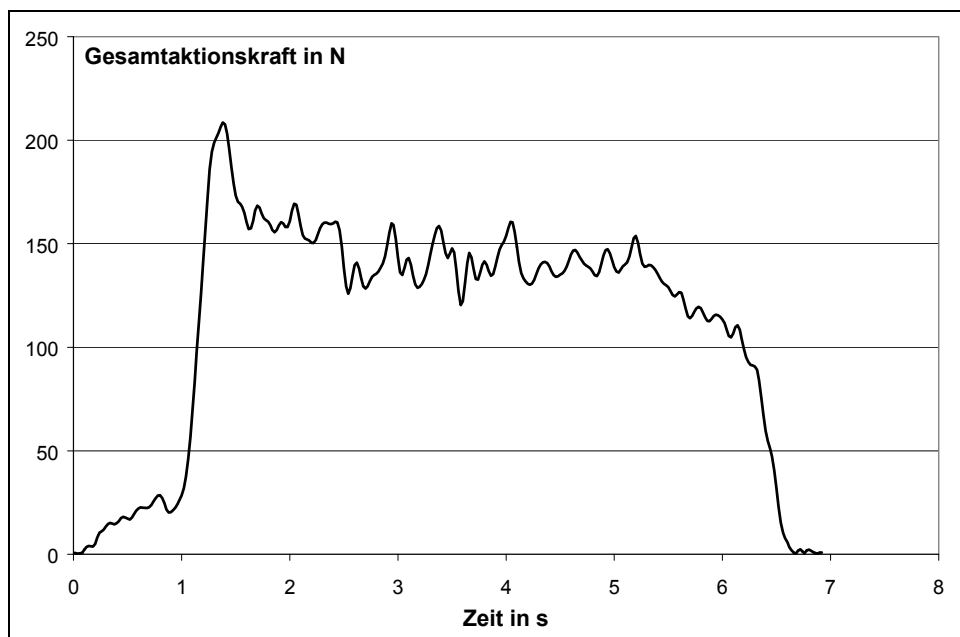


Abbildung 6-19:
Gesamtaktionskraft: Betrag der vektoriellen Summe aller aufgewendeten Aktionskräfte rechts und links für Ziehen, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





6.3.4 Belastungskenngrößen an der Lendenwirbelsäule

Nach Skizzierung exemplarischer Zeitverläufe der als Eingangsgrößen für die Quantifizierung der Belastung der Lendenwirbelsäule genutzten Aktionskräfte werden in diesem Abschnitt die Verläufe der Kräfte und Momente, die an der als Bezugspunkt gewählten Bandscheibe L5-S1 wirken, vorgestellt. Auch für diese Darstellungen wurden die Messungen an Flugbegleiterin 04 beim Bewegen eines Fullsize-Trolleys mit einem Gewicht von 65 kg über eine Wegstrecke mit 5° Bodenneigung herangezogen.

6.3.4.1 Zeitverlauf eines Schiebevorganges

In Hinsicht auf die Belastung der Wirbelsäule ähnelt der Verlauf des Sagittalmomentes (Beugemoment nach vorne) und der Druckkraft an L5-S1 prinzipiell denen der Aktionskräfte.

Das Maximum des Sagittalmomentes liegt auch hier in der Anschiebephase (Abbildung 6-20, siehe Seite 302). Lateral- (= Seitbeuge-) und Torsionsmoment schwanken während des gesamten Schiebevorganges um den Nullwert. Der Betrag dieser Schwankungen ist mit etwa 10 Nm relativ gering. Einzig das Treten der Bremse mit den dazugehörigen unsymmetrischen Bewegungen und Handkräften führt zu etwa doppelt so hohen Belastungswerten.

Ähnlich sieht der Verlauf der Kräfte an der Referenzbandscheibe aus (Abbildung 6-21, siehe Seite 302). Auch die Druckkraft auf L5-S1 hat das Maximum in der Anschiebephase. Wenn die Feststellbremse getreten wird (bei ca. 6 s in Abbildung 6-20), wird der Oberkörper wieder aufgerichtet und eine unsymmetrische Körperhaltung eingenommen; in diesem Zeitabschnitt tritt eine weitere Spitze im Zeitverlauf auf, jedoch mit deutlich geringerem Wert (ca. 1 ½ kN). Die beiden Scherkräftkomponenten, sagittal und lateral, sind vergleichsweise gering.



Abbildung 6-20:
Momente an L5-S1 für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

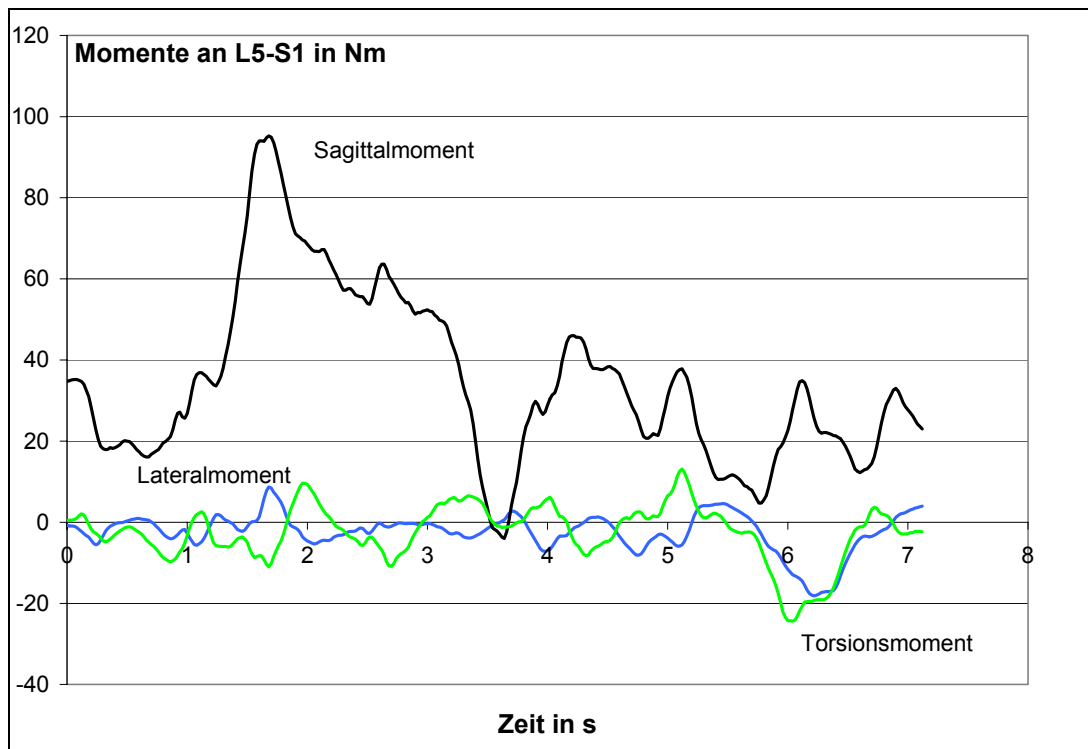
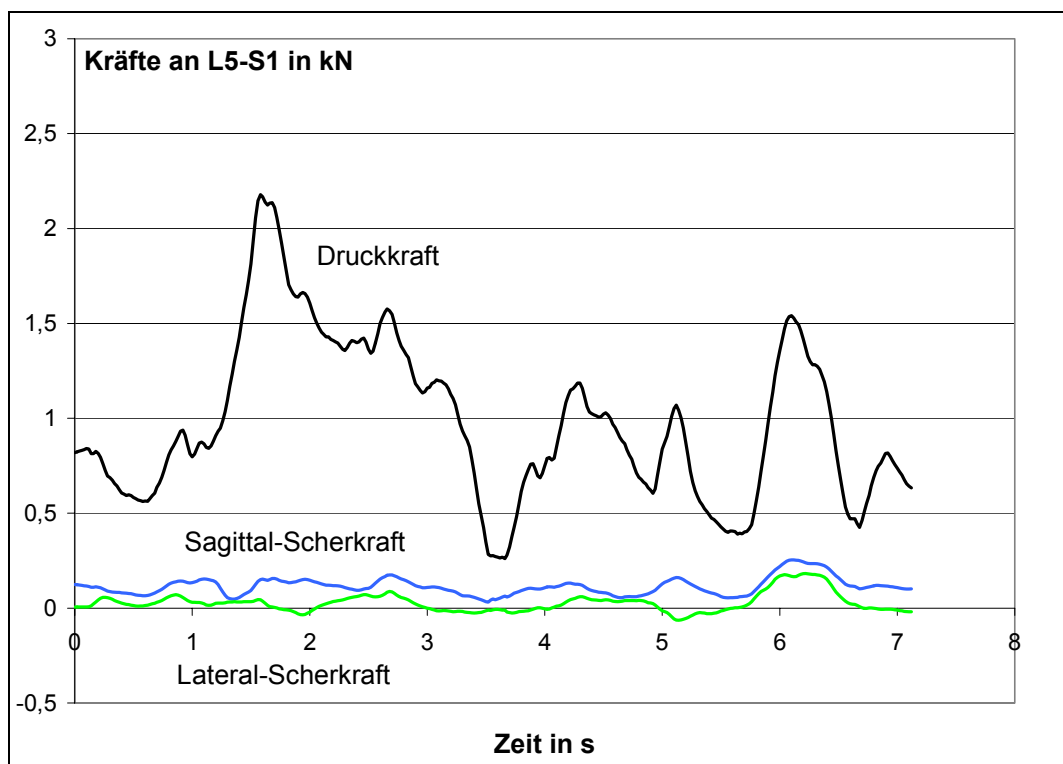


Abbildung 6-21:
Kräfte an L5-S1 für Schieben, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





6.3.4.2 Zeitverlauf eines Ziehvorganges

In erster Näherung ähnelt der Verlauf der Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen denen beim Schieben (siehe Abschnitt 6.3.4.1), aber es sind auch Unterschiede erkennbar. Auch hier wird der Spitzenwert in der Anschiebephase erreicht, während der anschließenden Phase kontinuierlichen Ziehens nehmen die Werte von Sagittalmoment und Druckkraft trotz Überlagerung von schrittinduzierten Schwankungen allmählich ab, wie in den Abbildungen 6-22 und 6-23 (siehe Seite 304) zu erkennen ist. Darüber hinaus fallen die deutlich höheren Werte der Scherkräfte nach vorn („Sagittal-Scherkraft“) im Vergleich zu den Werten beim Schieben auf; dieser Sachverhalt ist auf die Orientierung der Aktionskraft beim Ziehen („nach hinten“) im Gegensatz zur Kraftorientierung („nach vorn“) beim Schieben zurückzuführen: Infolge der Wirbelsäulenkrümmungen ist die Bandscheibe L5-S1 sowohl beim Schieben als auch beim Ziehen in der Regel nach vorn gekippt (siehe Abbildung 6-1), wenn dies auch beim Schieben und Ziehen unterschiedlich stark ausgeprägt ist; dadurch bewirkt die Gewichtskraft der oberen Körperteile sowohl beim Schieben als auch beim Ziehen eine Scherkraft nach vorn. Verschieden sind allerdings die Wirkungen der Hand-Aktionskräfte, d. h. die Hand-Reaktionskräfte bezüglich der Bandscheiben-Scherkräfte: Beim Ziehen überlagern sich die in Bandscheiben-Neigungsebene wirkenden Komponenten von Hand-Reaktionskräften und Körpergewicht, während diese Komponenten beim Schieben antiparallel orientiert sind, sich somit anteilig aufheben und zu einer geringeren sagittalen Scherkraft an L5-S1 führen als beim Ziehen.



Abbildung 6-22:
Momente an L5-S1 für Ziehen, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

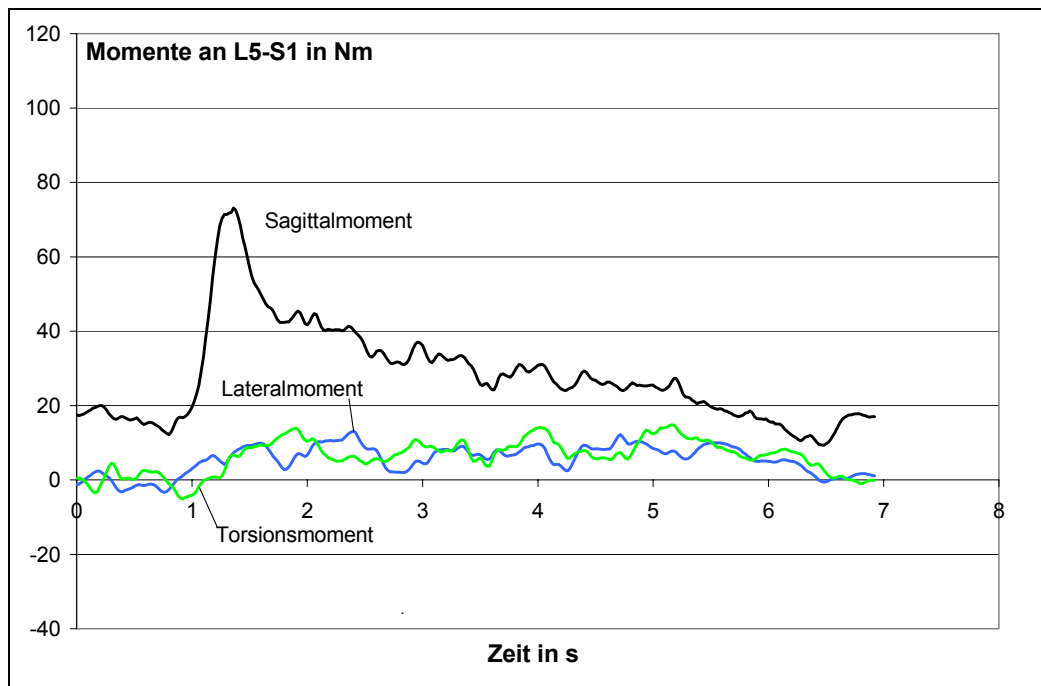
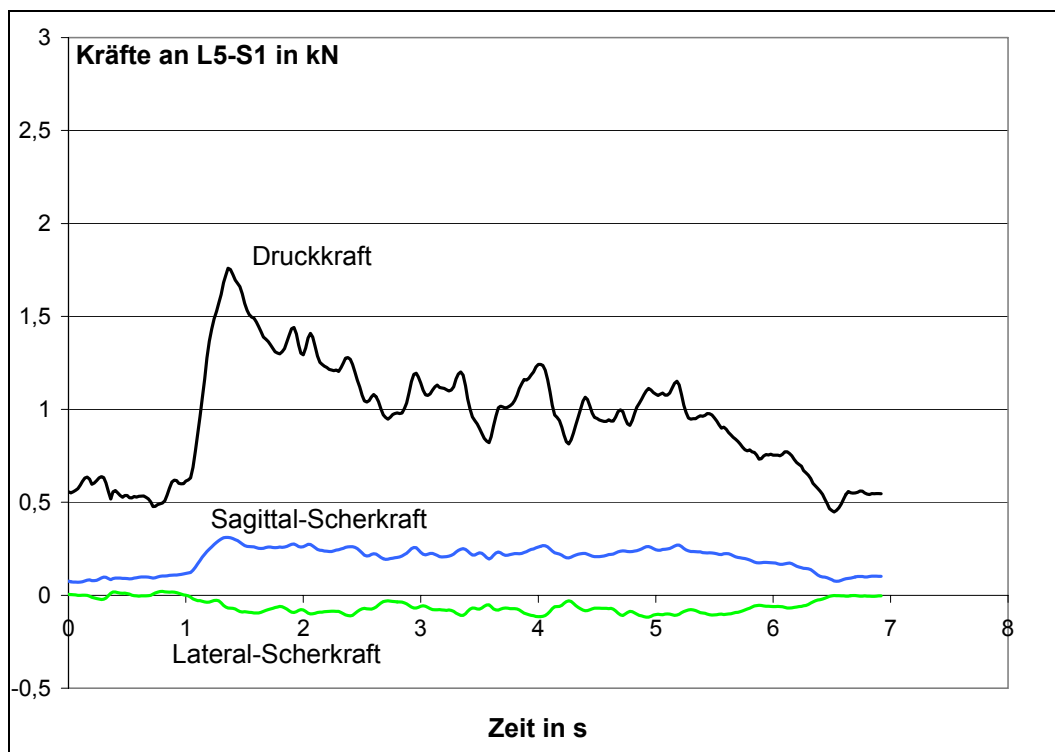


Abbildung 6-23:
Kräfte an L5-S1 für Ziehen, FST (65 kg, 5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





6.4 Zusammenfassende Darstellung der Wirbelsäulenbelastung

6.4.1 Tätigkeitsbedingte Unterschiede im Zeitverlauf

Die durch Trolley-Typ (FST, HST) und Handhabungsart (Schieben, Ziehen) bedingten Unterschiede lassen sich einschätzen, wenn die Ergebnisse zu gleich schweren bzw. annähernd gleich schweren Trolleys beider Typen bei jeweils gleicher Handhabungsart verglichen werden. Dazu wird erneut das Beispiel der durch Flugbegleiterin s04 ausgeführten Handhabungen des Fullsize-Trolleys mit einem Gewicht von 65 kg bei 5° Bodenneigung herangezogen, dem die korrespondierenden Verläufe eines 60 kg schweren HST beim Schieben bzw. Ziehen gegenübergestellt werden.

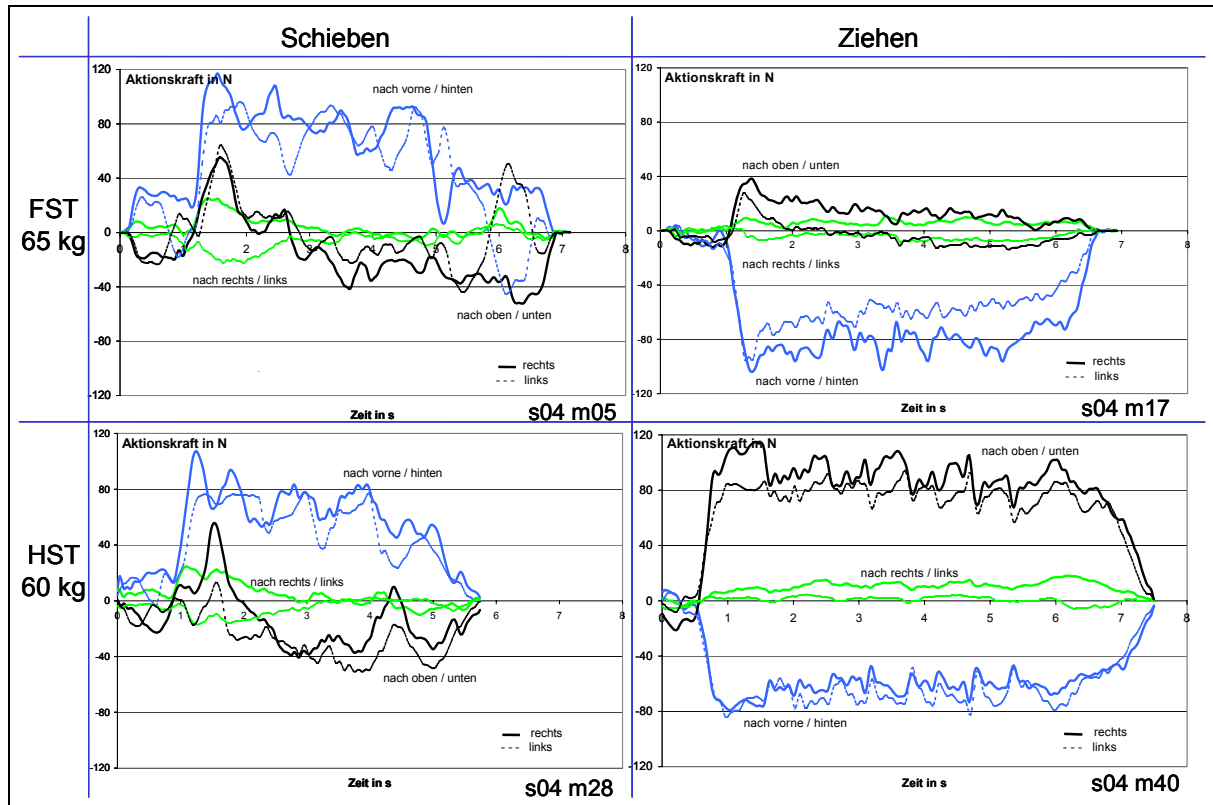
Um die Unterschiede zwischen dem Handhaben eines FST und HST unabhängig von den jeweiligen Flugbegleitern/-innen und ihren verschiedenen Ausführungstechniken deutlich zu machen, erfolgt zunächst ein Vergleich der Aktionskräfte, und nachfolgend werden die Belastungen der Lendenwirbelsäule (LWS) anhand der lumbosakralen Momente und Kräfte bei jeweils gleichen Bedingungen gegenübergestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden diese jeweils direkt in einer Abbildung (Abbildung 6-24, Seite 306, für Aktionskräfte; Abbildung 6-25, Seite 307, für LWS-Momente; Abbildung 6-26, Seite 308) für LWS-Kräfte) dargestellt. Dabei ist der Aufbau dieser Abbildungen für die drei Kenngrößen identisch: Nebeneinander sind die Ergebnisse für Schieben und Ziehen dargestellt, jeweils für den FST mit 65 kg oben und für den HST mit 60 kg jeweils unten.

Aus Abbildung 6-24 kann unter anderem gefolgert werden, dass sich beim Schieben die Ergebnisse vom FST und HST kaum unterscheiden.

Beim Schieben ist die horizontale Kraft nach vorn, beim Ziehen jedoch nach hinten gerichtet; daher befinden sich die blauen Linien beim Schieben im positiven, beim Ziehen im negativen Wertebereich. Da sich Flugbegleiter/-innen beim Schieben auf den Trolley aufstützen können, beim Ziehen jedoch nicht, befinden sich die die vertikalen Aktionskräfte repräsentierenden schwarzen Linien während des Ziehens nicht im negativen Wertebereich.



Abbildung 6-24:
Aktionskräfte beim Schieben/Ziehen von FST 65 kg/HST 60 kg im Vergleich
(5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)



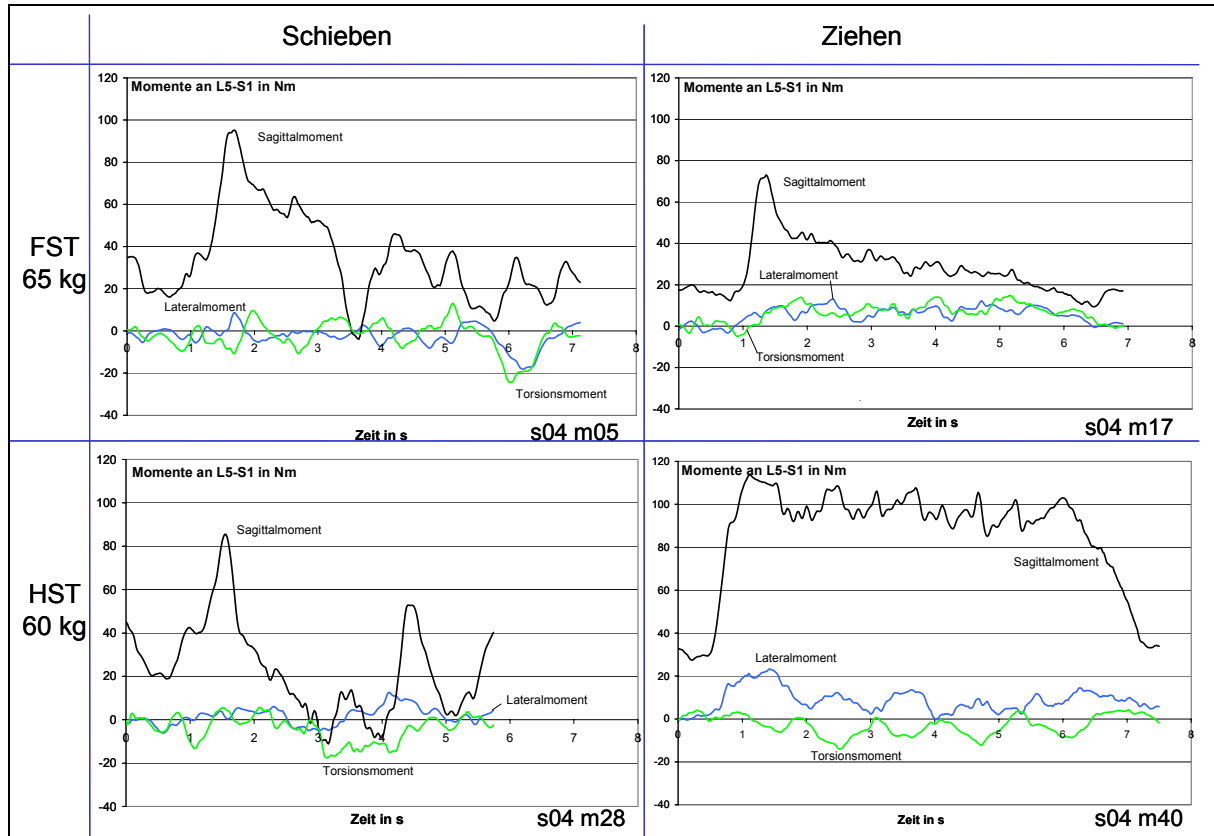
Insgesamt weisen die Verläufe der Aktionskraftkomponenten beim Schieben und Ziehen des FST keine ungewöhnlichen Merkmale auf, zumal sich die Größenordnungen der Kräfte beim Schieben und Ziehen gleichen. Beim Ziehen des HST hingegen treten hohe Kräfte auch in vertikaler Richtung – nach oben – auf, d. h., dem Ziehen nach hinten wird ein Ziehen nach oben, eine Art „partielles Heben“, überlagert.

Ausgehend von den hier gezeigten Zeitverläufen für die Aktionskräfte beim Schieben und Ziehen eines FST bzw. eines ähnlich schweren HST werden nachfolgend die Verläufe der Kenngrößen der Wirbelsäulenbelastung erläutert.



Abbildung 6-25:

Momente an L5-S1 beim Schieben/Ziehen von FST 65 kg/HST 60 kg im Vergleich (5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)

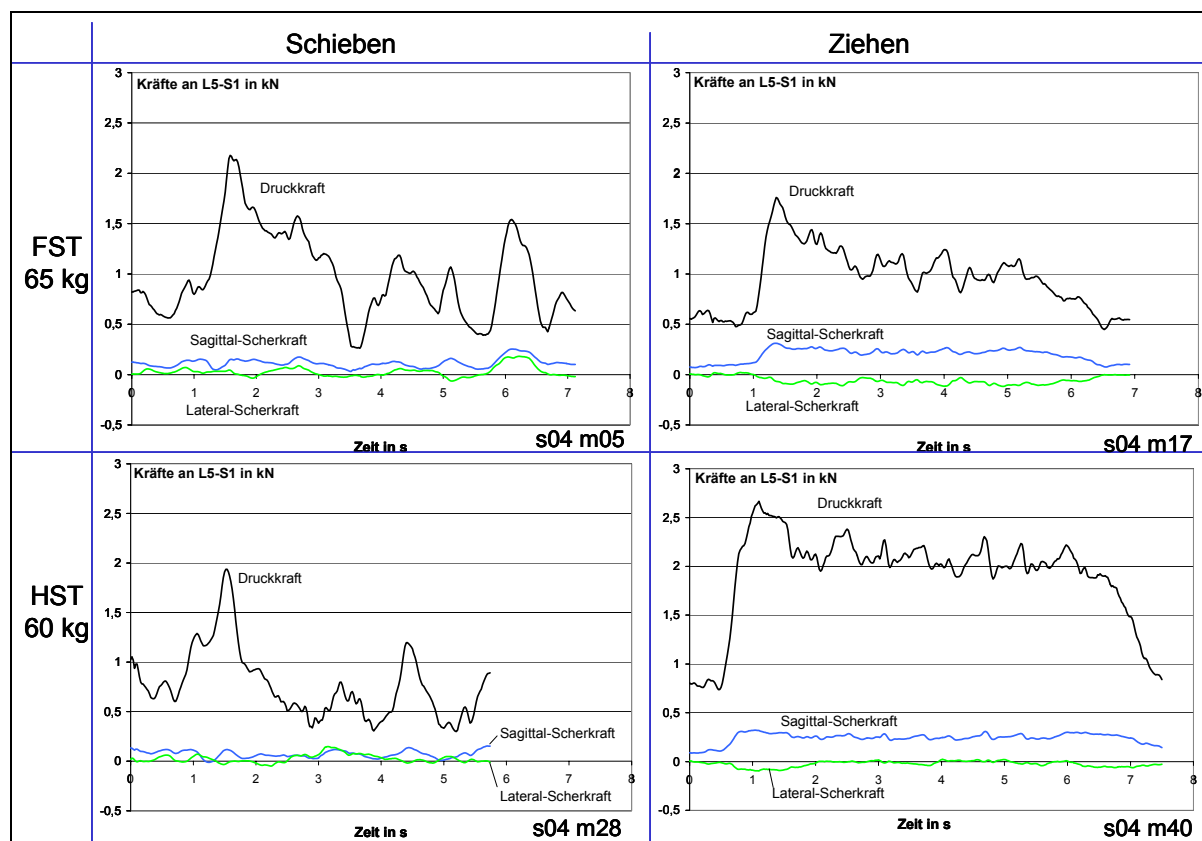


Bei den an der Referenzbandscheibe L5-S1 auftretenden Momenten lassen sich Merkmale wie in der vorherigen Handkräfte-Darstellung aufzeigen.

- Auch bei den Momenten lassen sich in einigen Verläufen am Anfang ein Spitzenwert und anschließend ein Plateau bzw. eine Abnahme mit überlagerten schrittinduzierten Schwankungen finden.
- Seitbeugemoment (Lateralmoment) und Torsionsmoment nehmen deutlich geringere Werte an als das Beugemoment nach vorne (Sagittalmoment). Da, zumindest in diesen Beispielen, somit keine großen Asymmetrien der Wirbelsäulenbelastung auftreten, wird im Folgenden auf eine detaillierte Erläuterung jener beiden Kenngrößen verzichtet.

- ❑ Beim Schieben unterscheiden sich FST und HST, wie bei den Aktionskräften, in Bezug auf die resultierenden Momentenwerte kaum.
- ❑ Beim Schieben des FST liegt das Sagittalmoment größtmäßig leicht über den Werten beim Ziehen.
- ❑ Beim Schieben des HST liegt das Beugemoment deutlich unter dem beim Ziehen. Darüber hinaus unterscheiden sich die Zeitverläufe des Sagittalmomentes beim Handhaben des HST dahingehend, dass beim Schieben nach dem anfänglichen Spitzenwert niedrigere Werte auftreten, während beim Ziehen fast über den gesamten Zeitverlauf Werte annähernd in Höhe des Anfangswertes angenommen werden.

Abbildung 6-26:
Kräfte an L5-S1 beim Schieben/Ziehen von FST 65 kg/HST 60 kg im Vergleich (5°, s04, 50 Positionen pro Sekunde)





Bei den Kräften an der Bezugsbandscheibe ist die Druckkraft von besonderer Bedeutung. Scherkräfte nach vorne und zur Seite sind in ihrer Höhe deutlich geringer; im Sinne einer Fokussierung und in Anbetracht der gering ausgeprägten Asymmetrie wird auf die Ergebnisse zu den Scherkraftkomponenten im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Der Verlauf der Druckkraft in den vier Diagrammen und die resultierenden Schlussfolgerungen sind vergleichbar mit den Ergebnissen zum Sagittalmoment. Dies kann darauf schließen lassen, dass die Belastungsanteile durch beidseits unterschiedliche Aktionskräfte und unsymmetrische Körperhaltungen in diesen Beispielen von nachrangiger Bedeutung im Vergleich zu den Belastungsanteilen durch das Bewegen der Trolleys sind; Bewegen von Trolleys könnte somit – bezogen auf die in diesem Unterkapitel dargestellten Beispiele – in erster Näherung als sagittaler Belastungsfall angesehen werden. Eine detaillierte Analyse sollte jedoch stets auch die asymmetrischen Belastungsanteile, zumindest in den Zeitphasen größerer Wertebereiche, berücksichtigen.

Die vorangegangenen exemplarischen Darstellungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- ❑ Die Zeitverläufe weisen typische Merkmale auf. Kennzeichnend sind in der Regel ein Spitzenwert zu Vorgangsbeginn, eine Plateauphase oder ein Abnehmen der Werte, jeweils überlagert von schrittinduzierten Schwankungen während des Zieh- oder Schiebevorgangs, und ein Nebenmaximum am Vorgangsende, bewirkt durch das Betätigen der Feststellbremse.
- ❑ Die Verzögerung des Trolleys löste keine Nebenmaxima aus, da Gravitation und Reibung ausreichten, um die Trolleys abzubremsen, sodass hierzu von dem/der Flugbegleiter/-in keine weitere Kraftaufwendung nötig war. In dieser Untersuchung wurde zwar lediglich das Bewegen der Trolleys die Bodenneigung hinauf, aber nicht hinunter analysiert; jedoch würde auch bei letzterer Konstellation allenfalls in Ausnahmefällen die Verzögerung aktiv durch die Flugbegleiter/-innen bewirkt.



- ❑ Beim Schieben entspricht die aufgewendete Aktionskraft beim HST ungefähr der beim FST. Daraus resultierend entspricht die Belastung der Lendenwirbelsäule beim Schieben des HST der beim FST, gleiche Gewichte vorausgesetzt.
- ❑ Beim Ziehen hingegen unterscheiden sich HST und FST in den aufgewendeten Aktionskräften und resultierenden Wirbelsäulenbelastungen erheblich.
- ❑ Ist für den FST Ziehen sogar ein wenig günstiger als Schieben, so ist das Ziehen des HST deutlich ungünstiger als das Schieben des HST bzw. das Ziehen des fast gleich schweren FST. Dieser Sachverhalt ist darauf zurückzuführen, dass beim Ziehen des HST zur Erhöhung der Kippstabilität zusätzlich Kräfte vertikal nach oben aufgewendet werden (müssen), sodass das Ziehen des HST durch eine Art „partielles Tragen“ oder „partielles Heben“ überlagert ist.

6.4.2 Identifizierung angemessener Belastungskennwerte

Bisher wurden exemplarisch einzelne Zeitverläufe verschiedener Kenngrößen (Aktionskräfte, Momente und Kräfte an der Bezugsbandscheibe L5-S1) einer einzigen Probandin hinsichtlich besonderer Auffälligkeiten und prinzipieller Übereinstimmungen untersucht. Um die Zeitverläufe sämtlicher Probanden (hier: 480 ausgewählte Zeitverläufe) anhand einheitlicher Kriterien vergleichen zu können, wurden „Kennwerte“ definiert, d. h. charakteristische Elemente in den Zeitverläufen selektiert, die einen Vergleich der Messergebnisse sowohl untereinander als auch mit empfohlenen Richtwerten zur Maximalbelastung ermöglichen.

Zur Identifizierung angemessener Belastungskennwerte wurde die Analyse in einem ersten Ansatz auf spezielle belastungsintensive Situationen eingegrenzt. Derartige Situationen mit mutmaßlich hoher Belastung der Wirbelsäule entstehen zum einen durch extreme Krafteinwirkung, zum anderen durch extreme Körperhaltungen. Aus den Zeitverläufen jedes Schiebe- oder Ziehvorganges könnten somit beispielsweise unten aufgeführte Situationen mit maximalen oder anderen auffälligen Kennzeichen selektiert werden:



1. Maximum der Gesamtkraft zu Beginn der Schiebe-/Ziehphase
2. Maximum des zeitlich gleitenden Mittels der Gesamtkraft während der Schiebe-/Ziehphase
3. Mittel der schrittinduzierten Maxima der Gesamtkraft in Schiebe-/Ziehphase
4. maximale Rumpf-Torsion
5. maximale Rumpf-Seitbeugung
6. maximale Rumpf-Vorneigung
7. maximales Torsionsmoment
8. maximales Seitbeugemoment.

Um diese Kennwerte aus den Datenmengen eines Zeitverlaufes zu isolieren, wurden die unten stehenden Algorithmen zugrunde gelegt, die die entsprechenden Belastungssituationen in den digitalen Daten erkennbar machten. Dabei repräsentiert die „Gesamtkraft“, deren Werte in den Kennwerten 1 bis 3 verwendet wird, die Summe der beiden rechts und links insgesamt aufgebrauchten Aktionskräfte, die sich jeweils aus vektorieller Addition der drei Komponenten – entsprechend den drei Raumrichtungen – ergeben.

Kennwert 1: Maximum der Gesamtkraft zu Beginn der Schiebe-/Ziehphase

- zeitnah zum Anfang
- Maximum der Gesamtkraft
- $F_{ges,max} = \text{Max} (F_{ges,r} + F_{ges,l})$



Kennwert 2: Maximum des zeitlich gleitenden Mittels der Gesamtkraft während der Schiebe-/Ziehphase

- Fenster mit 1,5 s Dauer auf den Zeitverlauf der Gesamtkraft legen, Mittelwert in diesem Fenster berechnen, Fenster weiterschieben, Maximum der Mittelungswerte selektieren

Kennwert 3: Mittel der schrittinduzierten Maxima der Gesamtkraft in Schiebe-/Ziehphase

- Mittelwert der (Neben-)Maxima der Aktionskraftresultierenden

- $$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Max} (F_{\text{ges}})$$

Kennwert 4: Maximale Rumpf-Torsion

- Zeitpunkt der maximalen Rumpfverdrehung
- Maximum des Winkels zwischen Hüft- und Schulterquerachse in der Draufsicht

Kennwert 5: Maximale Rumpf-Seitbeugung

- Zeitpunkt der maximalen Rumpf-Seitbeugung
- Maximum des Winkels zwischen Hüft- und Schulterquerachse in der Vorderansicht

Kennwert 6: Maximale Rumpf-Vorneigung

- Maximum des Winkels der Rumpflängsachse in der Sagittalebene



Kennwert 7: Maximale Torsionsmomente

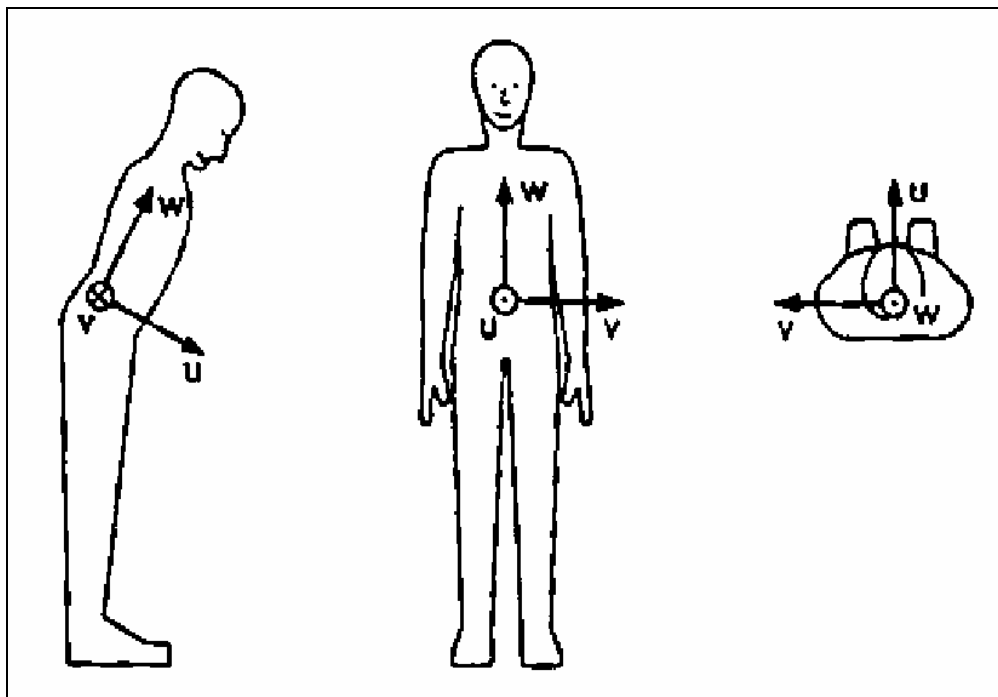
- Zeitpunkt der größten Differenz der Aktionskraftkomponenten (u, v) rechts und links um die Rumpf-Längsachse (= w-Achse; siehe Koordinaten in Abbildung 6-27)
- $\text{Max} (\sqrt{(F_{u,r} - F_{u,l})^2 + (F_{v,r} - F_{v,l})^2})$

Kennwert 8: Maximale Seitbeugemomente

- Zeitpunkt der größten Differenz der Aktionskräfte rechts und links in der Körpermitten-Ebene (= w-Richtung)
- $\text{Max} (|F_{w,r} - F_{w,l}|)$

Abbildung 6-27:

Koordinatensystem mit Ursprung in L5-S1 mit den Koordinatenrichtungen u, v, w





Wie anhand der ersten beiden Kennwerte – hier bezüglich der Gesamtkraft – dargestellt, kann beispielsweise für jeden Zeitverlauf einerseits der Spitzenwert zu Vorgangsbeginn oder andererseits auch der Verlauf während der Schiebe- bzw. Ziehphase als typisch angesehen werden. Der Spitzenwert wird dabei vergleichsweise kurzzeitig erreicht und ist in seiner Höhe relativ uneinheitlich. Um kurzzeitige Spitzen nicht überzuinterpretieren, bietet sich insbesondere die Berechnung eines zeitlich gleitenden Mittels in Analogie zur Auswertung der maximalen Arm- und Beinkräfte an. Dazu wurden 1,5 s dauernde „Fenster“ über den Zeitverlauf während der Zieh- oder Schiebe- phase gelegt, der Mittelwert in einem ersten Zeitfenster berechnet, dieses dann „weitergeschoben“ – bei der gewählten Abtastrate von 50 pro Sekunde um 1/50 Sekunde – und abschließend das Maximum der Mittelungswerte selektiert.

Aufgrund der zeitlichen Restriktion dieses Forschungsvorhabens und aus Kompatibilitätsüberlegungen zwischen den Untersuchungsgruppen erfolgte für die Auswertungen dieser Untersuchung (siehe folgenden Unterabschnitt) eine Fokussierung auf Kennwert 2, dem letztendlich hier eine höhere Priorität im Vergleich zum Spitzenwert zu Vorgangsbeginn zugewiesen wurde. Das Maximum der zeitlichen Mittelungswerte erreichte im Mittel etwa 80 % (Mittelwert: 79,3 %, Standardabweichung: 8,35 %) des jeweiligen Spitzenwertes zu Vorgangsbeginn.

6.4.3 Varianz der Belastungen der Lendenwirbelsäule

Der im vorangegangenen Abschnitt als angemessen definierte Kennwert für die Interpretation von Aktionskraft-Zeitverläufen wurde dazu genutzt, die entsprechende „Fenster“phase mit einer Dauer von 1,5 s innerhalb der Zeitverläufe der insgesamt 480 verfügbaren Belastungsfälle zu identifizieren, für die der zeitliche Mittelungswert der Gesamtkraft maximal ist. Nachfolgend wurde für einen typischen Zeitpunkt in dieser Phase die Wirbelsäulenbelastung anhand der Momenten- und Kraftkomponenten bezüglich der Bezugsbandscheibe L5-S1 bestimmt und für die nachfolgenden Darstellungen verwendet (Mittel der Beträge der Gesamtkräfte beider Seiten: Mittelwert: 75 %, Standardabweichung: 11 %).



Für die Darstellung in den Abbildungen 6-28 bis 6-35 (siehe Seite 315 bis 319) wurden die Mittelwerte aller Messungen einer Gruppe, gekennzeichnet durch gleichen Trolley-Typ, gleiches Trolley-Gewicht und gleiche Handhabungsart – z. B. Schieben, FST, 65 kg, 5° – dargestellt. Auf der Abszisse sind die Trolley-Gewichte angetragen, auf der Ordinate die aus den Modellrechnungen resultierenden Werte der lumbosakralen Druckkraft beziehungsweise des Sagittalmomentes. Rauten stehen für den FST (Abbildungen 6-28, 6-29, 6-32, 6-33) und Dreiecke für den HST (Abbildungen 6-30, 6-31, 6-34, 6-35). Die verschiedenen Farben stehen für die Bodenneigungen (rot = 0°, schwarz = 2°, gelb = 5°, grün = 8°). Die vertikalen Striche stellen die Standardabweichungen, ein Maß für die Streuung der Werte innerhalb der Gruppe, dar. Zur deutlicheren Darstellung des Einflusses der Bodenneigung sind zusätzlich Ausgleichsgeraden eingetragen.

Abbildung 6-28:

Druckkraft auf L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Schieben der Fullsize-Trolleys (FST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 5 \dots 16$)

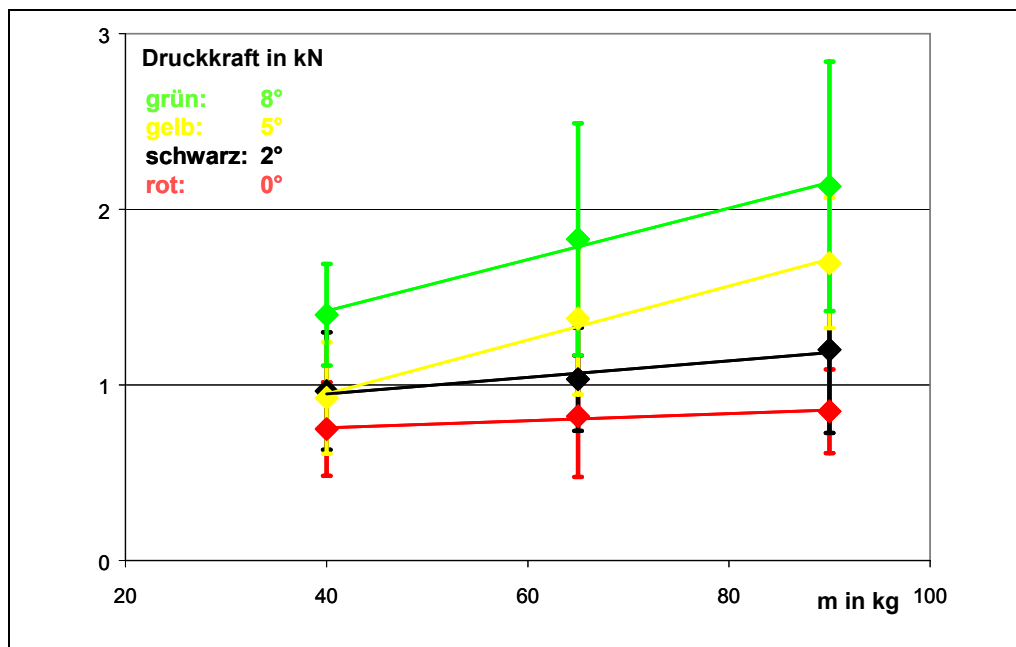




Abbildung 6-29:

Sagittalmoment an L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Schieben der Fullsize-Trolleys (FST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 5 \dots 16$)

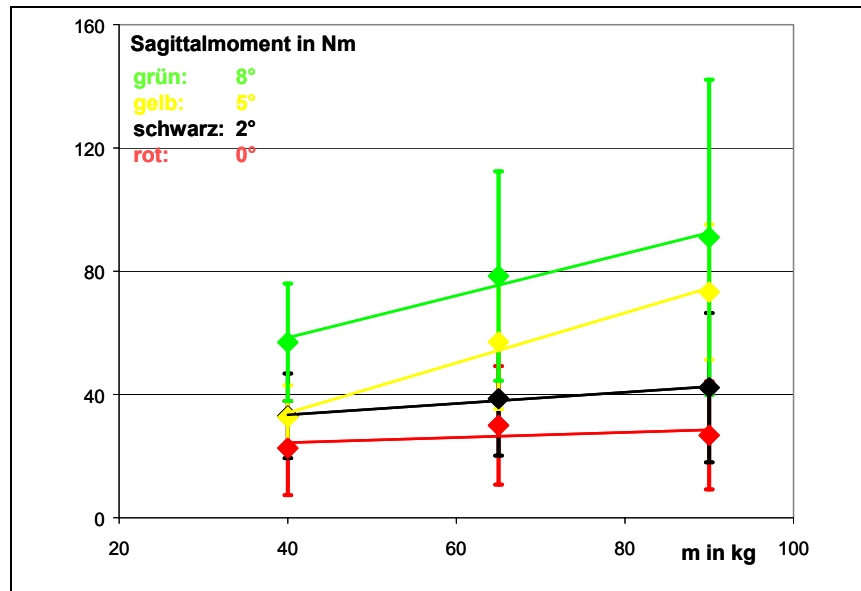


Abbildung 6-30:

Druckkraft auf L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Schieben der Halfsize-Trolleys (HST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 4 \dots 14$)

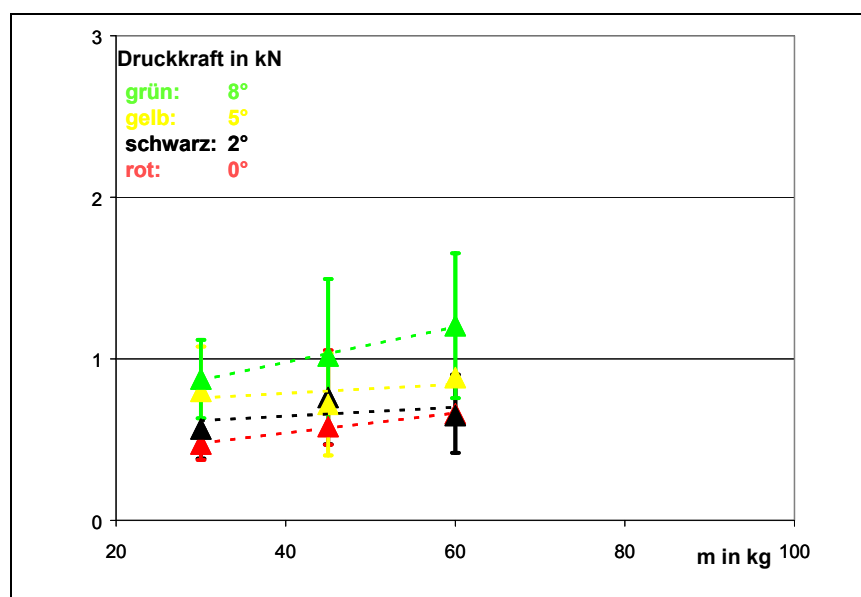




Abbildung 6-31:

Sagittalmoment an L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Schieben der Halfsize-Trolleys (HST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 4 \dots 14$)

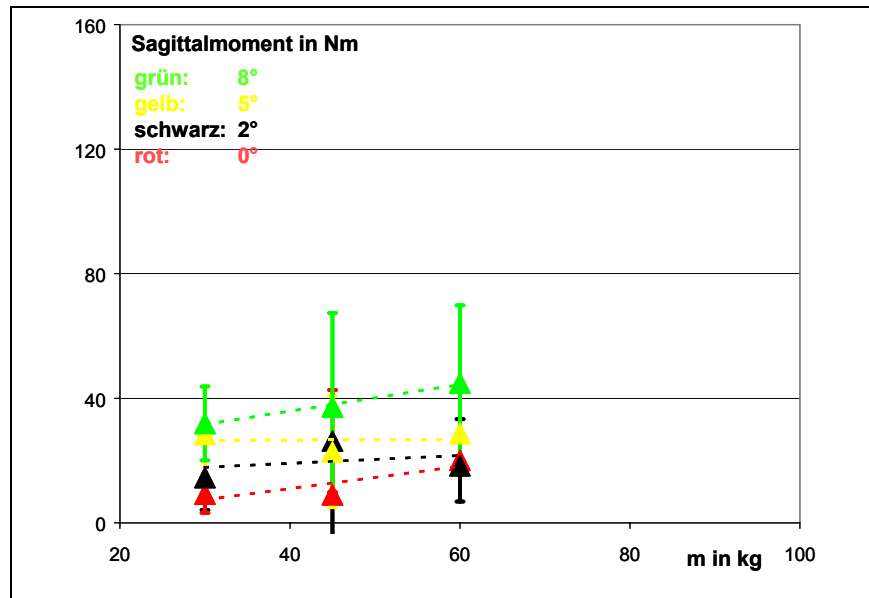


Abbildung 6-32:

Druckkraft auf L5-/S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Ziehen der Fullsize-Trolleys (FST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 3 \dots 12$)

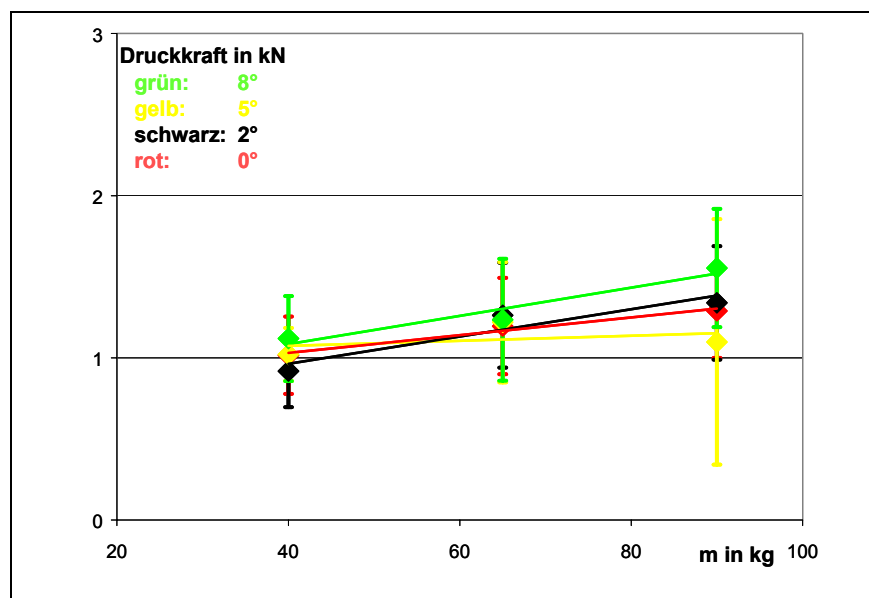




Abbildung 6-33:
Sagittalmoment an L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Ziehen der Fullsize-Trolleys (FST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 3 \dots 12$)

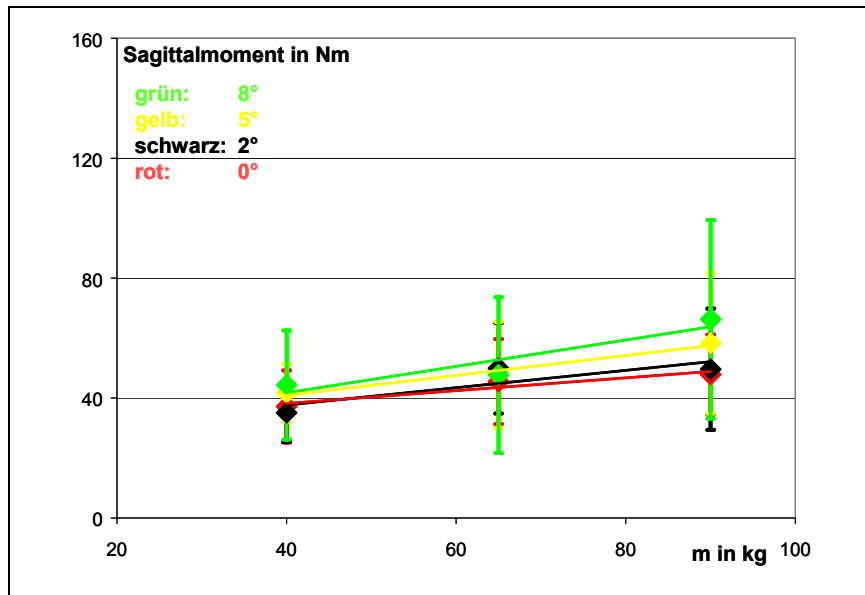


Abbildung 6-34:
Druckkraft auf L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Ziehen der Halfsize-Trolleys (HST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 4 \dots 14$)

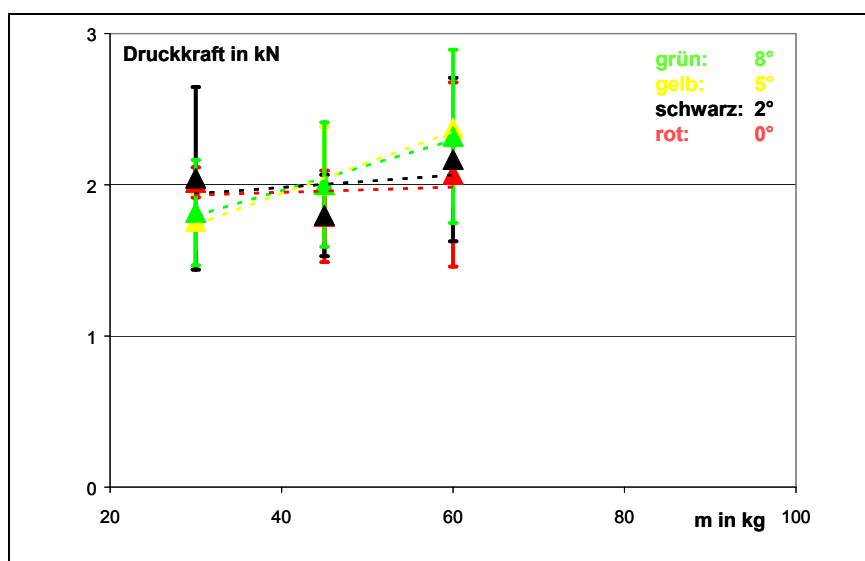
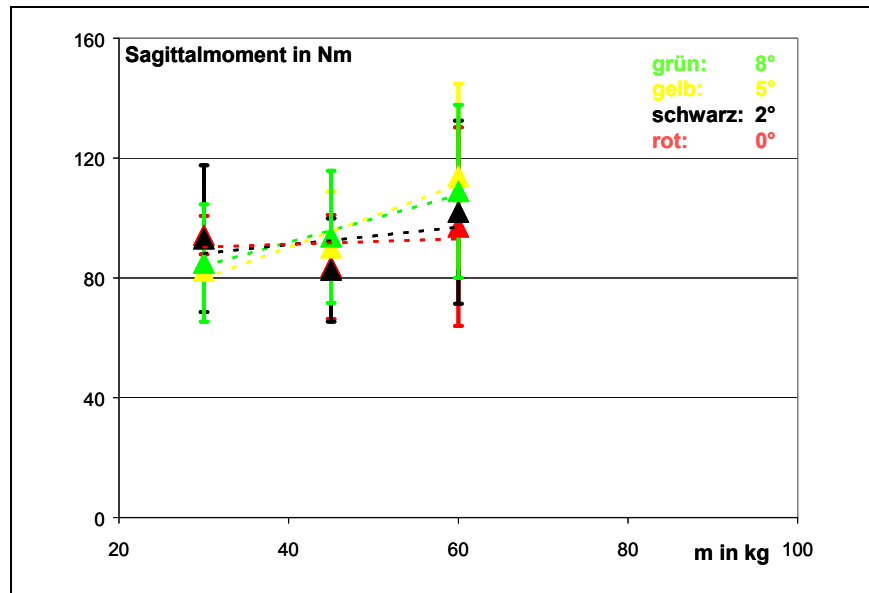




Abbildung 6-35:
Sagittalmoment an L5-S1 in Abhängigkeit vom Trolley-Gewicht beim Ziehen der Halfsize-Trolleys (HST) – Mittelwerte mit Standardabweichungen und neigungsspezifischen Ausgleichsgeraden ($n = 4 \dots 14$)



Anhand der Abbildungen 6-28 bis 6-31 (Schieben) können mehrere Aspekte aufgezeigt werden:

- Der Einfluss der Bodenneigung wird durch die großen Abstände zwischen den Werten mit unterschiedlicher Neigung deutlich: Je stärker die Bodenneigung, desto höher die Belastung der Lendenwirbelsäule.
- Zwischen HST und FST wird ein deutlicher Unterschied erkennbar, der nicht nur auf das Trolley-Gewicht zurückzuführen ist: Beispielsweise liegen die Werte für 8° Bodenneigung (grün) für den FST weit oberhalb derer für den entsprechenden HST (um etwa $\frac{1}{2}$ kN).
- Der Einfluss des Trolley-Gewichtes auf die Wirbelsäulenbelastung nimmt mit zunehmender Bodenneigung zu: Z. B. ist die Wirbelsäulenbelastung bei 0°, FST, für alle drei Trolley-Gewichte, also für 40, 65 und 90 kg, etwa gleich hoch – entsprechend einer annähernd waagerechten Ausgleichsgeraden (rot) –, bei 8° hingegen (grün) steigt sie mit dem Trolley-Gewicht deutlich an.



Die auf das Ziehen von Trolleys bezogenen Abbildungen 6-32 bis 6-35 sind analog aufgebaut wie die vorangegangenen Abbildungen zum Schieben.

Bezüglich der lumbosakralen Druckkraft und des Sagittalmomentes beim Ziehen von Trolleys lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- ❑ Sowohl beim FST als auch beim HST ist der Einfluss der Boden­neigung nicht eindeutig, d. h., beim Ziehen gilt nicht generell: „Je stärker die Boden­neigung, desto steiler der Anstieg der Belastung der Lendenwirbelsäule mit zunehmendem Trolley-Gewicht“. Es gilt beim Ziehen auch nicht: „Je stärker die Boden­neigung, desto höher die Belastung der Lendenwirbelsäule“.
- ❑ Die Werte für den HST liegen beim Ziehen deutlich über denen des FST. Bei­spielsweise ist die Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen eines 45 kg schweren HST etwa doppelt so hoch wie die beim Ziehen eines 40 kg schweren FST. Begründet ist dieses letztendlich durch die mangelnde Kippstabilität der kleinen Trolleys. Da diese Trolleys mit ihrer kleinen Grundfläche und dem hohen Schwerpunkt zum Wegkippen neigen, müssen von den Flugbegleitern/-innen verstärkt Kräfte nach oben (partiell­es Heben des Trolleys) aufgebracht werden.

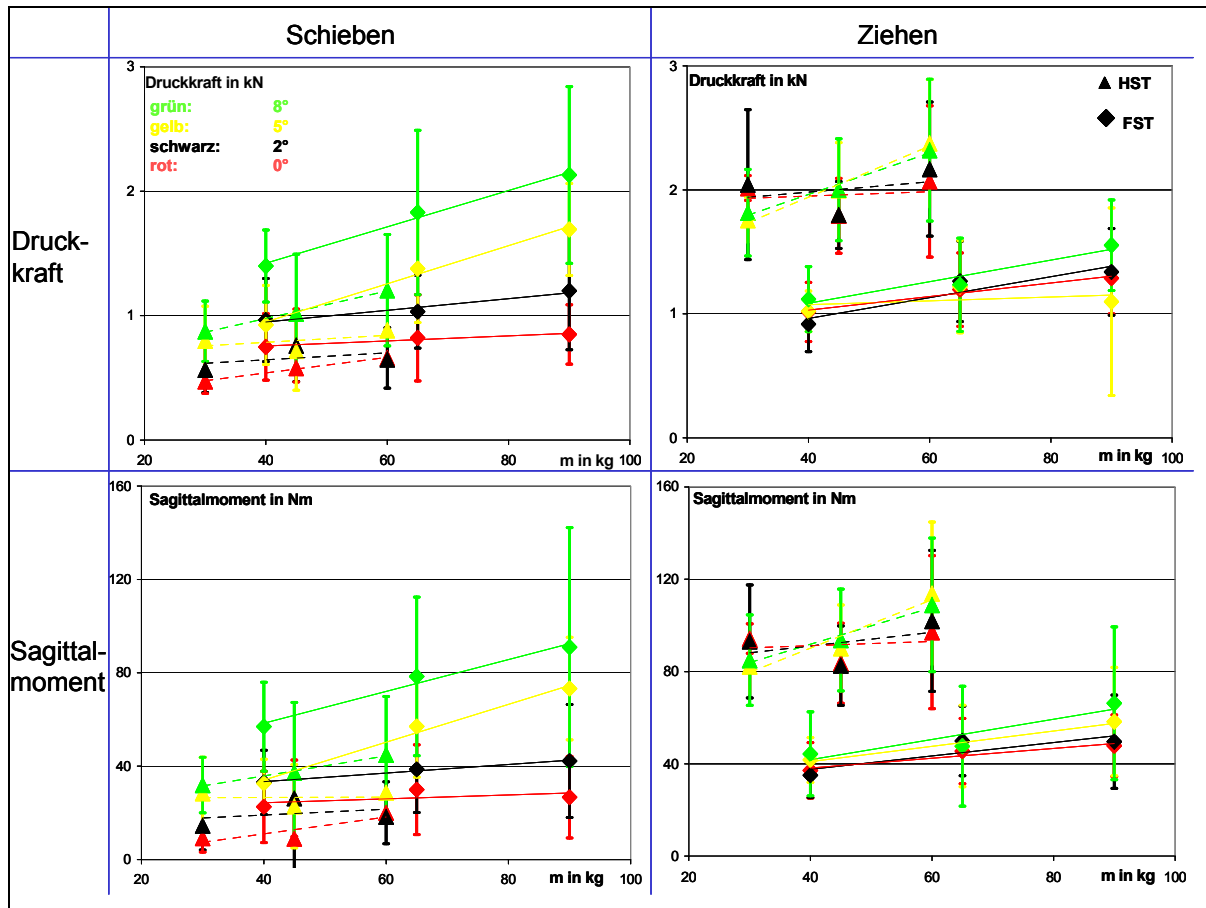
Die Übersicht in Abbildung 3-36 (siehe Seite 321) zeigt neben den Diagrammen für die Druckkraft (oben) auch die Diagramme für die Beugemomente nach vorne (unten). Zu erkennen ist, dass das Verhalten des Momentes dem der Druckkraft ähnelt:

- ❑ Der HST führt beim Ziehen zu deutlich höheren Werten als beim Schieben.
- ❑ Der FST führt bei großer Boden­neigung zu niedrigeren Werten beim Ziehen als beim Schieben.



Abbildung 6-36:

Zusammenfassende Darstellung ausgewählter Ergebnisse zur Wirbelsäulenbelastung: Druckkräfte und Sagittalmomente an L5-S1 beim Ziehen und Schieben – Mittelwerte mit Standardabweichungen und Ausgleichsgeraden



Als Folgerungen aus den abgebildeten Diagrammen, also aus der Auswertung der 480 Zeitverläufe, kann Folgendes zusammengefasst werden.

Für das Schieben gilt:

- Die Wirbelsäulenbelastung steigt, wenn die Bodenneigung steigt.
- Die Wirbelsäulenbelastung beim Schieben des HST ist geringer als beim Schieben eines vergleichbar schweren FST.



Für das Ziehen gilt:

- Die Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen des HST ist deutlich höher als beim Ziehen eines vergleichbar schweren FST.

Für beide Handhabungsarten gilt in der Regel:

- Die Wirbelsäulenbelastung steigt, wenn das Trolley-Gewicht steigt.
- Der Einfluss der Bodenneigung ist beim Ziehen weniger ausgeprägt als beim Schieben.
- Die Wirbelsäulenbelastung beim Ziehen des FST ist bei ausgeprägter Boden-
neigung niedriger als beim Schieben.

6.5 Diskussion

6.5.1 Personenbedingte Unterschiede im Zeitverlauf

Die Kraftaufwendung beim Bewegen des Trolleys und damit die resultierende Wirbelsäulenbelastung hängt von Bodenneigung, Trolley-Form und -Gewicht sowie von anderen Einflussfaktoren wie der individuellen Handhabung ab: Werden die Zeitverläufe der Aktionskräfte der unterschiedlichen Flugbegleiter/-innen beim Handhaben des Trolleys unter jeweils gleichen Bedingungen verglichen, so fällt auf, dass die Höhe der Aktionskraft stark variiert.

In Abbildung 6-37 (siehe Seite 324) sind für das Beispiel des Schiebens eines FST mit einem Gewicht von 65 kg über eine um 5° geneigte Wegstrecke die Zeitverläufe aller 25 Probanden aufgetragen. Zur optischen Orientierung ist hier zusätzlich eine Linie bei einer Gesamtkraft von 100 N eingetragen. Dargestellt ist die Gesamt-(aktions)kraft, die sich durch eine vektorielle Addition der Einzelkomponenten der Aktionskräfte an beiden Händen ergibt.



Bei allen 25 Personen lassen sich die folgenden typischen Merkmale finden:

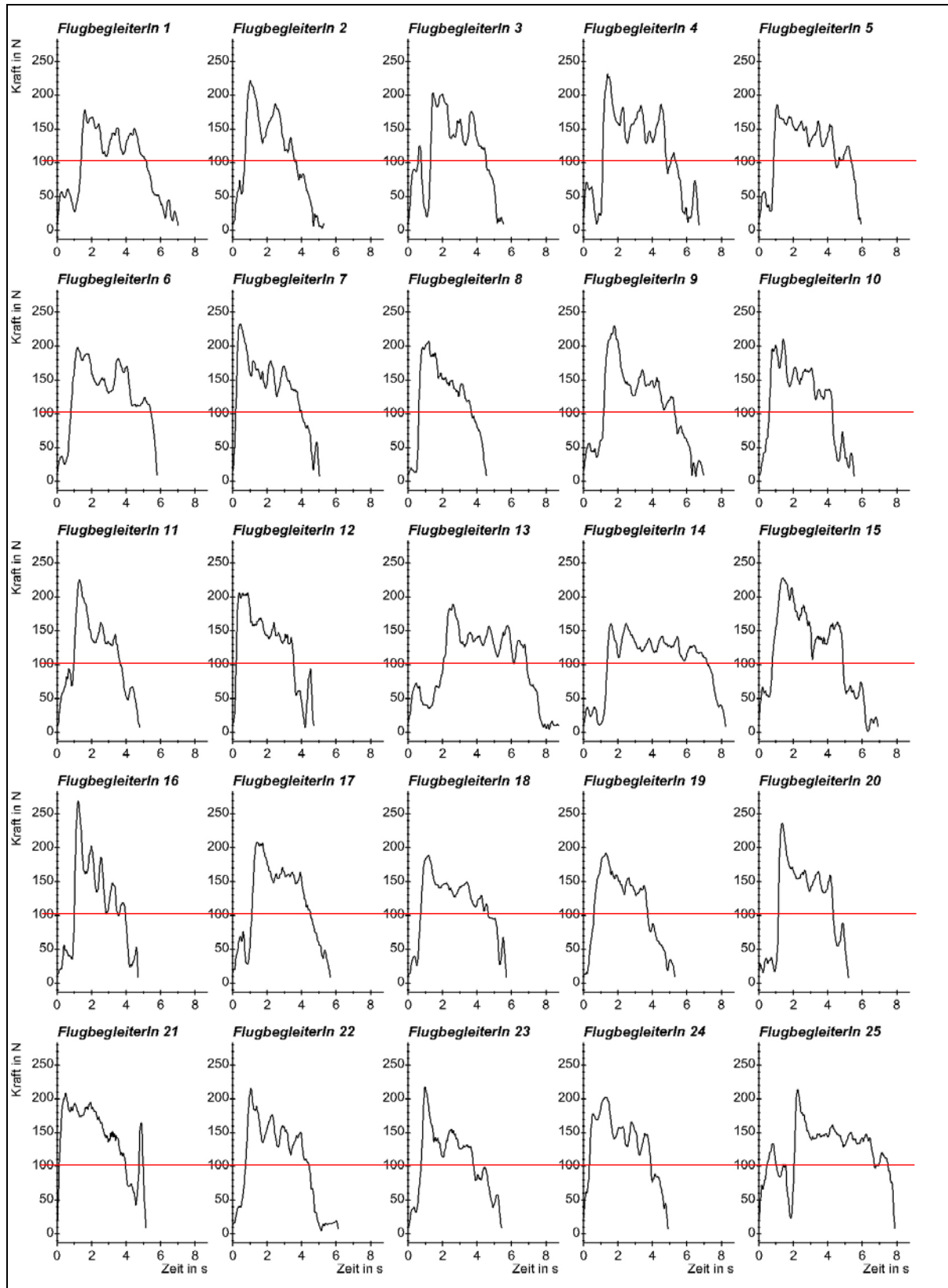
- ein Spitzenwert zu Anfang der Schiebephase, während der Schiebephase ein Plateau bzw. ein unterschiedlich ausgeprägtes Abnehmen der Kraft sowie schrittinduzierte Schwankungen während der eigentlichen Schiebephase
- Nebenmaximum infolge der Betätigung der Fußbremse
- Die Zeitverläufe sind sich prinzipiell sehr ähnlich, die typischen Merkmale sind in allen zu finden, trotzdem unterscheiden sich die Verläufe z. B. in der Höhe der aufgewandten Kraft sowie in der Ausprägung der typischen Merkmale.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Belastung nicht nur – wie oben erwähnt und anhand zahlreicher Diagramme verdeutlicht – von Trolley-Gewicht, Trolley-Typ und Bodenneigung, sondern auch von individuellen Eigenschaften wie Körpergröße, Körpergewicht, Erfahrung des Flugbegleitpersonals, Ausführungstechnik, Körperhaltung usw. abhängt.

Zwar ist der typische Verlauf mit dem Maximum in der Anschiebephase und der anschließend abfallenden Kurve sowie den schrittinduzierten Schwankungen nahezu bei allen Verläufen zu erkennen, aber die Höhe der ausgeübten Aktionskraft variiert stark: Die Spitzenwerte der Kraft schwanken zwischen etwa 150 und 250 N. Bei anderen Kombinationen von Trolley-Typ, Trolley-Gewicht und Bodenneigung ist die Varianz der aufgewendeten Gesamtkraft teilweise sogar noch ausgeprägter. Einfluss könnte neben Größe und Gewicht des Probanden auch die individuelle Handhabung des Trolleys haben; Erfahrung und individuelle Maximalkraft sowie die unterschiedliche Anthropometrie könnten dabei zu einer anderen, eventuell „wirbelsäulenschonenderen“ Schiebe- bzw. Ziehetechnik führen. Eine genauere Untersuchung dieser Hypothese könnte sich dahingehend als lohnenswert herausstellen, dass dadurch eine inhalts gestützte Ableitung präventiver Handhabungsempfehlungen für ein optimiertes Bewegen der Trolleys ermöglicht würde.



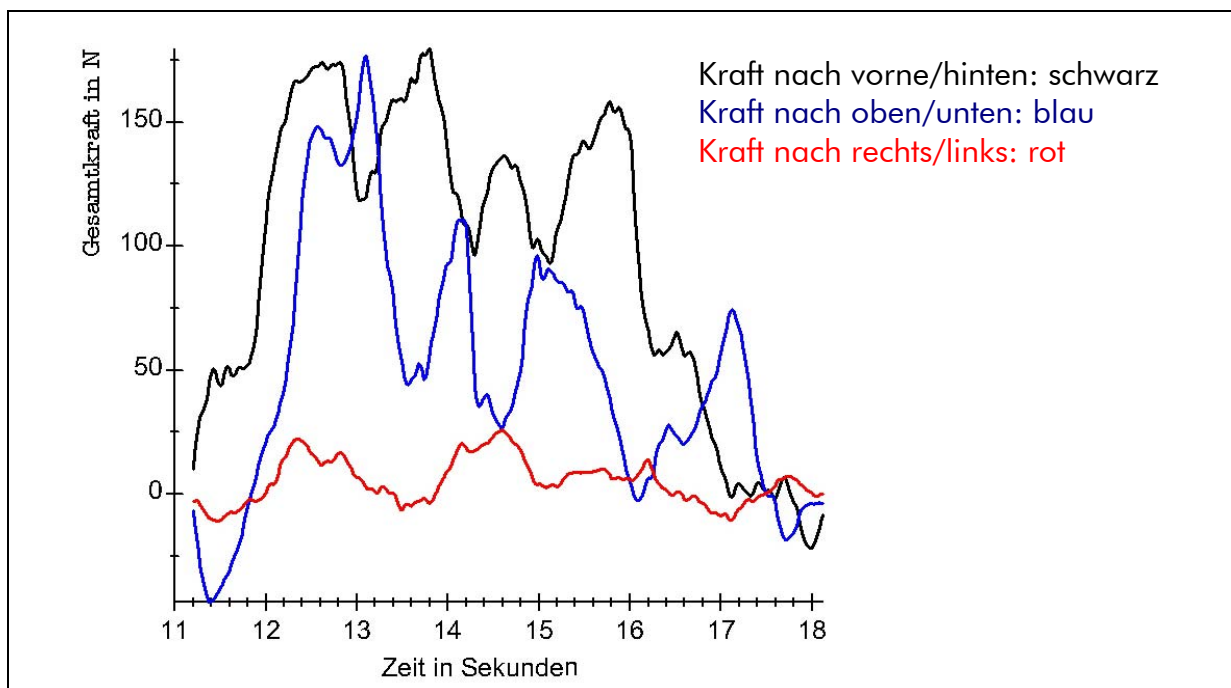
Abbildung 6-37:
Gesamtaktionskraftverläufe aller 25 Probanden (Schieben, FST, 65 kg, 5°)





Ausgangspunkt derartiger Analysen könnte die unterschiedlich gewählte Krafrichtung sein. Als Beispiel werden dazu zwei Gesamt(aktions)kraftverläufe mit jeweils einer maximalen Aktionskraft in der Größenordnung von etwa 200 N (s15 und s25) herangezogen, bei denen die Zeitverläufe der Krafrichtungen in den Abbildungen 6-38 und 6-39 (siehe Seite 326) jeweils durch die Summe der rechten und linken Komponentenwerte repräsentiert werden.

Abbildung 6-38:
Beispiel für einen Zeitverlauf der Aktionskräfte; Schieben, 65 kg, FST, 5°, s15 m 05



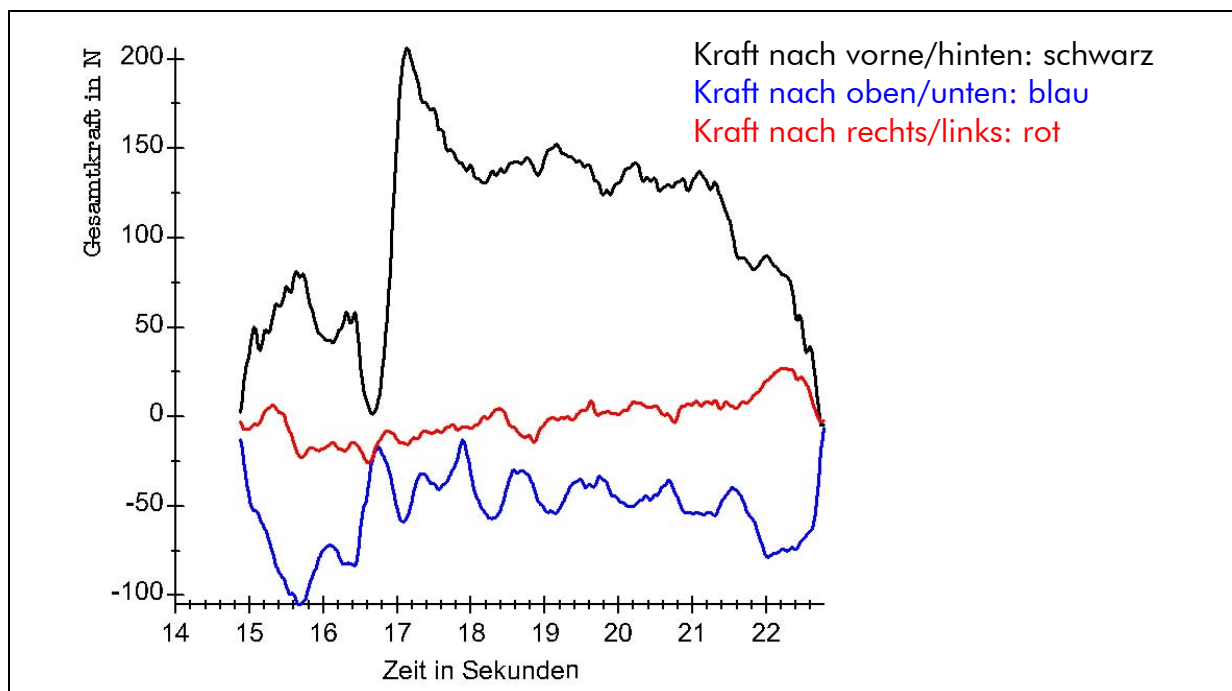
Aus den beiden Diagrammen wird ersichtlich, dass trotz identischer Versuchsbedingungen (Schieben, FST, 65 kg, 5°) und gleichem Maximalwert der Gesamtkraft die nach Richtung getrennten Kraftkomponenten der Aktionskraft stark variieren. So ist beispielsweise in Abbildung 6-38 der Anteil der Kraft in vertikaler Richtung deutlich höher und entgegengesetzt gerichtet als der Vertikalanteil in Abbildung 6-39. Darüber hinaus werden auch die Unterschiede in den Verläufen der sagittal-horizontalen Kraftkomponente deutlich: Der Zeitverlauf in Abbildung 6-38 weist viel größere Schwankungen auf, deren (Neben-)Maxima zu Zeitpunkten von (Neben-)Minima der



Vertikalkomponente auftreten. Im zeitlichen Mittel während der Schiebephase jedoch sind die horizontalen Kräfte in beiden Beispielen ähnlich hoch (in der Größenordnung von etwa 130 N). Dies lässt darauf schließen, dass die Kräfteerzeugung durch Flugbegleiterin „s15“ – entsprechend Abbildung 6-38 – zeitlich wesentlich „unruhiger“ erfolgte als die durch Flugbegleiter „s25“. Da sich diese Unterschiede jedoch lediglich auf die Aktionskräfte und nicht auf die resultierende Wirbelsäulenbelastung beziehen und derartige Zeitverlaufsanalysen lohnenswert erscheinen, sollten auch bezüglich letzterer Kenngrößen detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden (siehe auch Abschnitt 6.7).

Abbildung 6-39:

Beispiel für Zeitverlauf der Aktionskräfte; Schieben, 65 kg, FST, 5°, s 25 m 05



6.5.2 Biomechanische Bewertung der Belastung der Lendenwirbelsäule

Vergleicht man die erhobenen Belastungswerte mit Richtwerten aus der Literatur, können die Tätigkeiten hinsichtlich einer eventuellen Überlastung beurteilt werden, d. h., eventuell auftretende ungünstige Arbeitsbedingungen können erkannt und ggf. in Zukunft vermieden werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass durch die hier



unterstellte lumbal-biomechanische Fokussierung nicht auf physiologische, psychologische oder gynäkologisch relevante Belastungen eingegangen wird.

Für die Bewertung der Kompressionsbelastung der Lendenwirbelsäule können die am IfADo abgeleiteten so genannten „Dortmunder Richtwerte“ (Jäger et al. [9]) herangezogen werden, deren Einhaltung eine mechanische Überlastung der Lendenwirbelsäule bei der Lasthandhabung verhindern helfen soll. Diese Richtwerte repräsentieren Empfehlungen zu maximalen Druckkräften an lumbalen Bandscheiben und Wirbelkörpern beim Handhaben von Lasten. Dabei beruhen die „Dortmunder Richtwerte“ auf einer biomechanischen Analyse der Belastbarkeit von Wirbelsäulensegmenten. Anhand von Autopsiematerial – am Lebenden kann die Strukturfestigkeit nicht bestimmt werden – wurden die Ergebnisse von Labormessungen in Form von alters- und geschlechtsabhängigen Richtwerten zusammengefasst. Insgesamt wurden Messergebnisse an etwa 2 500 Segmenten aus etwa 40 Publikationen in diese Auswertung einbezogen, aus denen für die Richtwertfestlegung, nach intensiver Prüfung der jeweiligen Erhebungsbedingungen, annähernd 800 Werte extrahiert wurden. Auf dieser Grundlage ergaben sich, je nach Alter und Geschlecht, Richtwerte in einem Bereich zwischen annähernd 2 und 6 kN (siehe Tabelle 6-1). Weitere Erläuterungen zur Ableitung und Interpretation der „Dortmunder Richtwerte“ sind in früheren Publikationen beschrieben (z. B. Jäger [10]).

Tabelle 6-1:
„Dortmunder Richtwerte“: Empfehlungen zur maximalen Kompressionsbelastung der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten

| Alter | Frauen | Männer |
|------------|--------|--------|
| 20 Jahre | 4,4 kN | 6,0 kN |
| 30 Jahre | 3,8 kN | 5,0 kN |
| 40 Jahre | 3,2 kN | 4,1 kN |
| 50 Jahre | 2,5 kN | 3,2 kN |
| ≥ 60 Jahre | 1,8 kN | 2,3 kN |



Da die Richtwerte alters- und geschlechtsabhängig sind, wurde als angemessenes Bewertungskriterium für das zugrunde liegende Flugbegleiterkollektiv ein Wert von $2 \frac{1}{2}$ kN für die Vergleiche von auftretenden Belastungen beim Schieben oder Ziehen von Trolleys und empfohlener Maximalbelastung herangezogen.

Eine Klassierung beruflich bedingter Momente bezüglich der Lendenwirbelsäule wurde von *Tichauer* [11; 12] vorgestellt. Diesbezügliche Bewertungen werden als Empfehlung aufgrund jahrzehntelanger Erfahrung zu ergonomisch-biomechanischen Belastungsanalysen vor dem Hintergrund zahlreicher muskelphysiologischer Labormessungen und lumbal-biomechanischer Modellrechnungen angesehen. Bei diesem Klassierungsschema erfolgt die Zuordnung nicht nach Alter und Geschlecht, sondern nach Arbeitsschwere und Tätigkeitsbedingungen, wobei sich die Bedingungen nach Konstitution und Erfahrung der Person sowie Strukturierung der Arbeit richten (siehe Tabelle 6-2). So wirken sich beispielsweise Schulung und Ruhepausen auf die empfohlene maximale Momentenbelastung aus.

Tabelle 6-2:

Klassierungsschema zur Bewertung von lumbosakralen Momenten beim Handhaben von Lasten (nach *Tichauer* [12])

| Kategorien für Momente an L5-S1 | Kategorien der Belastung | Kategorien für individuelle Eigenschaften |
|---------------------------------|--------------------------|---|
| ML5/S1 in Nm | „Arbeitsschwere“ | Bedingungen |
| ML5-S1 < 40 | leicht, mühelos | ungeübte Personen, Frauen oder Männer, Konstitution unerheblich |
| $40 \leq \text{ML5-S1} \leq 85$ | mittelschwer | guter Körperbau, einige Übung |
| $85 \leq \text{ML5-S1} < 135$ | schwer | ausgewählte Personen, eingehende Schulung, Ruhepausen |
| $135 \leq \text{ML5-S1}$ | sehr schwer | große Sorgfalt bei Personenauswahl und Schulung, Schichtabschnitte |



Eine angemessene Wichtung der Eigenschaften von Flugbegleitpersonal schließt eine Zuordnung der Flugbegleiter/-innen zur Gruppe von „ungeübten Personen“ der ersten Kategorie aus. Allerdings sind Flugbegleiter/-innen auch nicht der dritten oder vierten Kategorie zuzuordnen, bei denen hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit das Kriterium „ausgewählte Personen“ bzw. „große Sorgfalt bei der Personenauswahl“ erfüllt sein sollte. In der Regel werden somit bei verantwortungsvoller Prüfung „guter Körperbau, einige Übung“, d. h. die Kriterien der zweiten Kategorie, vorausgesetzt werden können. Daher sollten beim Ziehen oder Schieben von Trolleys durch Flugbegleiter/-innen entsprechend dieses Bewertungsinstrumentes die Momentenbelastungen an der unteren Lendenwirbelsäule nicht oberhalb von 85 Nm liegen.

Werden die beim Ziehen und Schieben von Trolleys auftretenden Belastungen (siehe Abbildung 6-36) mit den als angemessen angesehenen Bewertungskriterien (2,5 kN für die Kompressions- bzw. 85 Nm für die Momentenbelastung) verglichen, so befinden sich sämtliche Belastungswerte weder oberhalb noch unterhalb der Richtwerte, sodass sich generelle Folgerungen, die für sämtliche Tätigkeitsbedingungen oder für jede individuelle Ausführung gültig sind, nicht ableiten lassen. Daher erfolgt die im folgenden Abschnitt beschriebene Beurteilung der Trolley-Bewegungen hinsichtlich der resultierenden Belastung der Lendenwirbelsäule einerseits getrennt für die jeweils zwei Trolley-Typen und -Handhabungsarten sowie andererseits spezifisch für die verschiedenen Beladungsgewichte und Bodenneigungen.

6.5.3 Lumbal-biomechanische Beurteilung der Trolley-Bewegungen

Die Beurteilung der Belastungen der Lendenwirbelsäule beim Schieben und Ziehen der Trolleys anhand der im vorigen Abschnitt vorgestellten Richtwerte zu empfohlenen Maximalwerten von Momenten oder Druckkräften an der Referenzbandscheibe L5-S1 erfolgt mithilfe von zwei Kriterien, jeweils angewendet auf die Ergebnisse zu beiden Kenngrößen der Belastung, d. h. Druckkraft und Sagittalmoment an der Bezugsbandscheibe. Die Beurteilungskriterien erlauben (für jede Kombination von Bedingungen bzgl. Bodenneigung, Trolley-Typ, -Gewicht und -Handhabungsart) eine Einordnung der aufgetretenen Belastungen, die aufgrund der Ausführung durch verschiedene



Personen trotz identischer „Bedingungskombination“ in der Regel variieren, in Kategorien eventueller Überlastungen: Ein erstes „wertebasiertes“ Kriterium zur Beurteilung der Tätigkeiten – eine Tätigkeit entspricht dabei einer bestimmten Bedingungskombination – bezieht den korrespondierenden Mittelwert (MW) und die jeweilige Standardabweichung (SD) sowie deren Lage zum Momenten- bzw. Druckkraft-Richtwert (RW) ein. Das zweite Kriterium ist „häufigkeitsbasiert“ und berücksichtigt, bei wie vielen Personen bzw. Ausführungen (n^+), bezogen auf die Gesamtzahl (N), der Richtwert überschritten wurde. Der wertebasierte Ansatz ist in Abbildung 6-40 (siehe Seite 331), der häufigkeitsbasierte Ansatz in Abbildung 6-41 dargestellt (siehe Seite 332), jeweils in Teil a grafisch skizziert, in Teil b in Form von Ungleichungen, d. h. mathematisch, beschrieben.

Wie Abbildung 6-40 verdeutlicht, wird die Belastung einer Tätigkeit auf der Basis von Ansatz 1 dann für die Personengruppe als nicht zu hoch angesehen und mit der Farbe „weiß“ versehen, wenn der Betrag „Mittelwert plus Standardabweichung“ unterhalb des Richtwertes liegt. Demzufolge wird bei einer derartigen Tätigkeit, bei der allenfalls in seltenen Fällen der Richtwert – und dies nicht übermäßig deutlich – überschritten sein könnte, ein vertretbares Überlastungsrisiko für die die Tätigkeit ausführende Personengruppe angenommen. Liegt bei einer (anderen) Tätigkeit der Mittelwert der Belastungen oberhalb des Richtwertes, wird davon ausgegangen, dass die mit dieser Tätigkeit verbundene Belastung als für die Personengruppe insgesamt zu hoch anzusehen ist; demzufolge wird einem solchen Ergebnis die Farbe „dunkelgrau“ zugeordnet. Für den Fall, dass der Mittelwert unterhalb des Richtwertes und der Mittelwert plus Standardabweichung oberhalb des Richtwertes liegen, wird ein nicht nur im Ausnahmefall vorhandenes Überlastungsrisiko, ein „fallweises“ Überlastungsrisiko angenommen; d. h., für einige Personen wird ein Risiko unterstellt und der korrespondierenden Tätigkeit wird die Farbe „grau“ zugewiesen.

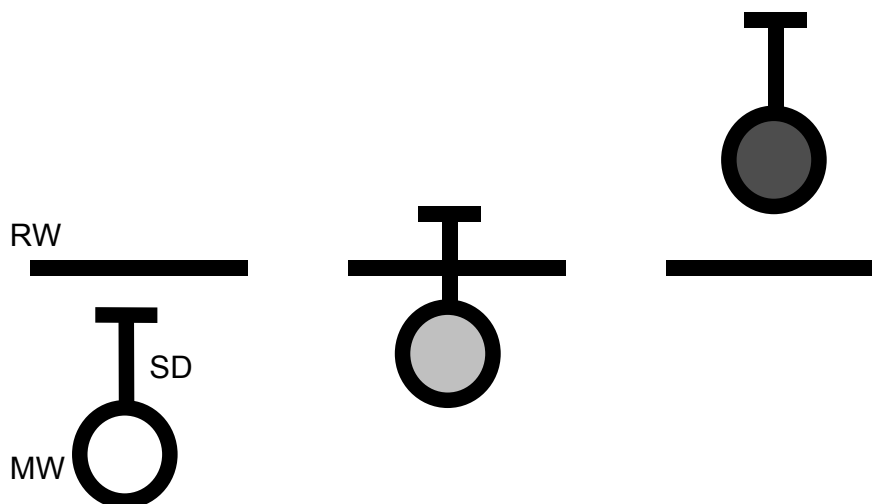
Analog zur wertebasierten Beurteilung von Tätigkeiten anhand von Ansatz 1 wird bei der in Abbildung 6-41 erläuterten häufigkeitsbasierten Beurteilung mittels Ansatz 2 angenommen, dass die mit einer Tätigkeit verbundene Belastung dann für die Personengruppe als nicht zu hoch anzusehen ist, wenn allenfalls ein einziger Wert ober-



halb des Richtwertes liegt. Ein derartiges Ergebnis wird auf eine seltene ungünstige Ausführung zurückgeführt, sodass den Tätigkeitsbedingungen insgesamt die Farbe „weiß“ zugeordnet wird. Liegen mehr als die Hälfte aller Belastungswerte oberhalb des Richtwertes, werden die Tätigkeitsbedingungen als für die Personengruppe zu hoch interpretiert; daher wird ein solches Ergebnis mit der Farbe „dunkelgrau“ verknüpft. Sind mindestens zwei Werte und höchstens die Hälfte aller Belastungswerte oberhalb des Richtwertes, wird für die Tätigkeit ein „fallweises“ Überlastungsrisiko, d. h. ein Risiko für einige Personen angenommen, sodass die Farbe „grau“ zugewiesen wird.

Abbildung 6-40:
Wertebasierte Beurteilung der Tätigkeiten (Ansatz 1)

Teil a: Grafische Darstellung des wertebasierten Beurteilungskriteriums



Teil b: Mathematische Darstellung des wertebasierten Beurteilungskriteriums

| | | |
|-------------------|------------------------|-----------|
| $MW + SD \leq RW$ | $MW \leq RW < MW + SD$ | $RW < MW$ |
| | | |

RW : Richtwert zu Bandscheiben-Moment bzw. -Kraft

MW : Mittelwert von Moment/Kraft (je Bedingungskombination*)

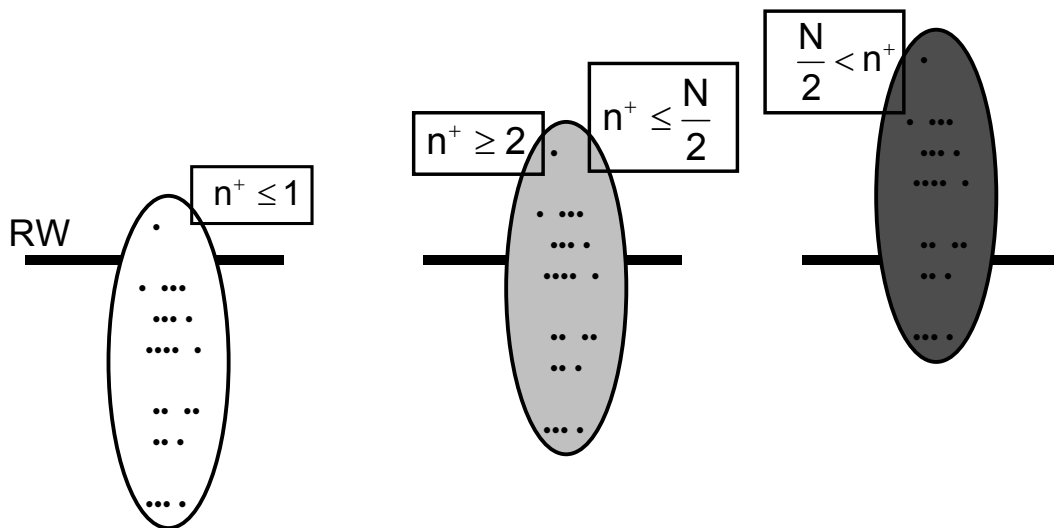
SD : Standardabweichung von Moment/Kraft (je Bedingungskombination)

* Bedingungskombination von Bodenneigung, Trolley-Typ, -Gewicht und -Handhabungsart



Abbildung 6-41:
Häufigkeitsbasierte Beurteilung der Tätigkeiten (Ansatz 2)

Teil a: Grafische Darstellung des häufigkeitsbasierten Beurteilungskriteriums



Teil b: Mathematische Darstellung des häufigkeitsbasierten Beurteilungskriteriums

| | | |
|--------------|-------------------------------|---------------------|
| $n^+ \leq 1$ | $2 \leq n^+ \leq \frac{N}{2}$ | $\frac{N}{2} < n^+$ |
| | | |

RW : Richtwert zu Bandscheiben-Moment bzw. -Kraft

MW : Mittelwert von Moment/Kraft (je Bedingungskombination*)

SD : Standardabweichung von Moment/Kraft (je Bedingungskombination)

* Bedingungskombination von Boden­neigung, Trolley-Typ, -Gewicht und -Handhabungsart

Insgesamt zeigen die voranstehenden Erläuterungen zu den gewählten Aspekten zur Beurteilung der Trolley-Handhabungen, dass für die lumbal-biomechanische Beurteilung der Tätigkeiten insgesamt vier Kriterien und somit vier Farbzugeordnungen je Bedingungskombination verwendet werden: je eine aufgrund des wertebasierten und häufigkeitsbasierten Beurteilungsansatzes sowie dies jeweils für die beiden Belastungs­kenngrößen „Druckkraft“ und „Sagittalmoment an der Bezugsbandscheibe“. Auf dieser Grundlage lässt sich demzufolge sowohl für die Handhabung von Fullsize- als auch für die von Halfsize-Trolleys eine Art Beurteilungsmatrix der einzelnen Tätigkeiten, die durch die Ausprägungen von Boden­neigung, Trolley-Gewicht und -Hand-



habungsart gekennzeichnet sind, ableiten. Diese Übersichten über die Beurteilung der einzelnen Tätigkeiten sind in Abbildung 6-42 für den Fullsize-Trolley bzw. in Abbildung 6-43 für den Halfsize-Trolley dargestellt.

Abbildung 6-42:

Lumbal-biomechanische Einzelbeurteilung der Tätigkeiten (S = Schieben, Z = Ziehen) beim Fullsize-Trolley; Zuordnung des Sagittalmoment- (Mom.) und der Druckkraft-Ergebnisbereiche (FD) anhand der werte- bzw. häufigkeitsbasierten Beurteilungskriterien

| Tätigkeit | | S | | Z | | S | | Z | | S | | Z | |
|----------------------|----------|--------------|----|------|----|----------------|----|------|----|--------------|----|------|----|
| | | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD |
| 8° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 5° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 0° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| Steigung Beladung | | 40 kg (leer) | | | | 65 kg (mittel) | | | | 90 kg (voll) | | | |

Abbildung 6-43:

Lumbal-biomechanische Einzelbeurteilung der Tätigkeiten (S = Schieben, Z = Ziehen) beim Halfsize-Trolley; Zuordnung der Sagittalmoment- (Mom.) und der Druckkraft-Ergebnisbereiche (FD) anhand der werte- bzw. häufigkeitsbasierten Beurteilungskriterien

| Tätigkeit | | S | | Z | | S | | Z | | S | | Z | |
|----------------------|----------|--------------|----|------|----|----------------|----|------|----|--------------|----|------|----|
| | | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD | Mom. | FD |
| 8° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 5° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| 0° | Ansatz 1 | | | | | | | | | | | | |
| | Ansatz 2 | | | | | | | | | | | | |
| Steigung Beladung | | 30 kg (leer) | | | | 45 kg (mittel) | | | | 60 kg (voll) | | | |



Die Abbildungen 6-42 und 6-43 zeigen für jede Bedingungskombination vier farbig markierte Beurteilungsfelder, jeweils nebeneinander bzgl. der beiden Belastungskenngrößen und jeweils untereinander bzgl. der beiden werte- bzw. häufigkeitsbasierten Beurteilungsansätze. In beiden Abbildungen ist für die Mehrzahl der Tätigkeitsbedingungen die Farbzurordnung „weiß“ vorgenommen worden, wenn auch beim Fullsize-häufiger als beim Halfsize-Trolley. Graue Felder sind beim FST (siehe Abbildung 6-42) allenfalls bei stärkeren Boden­neigungen und häufiger bei hohem Beladungsgewicht vorhanden; die einzigen dunkelgrauen Felder treten bei schwerem Trolley und starker Boden­neigung auf. Für das Handhaben des Halfsize-Trolleys (siehe Abbildung 6-43) wurden für das Schieben durchgängig weiße Felder zugeordnet; graue oder dunkelgraue Felder sind, wenn vorhanden, mit dem Ziehen des HST verknüpft: Sowohl für sämtliche Beladungen als auch für sämtliche Boden­neigungen. Dunkelgraue Felder treten bei Beurteilungen anhand des Momentenkriteriums auf, nicht jedoch bzgl. des Druckkraft-Kriteriums; dies lässt vorrangig auf ungünstige Hebelverhältnisse beim Ziehen des HST schließen, die – wie mehrfach an anderer Stelle erwähnt – im Wesentlichen auf die vertikalen Aktionskräfte zur Erhöhung der Kippstabilität bzw. zum Vermeiden des Umkippen zurückgeführt werden.

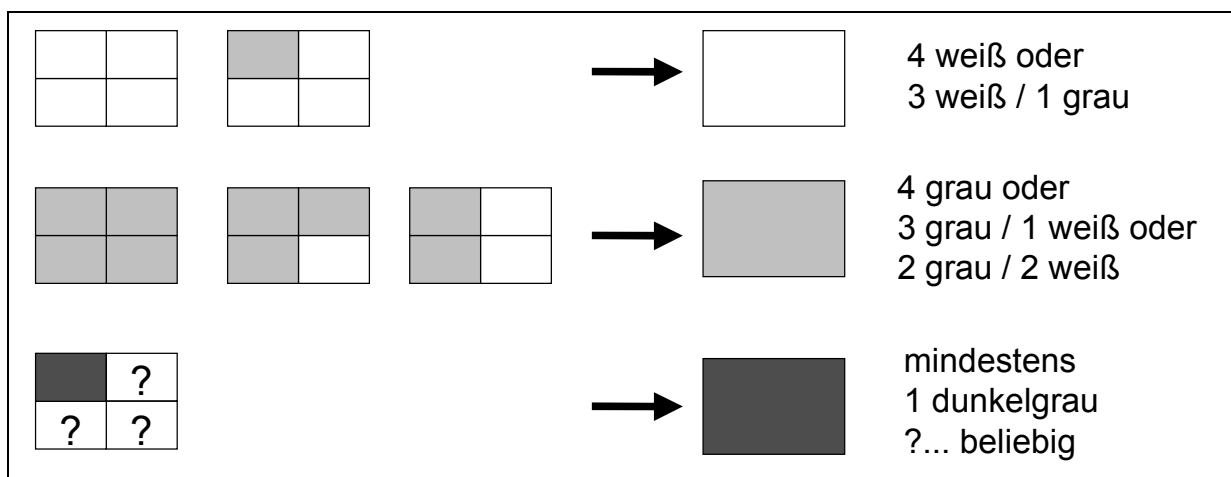
Für die letztendlich resultierende Beurteilung einer jeden Tätigkeit (Bedingungskombination) werden die in der Regel nicht einheitlichen Einzelbeurteilungen – dies entspricht verschiedenen Farben in einem Matrixfeld – wickend zusammengefasst. Die bei dieser Transformation genutzte Vorgehensweise ist in Abbildung 6-44 (siehe Seite 335) schematisch dargestellt: Führen alle vier Einzelbeurteilungen zu einem akzeptablen Überlastungsrisiko (alle vier Felder weiß) oder führt allenfalls ein Kriterium zu der Beurteilung einer fallweisen Überlastung (drei Felder weiß, ein Feld grau), wird diese Tätigkeit insgesamt als akzeptabel für die Personengruppe angesehen. Wurde für eine Tätigkeit die korrespondierende Belastung als zu hoch für die zugrunde liegende Personengruppe beurteilt – entweder aufgrund des werte- bzw. häufigkeitsbasierten Kriteriums oder aufgrund des Momenten- bzw. Druckkraft-Kriteriums – und diese Tätigkeit zumindest einmal mit der Farbe „dunkelgrau“ verknüpft, führte dies zu der zusammenfassenden Beurteilung einer als inakzeptabel für die Gruppe angesehenen



Belastung. Diese Folgerung wurde unter der Berücksichtigung des Sachverhaltes festgelegt, dass die Farbzuoordnung „dunkelgrau“ bei den Einzelbeurteilungen bei eindeutig als zu hoch anzusehenden Belastungen vorgenommen wurde. Eine solche Farbzuoordnung (dunkelgrau) kann daher nicht als leichtfertig vorgenommen interpretiert werden, da entweder mehr als die Hälfte aller Belastungswerte oder das Belastungsmittel oberhalb des gewählten Belastungsrichtwertes lag sowie seltene, geringfügige Richtwert-Überschreitungen als individuelle Sonderfälle angesehen wurden, die für die Gesamtbeurteilung einer Tätigkeit eher nachrangig sind.

Abbildung 6-44:

Vorgehensweise bei der Zusammenfassung der lumbal-biomechanischen Einzelbeurteilungen der Tätigkeiten auf der Basis von vier Kriterien (werte-/häufigkeitsbasiert, Bandscheiben-Moment/-Druckkraft)



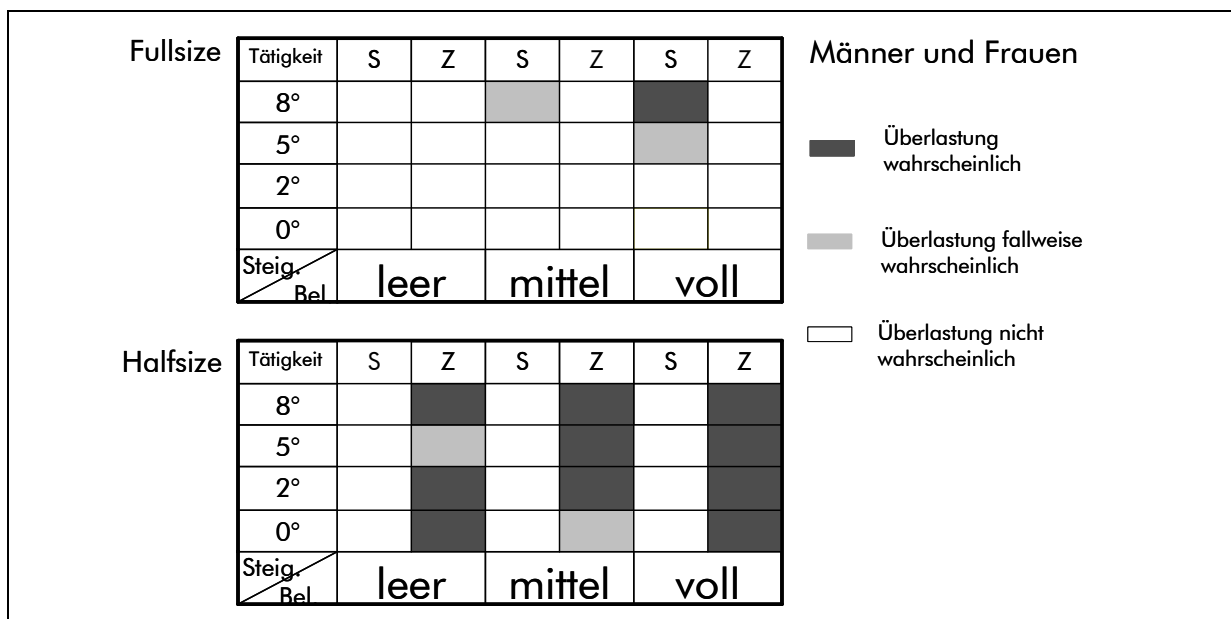
Auf Grundlage der in Abbildung 6-44 erläuterten Vorgehensweise zur gewichteten Transformation der lumbal-biomechanischen Einzelbeurteilungen der verschiedenen Trolley-Handhabungstätigkeiten (Abbildungen 6-42 und 6-43) zu einer zusammenfassenden Beurteilung wurde die Übersichtsdarstellung in Abbildung 6-45 (siehe Seite 336) abgeleitet. Diese zusammenfassende Beurteilungsmatrix verdeutlicht, dass, bezogen auf die Personengruppe des Flugbegleitpersonals, insbesondere für das Schieben des voll beladenen Fullsize-Trolleys (90 kg) über steilen Boden (8°) sowie für das Ziehen des Halfsize-Trolleys – sofern die HST auf einer Schräge oder nicht unbeladen



gezogen werden – mit Überlastungen der Lendenwirbelsäule nicht nur im Einzelfall zu rechnen ist. Fallweise auftretende Überlastungen der Lendenwirbelsäule sind zu unterstellen für das Schieben des schweren FST (90 kg) über 5° Bodenneigungen sowie das Schieben des mittel beladenen FST (65 kg) über steilen Boden (8°). Bei dieser Interpretation sollte allerdings nicht unberücksichtigt bleiben, dass die zu Vorgangsbeginn auftretenden Belastungsspitzen nicht in die Tätigkeitsbeurteilung einbezogen sind. Es sollte daher ein Ziel zukünftiger Arbeiten sein, das Ausmaß der Wirkung der anfänglichen Belastungsspitzen genauer zu quantifizieren. Entsprechende Schlussfolgerungen zur Beurteilung der Trolley-Handhabungen und den korrespondierenden Lumbalbelastungen sind im folgenden Abschnitt enthalten.

Abbildung 6-45:

Zusammenfassende lumbal-biomechanische Beurteilung der Tätigkeiten



6.6 Schlussfolgerungen zur biomechanischen Analyse der Lendenwirbelsäulenbelastung

Vergleicht man die vorgestellten Belastungswerte, die aus den Zeitverläufen während der Zieh- bzw. Schiebephase resultieren, und berücksichtigt man weiterhin, dass eine Reihe von Trolley-Handhabungsbedingungen zu einer Wirbelsäulenbelastung



oberhalb der herangezogenen Richtwerte führen, und lässt man zunächst die Belastungserhöhung in Form der kurzzeitig erreichten Spitzenwerte zu Vorgangsbeginn unberücksichtigt, so ergeben sich folgende Wertungen der Tätigkeiten der Flugbegleiter/-innen beim Ziehen und Schieben der Fullsize- bzw. Halfsize-Trolleys:

- Beim Schieben des FST mit 90 kg über eine Bodenneigung von 8° und beim Ziehen des HST mit Beladung bei allen Bodenneigungen ist mit einer Überlastung der LWS zu rechnen.
- Beim Schieben des FST mit 90 kg über eine Bodenneigung von 5° und 65 kg über eine Bodenneigung von 8° sowie beim Ziehen der unbeladenen HST ist eine Überlastung zumindest fallweise zu unterstellen und häufiger als nur in Einzelfällen anzunehmen.

Aus den oben genannten Bewertungen und bei zusätzlicher überschlägiger Berücksichtigung der Spitzenwerte zu Vorgangsbeginn sowie unter Voraussetzung der zugrunde liegenden Untersuchungsbedingungen (0°... 8°, 30 kg ... 90 kg) sollten folgende Konfigurationen – dies bedeutet Kombinationen aus Neigungswinkel, Trolley-Typ und -Gewicht – vermieden werden:

- Schieben: FST 90 kg 5°, 8°
- Schieben: FST 65 kg 8°
- Ziehen: HST (alle Trolley-Gewichte und alle Bodenneigungen)

Abgesehen von diesen Konfigurationen wird das Bewegen der Trolleys im Bereich der vorliegenden Untersuchungsbedingungen mit Bodenneigungen zwischen 0° und 8° sowie Trolley-Gewichten zwischen 30 und 90 kg hinsichtlich der resultierenden Belastung der Lendenwirbelsäule als nicht bedenklich angesehen.

6.7 Ausblick

Trotz der technisch aufwändigen Erhebungen durch das BIA und vielfältigen Auswertungen hinsichtlich der resultierenden Belastung der Lendenwirbelsäule durch das



IfADo, in deren Rahmen eine für größere Datenmengen routinemäßig anwendungsfähige Schnittstelle zwischen den korrespondierenden Analysesystemen erarbeitet wurde, können Fragestellungen abgeleitet werden, die über die Ergebnisse der hier beschriebenen Untersuchung hinausgehen.

Beispielsweise fokussieren die vorliegenden Untersuchungen im Sinne einer Engpassbetrachtung auf das Bewegen der Trolleys auf dem Gang und berücksichtigen somit nicht das Rangieren in der Galley oder andere Servicetätigkeiten, wie Tabletthandhabungen. Demzufolge sind die abgeleiteten Schlussfolgerungen einerseits auf diese zwar relevanten, aber dennoch nicht allumfassenden Tätigkeitsanteile beschränkt und ermöglichen daher auch nicht eine Beurteilung der Gesamtbelastung des Flugbegleitpersonals. Darüber hinaus beziehen sich die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse und Wertungen allein auf die Belastung der Lendenwirbelsäule, sodass andere Organe betreffende Beanspruchungen – wie z. B. durch metabolisch oder gynäkologisch relevante Belastungen hervorgerufen – hier nicht einbezogen sind und nicht sein können.

Bei Wertung der Ergebnisse hinsichtlich der Lendenwirbelsäulenbelastung lassen sich erweiterte Auswertungsaspekte ableiten, denen durch die zeitliche Restriktion des Forschungsvorhabens bisher nicht nachgegangen werden konnte. Beispielsweise weisen die Zeitverläufe der Aktionskräfte inter- und intraindividuelle Unterschiede bei der Handhabung der Trolleys auf, deren Ursache einerseits auf persönlichen Eigenschaften wie Körpergröße und individuelle Handhabungstechnik oder andererseits auf verschiedenartigen Ausführungen bei mehreren Messdurchgängen desselben Flugbegleiters basieren können. Da ggf. aus besonders belastungsarmen Versuchsdurchgängen und den dazugehörigen Handhabungstechniken Kriterien für ein lumbalbiomechanisch günstig(er)es Bewegen der Trolleys abgeleitet werden könnten, sollte der Auswirkung derartiger Unterschiede auf die Höhe, Varianz und Ausprägung der Wirbelsäulenbelastung nachgegangen werden.

Des Weiteren wurden die Spitzenwerte der Wirbelsäulenbelastung, die zu Beginn eines Zieh- oder Schiebevorgangs erreicht werden, bisher lediglich durch den Ansatz eines



einheitlichen „überschlägigen Zuschlags“ zu den korrespondierenden Werten des zeitlichen Mittels während einer typischen Bewegungsphase berücksichtigt. Mit einer Auswertung auch der Spitzenwerte zu Vorgangsbeginn könnte eine angemessenere Einbeziehung der maximal auftretenden Wirbelsäulenbelastung erfolgen.

Aus den genannten Gründen der zeitlichen Restriktion des Forschungsvorhabens sowie des erheblichen Untersuchungsaufwandes ist die Auswertung der erhobenen Daten in der vorliegenden Darstellung auf die Quantifizierungsergebnisse bezüglich der Druckkräfte und Sagittalmomente an L5-S1 beschränkt, die zwar als wesentliche, aber nicht sämtliche Formen beschreibende Kenngrößen der Lumbalbelastung gelten. Analysen zu anderen Kenngrößen, insbesondere zu Scherkräften oder Seitbeuge- und Torsionsmomenten, wurden bisher nicht durchgeführt. Da beim Bewegen der Trolleys jedoch nicht nur die sagittalen Belastungsanteile wie Druckkräfte oder Beugemomente nach vorn bzw. hinten auftreten, sondern diese in der Regel von asymmetrischen Belastungsanteilen überlagert sind, sollten – im Sinne einer umfassenden Tätigkeitsbeurteilung – auch die zusätzlich genannten Kenngrößen quantitativ beschrieben werden. Eine derartige erweiterte Analysegrundlage ermöglicht eine wissenschaftlich umfassender gestützte Bewertung der resultierenden „Gesamtbelastung“ der Wirbelsäule hinsichtlich des Überlastungsrisikos beim Bewegen der Trolleys und fördert die Möglichkeit einer argumentativ gestützten Diskussion zur Ableitung von ggf. erforderlichen Präventionsmaßnahmen.

6.8 Literatur

[1] *Wilke, H.-J.; Neef, P.; Caimi, M.; Hoogland, T.; Claes, L. E.*: Neue intradiskale Druckmessungen bei Alltagsbelastungen. In: *Wilke, H.-J.; Claes, L. E.* (Hrsg.): Die traumatische und degenerative Bandscheibe. Springer, Berlin 1999, S. 16-24

[2] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Laurig, W.*: Ein computergestütztes Werkzeug zur biomechanischen Analyse der Belastung der Wirbelsäule bei Lastenmanipulationen: „Der Dortmunder“. *Med. Orth. Tech.* 112 (1992), S. 305-309



- [3] *Slote, L.; Stone, G.*: Biomechanical power generated by forearm flexion. *Human Factors* 5 (1963), S. 443-452
- [4] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.; Laurig, W.*: Der Dortmunder – Biomechanische Modellbildung zur Bestimmung und Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei Lastenhandhabung. In: *Radandt, S.; Grieshaber, R.; Schneider, W.* (Hrsg.): Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen; 6. Erfurter Tage. monade, Leipzig 2000, S. 105-124
- [5] *Jäger, M.; Jordan, C.; Theilmeier, A.; Luttmann, A.*: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2: Ermittlung und Beurteilung vergleichbarer Teiltätigkeiten hinsichtlich der Körperhaltung und der Wirbelsäulenbelastung bei verschiedenen beruflichen Tätigkeiten. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2001
- [6] *Ellegast, R.*: Personengebundenes Messsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Hebe- und Tragetätigkeiten. BIA-Report 5/98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998
- [7] *Jäger, M.; Jordan, C.; Luttmann, A.; Dettmer, U.; Bongwald, O.; Laurig, W.*: Dortmunder Lumbalbelastungsstudie: Ermittlung der Belastung der Wirbelsäule bei ausgewählten beruflichen Tätigkeiten. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998
- [8] *Jäger, M.*: Biomechanisches Modell des Menschen zur Analyse und Beurteilung der Belastung der Wirbelsäule bei der Handhabung von Lasten. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 17, Nr. 33. VDI-Verlag, Düsseldorf 1987
- [9] *Jäger, M.; Luttmann, A.; Göllner, R.*: Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten – Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. *Zbl. Arbeitsmed.* 51 (2001), S. 354-372



[10] *Jäger, M.*: Belastung und Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule im Berufsalltag – ein interdisziplinärer Ansatz für eine ergonomische Arbeitsgestaltung. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 17, Nr. 208. VDI-Verlag, Düsseldorf 2001

[11] *Tichauer, E. R.*: Occupational biomechanics – The anatomical basis of work-place design. Rehabilitation Monograph No. 51. Hrsg.: New York University Medical Center, Institute of Rehabilitation Medicine 1975

[12] *Tichauer, E. R.*: The biomechanical basis of ergonomics – Anatomy applied to the design of work situations. John Wiley & Sons, New York 1978



7 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse

Die Servicetätigkeiten an Bord von Flugzeugen werden meist mithilfe von Trolleys (Servierwagen) ausgeführt, die Produkte wie Speisen und Getränke enthalten und durch die Gänge des Flugzeuges geschoben bzw. gezogen werden. Insbesondere bei Kurzstreckenflügen müssen die Servicetätigkeiten auch während der Steig- und Sinkphase des Flugzeuges durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang klagen die Flugbegleiter und insbesondere die Flugbegleiterinnen über eine erhöhte körperliche Belastung beim Bewegen der Trolleys.

Die Beurteilung der Muskel-Skelett-Belastung beim Bewegen von Trolleys in Flugzeugen basierte bislang vornehmlich auf physikalisch-theoretischen Modellabschätzungen unter Berücksichtigung der Masse und der Beschleunigung des Containers sowie den Rollreibungsverhältnissen und der Neigung des Kabinenbodens. Da solche Abschätzungen die dynamische Handhabung des Trolleys durch einen Menschen nur unzureichend berücksichtigen, wurde im BIA bereits im Jahre 2000 eine von der BGF initiierte Pilotstudie durchgeführt, bei der die Aktionskräfte von Flugbegleiterinnen beim Schieben eines Getränke-Trolleys gemessen wurden. Um die Aussagekraft der damaligen Studie zu erhöhen, wurde die jetzt hier vorliegende Studie mit einem deutlich erhöhten Umfang und größerer Komplexität in Kooperation mit der BGF und ihren Mitgliedsbetrieben durchgeführt.

In Zusammenarbeit von zwei Universitätsinstituten (IAD und IfADo), fünf Fluggesellschaften, der BGF und dem BIA wurden verschiedene Untersuchungsansätze und Forschungsmethoden kombiniert, um eine möglichst repräsentative Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Muskel-Skelett-Belastungen von Flugbegleiter/-innen in Deutschland zu erhalten. Die Untersuchungsschwerpunkte bildeten Analysen der biometrischen Daten von rund 2 300 Flugbegleitern/-innen, Maximalkraftmessungen bei rund 500 Flugbegleitern/-innen unter standardisierten Bedingungen, Flugbeobachtungen auf Kurz- und Mittelstreckenflügen, Befragungen zur subjektiven Belastungseinschätzung, ergonomisch-biomechanische Belastungsanalysen beim



Schieben und Ziehen von Trolleys unter im Labor nachgestellten Kabinenbedingungen und die Bestimmung der dabei aufgetretenen Lendenwirbelsäulenbelastung.

Im Rahmen von zehn Kurz- und Mittelstreckenflügen wurden die Serviceabläufe und die wesentlichen Flugparameter (Dauer, Fluglage, -höhe) protokolliert. Insgesamt konnten über 500 Trolley-Bewegungen von 15 Flugbegleiterinnen erfasst werden. Während der zwischen etwa 1 und 4 ¼ h dauernden Flüge waren je Flugbegleiterin zwischen 32 und 82 Trolley-Bewegungen im Gang durchzuführen. Bezogen auf die Servicezeit an Bord wurde durchschnittlich alle 40 bis 120 s ein Trolley bewegt. Auf den kürzeren Flugstrecken traten dabei naturgemäß die kürzeren Tätigkeitsintervalle auf.

Zu Beginn der Servicevorbereitung („crew signs off“) hatte der Kabinenboden einen Neigungswinkel von ca. 2° bis 6°. Zu Beginn der Servicetätigkeiten im Gang betrug der Neigungswinkel maximal 4°. Spätestens 10 Minuten nach dem „Crew-signs-off-Signal“ war die endgültige Fluglage zwischen 0° und 2° erreicht. Bei zwei der zehn Flüge dauerten die Servicetätigkeiten mit Trolleys im Gang bis in die Sinkphase hinein. Die Neigung des Kabinenbodens betrug hierbei rund -2° (der negative Wert kennzeichnet eine negative Längsneigung des Flugzeugs: „Bug nach unten“).

Bei der Befragung zur subjektiven Belastungseinschätzung wurden die Angaben von 114 Flugbegleitern/-innen (88 Frauen und 26 Männer) ausgewertet. Tendenziell stufen die Frauen die körperliche Belastung beim Umgang mit den Trolleys höher ein als die Männer. Für den Steigflug wurden die höchsten Belastungswerte angegeben – gefolgt von Sink- und Reiseflugphase. In diesem Zusammenhang bewerteten die Frauen den Getränke-Trolley während des Steigflugs als signifikant belastender im Vergleich zum Essens-Trolley. In den anderen Flugphasen und bei den Männern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trolley-Typen festgestellt werden.

Als Belastungsschwerpunkt beim Hantieren mit Trolleys wurde von Frauen und Männern der Rücken am häufigsten genannt. Die unteren und oberen Extremitäten wurden dagegen wesentlich seltener genannt.



Um für das Kollektiv des Flugbegleitpersonals spezifische empfohlene Belastungsgrenzen ableiten zu können, wurde es hinsichtlich seiner Charakteristika näher analysiert. Bei der Frage nach dem subjektiven Beschwerdeempfinden berichteten ca. 30 % der Befragten über Beschwerden im Rücken sowie 33 % über Beschwerden im Nacken-Schulter-Bereich.

Aus den oben erwähnten biometrischen Daten der Flugbegleiter/-innen wird ersichtlich, dass die Altersgruppe der 25- bis 40-jährigen den weitaus größten Anteil am Gesamtkollektiv stellt. Rund 80 % des Kollektivs sind weiblichen, nur rund 20 % männlichen Geschlechts. Körperhöhe und Körpergewicht sind linkssteil verteilt. Vermutlich wegen des geringen Anteils der Über-40-jährigen und des männlichen Anteils liegt die mittlere Körperhöhe mit ca. 170 cm deutlich über den Durchschnittswerten nach DIN 33402 für Frauen (1 619 mm) und nur leicht unter denen der Männer (1 733 mm). Nach DIN EN ISO 7250 und BAuA [1] entspricht sie nahezu dem geschlechtsneutralen europäischen 50. Körperhöhenperzentil (1719 mm).

Zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurden an ca. 510 Probanden (ca. 420 Frauen und ca. 90 Männer) Maximalkraftmessungen durchgeführt. Maximale Druckkräfte auf Trolley-Griffhöhe (103 cm) und 78 % Körperhöhe aufrecht (bzw. ca. 80 % Schulterhöhe mit Körpervorneigung) waren ebenso wie die gemessenen Armkräfte stets linkssteil verteilt, was auf Trainingseffekte schließen lässt. Die Auftretenshäufigkeit des Beinkraftniveaus ähnelte eher einer Normalverteilung.

Da das Probandenkollektiv hinsichtlich der Verteilung von Alter und Geschlecht von den bei zwei Airlines erhobenen biometrischen Datenverteilungen ($n \approx 2\,300$) abwich, wurden für die gemessenen vier Maximalkraftfälle für beide Airlines synthetische Kraftverläufe ermittelt, die sich als nahezu identisch darstellten und nur im Bereich höherer Kraftperzentile leichte Unterschiede aufwiesen.

Ein Vergleich der Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe mit korrespondierenden Normwerten (DIN 33411-5, Tabelle 9) zeigt, dass das Kollektiv „Flugbegleitpersonal“ zwar deutlich geringere Leistungsfähigkeit aufweist als Kollektive von rein männlichen Frachtarbeitern oder rein männlichen gewerblich Beschäftigten, im Vergleich zu den



weiblichen gewerblich Beschäftigten ergibt sich jedoch – vermutlich auch bedingt durch den 20-prozentigen Männeranteil – eine erhöhte körperliche Leistungsfähigkeit.

Empfohlene Belastungsgrenzen für das Ziehen und Schieben von Trolleys werden auf der Basis klassischer deutscher Grenzkraftverfahren (Siemens und abgeleitete Derivate), anerkannter internationaler Verfahren und Datenquellen sowie ergonomischer Risikoanalysen zur Bewertung körperlicher Arbeit im Rückgriff auf einschlägige CEN- und ISO-Normen ermittelt. Letztere bauen in ihrem Berechnungsgang auf dem 15. Kraftperzentil der zu analysierenden Grundgesamtheit auf. Aus den an den Probanden ermittelten Druckkräften auf Trolley-Griffhöhe wurden 215 N als das 15. Kraftperzentil der Grundgesamtheit „Flugbegleitpersonal“ berechnet. Für das Ziehen von Trolleys wurde die maximale Zugkraft nach DIN 33411-5 Tabelle 9 (10. und 15. Kraftperzentil) mit 85 % der maximalen Schubkraft (185 N) abgeschätzt. Modellrechnungen nach DIN EN 1005-3 empfehlen – abhängig von der Betätigungshäufigkeit – Belastungsgrenzen für das Ziehen von Trolleys zwischen 80 und 110 N bzw. 90 und 130 N für das Schieben.

Diese Annahmen sind sehr konservativ, da sie 85 % der Grundgesamtheit des Flugbegleitpersonals schützen und für die Trolley-Handhabungen einen statischen Kraffall unterstellen. In der Realität ist die Kraftausübung stets dynamisch und wird zusätzlich von körperl Bewegung induzierten Massenkräften unterstützt. Deshalb werden für die nachfolgende Übersicht nur die oberen Werte der empfohlenen Belastungsgrenzen herangezogen.

Zusätzlich sind auch die bei den durchgeführten Modellrechnungen nach DIN EN 1005-3 gewählten Randbedingungen sehr restriktiv:

- Das Gewicht der Trolley-Zuladung verringert sich mit fortschreitendem Service nicht.
- Der Neigungswinkel bleibt – insbesondere während der höher belastenden Servicephase zu Flugbeginn – konstant und verringert sich nicht.



- ❑ Der komplette Service findet während einer zusammenhängenden zweistündigen Phase statt (und nicht in vier Phasen über eine Schicht verteilt).
- ❑ Die Anzahl der Zieh- und Schiebevorgänge beträgt max. 320 Kraftausübungen pro Schicht.

Im Rahmen der biomechanischen Laborstudie wurden 25 Flugbegleiter/-innen (22 Frauen und 3 Männer) beim Ziehen und Schieben eines Fullsize- und eines Halfsize-Trolleys unter 48 verschiedenen Belastungssituationen untersucht. Bei allen Versuchspersonen wurden ebenfalls die zuvor beschriebenen anthropometrischen Daten erhoben und Maximalkraftmessungen durchgeführt. Die Aktionskräfte der Hände beim Ziehen und Schieben wurden am Trolley mit piezoelektrischen Kraftaufnehmern dreidimensional gemessen. Synchron dazu wurden die Haltungen und Bewegungen des Muskel-Skelett-Systems dreidimensional mit dem CUELA-System aufgezeichnet.

Die maximalen Aktionskräfte beim Schieben oder Ziehen des Fullsize-Trolleys bei 0° Steigung reichten beladungsabhängig von 70 bis 150 N. Bei 8° Steigung wurden Handhabungskräfte zwischen 130 und 270 N registriert, was mit dem vollbeladenen Trolley in mehreren Fällen eine Überforderung für die Frauen darstellte. Mit dem Halfsize-Trolley traten beim Schieben in der Ebene beladungsabhängig maximale Aktionskräfte zwischen 75 und 115 N auf. Bei 8° Steigung führte der Halfsize-Trolley beladungsabhängig zu Schiebekräften im Maximum zwischen 110 und 170 N.

Die Ziehkräfte beim Halfsize-Trolley unterlagen großen Schwankungen in Abhängigkeit von der Greifhöhe und der Bewegungstechnik. Im Mittel betrug die maximale Ziehkraft in der Ebene beladungsabhängig zwischen 110 und 160 N. In Einzelfällen wurden aber auch Spitzenwerte von bis zu 250 N erreicht. Bei 8° Steigung gestaltete sich das Ziehen des Halfsize-Trolleys aufgrund seiner geringen Kippstabilität als besonders schwierig. Fünf der untersuchten Flugbegleiterinnen konnten in einigen Fällen die erforderlichen Kräfte zum zweckdienlichen Bewegen des Trolleys nicht aufbringen. Hierbei ist zu beachten, dass der Betrag der Ziehkraft alleine nicht ausschlaggebend ist, sondern ein sehr gut koordinierter Krafteinsatz in eine bestimmte Richtung er-



forderlich ist, damit der Trolley anrollt und nicht kippt. Die Kräfte variierten im Mittel zwischen 145 und 250 N.

Beim Schieben des Fullsize-Trolleys wirkten die Aktionskräfte weitgehend in Schieberichtung ($\pm 20^\circ$ Abweichung). Dagegen war beim Schieben des Halfsize-Trolleys ein deutliches Aufstützen der Hände – offensichtlich zur Vermeidung des Kippens – feststellbar, indem die Aktionskräfte mit einem Winkel von bis zu 50° zur Horizontalen nach unten gerichtet waren. Beim Ziehen des Halfsize-Trolleys war dagegen ein ausgeprägtes „Anheben“ zu beobachten. Beim leeren Trolley war die Ziehkraft durchschnittlich etwa 70° zur Horizontalen nach oben gerichtet, d. h. es wurden nur rund 30 % des gesamten Krafteinsatzes für den Vortrieb des Trolleys genutzt. Bei den Frauen wurden insbesondere beim Ziehen des Halfsize-Trolleys relativ hohe Handhabungskräfte ermittelt, die zwischen 70 % und 100 % der unter statischen Bedingungen gemessenen Maximalkräfte entsprachen.

Die Bewegungsanalyse mit dem CUELA-System ergab für die Körperhaltungen ein belastungs- und tätigkeitsabhängiges Verhalten. Beim Schieben konnte tendenziell mit zunehmender Schwere der Arbeitsaufgabe eine verstärkte Vorlage des Körpers festgestellt werden. Die Rumpfvorneigung im Bereich der Lendenwirbelsäule erreichte hierbei gelegentlich Werte von über 30° . Im Bereich der Brustwirbelsäule wurde eine entsprechende Tendenz beobachtet, sodass die Rückenkrümmung beim Schieben meist unter 20° blieb. Beim Ziehen ergab sich tendenziell eine verstärkte Körperrückneigung entsprechend der Bodenneigung bzw. der Schwere der Arbeitsbedingungen. Daraus ergab sich insbesondere für die Frauen beim Ziehen des Halfsize-Trolleys eine verstärkte Rückenkrümmung von über 30° nach vorne für das 75. Perzentil der Winkelverteilung ab 2° Steigung, die aus ergonomischer und biomechanischer Sicht kritisch zu bewerten ist. Die unteren und oberen Extremitäten zeigten ebenfalls ein belastungsabhängiges Bewegungsverhalten, das allerdings weitgehend als unkritisch einzustufen ist. Nur am Ellbogengelenk konnte bei den Frauen unter schweren Bedingungen (ab 5° Steigung mit mittlerer Beladung) beim Schieben ein extremes Beugen über 120° Gelenkbeugung bzw. beim Ziehen ein extremes Strecken festgestellt werden, was jeweils auf eine nicht mehr akzeptable Belastungssituation hindeutet.



Das Schuhwerk der Flugbegleiter/-innen wurde als wesentlicher exogener Einflussfaktor beim Hantieren mit den Trolleys identifiziert. Bei fünf der untersuchten Flugbegleiterinnen waren die Schuhe offensichtlich leistungslimitierend. Die Personen, die Schuhe mit glatten Sohlen trugen, erreichten maximale Aktionskräfte, die gegenüber dem Gruppenmittelwert um bis zu 50 % reduziert waren, was regelmäßig zum Misslingen des Versuchs führte. Auch erwiesen sich höhere Absätze (ab ca. 4 cm) insbesondere beim Ziehen aus ergonomischer Sicht als ungünstig. Hier sollten gezielte Vereinbarungen mit den Flugbegleitern/-innen getroffen werden, um die Schuhwerk-Problematisierung zu beseitigen.

Ein einfacher Zusammenhang zwischen Körperhaltung und aufgetretener Belastung am Muskel-Skelett-System konnte beim Bewegen von Trolleys mit statistischen Verfahren nicht gefunden werden. Die äußeren physikalischen Randbedingungen der Versuchsumgebung dominierten den Einfluss auf die Belastung. Dennoch können aus den Ergebnissen Empfehlungen für das ergonomische Hantieren mit Trolleys abgeleitet werden. Beim Schieben sollte ein dosiertes Lehnen des gesamten Körpers gegen den Trolley ausreichen, um ihn in Bewegung zu setzen. Die Arme sollten hierbei gebeugt – nicht über 120° – werden, damit der Trolley nahe am Körper geführt werden kann. Der Rücken sollte möglichst gerade gehalten werden. Ein Ziehen kann aus ergonomischer Sicht nur insoweit empfohlen werden, dass sich der Trolley mit fast aufrechter Körperhaltung und geradem Rücken bewegen lassen muss. Hierbei sollte die Kraftwirkung in Bewegungsrichtung klar überwiegen und Kräfte in vertikaler Richtung („Anheben des Trolleys“) eher vermieden werden.

Für die quantitative Beschreibung der Belastung der Lendenwirbelsäule beim Ziehen und Schieben von Trolleys wurden biomechanische Modellrechnungen mithilfe des Werkzeugs „Der Dortmund“ durchgeführt. Auf Grundlage der im BIA erfolgten Messungen zu Körperhaltungen und Aktionskräften wurden mit diesen Modellrechnungen, bei denen die Regeln und Gesetze der Mechanik auf das Skelett- und Bewegungssystem des menschlichen Körpers angewendet werden, mehrere Kenngrößen der mechanischen Belastung der Lendenwirbelsäule – Kräfte, Momente und



deren Komponenten an der untersten Bandscheibe (L5-S1) – für das Bewegen von Trolleys unter den verschiedenen Laborbedingungen bestimmt.

Dieser erstmals für routinemäßige Untersuchungen gewählte Ansatz erforderte eine Reihe von technischen Abstimmungen, Interaktionen und Softwareentwicklungen, da die im BIA erhobenen Daten zur Körperhaltung und zu Aktionskräften sowohl bezüglich der Modellstrukturierung und erfassten Kenngrößen als auch hinsichtlich der Koordinatendefinitionen und Formatierung für die angestrebte Nutzung als Eingabedaten für die im IfADo durchgeführten lumbal-biomechanischen Analysen anzupassen waren. Nach Auswertung ausgewählter vollständiger Bewegungsvorgänge zur Identifizierung wesentlicher Merkmale in den Zeitverläufen wurde für jeweils eine typische Belastungssituation während der Schiebe- oder Ziehphase für annähernd 500 der 1 200 Konstellationen (25 Flugbegleiter/-innen, zwei Handhabungsarten, zwei Trolley-Typen, drei Beladungsgewichte, vier Neigungswinkel) die Kräfte und Momente an L5-S1 berechnet.

Die Auswertung der Druckkraft und des Sagittalmomentes an L5-S1 beim Schieben zeigt, dass die Belastung der Lendenwirbelsäule mit Zunahme des Trolley-Gewichtes und Zunahme der Bodenneigung steigt. Dabei ist der Einfluss des Trolley-Gewichtes mit zunehmender Bodenneigung deutlicher ausgeprägt. Zwischen Fullsize- und Halfsize-Trolley wird ein deutlicher Unterschied dahingehend erkennbar, dass die Werte bezüglich des Fullsize- höher sind als die ähnlich schwerer Halfsize-Trolleys. Bezüglich der lumbo-sakralen Druckkraft und des Sagittalmomentes beim Ziehen von Trolleys lassen sich folgende Ergebnisse ableiten: Sowohl beim Fullsize- als auch beim Halfsize-Trolley lässt sich ein eindeutiger allgemein gültiger Einfluss der Bodenneigung nicht nachweisen. Im Gegensatz zum Schieben liegen die Werte für den Halfsize- beim Ziehen deutlich über denen des Fullsize-Trolleys. Begründet ist dieses letztlich durch die mangelnde Kippstabilität der kleinen Trolleys, die aufgrund der kleinen Grundfläche und dem hohen Schwerpunkt zum Kippen neigen und daher von den Flugbegleitern/-innen zusätzliche Kräfte nach oben – eine Art „partielles Heben des Trolleys“ – aufgebracht werden (müssen).



Auf Grundlage der in Abschnitt 4.9.2 angeführten Empfehlungen für maximal an Trolleys auszuübende Aktionskräfte sind häufigkeitsabhängige und häufigkeitsunabhängige Kraftausübungsfälle zu unterscheiden.

Überschreitet die für das Ziehen oder Schieben von Trolleys erforderliche Aktionskraft den Maximalkraftwert des 15. Perzentils des Flugbegleitpersonals (215 N für Schieben; 185 N für Ziehen), so ist dies in jedem Fall – unabhängig von der Betätigungshäufigkeit – als kritisch (dunkelgrau) anzusehen, sodass Maßnahmen dringend empfohlen werden.

In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Kraftausübungen reduziert sich die als maximal zu akzeptierende Aktionskraft. Die Ableitung von häufigkeitsabhängigen fallweise kritischen (hellgrau) und akzeptablen Wertebereichen (weiß) geschieht unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 durchgeführten Modellrechnungen.

Damit ergeben sich für Lang- und Kurzstrecken die in den Abbildungen 7-1 und 7-2 zusammengestellten Empfehlungen.



Abbildung 7-1:
Empfehlungen zur Bewertung der Trolley-Handhabung bei
Langstreckenflügen aus Sicht der körperlichen Leistungsfähigkeit

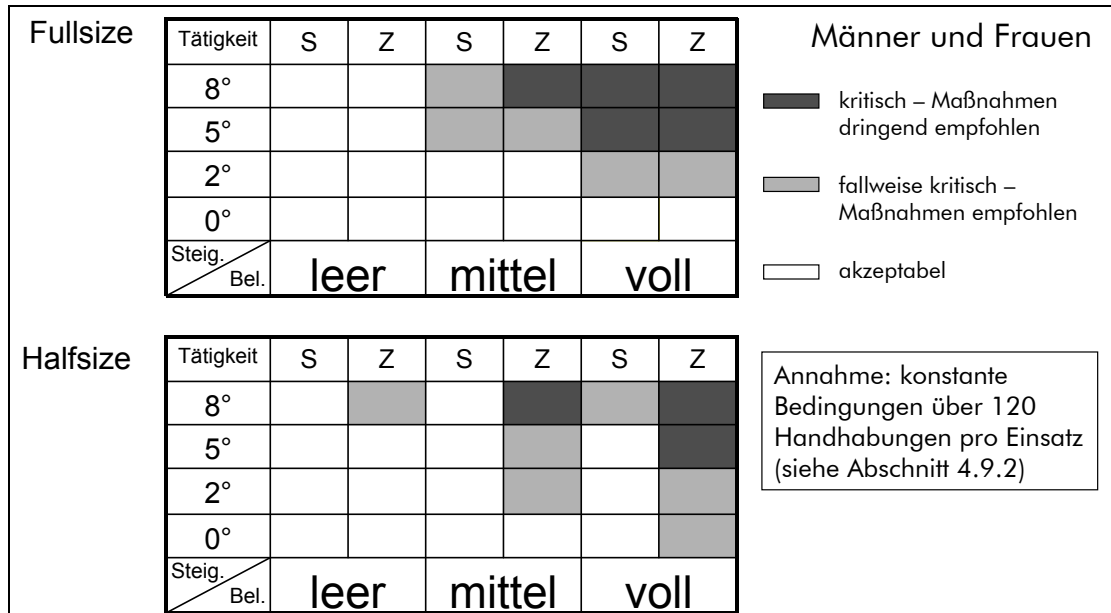
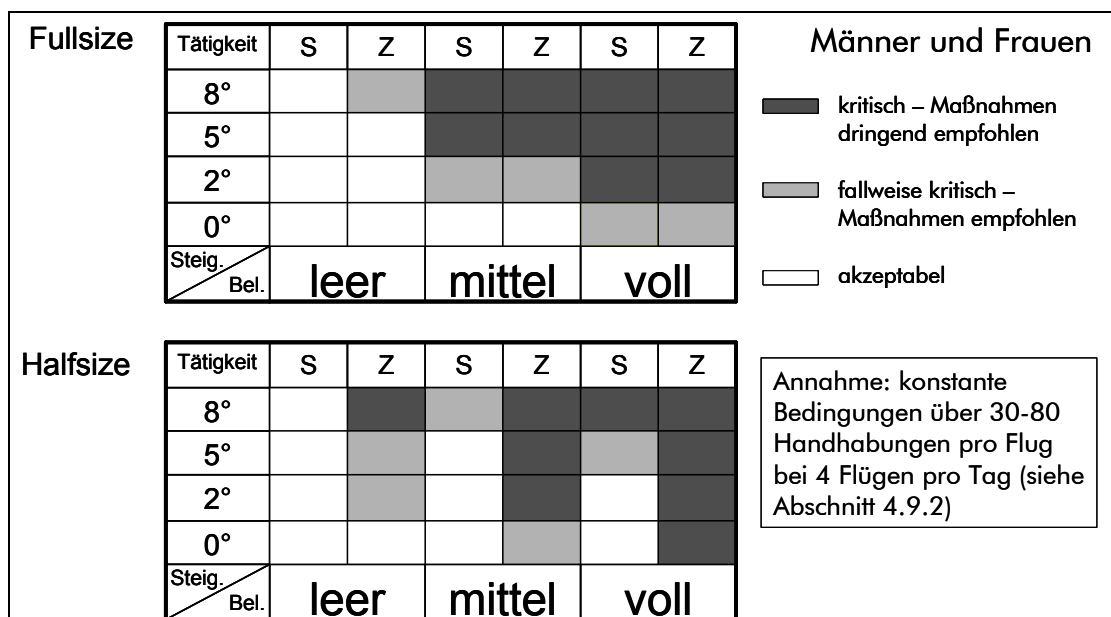


Abbildung 7-2:
Empfehlungen zur Bewertung der Trolley-Handhabung bei
Kurzstreckenflügen aus Sicht der körperlichen Leistungsfähigkeit








Auf Grundlage der in Abschnitt 6.5.3. erläuterten Vorgehensweise zur Zusammenfassung der lumbal-biomechanischen, auf vier Kriterien beruhenden „Einzelbeurteilungen“ der verschiedenen Trolley-Handhabungen zu einer „zusammenfassenden Beurteilung“ mithilfe von Richtwerten der Literatur wurde die Übersichtsdarstellung in Abbildung 7-3 abgeleitet. Während in Kapitel 6 die Beurteilung der Tätigkeiten hinsichtlich der resultierenden Wirbelsäulenbelastung im Vordergrund stand, werden an dieser Stelle tätigkeitsspezifische Empfehlungen dargestellt. Dementsprechend wurde die Kategorisierung wie folgt umformuliert: In Abschnitt 6.5.3. wurde einer Tätigkeit die Farbe „weiß“ zugeordnet, wenn für die Gruppe der Flugbegleiter/-innen eine Überlastung der Lendenwirbelsäule als unwahrscheinlich angesehen wurde, während jene „weiß“ eingestufte Tätigkeit hier in Kapitel 7 als „akzeptabel“ bezeichnet wird. Analog dazu wird hier eine Tätigkeit als „kritisch“ („dunkelgrau“) angesehen, bei denen Maßnahmen dringend empfohlen werden, da – wie in Abschnitt 6.5.3. beschrieben – eine lumbal-biomechanische Überlastung der Lendenwirbelsäule für die Flugbegleiter/-innen als wahrscheinlich eingestuft wurde. Die Modifikation der Bezeichnung „hellgrau“ wurde korrespondierend gewählt.

Abbildung 7-3:
Zusammenfassende lumbal-biomechanische Beurteilung der Trolley-Zieh- und Schiebetätigkeiten (abgeleitet aus Abbildung 6-45)

| Fullsize | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | Männer und Frauen |
|----------------|-----------|------|---|--------|---|------|---|-------------------|
| | 8° | | | | | | | |
| 5° | | | | | | | | |
| 2° | | | | | | | | |
| 0° | | | | | | | | |
| Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |

| Halfsize | Tätigkeit | S | Z | S | Z | S | Z | Männer und Frauen |
|----------------|-----------|------|---|--------|---|------|---|-------------------|
| | 8° | | | | | | | |
| 5° | | | | | | | | |
| 2° | | | | | | | | |
| 0° | | | | | | | | |
| Steig. Bel. | | leer | | mittel | | voll | | |

| | |
|---|--|
|  | kritisch – Maßnahmen dringend empfohlen |
|  | fallweise kritisch – Maßnahmen empfohlen |
|  | akzeptabel |



Somit ergeben sich folgende tätigkeitsspezifische Beurteilungen:

- Beim Schieben des FST mit 90 kg über eine Bodenneigung von 8° und beim Ziehen des HST mit Beladung bei allen Bodenneigungen ist mit einer Überlastung der LWS zu rechnen, sodass die entsprechenden Tätigkeiten als kritisch anzusehen sind, bei denen Maßnahmen der Gestaltung dringend empfohlen werden.
- Beim Schieben des FST mit 90 kg über eine Bodenneigung von 5° und 65 kg über eine Bodenneigung von 8° sowie beim Ziehen des unbeladenen HST ist eine Überlastung zumindest fallweise zu unterstellen und häufiger als nur in Einzelfällen anzunehmen; daher werden diese Tätigkeiten je nach individueller Ausführung und persönlichen Eigenschaften als fallweise kritisch eingestuft und ggf. Maßnahmen empfohlen.

Abgesehen von den genannten Konfigurationen (d. h. Kombinationen aus Handhabungsart, Trolley-Typ, -Gewicht und Neigungswinkel) wird das Bewegen der Trolleys im Bereich der vorliegenden Untersuchungsbedingungen (0° ... 8°, 30 kg ... 90 kg) hinsichtlich der resultierenden Belastung der Lendenwirbelsäule als nicht bedenklich, d. h. für die untersuchten Flugbegleiter/-innen als akzeptabel angesehen.

In der Zusammenfassung beider Empfehlungen – zu maximal auszuübenden Aktionskräften an Trolleys und zur maximalen Belastung der Lendenwirbelsäule – ergeben sich die in den Abbildungen 7-4 und 7-5 dargestellten Bewertungen.



Abbildung 7-4:
Zusammenfassende Empfehlungen zur Beurteilung der Trolley-Handhabung aus Sicht der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Lendenwirbelsäulenbelastung bei Langstreckenflügen

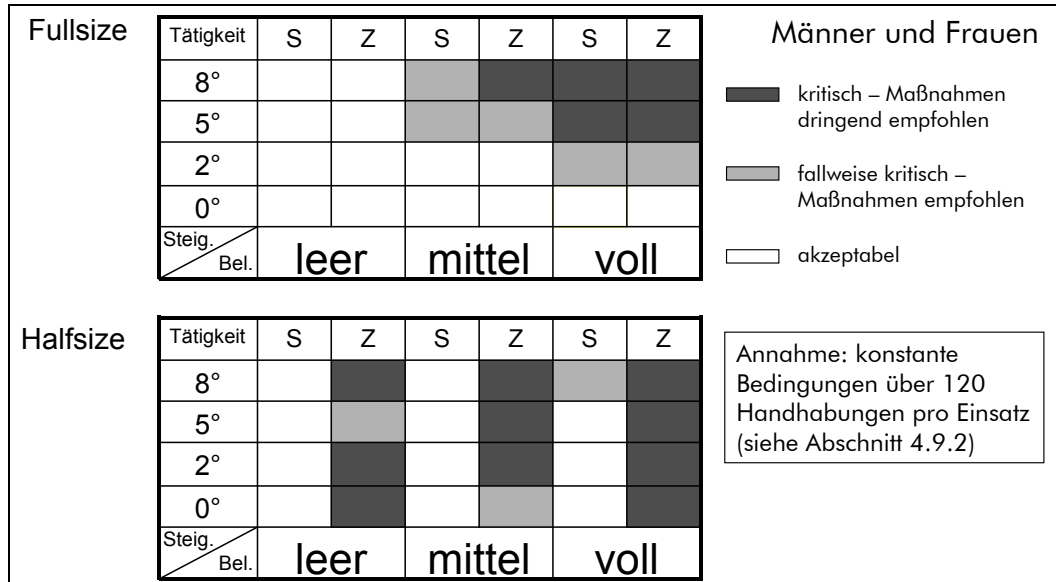
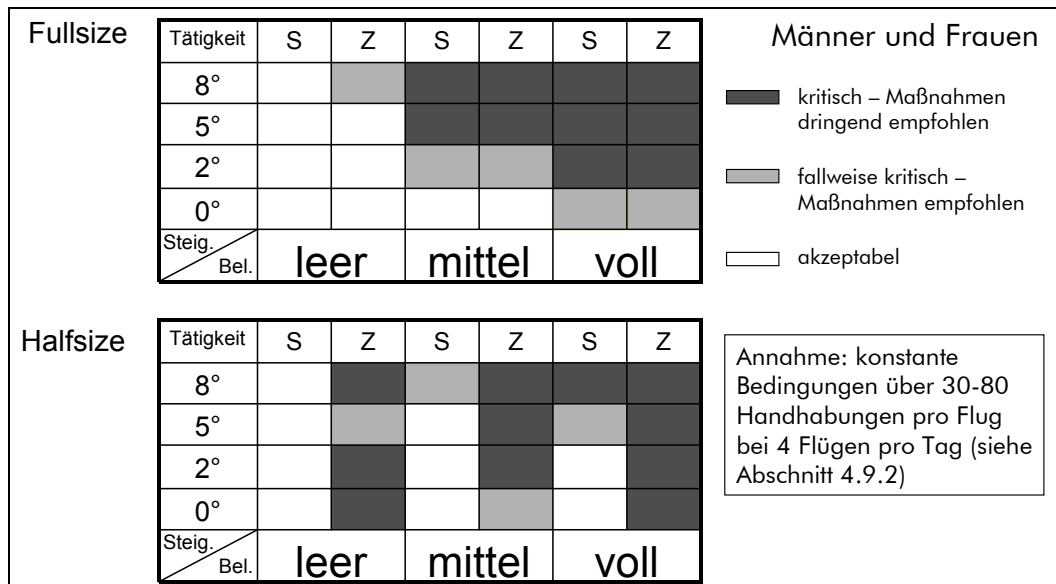


Abbildung 7-5:
Zusammenfassende Empfehlungen zur Beurteilung der Trolley-Handhabung aus Sicht der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Lendenwirbelsäulenbelastung bei Kurzstreckenflügen





Hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit sind einige der untersuchten Trolley-Manipulationen als risikobehaftet einzustufen. Dies gilt insbesondere für das Handhaben des 90-kg-Fullsize-Trolleys sowie für das Ziehen der Halfsize-Trolleys. Da die zur körperlichen Leistungsfähigkeit durchgeführten Risikoanalysen nur das Ziehen und Schieben von Trolleys im Gang berücksichtigen, sollten auch die Fälle, bei denen eine körperliche Überlastung als unwahrscheinlich angesehen wurde, nicht per se als „sicher“ gelten. Auch andere Tätigkeiten, wie z. B. das Austeilen und Einsammeln der Tablett, können selbst schon grenzwertige Belastungssituationen ergeben und beanspruchen z. T. gleiche Muskelgruppen wie das Ziehen und Schieben der Trolleys [2].

Da für das Ziehen und Schieben der Trolleys sehr hohe Aktionskräfte erforderlich sind, sollte über konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der Rollfähigkeit der Trolleys nachgedacht werden. Unabhängig davon können organisatorische Maßnahmen gesundheitliche Gefährdungspotenziale mildern wie z. B. das Manipulieren von Trolleys durch zwei Flugbegleiter/-innen in als überlastungsrelevant gekennzeichneten Situationen.

Bedingt durch Geometrie und Massenverteilung der Halfsize-Trolleys besteht bei deren Handhabung eine hohe Kippgefahr. Deshalb wird empfohlen, auf den Einsatz dieses Trolley-Typs in dem gegenwärtigen Gestaltungszustand zu verzichten bzw. dessen Handhabung zukünftig zu verbessern.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die aus dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse den erheblichen Aufwand hinsichtlich Umfang und Komplexität der Untersuchung rechtfertigen. Die spezifischen körperlichen Voraussetzungen des Kollektivs des Flugbegleitpersonals waren bislang nur unzureichend bekannt – bzw. basierten allenfalls auf Mutmaßungen und sind nur sehr eingeschränkt mit anderen Berufsgruppen vergleichbar. Das Bewegen von Trolleys in Flugzeugen ist sehr speziellen Randbedingungen unterworfen und führt insgesamt zu relativ hohen Muskel-Skelett-Belastungen des Flugbegleitpersonals, die bei ergonomisch günstiger Handhabung zwar begrenzt aber nicht vermieden werden können. Erst durch den Einsatz dreidimensionaler Messverfahren in der Kinemetrie und der Dynamometrie konnten die



Belastungssituationen adäquat erfasst werden. In Verbindung mit den biomechanischen Modellrechnungen lassen sich erst dann quantitative Bewertungen der Lendenwirbelsäulenbelastung durchführen.

Die Studie zeigt damit in exemplarischer Weise das Vorgehen für eine differenzierte Analyse und Bewertung der Muskel-Skelett-Belastungen unter praxisnahen Arbeitsbedingungen. Die Erkenntnisse betreffen in erster Linie das Ziehen und Schieben von Trolleys in Flugzeugen, aber auch für Zieh- und Schiebevorgänge in anderen Umfeldern können Parallelen gezogen werden. Der vorhandene Datenbestand lässt darüber hinaus eine Vielzahl weiterführender Recherchen zu und kann somit als wertvolles Fundament für weitere Studien dienen. Technische und organisatorische Maßnahmen zur Verbesserung des Arbeitsplatzes in der Kabine erscheinen notwendig und können mit dieser Datengrundlage ausreichend begründet werden.

Die Studienergebnisse und daraus abgeleitete Folgerungen gelten für das Kollektiv der Flugbegleiter; die Bewertung einer individuellen Belastung ist nicht vorgesehen.

Für folgende ausgewählte Handlungsfelder werden Maßnahmen zur Verringerung der Muskel-Skelett-Belastung empfohlen:

Arbeitsorganisation – Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei den Arbeitsabläufen, wie z. B.

- Ziehen durch eine Person möglichst vermeiden,
- schwere Trolleys nach Möglichkeit zu zweit bewegen und
- die Neigung des Flugzeugs beim Bewegen des Trolleys ausnutzen;

Flugbegleiter – Sensibilisierung für ergonomisch vorteilhaftes Verhalten, wie z. B.

- belastungsarmes Schieben/Ziehen,
- Schulung/Training von ergonomisch vorteilhaftem Verhalten,



- Steigerung/Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit (Eigenverantwortlichkeit)
z. B. durch ein spezifisches Fitness-Training und
- zweckmäßiges Schuhwerk;

Arbeitsmittel – Trolley-Technologie. z. B.

- Griffgestaltung (z. B. stabile Ausziehtablets),
- Kippstabilität des Halfsize-Trolleys erhöhen,
- Reduktion des Kraftaufwandes (Rollenlager, Wartung, Rollentechnik, Trolleys mit eigenem Antrieb) und
- Verbesserung der Manövrierbarkeit.

7.1 Literatur

[1] *Jürgens, H.W.; Matzdorff, I.; Windberg, J.*: Internationale anthropometrische Daten als Voraussetzung für die Gestaltung von Arbeitsplätzen und Maschinen. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 108. Forschungsergebnisse für die Praxis. Internationale anthropometrische Daten. Dortmund 1998

[2] *Rohmert, W.; Schaub, Kh.; Wakula, J.*: Belastung und Beanspruchung von Serviertätigkeiten bei Flugbegleitern. Interner Abschlussbericht für die Deutsche Luft-hansa. Darmstadt 1995



Anhang

A1 Übersicht über die Mitflugbeobachtungen

Die Mitflugbeobachtungen wurden von jeweils zwei Mitarbeitern des BIA mit der Unterstützung der beteiligten Fluggesellschaften durchgeführt. Auf den Kurz- und Mittelstreckenflügen kamen unterschiedliche Flugzeugtypen – vom Airbus 330 bis zur Turbo-Prop-Maschine ATR 72 – zum Einsatz (siehe Tabelle A1-1).

Tabelle A1-1:
Übersicht über Flugrouten und Flugzeugtypen bei den Flugbeobachtungen

| Flugkennung | DLH 4392 | DLH 4355 | EW 986 | EW 985 | HF 3433 | HF 3674 | LTU 114 | LTU 115 | CLH 5454 | CLH 5389 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Destination | FRA-LIS | LIS-FRA | CGN-DRS | DRS-CGN | DUS-FAO | FAO-FRAU | DUS-LPA | LPA-DUS | CGN-ZRH | ZRH-CGN |
| Flugdauer | 2:18 | 2:50 | 1:16 | 1:21 | 2:31 | 3:00 | 4:00 | 4:16 | 1:00 | 1:10 |
| Datum | 02.11.2001 | 02.11.2001 | 31.11.2001 | 31.11.2001 | 28.11.2001 | 28.11.2001 | 05.12.2001 | 05.12.2001 | 28.01.2002 | 28.01.2002 |
| Flugzeug-Typ | A 306 | A 306 | ATR 72 | ATR 72 | B737-800 | B737-800 | A330-300 | A330-300 | CRJ 100 | CRJ 100 |
| Sitzkapazität | 263 | 259 | 68 | 68 | 184 | 184 | 387 | 387 | 48 | 48 |
| Belegung | 163 | 136 | 38 | 19 | 91 | 184 | 170 | 177 | 48 | 46 |
| Rel. Belegung | 62,0 % | 52,5 % | 55,9 % | 27,9 % | 49,5 % | 100,0 % | 43,9 % | 45,7 % | 100,0 % | 95,8 % |

A2 Fragebogen zur Trolley-Handhabung und Belastungseinschätzung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern

Im Rahmen des Projekts wurde vom BIA in Zusammenarbeit mit Eurowings der in Abbildung A2-1 dargestellte „Fragebogen zur Erfassung der Trolley-Handhabung und der subjektiven körperlichen Belastungseinschätzung“ entwickelt.



Abbildung A2-1:
Fragebogen zur Erfassung der Trolley-Handhabung und der subjektiven körperlichen Belastungseinschätzung

| | | | |
|---|--|---|--|
| Angaben zur Person: | | | |
| Körpergröße: | | Körpergewicht: | |
| Alter: | | Als CA beschäftigt seit: | |
| Weiblich <input type="checkbox"/> Männlich <input type="checkbox"/> | | | |
| Bei allen nachfolgenden Fragen ist jeweils von einem für Sie typischen Zieh-/Schiebevorgang beim Servieren auszugehen. Bitte keine Mehrfachnennungen innerhalb eines Rahmens. Wenn Sie eine Trolley-Art (Getränke-/Meal) in einer Flugphase praktisch nie einsetzen, dann lassen Sie die betreffenden Felder leer. | | | |
| Steigflug: | | | |
| Getränkertrolley am häufigsten | | Mealrolley am häufigsten | |
| HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | | HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | |
| häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | | häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | |
| Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | | Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | |
| Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie diese Tätigkeit? (Bitte ein <input type="radio"/> ankreuzen) sehr belastend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> wenig belastend | | Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie diese Tätigkeit? (Bitte ein <input type="radio"/> ankreuzen) sehr belastend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> wenig belastend | |
| Reiseflughöhe: | | | |
| Getränkertrolley am häufigsten | | Mealrolley am häufigsten | |
| HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | | HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | |
| häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | | häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | |
| Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | | Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | |
| * HS: Half Size FS: Full Size | | | |

(Fortsetzung nächste Seite)



Abbildung A2-1:
(Fortsetzung)

| Sinkflug: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------|--------|--|---------------|--|--|-----------------|--|--|-------|--------|--|------------------|--|--|----------------------|--|--|-----------------|--|--|-------|--------|--|-------------|--|--|-------------|--------------|--|-----------------------|--|--|-------|--------|--|--------------------|--|--|-------|--------|--|---------------|--|--|-------|--------|--|-------------|--|--|-------|--------|--|-------|--------|--|----------------------|--|--|-------|--------|--|-------------|--|--|-------|-------|--|--|
| Getränketroley am häufigsten HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | Mealrolley am häufigsten HS <input type="checkbox"/> Bitte ankreuzen FS <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | häufigste Handhabung Schieben <input type="checkbox"/> Ziehen <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | Details zur Trolley-Handhabung Wo wird der Trolley beim Schieben oder Ziehen angefasst? (Bitte genaue Beschreibung, z.B. an den Seitenwänden, an dem vorgesehenen Griff, etc...) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie diese Tätigkeit? (Bitte ein <input type="radio"/> ankreuzen) sehr belastend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> wenig belastend | Wie belastend (körperlich anstrengend) empfinden Sie diese Tätigkeit? (Bitte ein <input type="radio"/> ankreuzen) sehr belastend <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> wenig belastend | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Welche Tätigkeit in Zusammenhang mit dem Ziehen und Schieben von Trolleys (Typ, Beladungszustand) empfinden Sie als am meisten belastend für Ihren Körper? Markieren Sie die Stelle, an der Sie die höchste Belastung empfinden, anhand der nachfolgenden Skizze und Bezeichnungen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Kopf</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">vorne</td><td style="text-align: center;">hinten</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Nacken</td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Schulter</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">vorne</td><td style="text-align: center;">hinten</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Brustkorb</td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Oberer Rücken</td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Ellbogen</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">innen</td><td style="text-align: center;">ausßen</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Hand</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">beugeseitig</td><td style="text-align: center;">streckseitig</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Unterer Rücken</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">links</td><td style="text-align: center;">rechts</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Kreuz/Gesäß</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">links</td><td style="text-align: center;">rechts</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Hüften</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">links</td><td style="text-align: center;">rechts</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Knie</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">vorne</td><td style="text-align: center;">hinten</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">links</td><td style="text-align: center;">rechts</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Unterschenkel</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">vorne</td><td style="text-align: center;">hinten</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Füße</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">innen</td><td style="text-align: center;">außen</td><td></td></tr> </table> | Kopf | | | vorne | hinten | | Nacken | | | Schulter | | | vorne | hinten | | Brustkorb | | | Oberer Rücken | | | Ellbogen | | | innen | ausßen | | Hand | | | beugeseitig | streckseitig | | Unterer Rücken | | | links | rechts | | Kreuz/Gesäß | | | links | rechts | | Hüften | | | links | rechts | | Knie | | | vorne | hinten | | links | rechts | | Unterschenkel | | | vorne | hinten | | Füße | | | innen | außen | | |
| Kopf | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vorne | hinten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nacken | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schulter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vorne | hinten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brustkorb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oberer Rücken | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ellbogen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| innen | ausßen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hand | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| beugeseitig | streckseitig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unterer Rücken | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| links | rechts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kreuz/Gesäß | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| links | rechts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hüften | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| links | rechts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vorne | hinten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| links | rechts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unterschenkel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vorne | hinten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Füße | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| innen | außen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abb. 3.1. Übersicht des ganzen Körpers: Vorderseite und linke Seite | | Abb. 3.2. Übersicht des ganzen Körpers: Rückseite und rechte Seite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

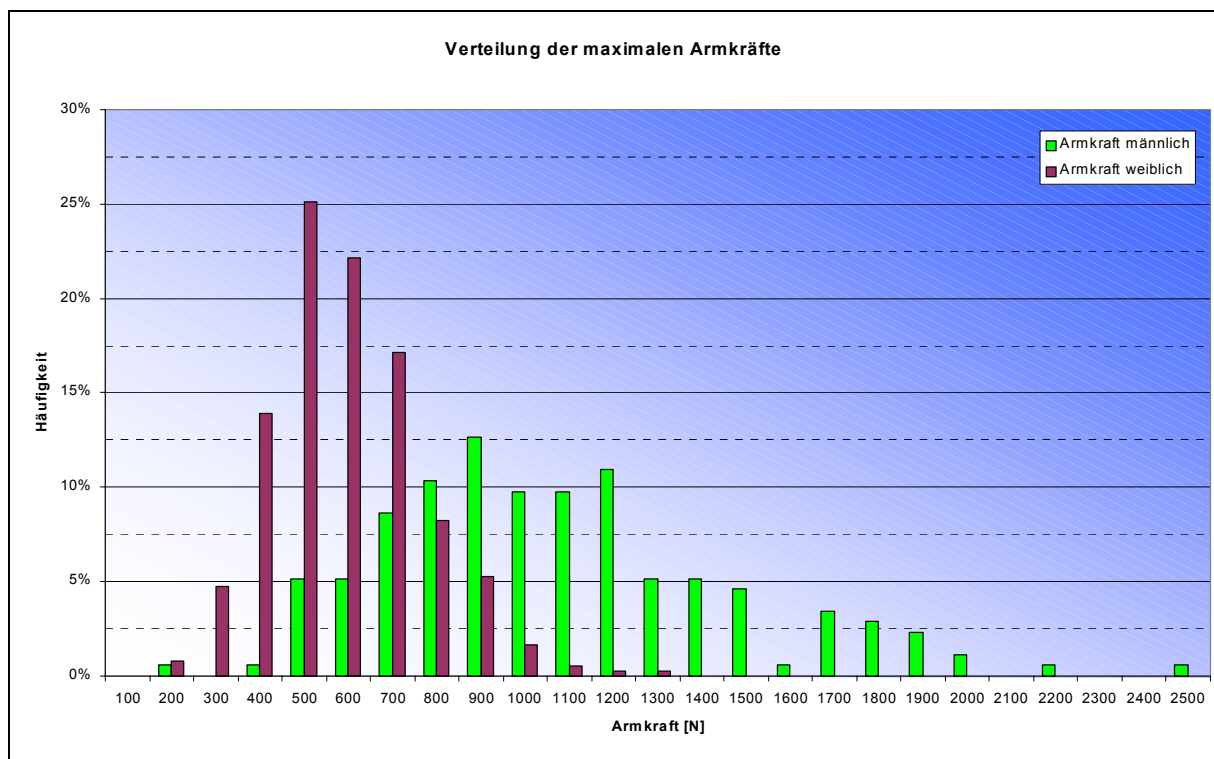


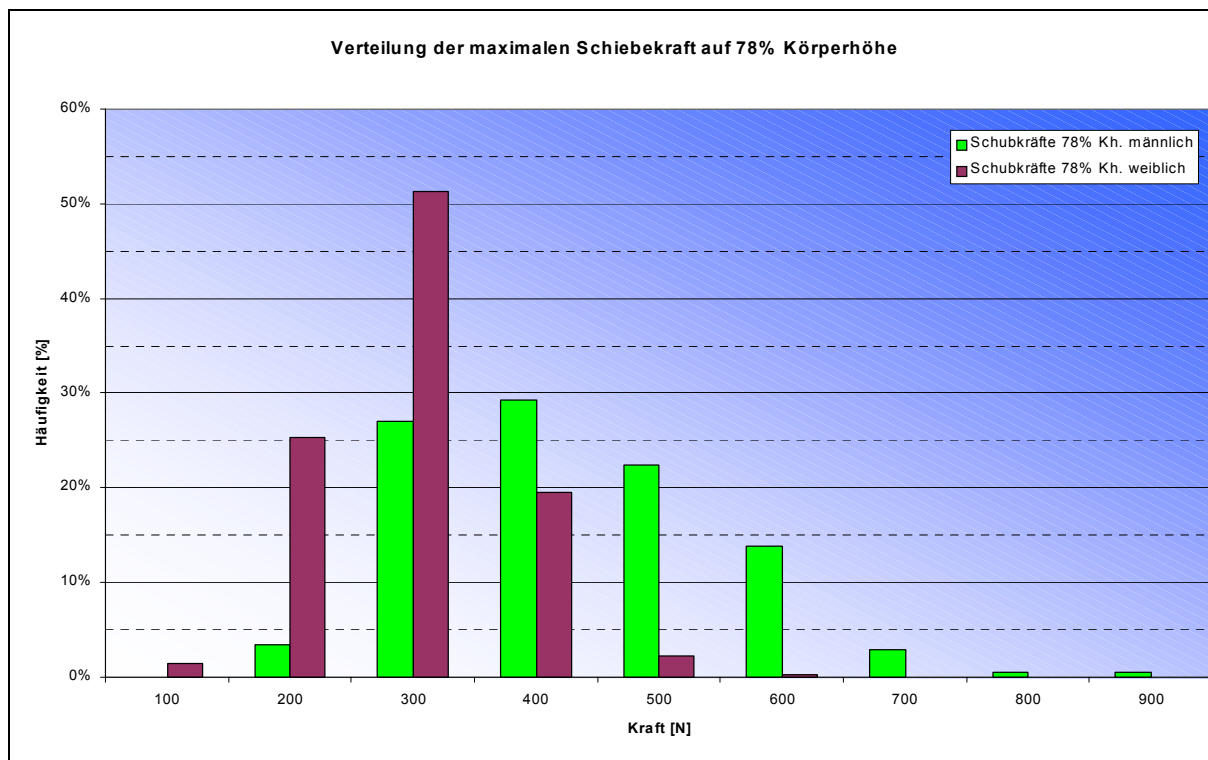
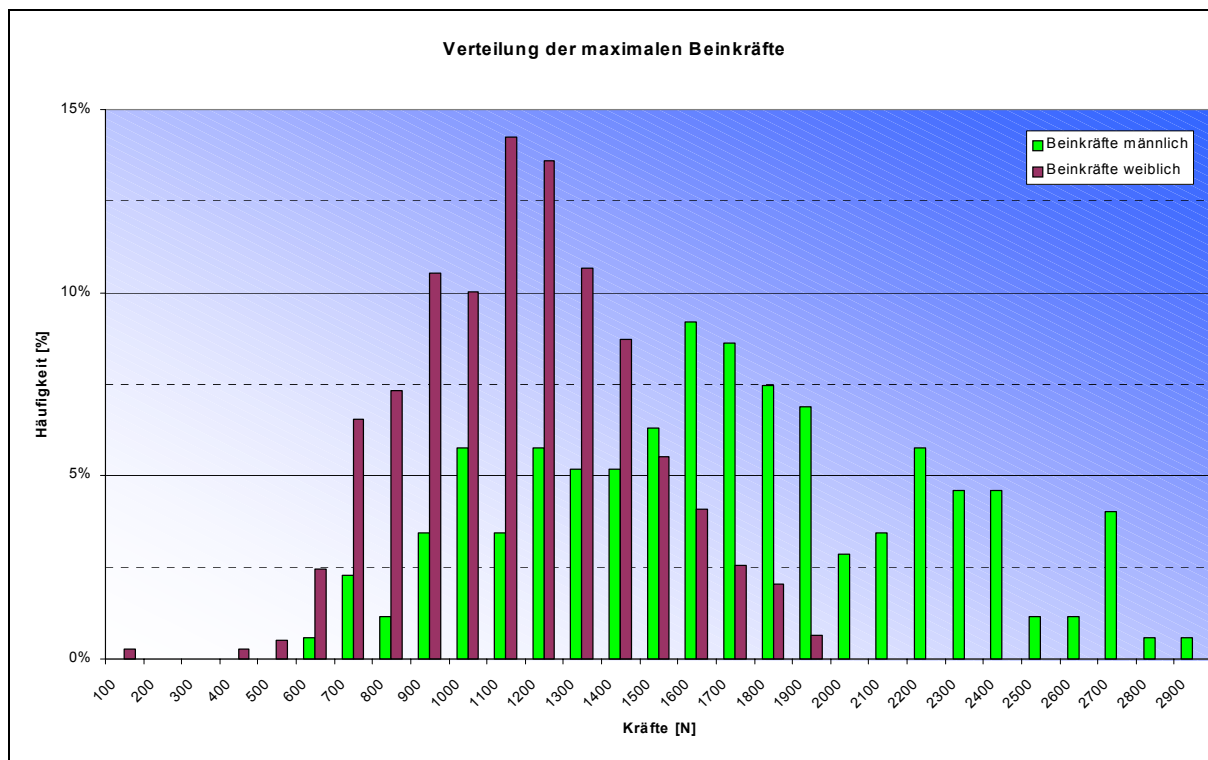
A3 Population und körperliche Leistungsfähigkeit von Flugbegleiterinnen in Deutschland

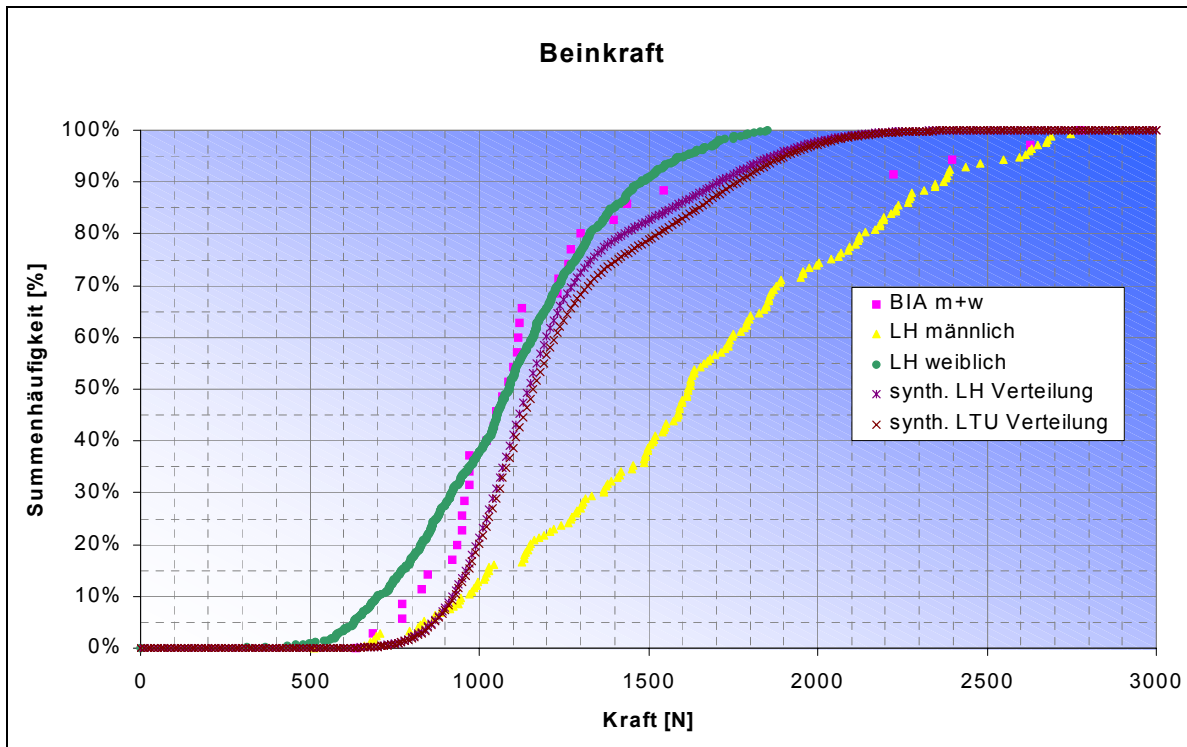
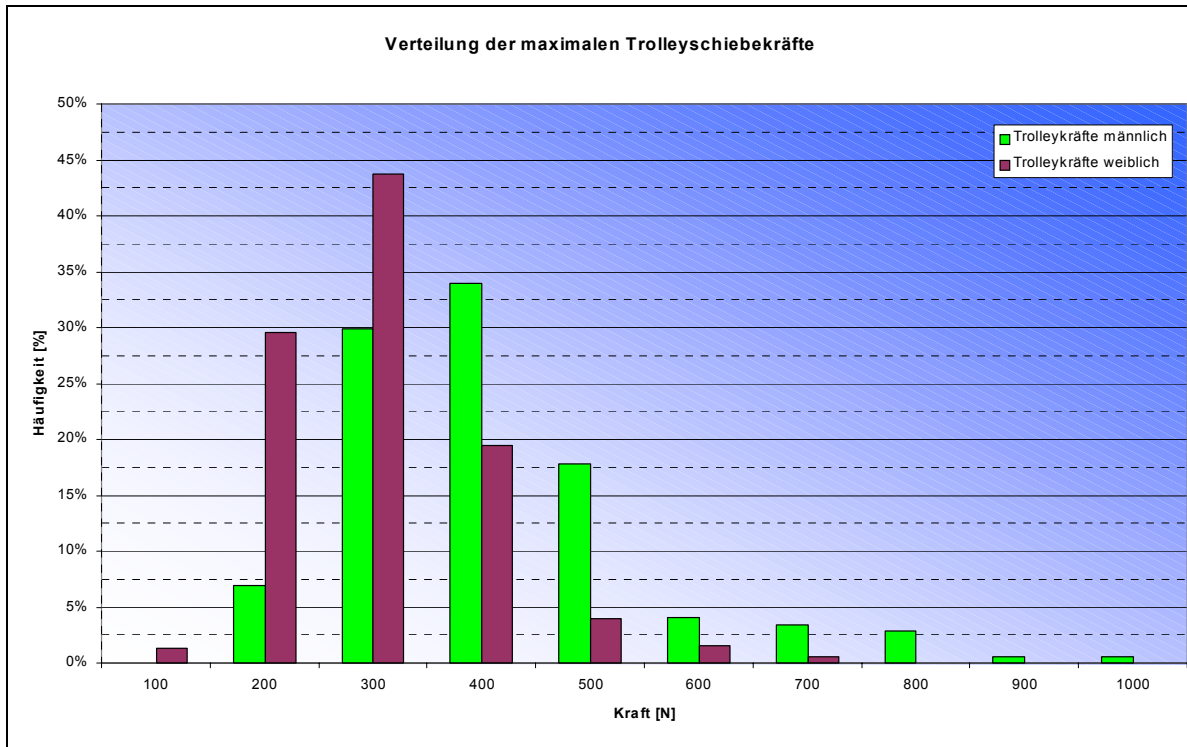
Alle nachfolgenden Diagramme beziehen sich nur auf diejenigen Personen des Probandenkollektivs „BIA“, die an den Messungen in Frankfurt teilnahmen ($n = 18$).

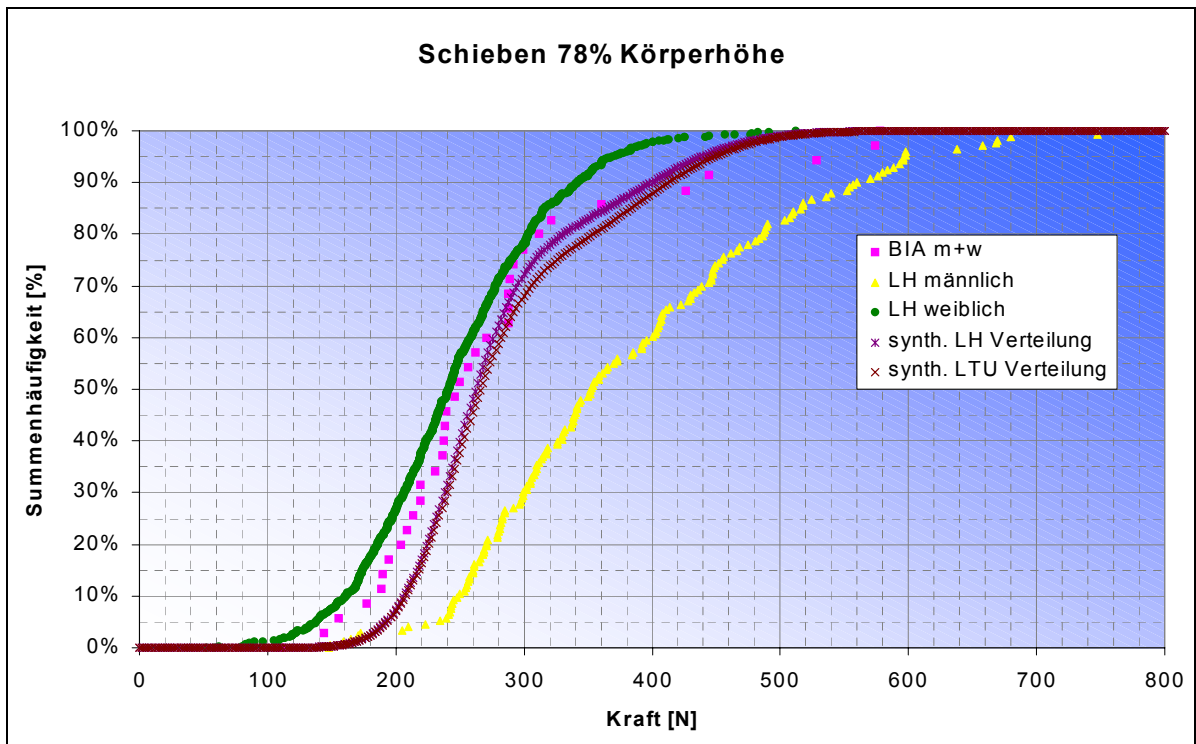
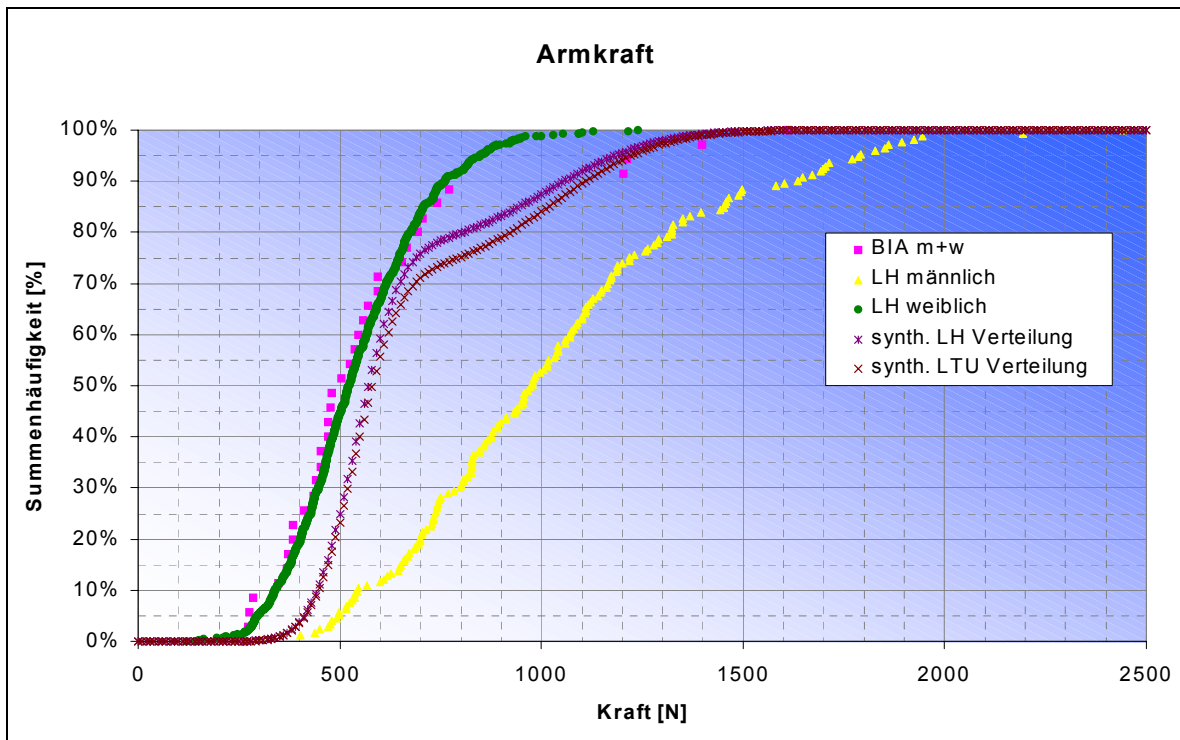
A3.1 Ergebnisse der Maximalkraftmessungen

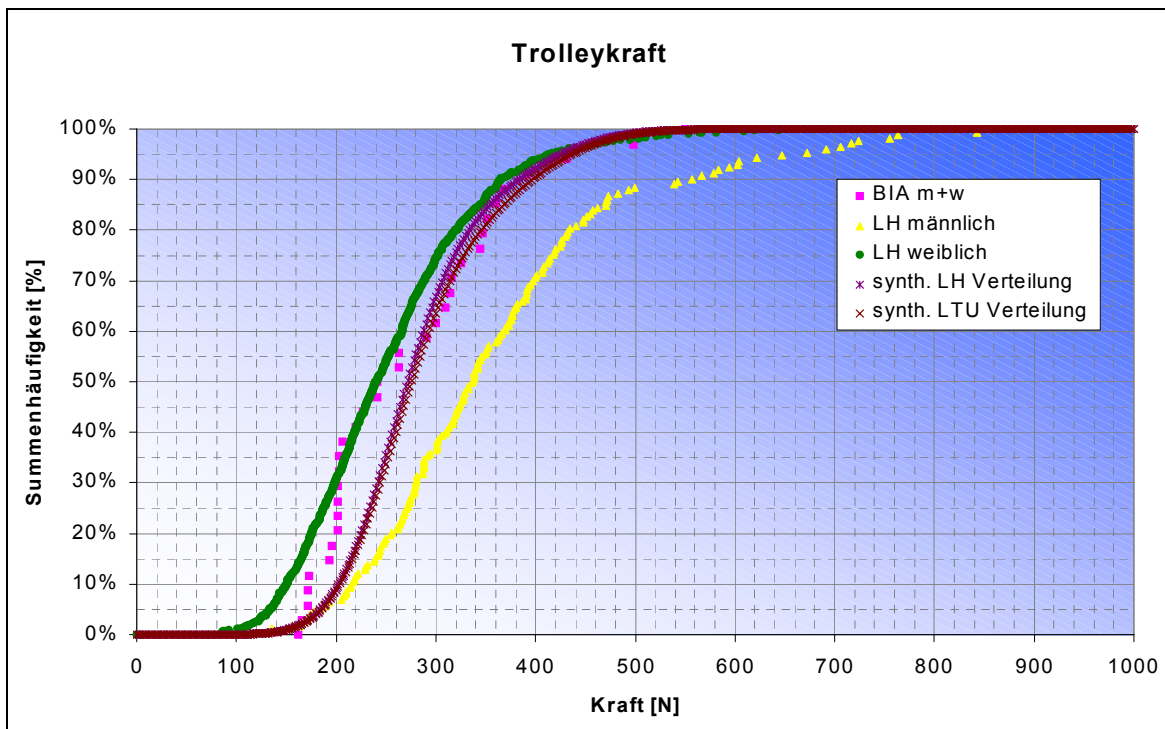
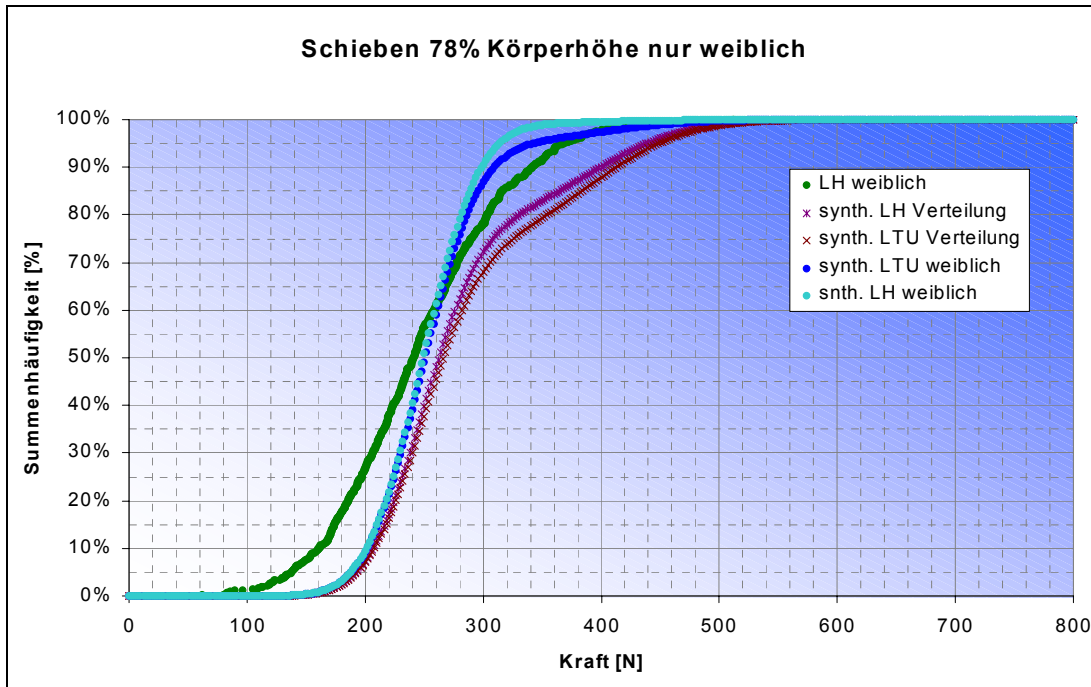
A3.1.1 Gemessene Krafffälle

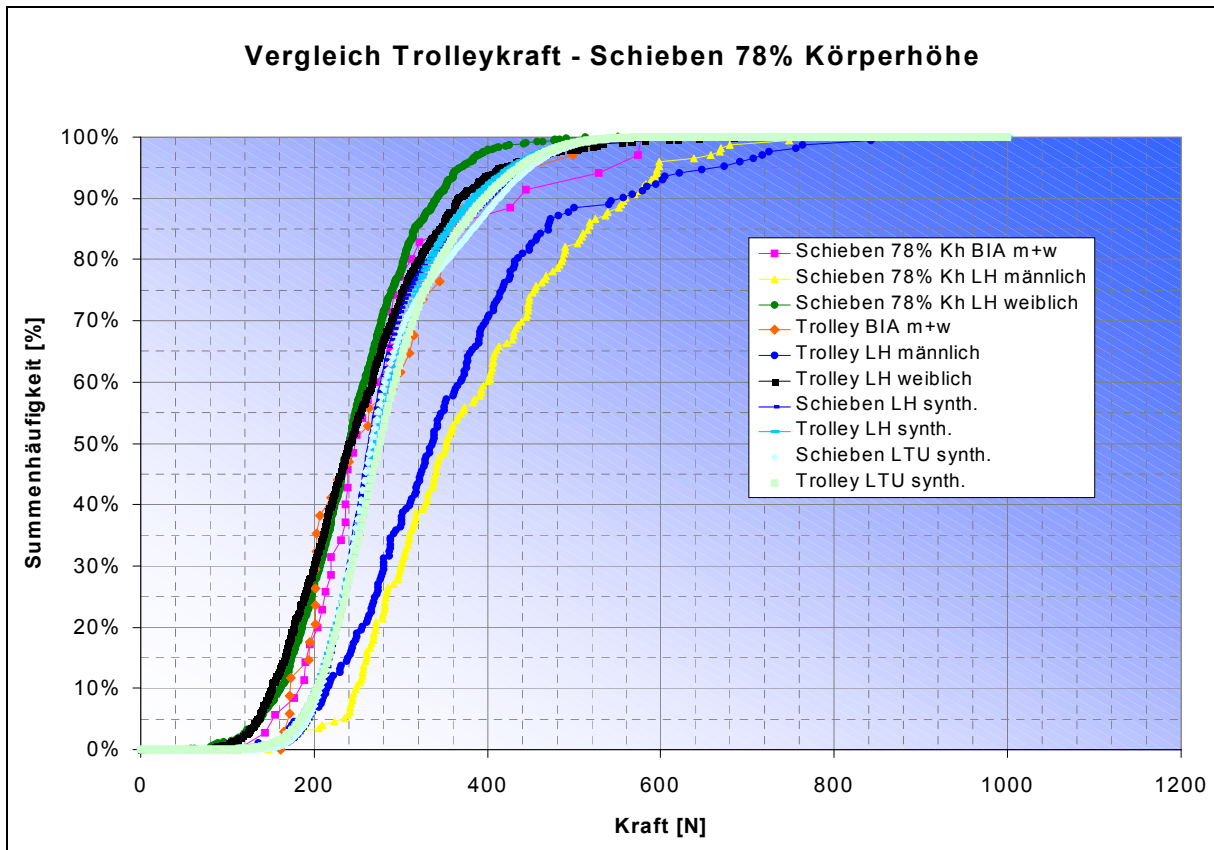
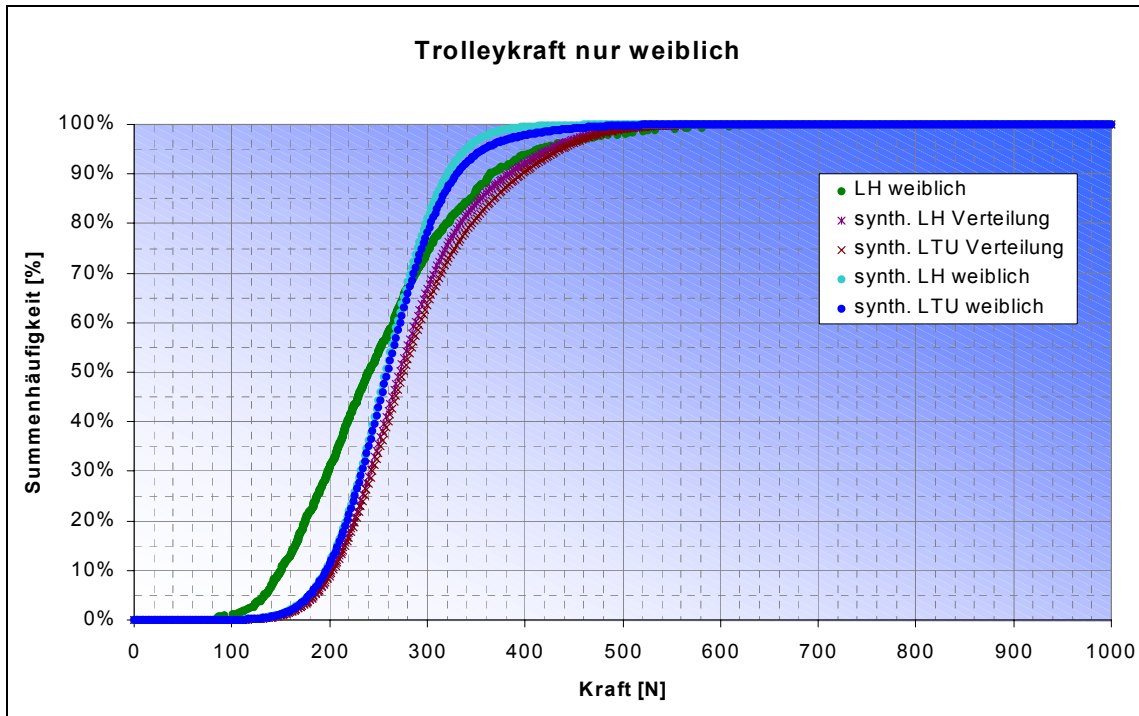


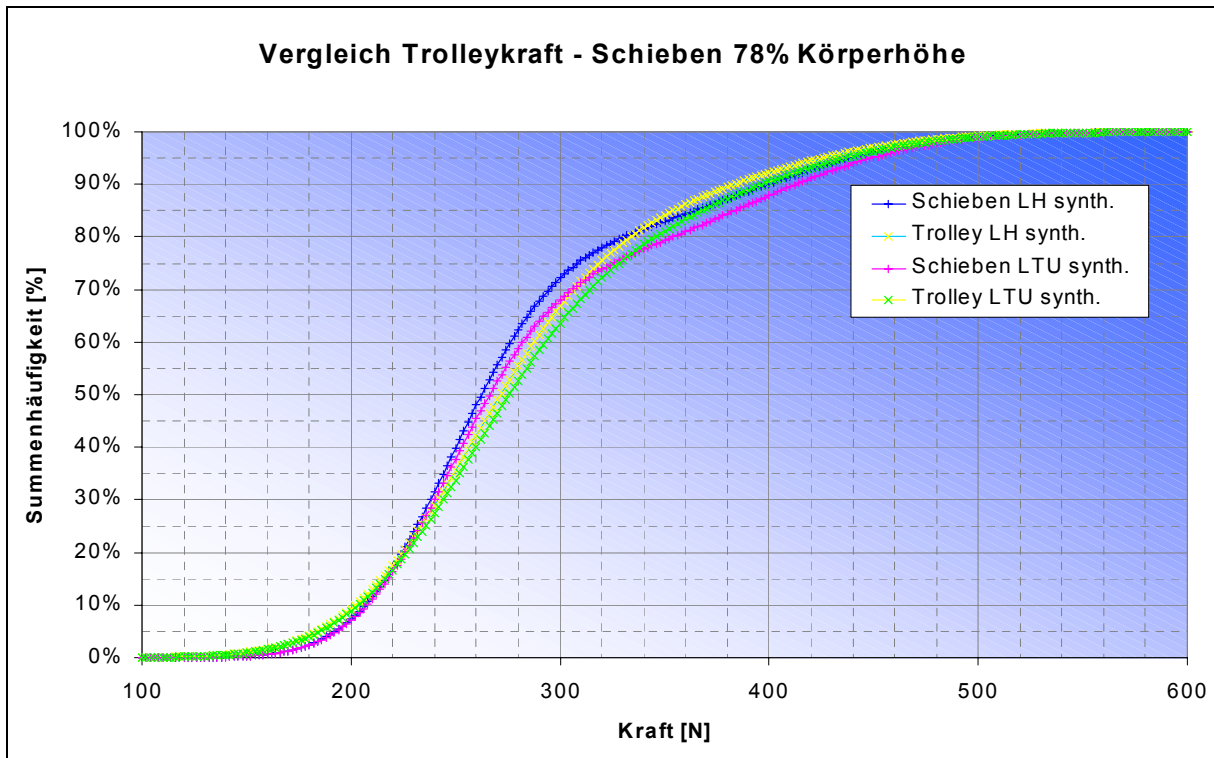
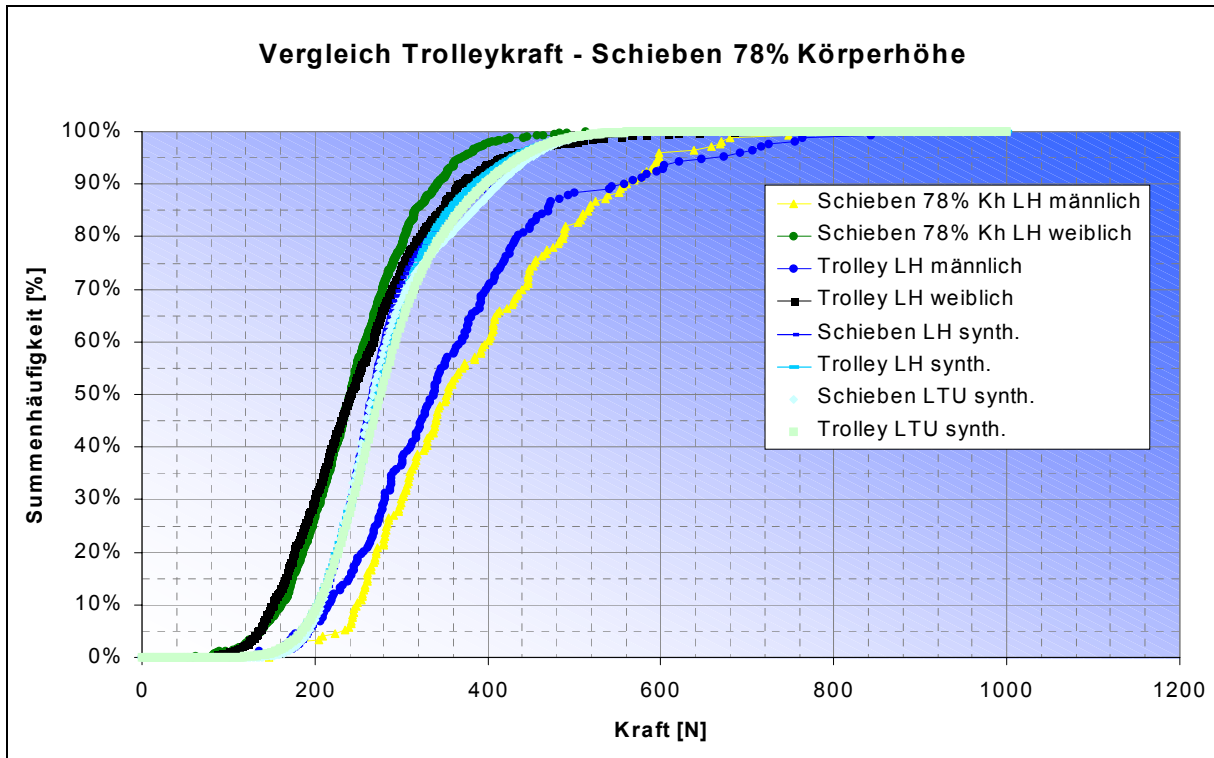


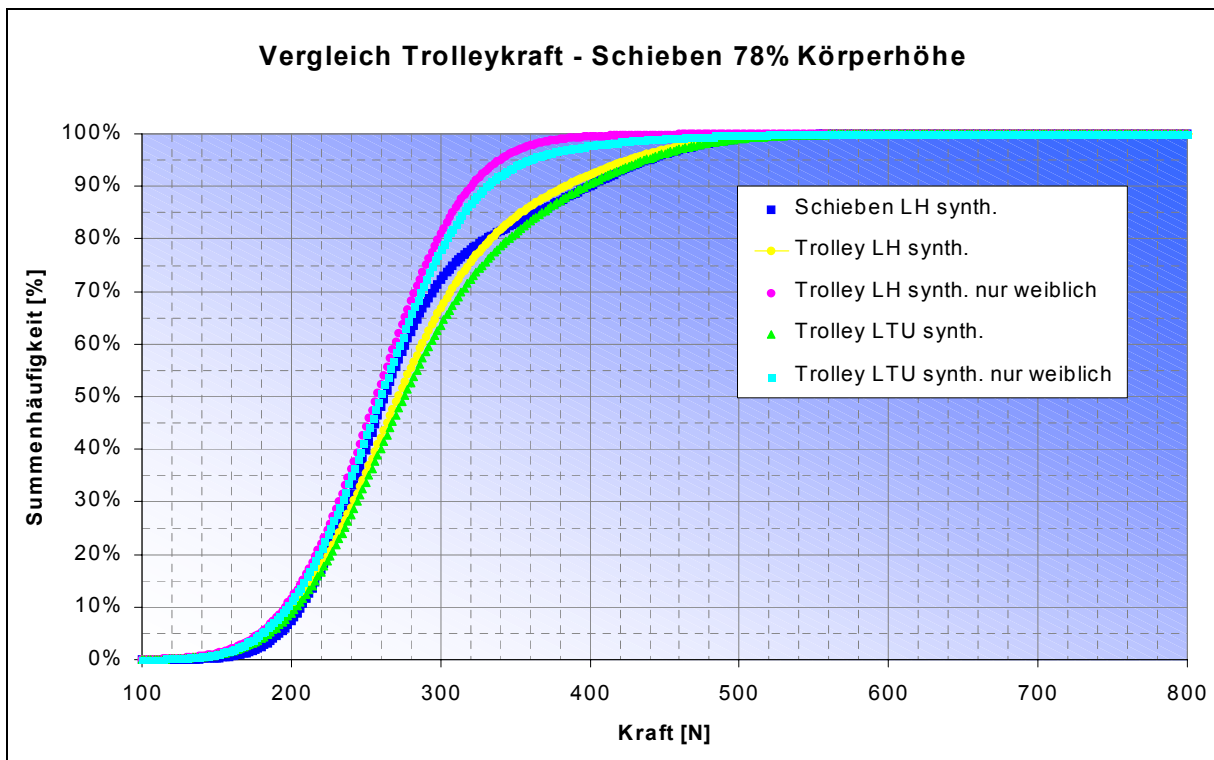
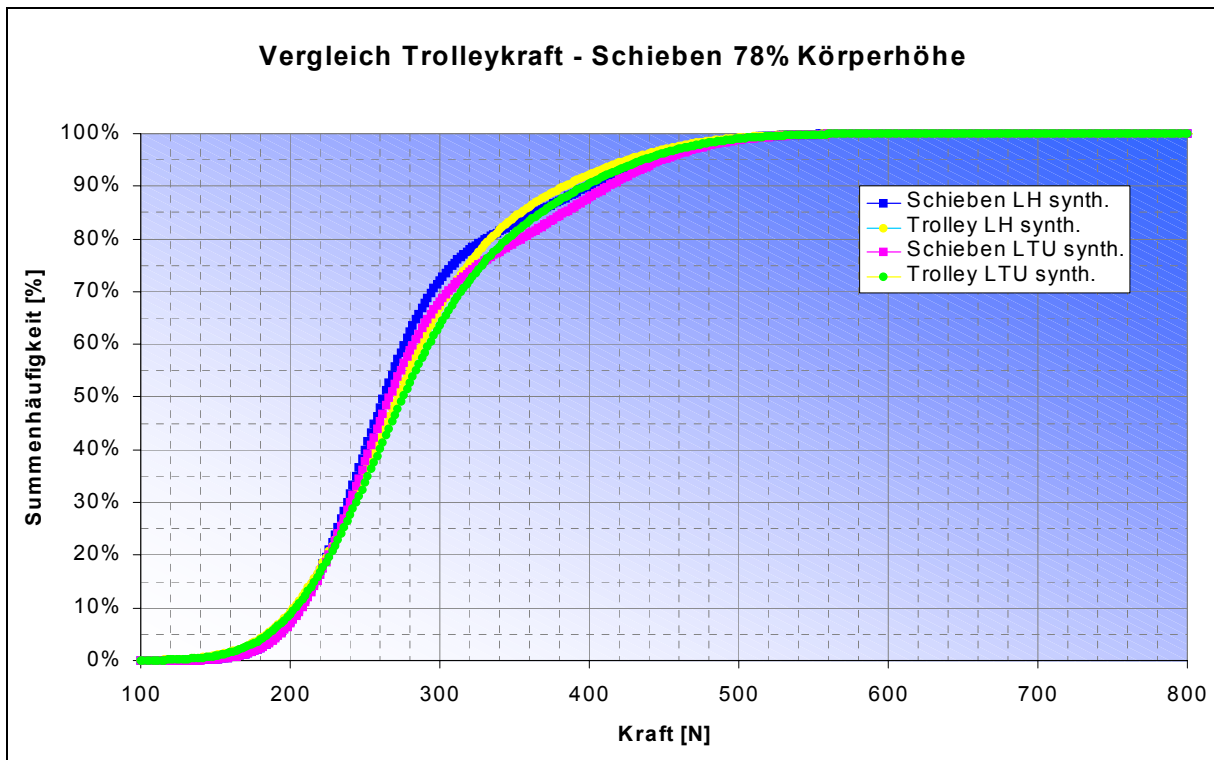


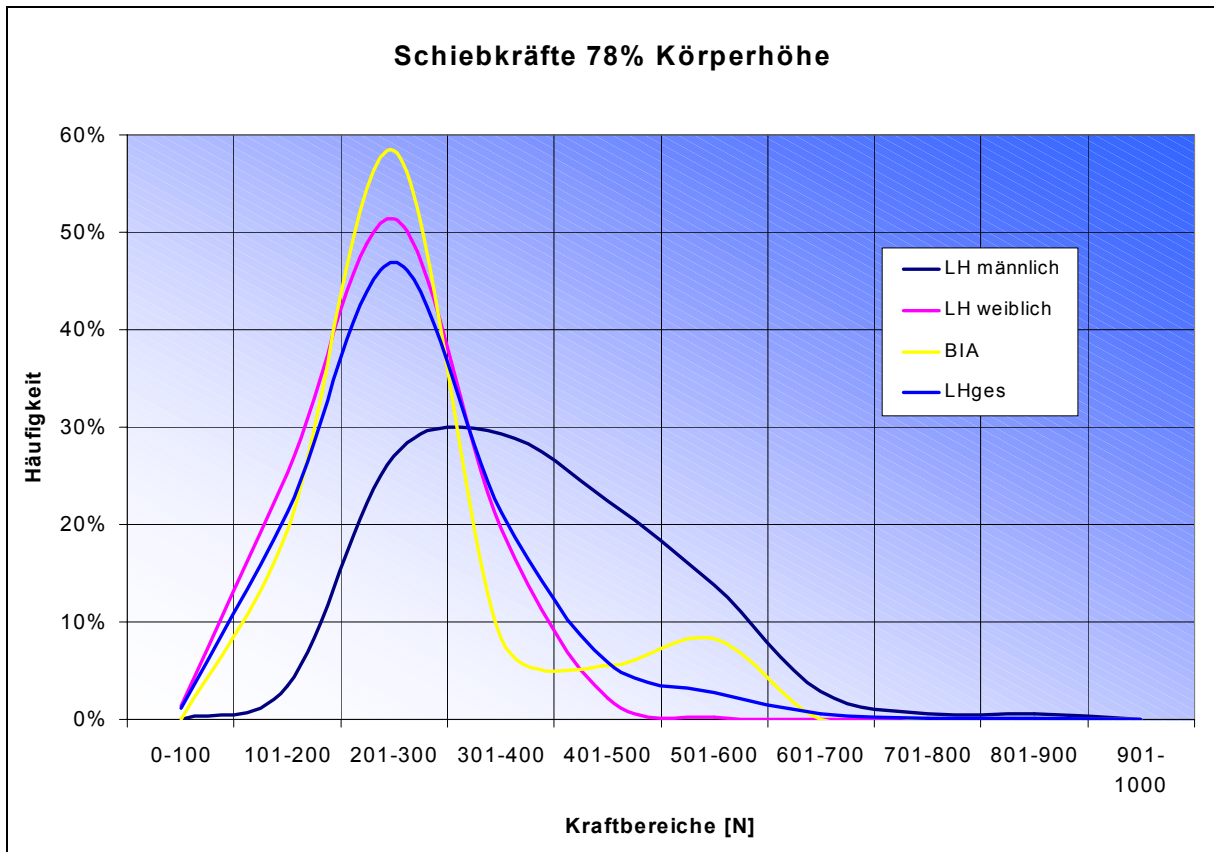
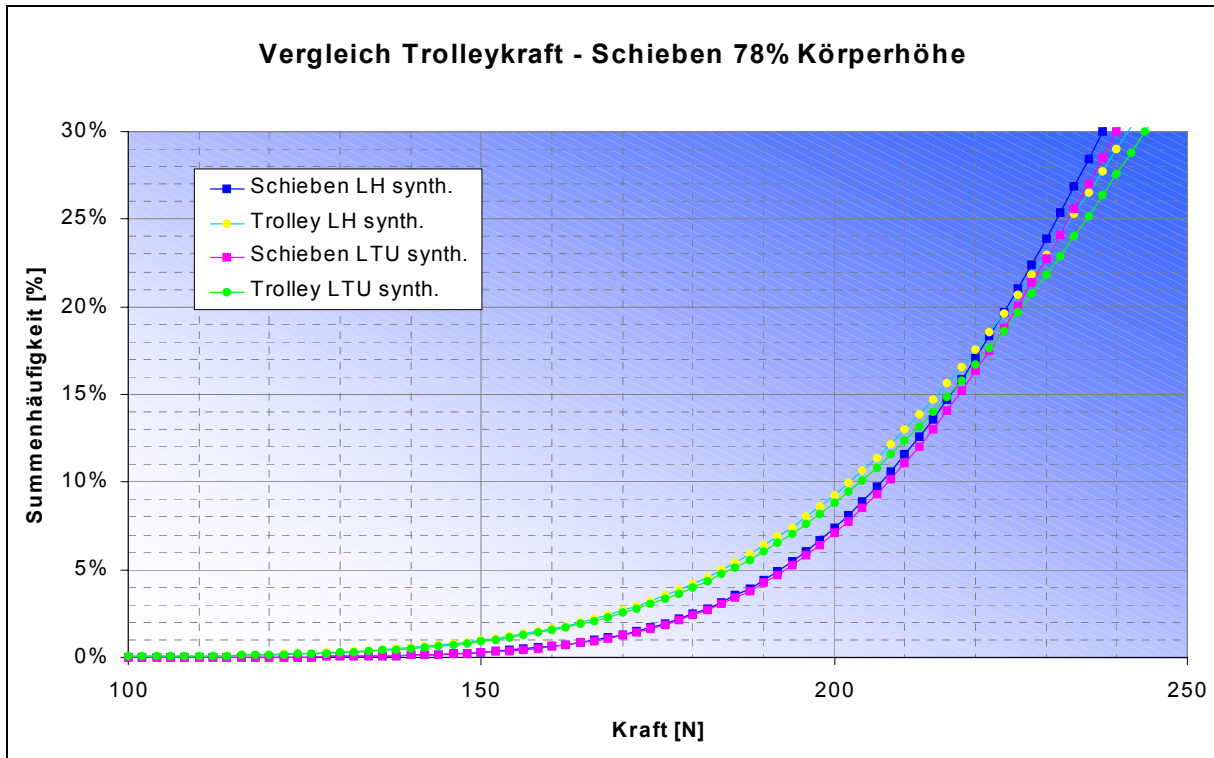


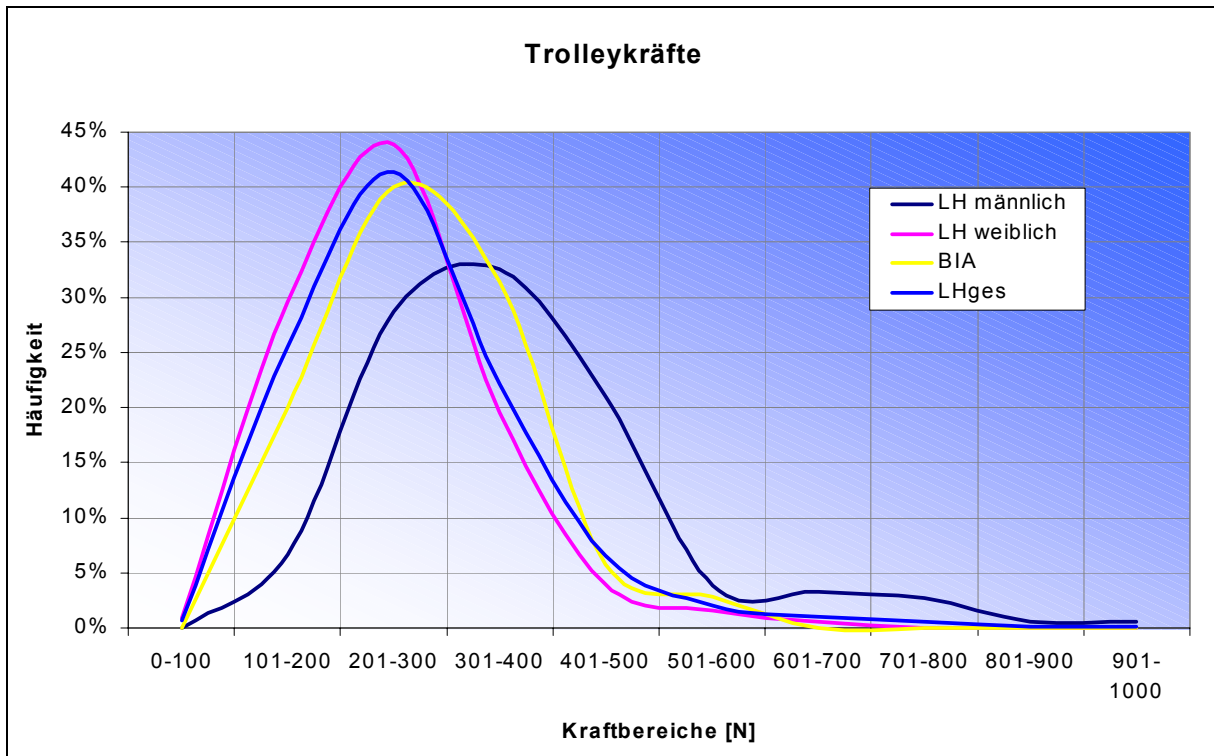
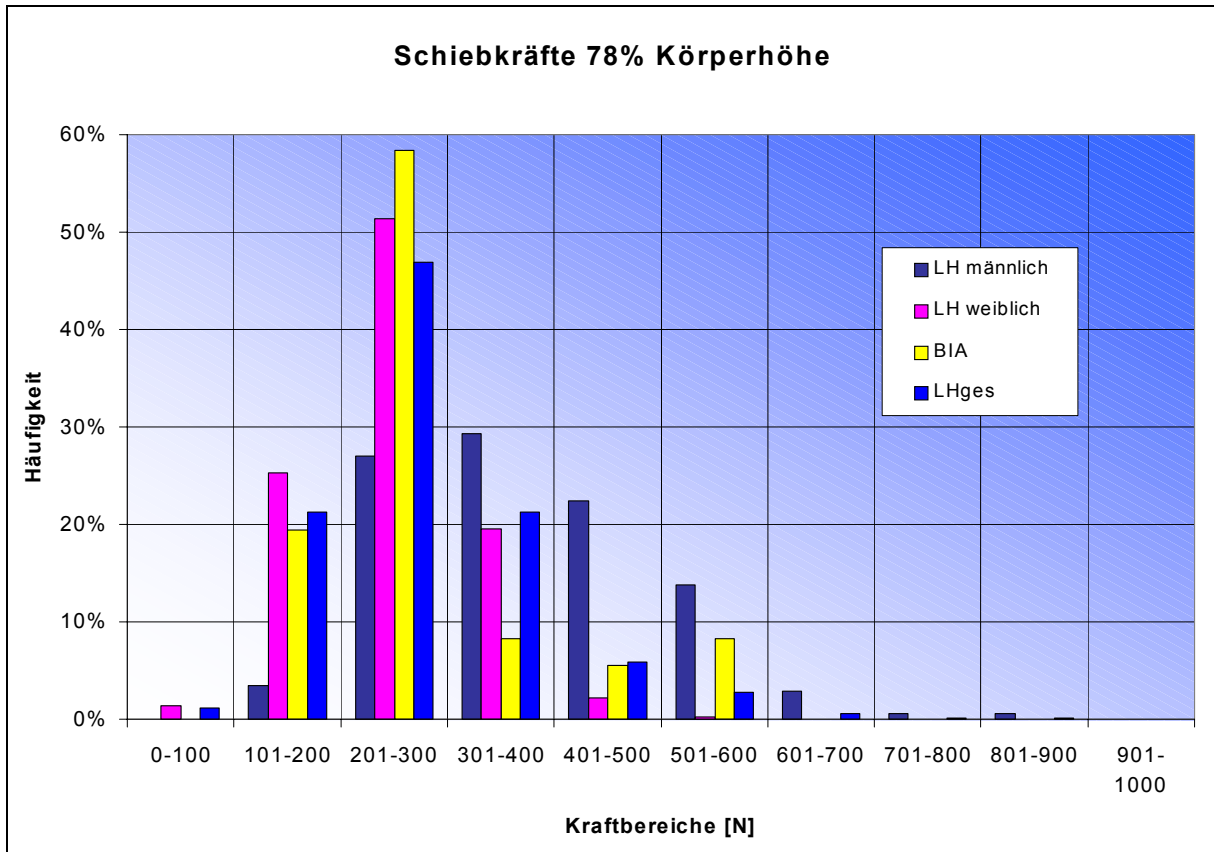


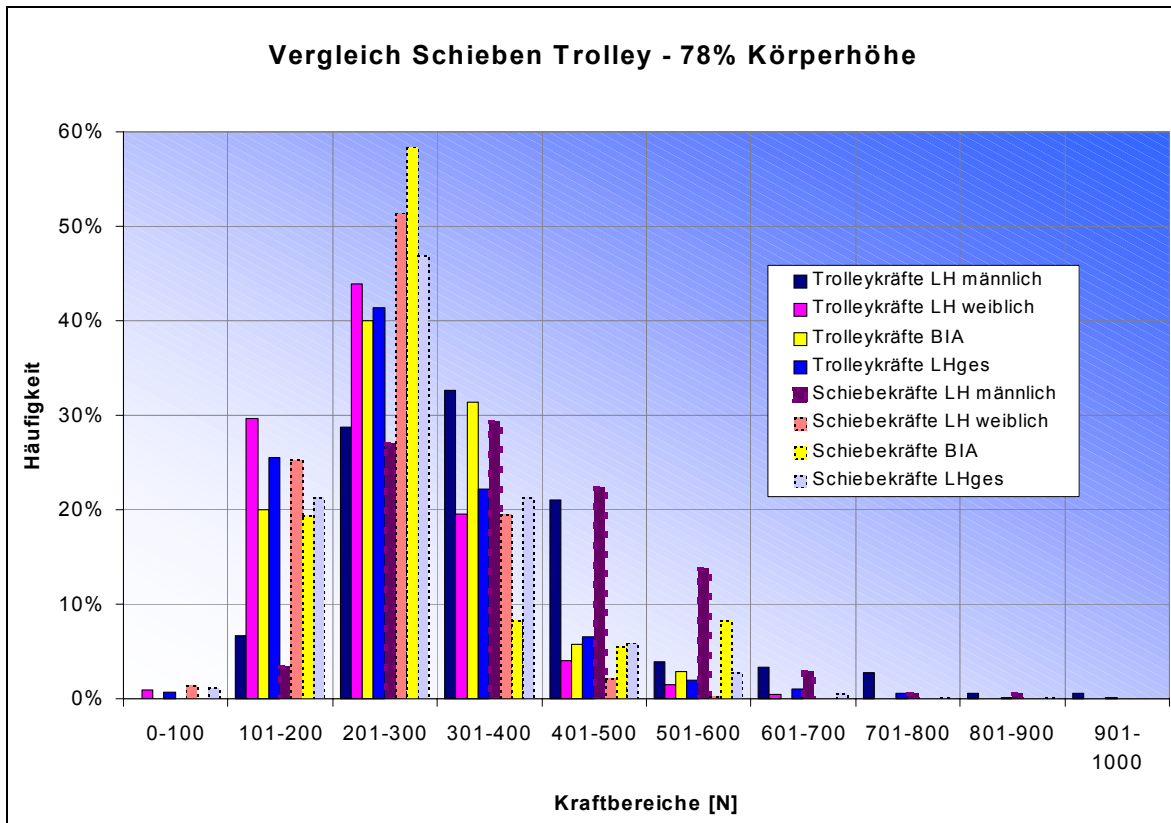
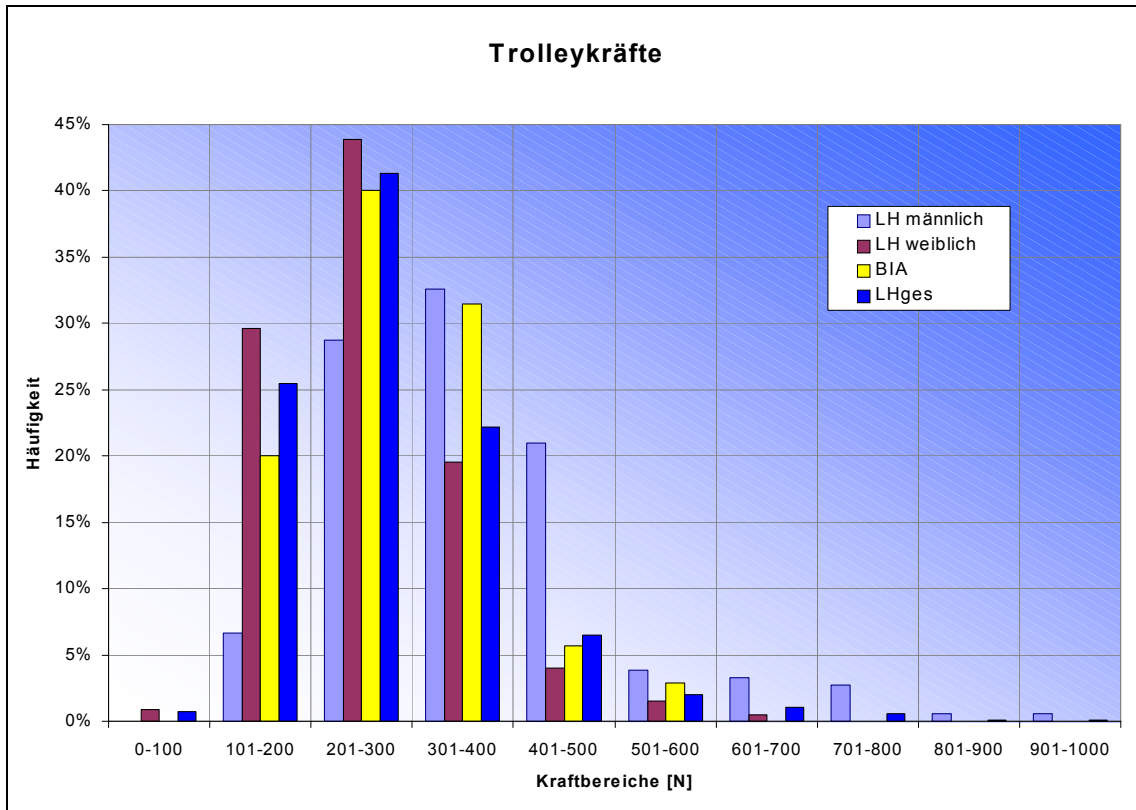


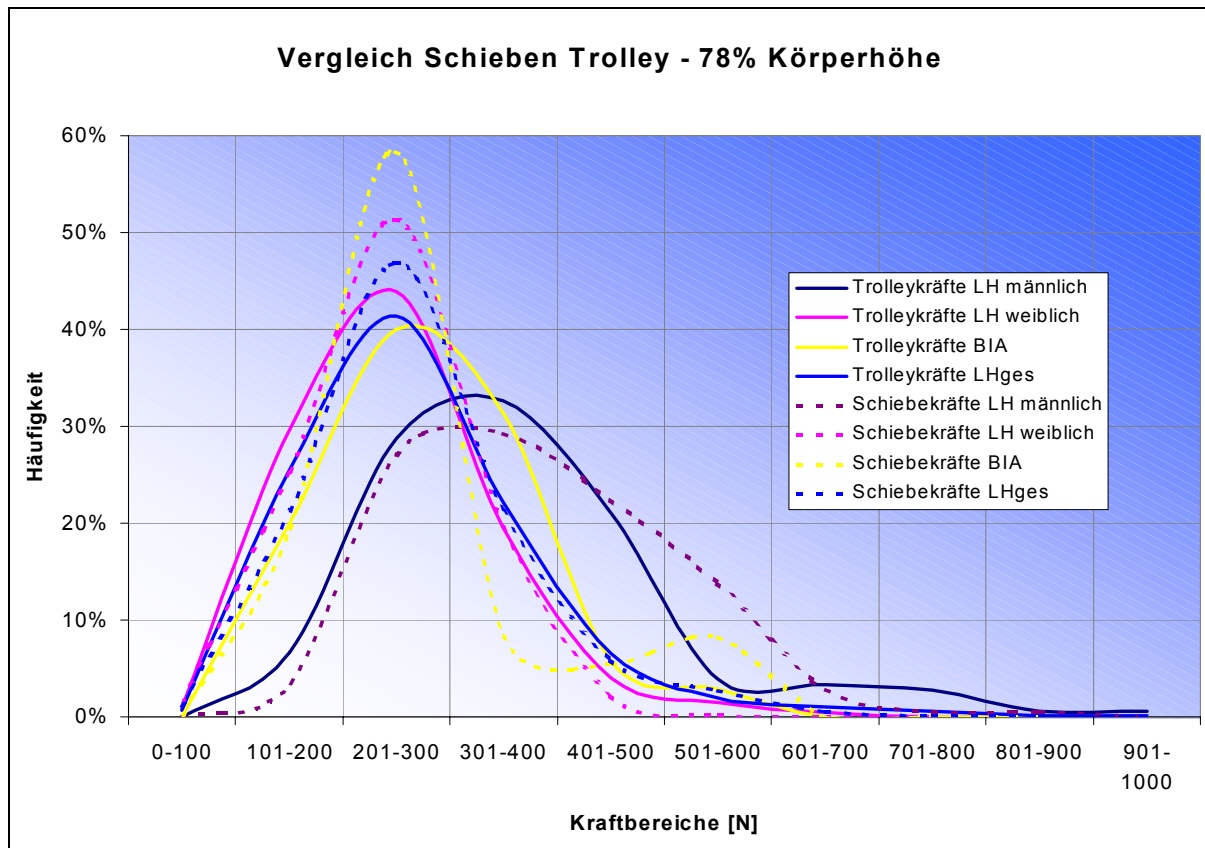






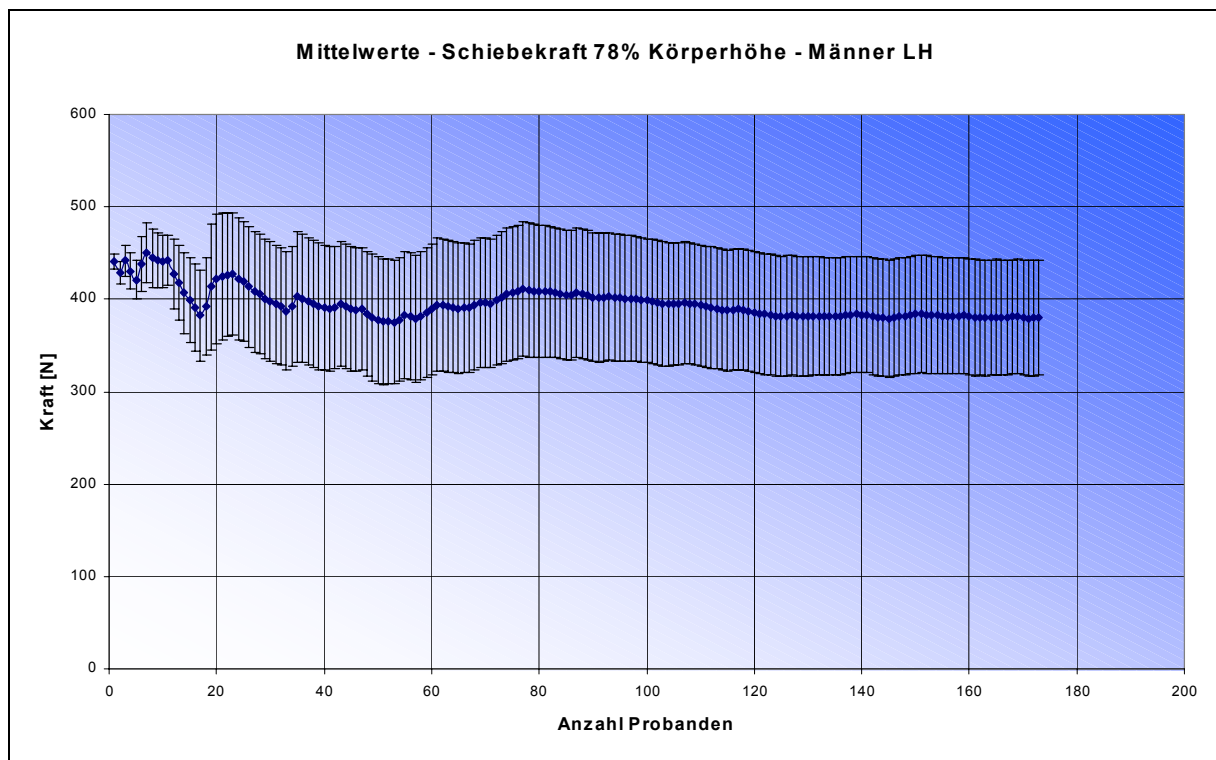
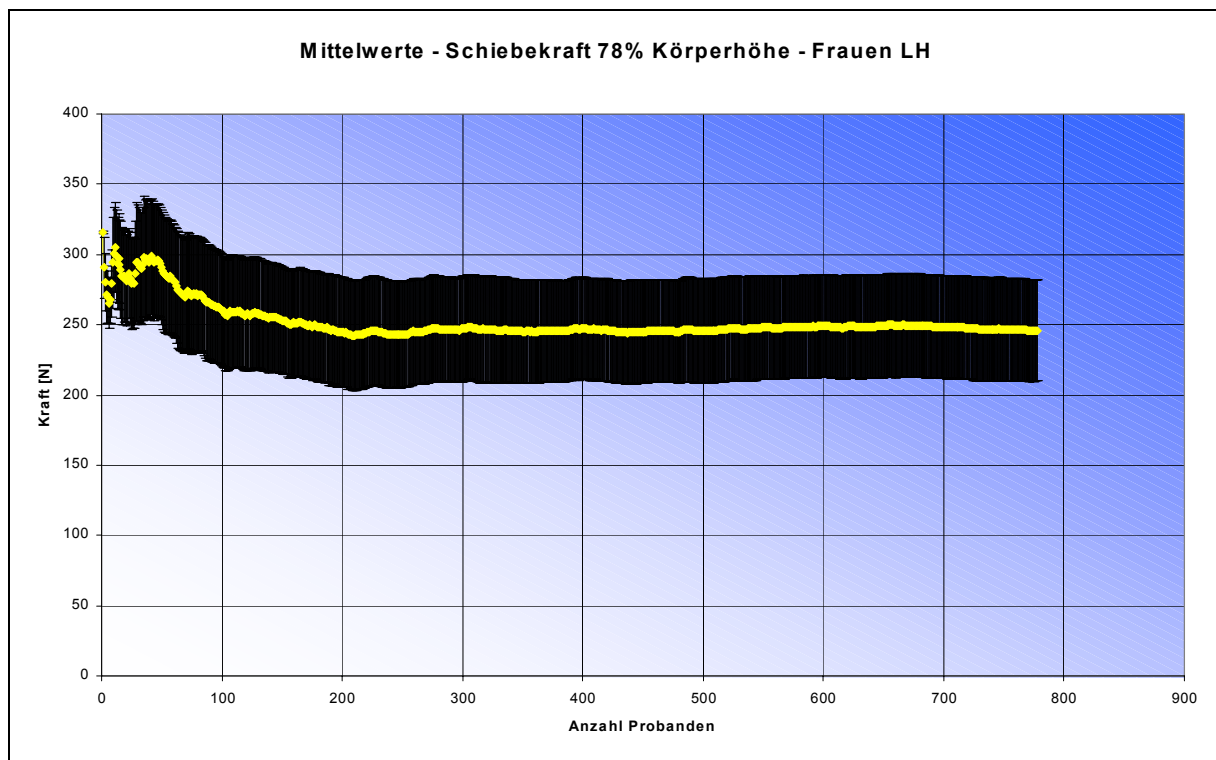


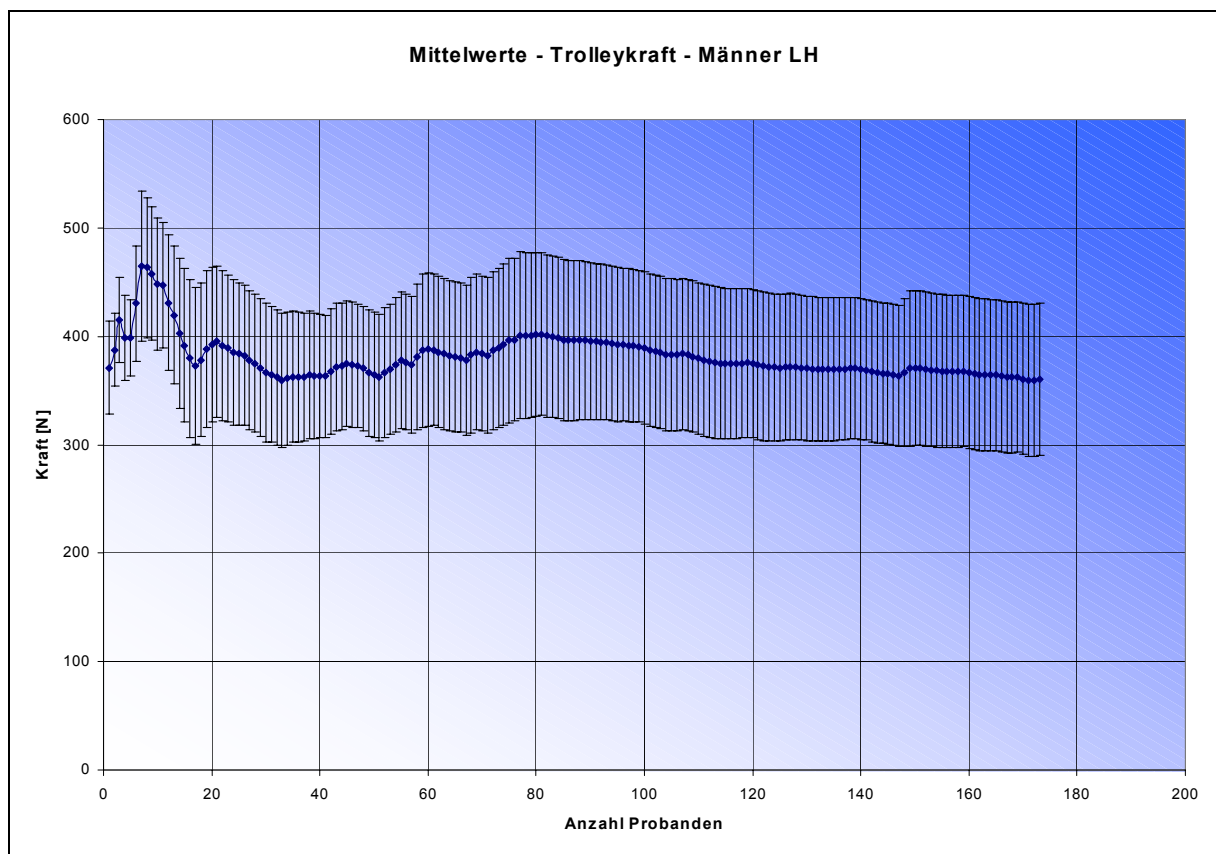
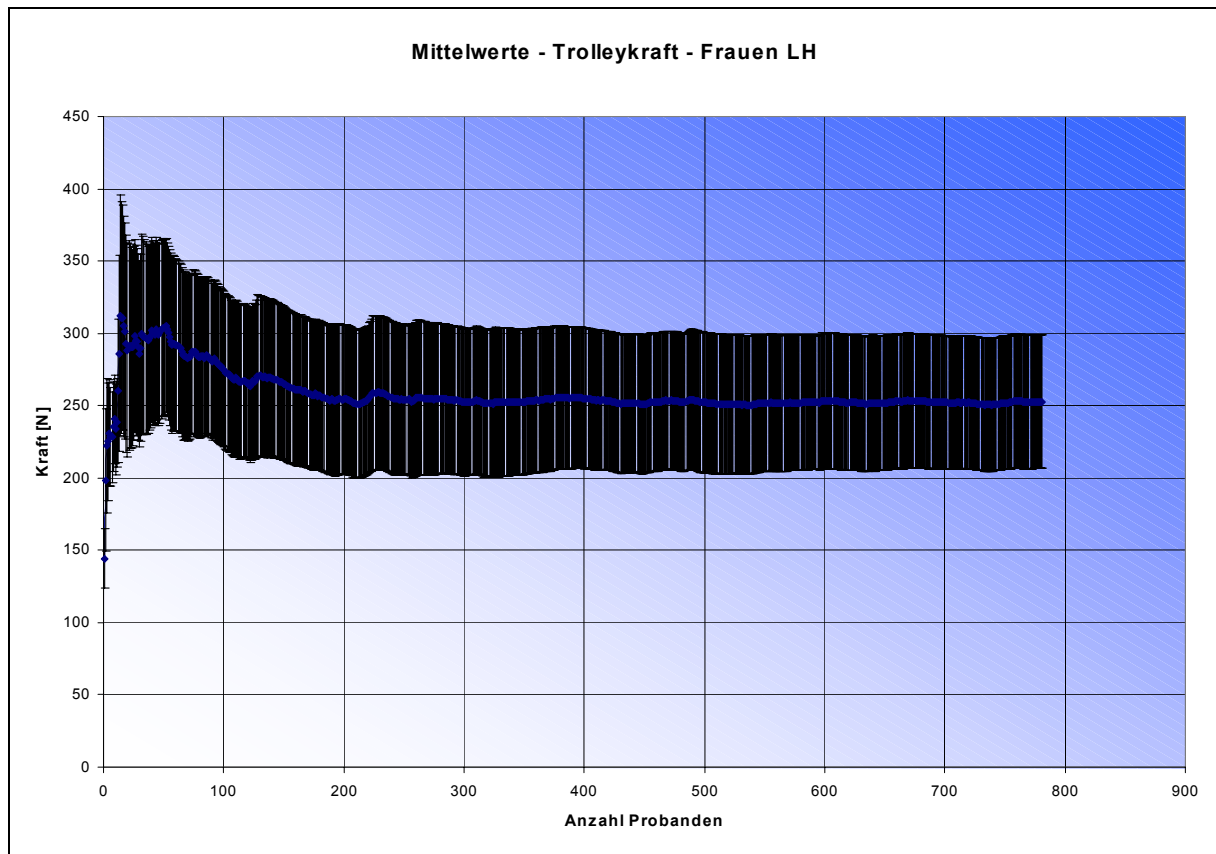


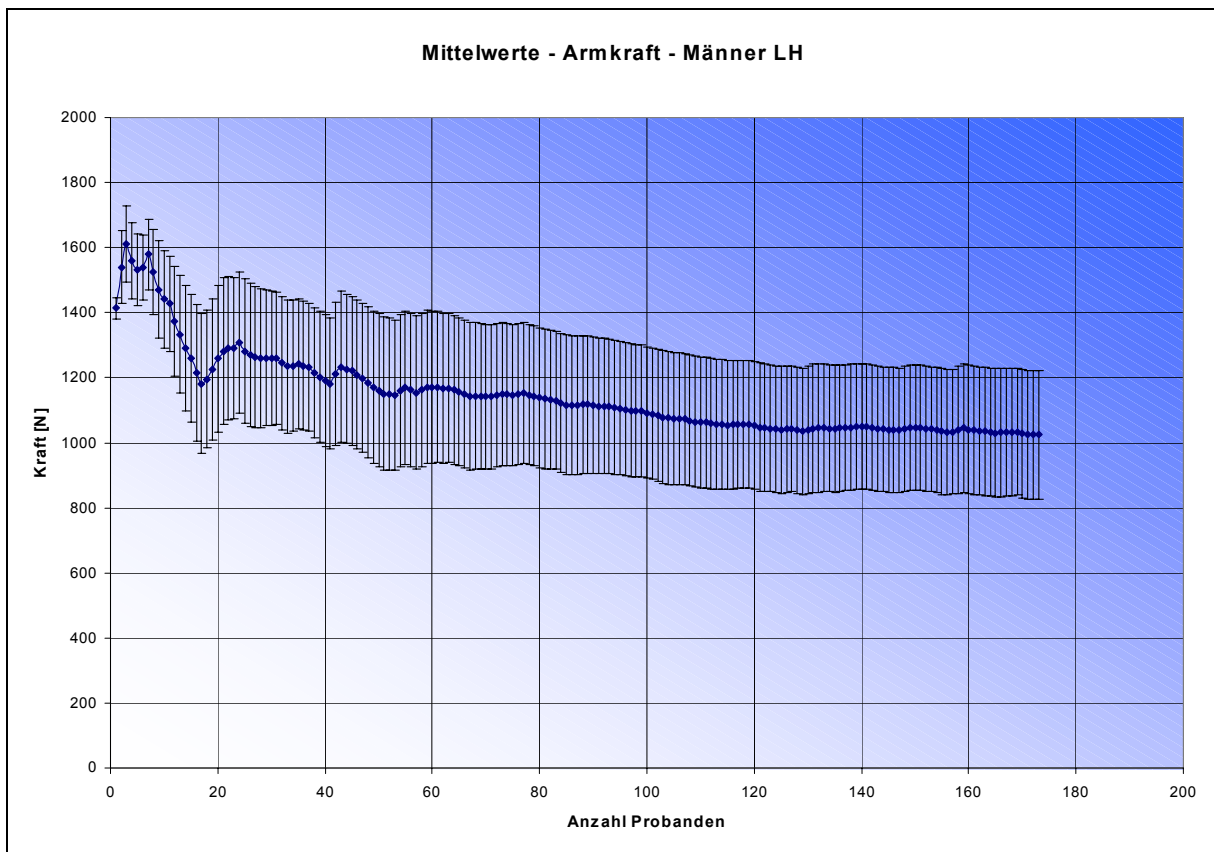
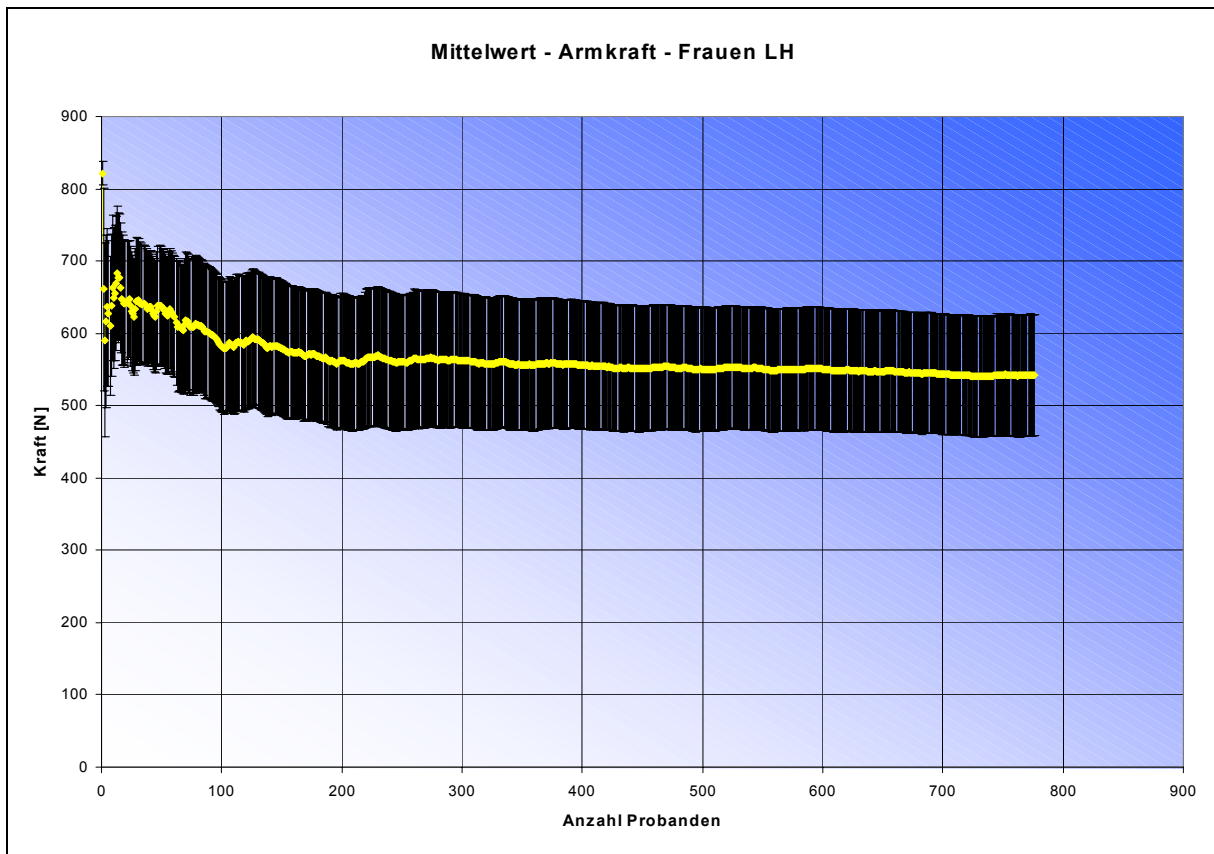


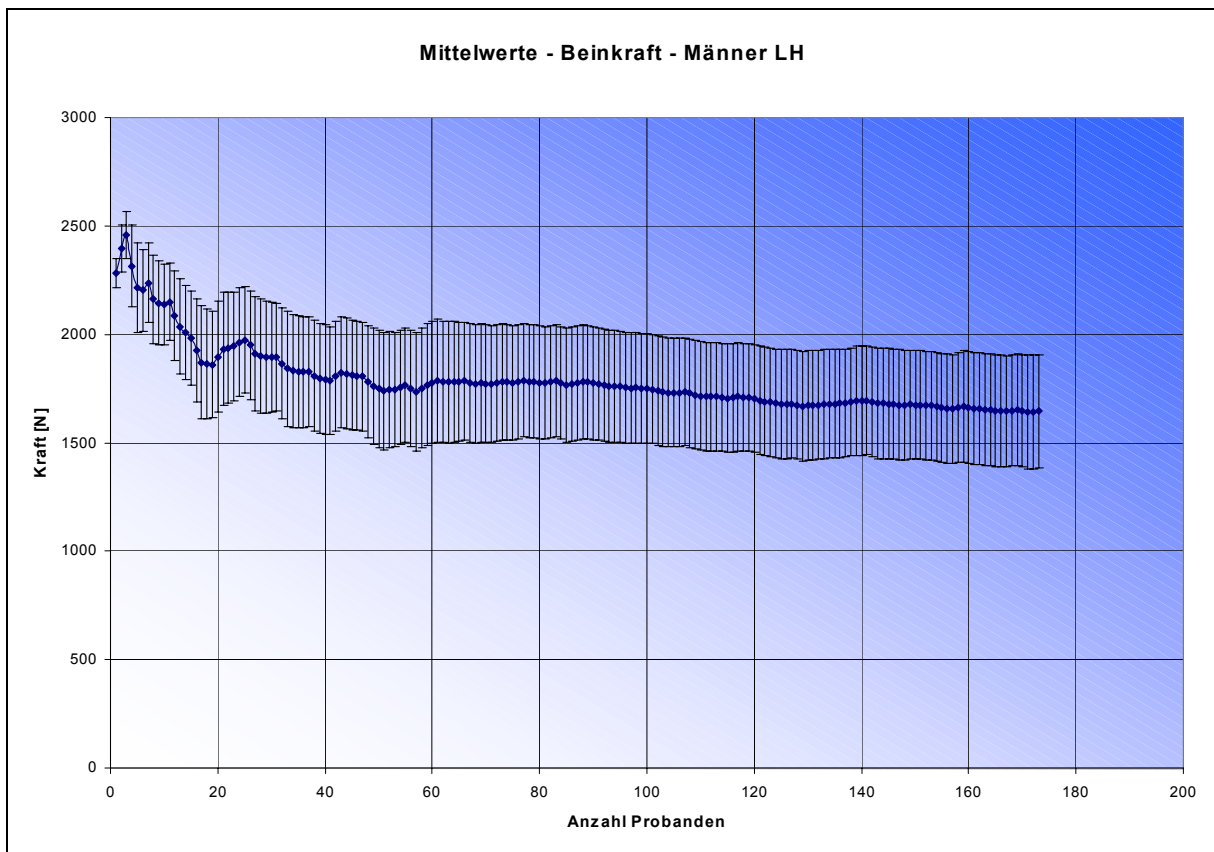
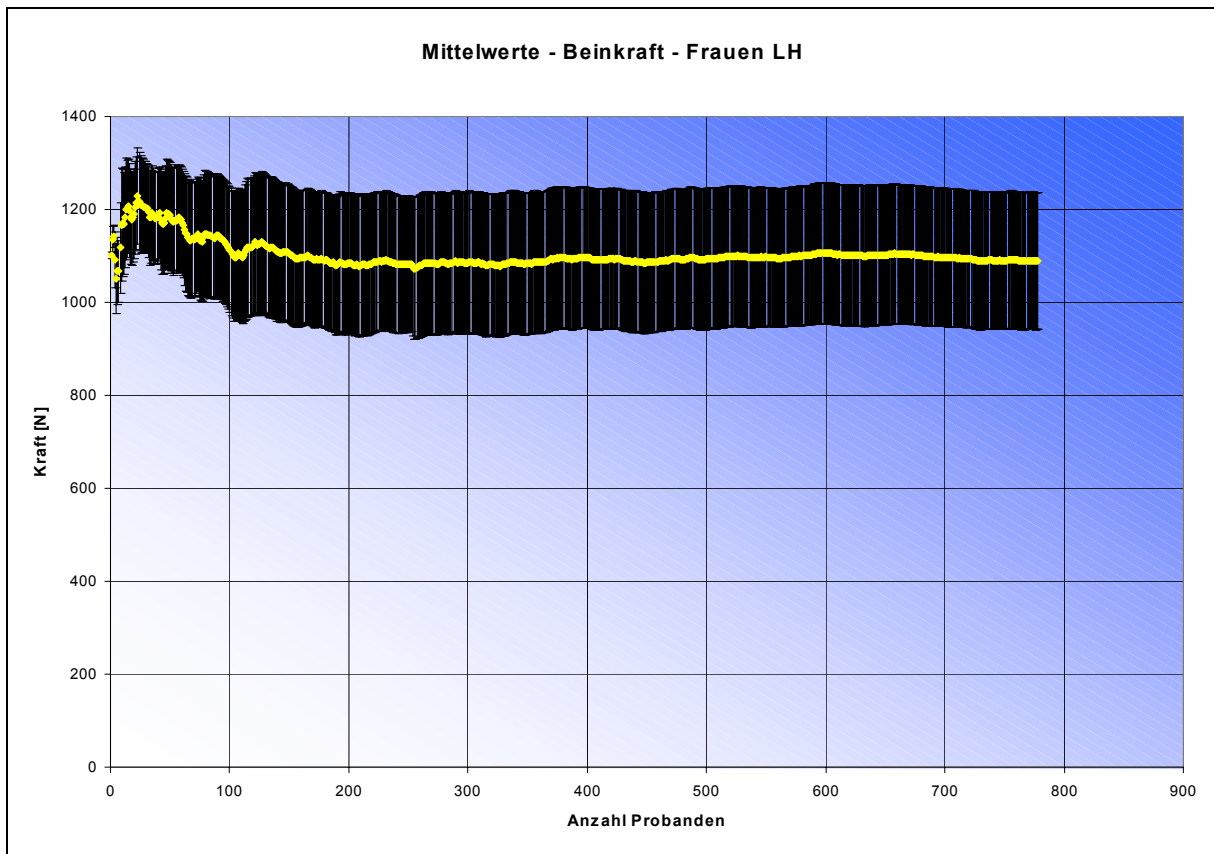


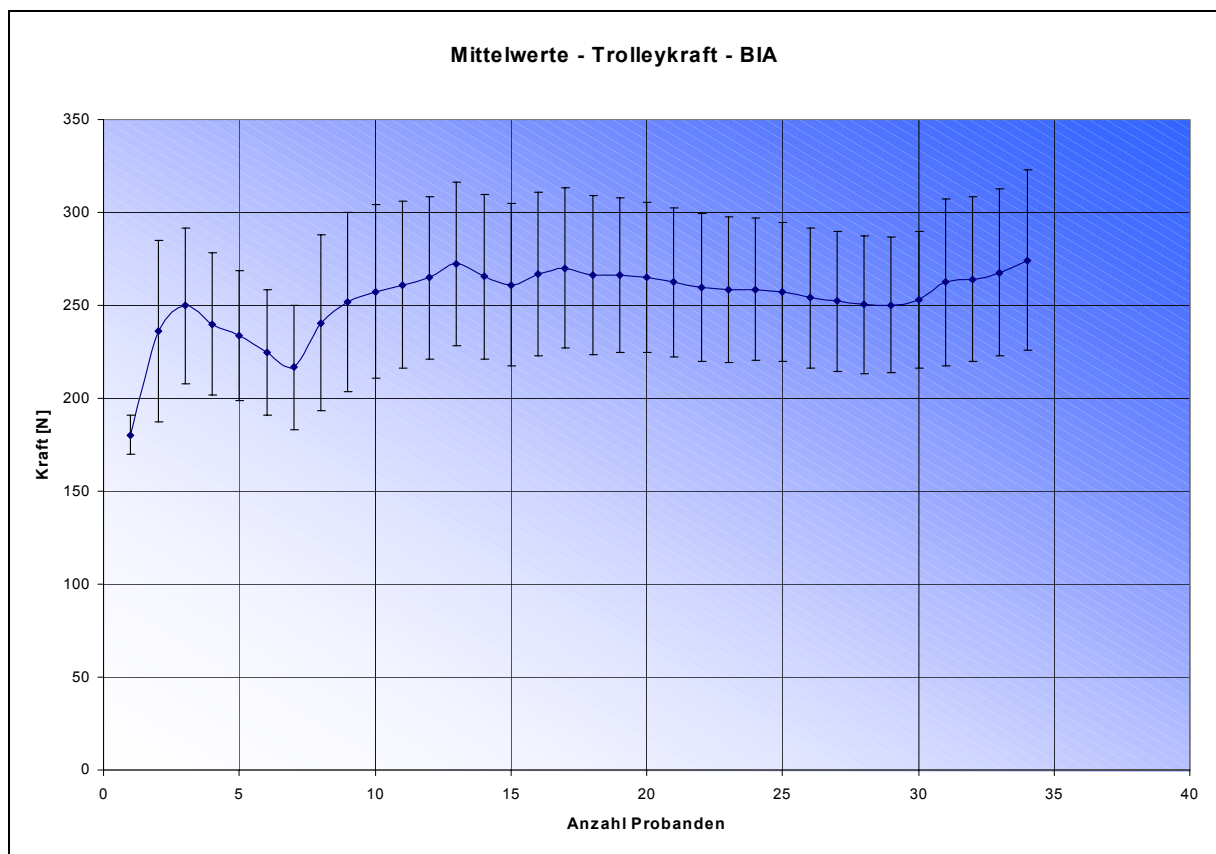
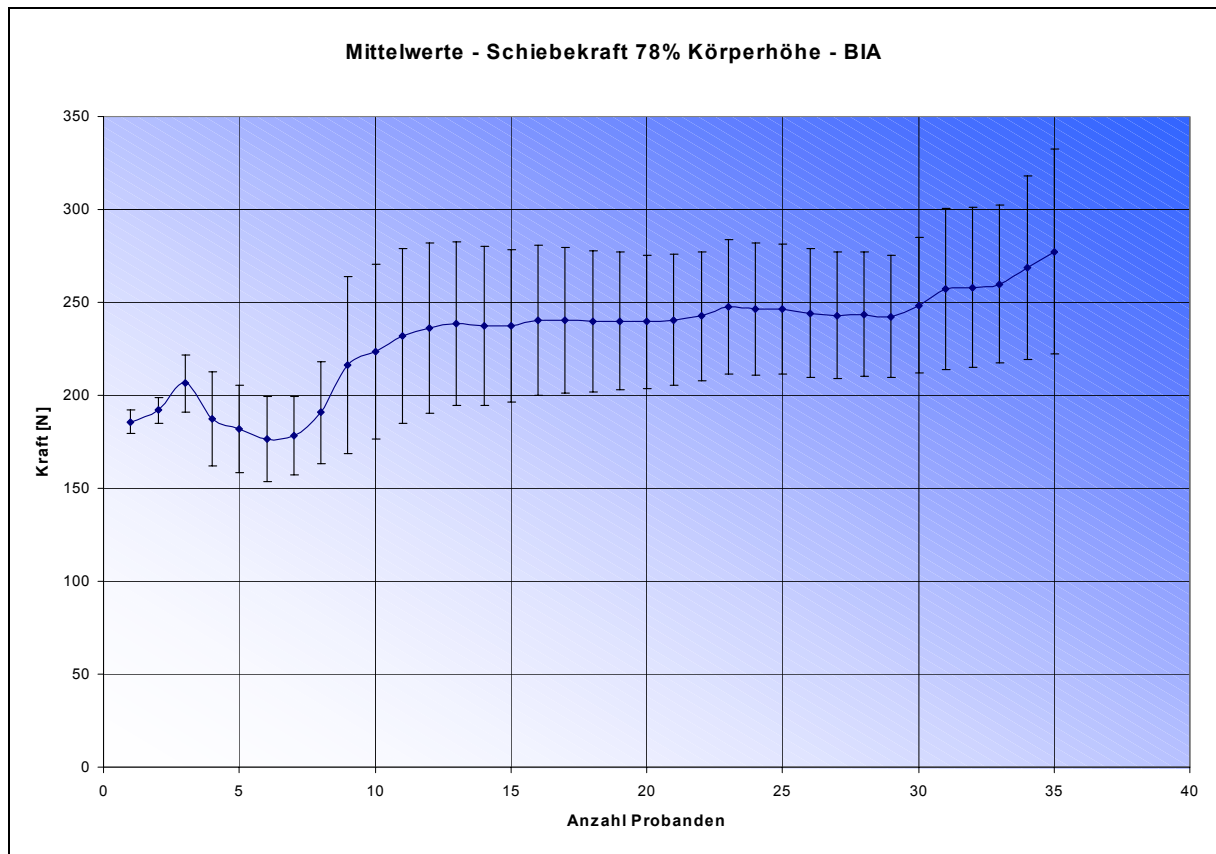
A3.1.2 Entwicklung von Mittelwerten und Standardabweichungen

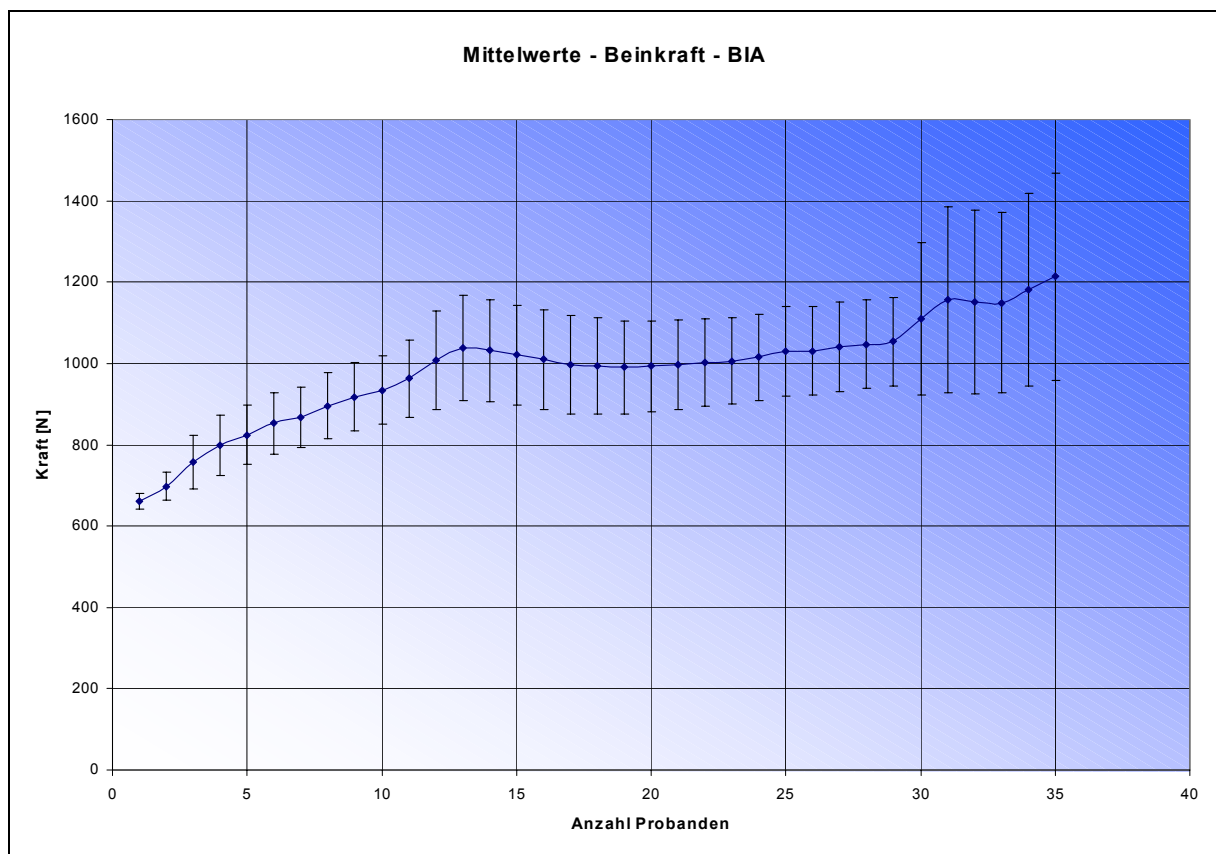
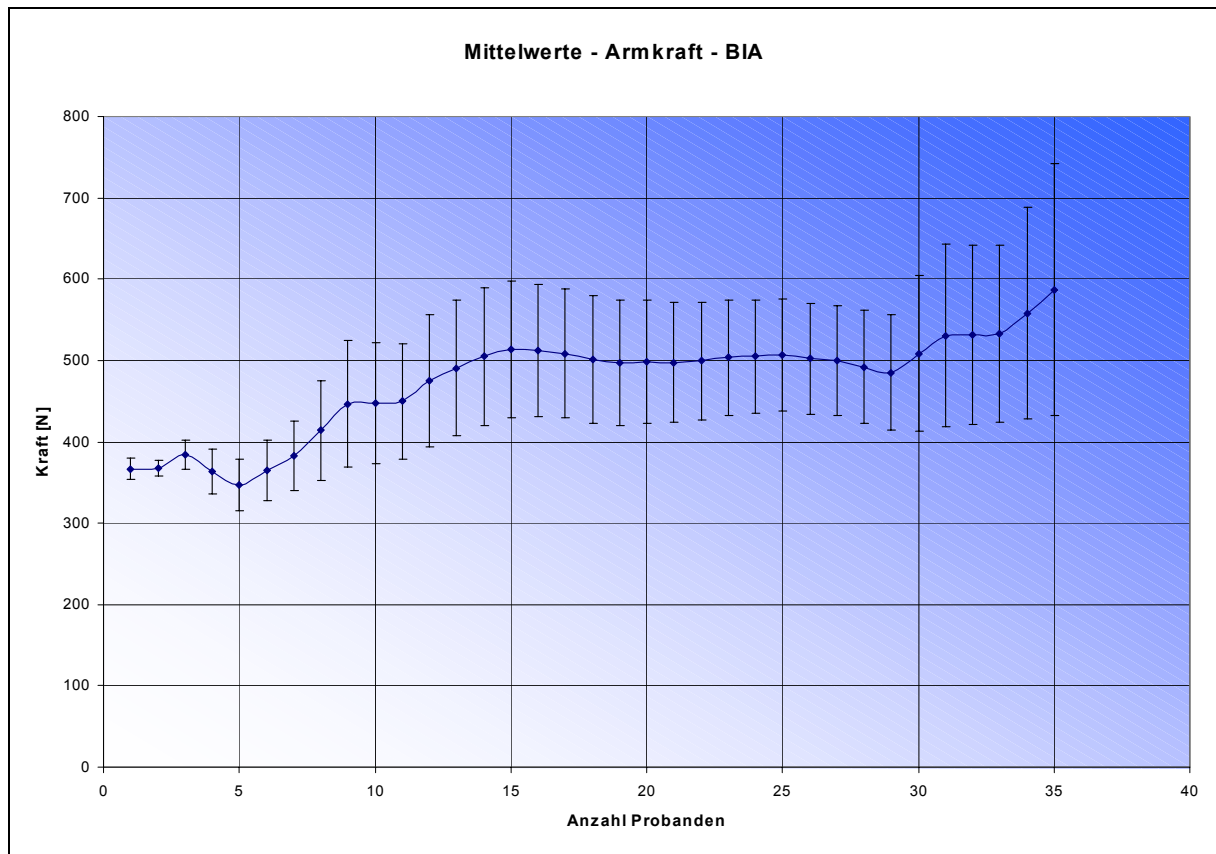






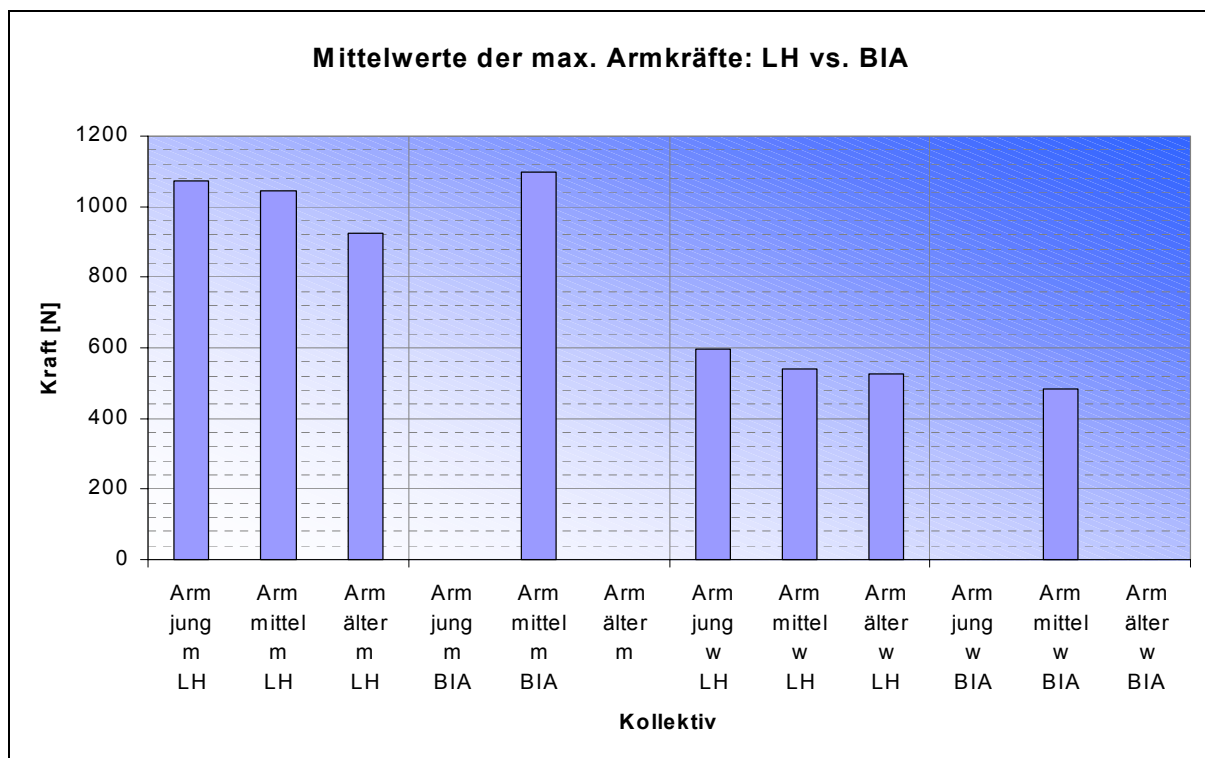
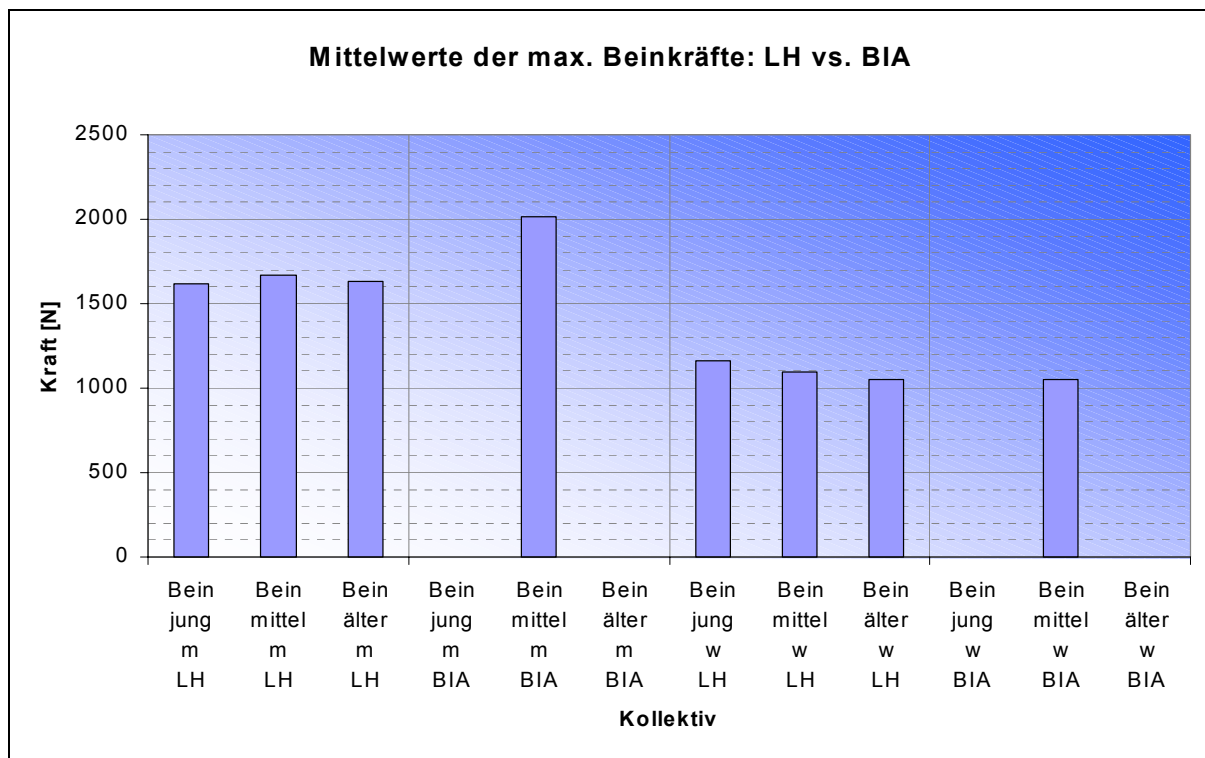


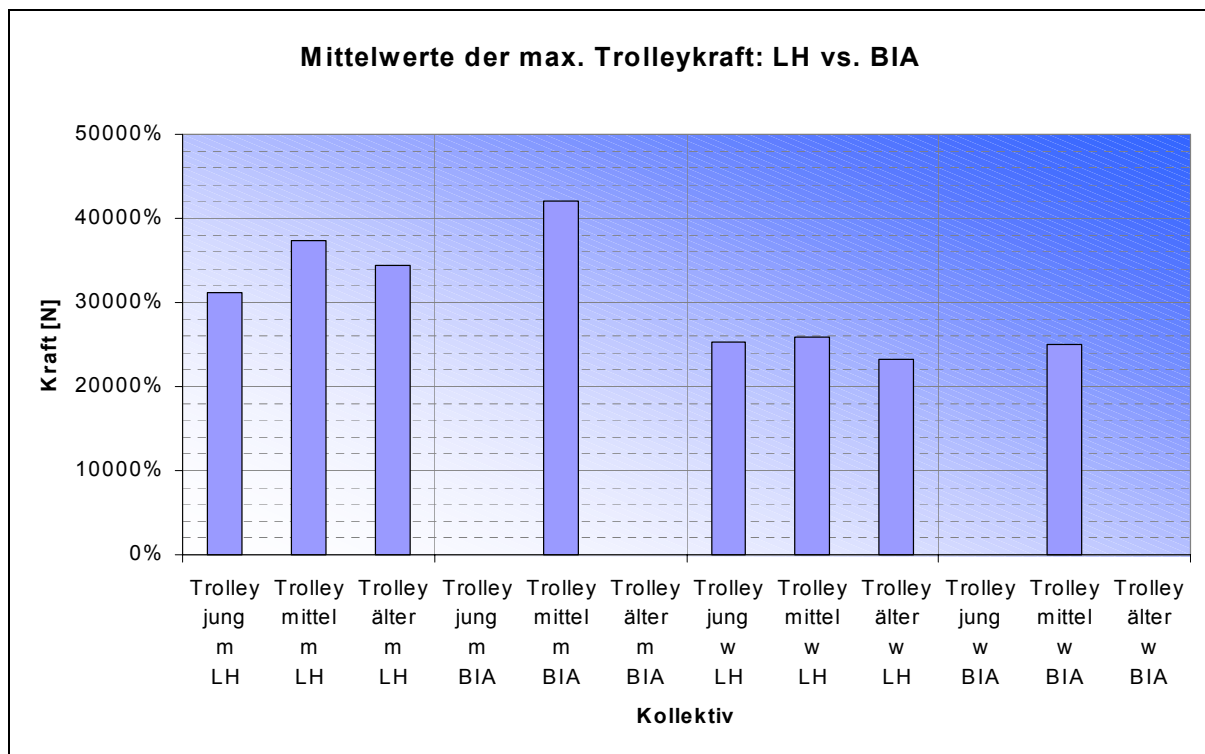
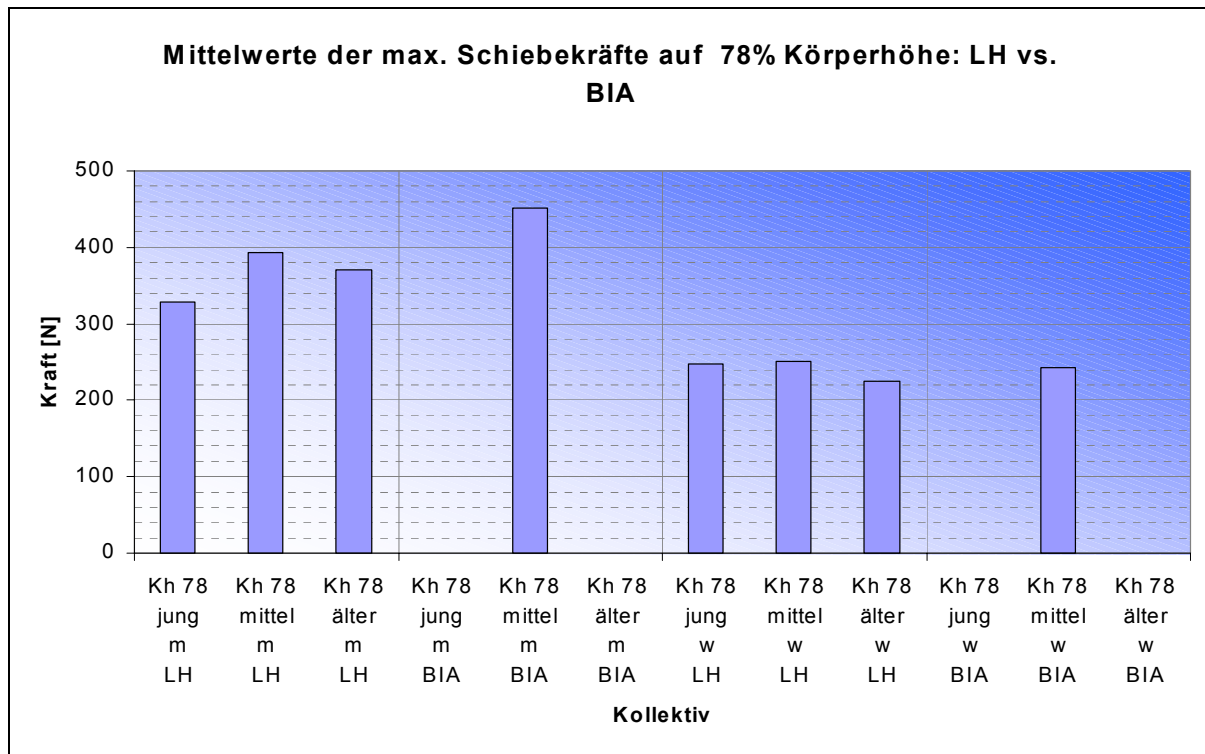






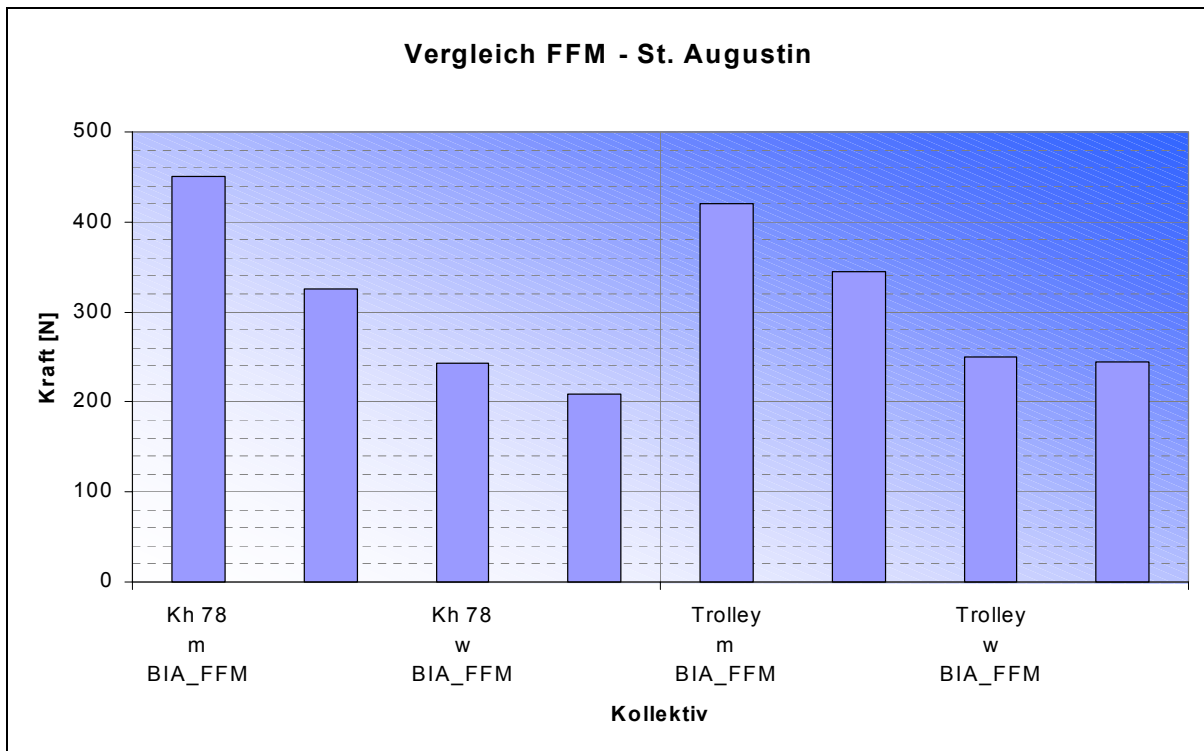
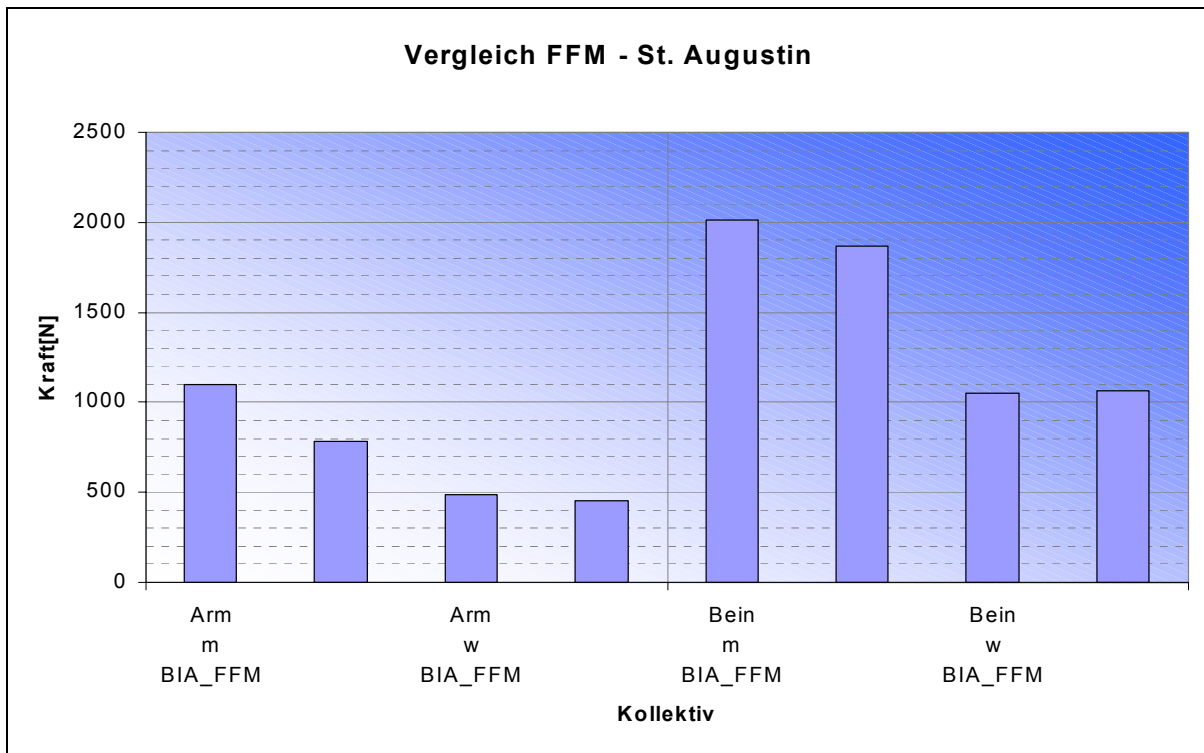
A3.1.3 Probandenvergleich LH - BIA

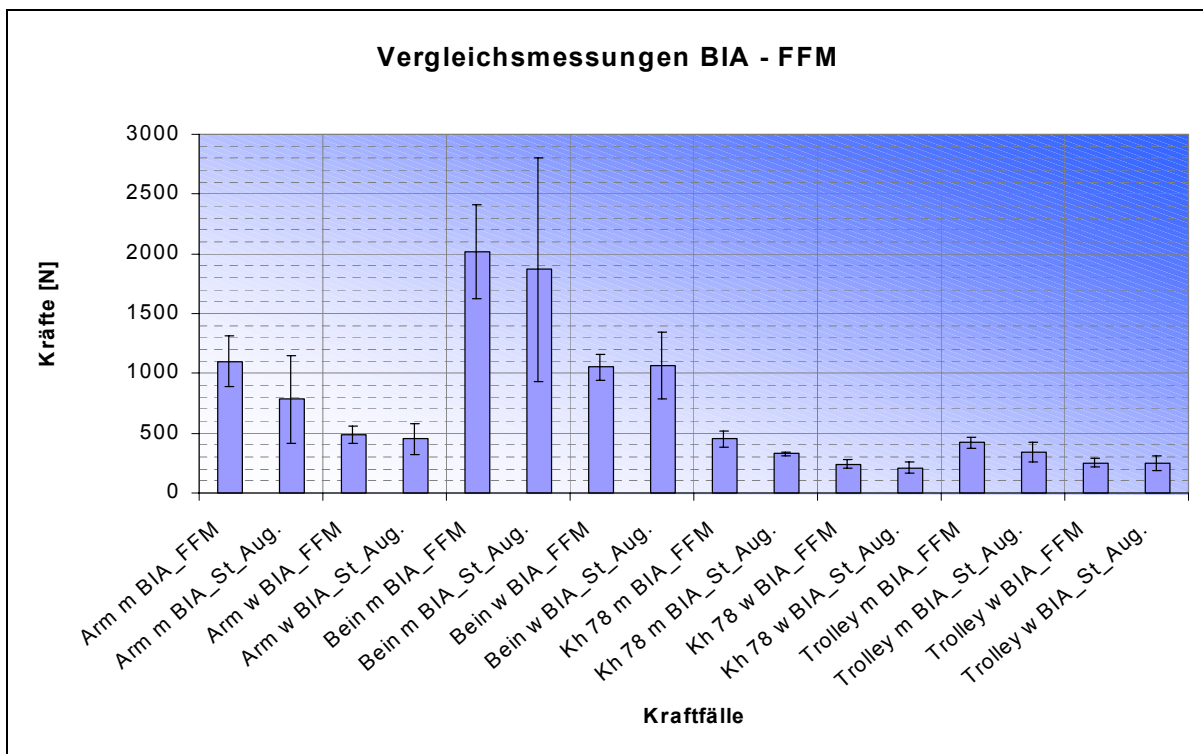
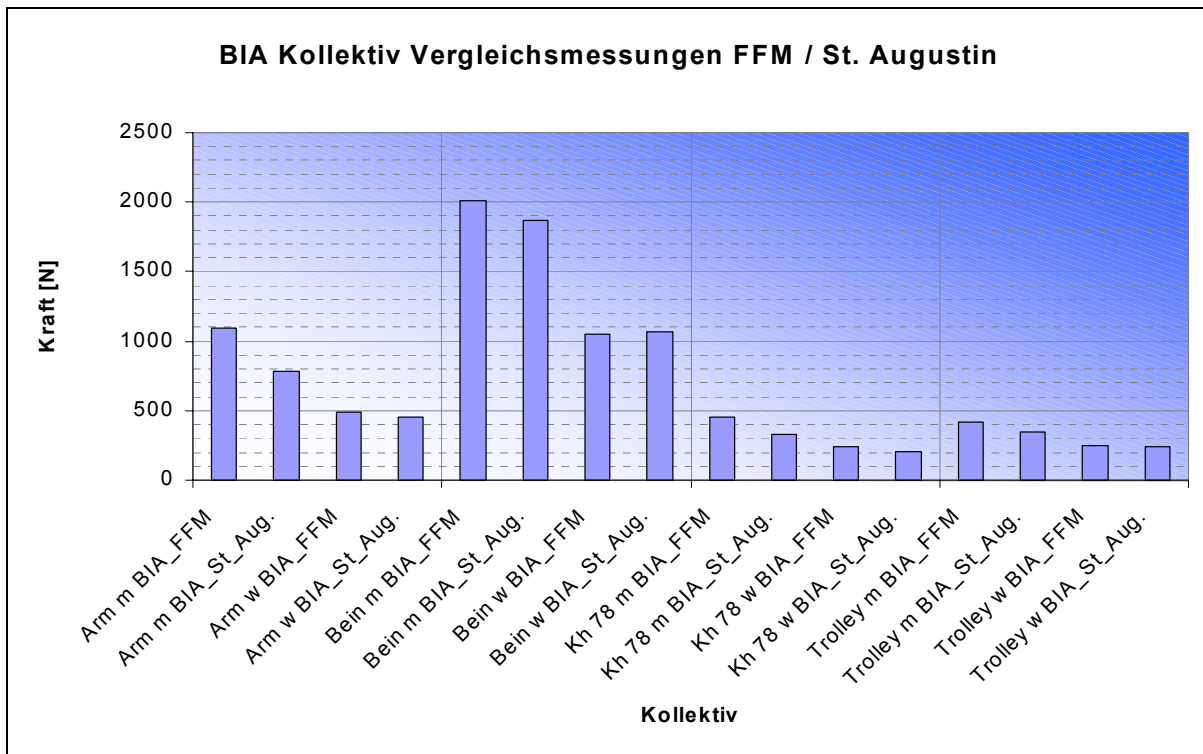






A3.1.4 Probandenvergleich FFM - Sankt Augustin

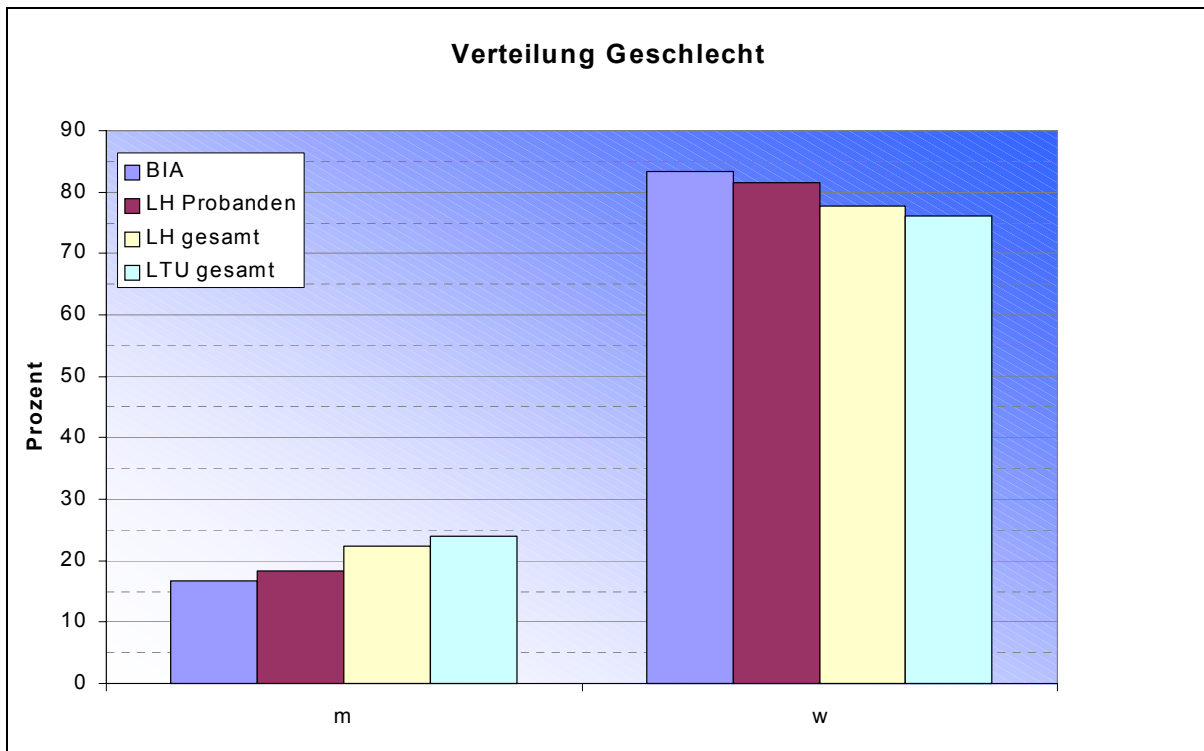
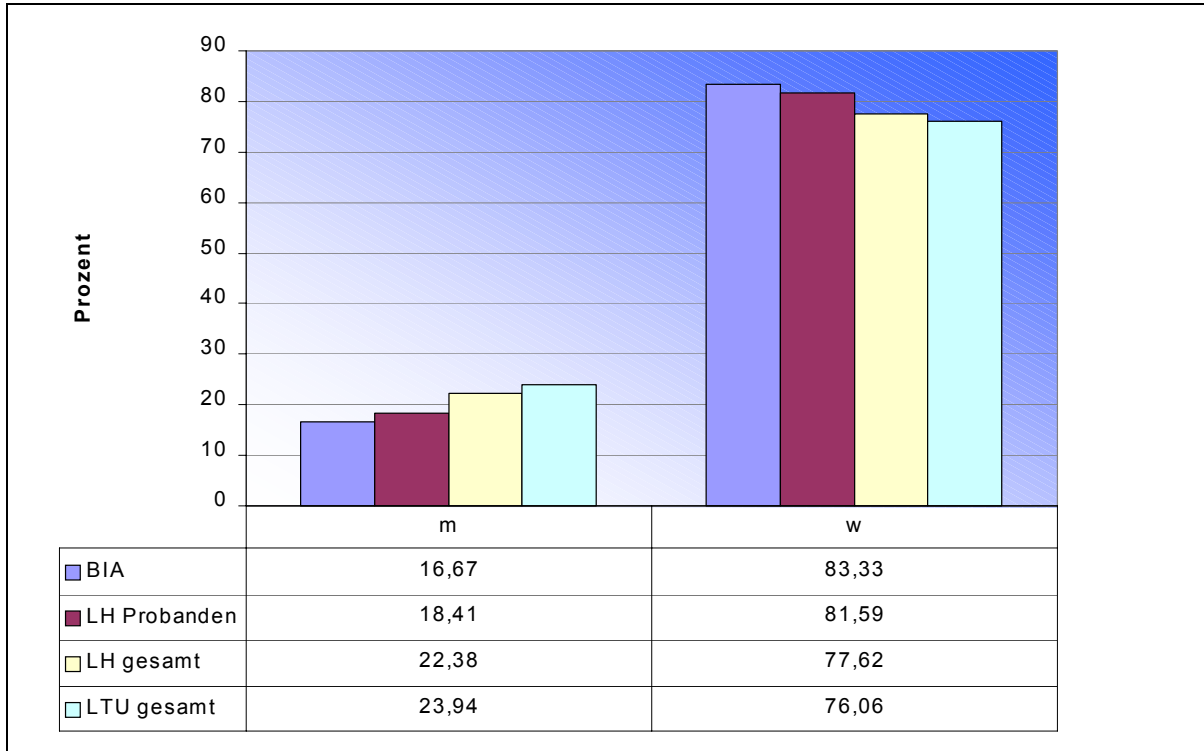


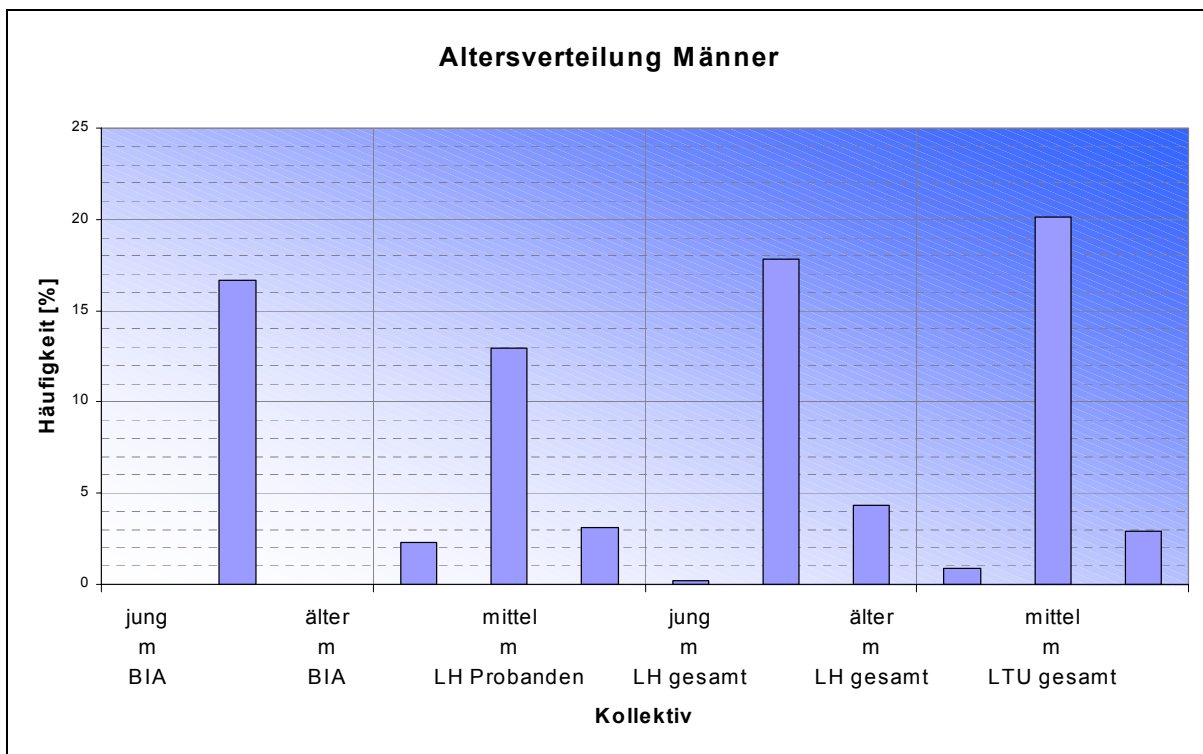
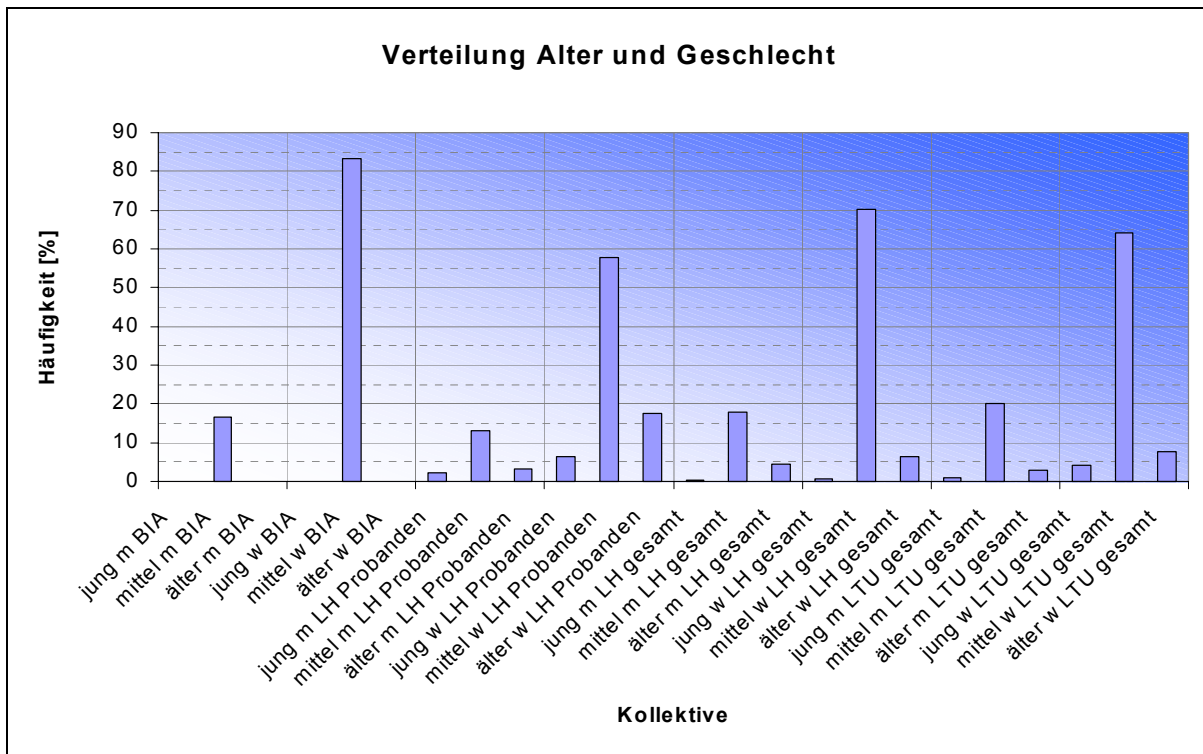


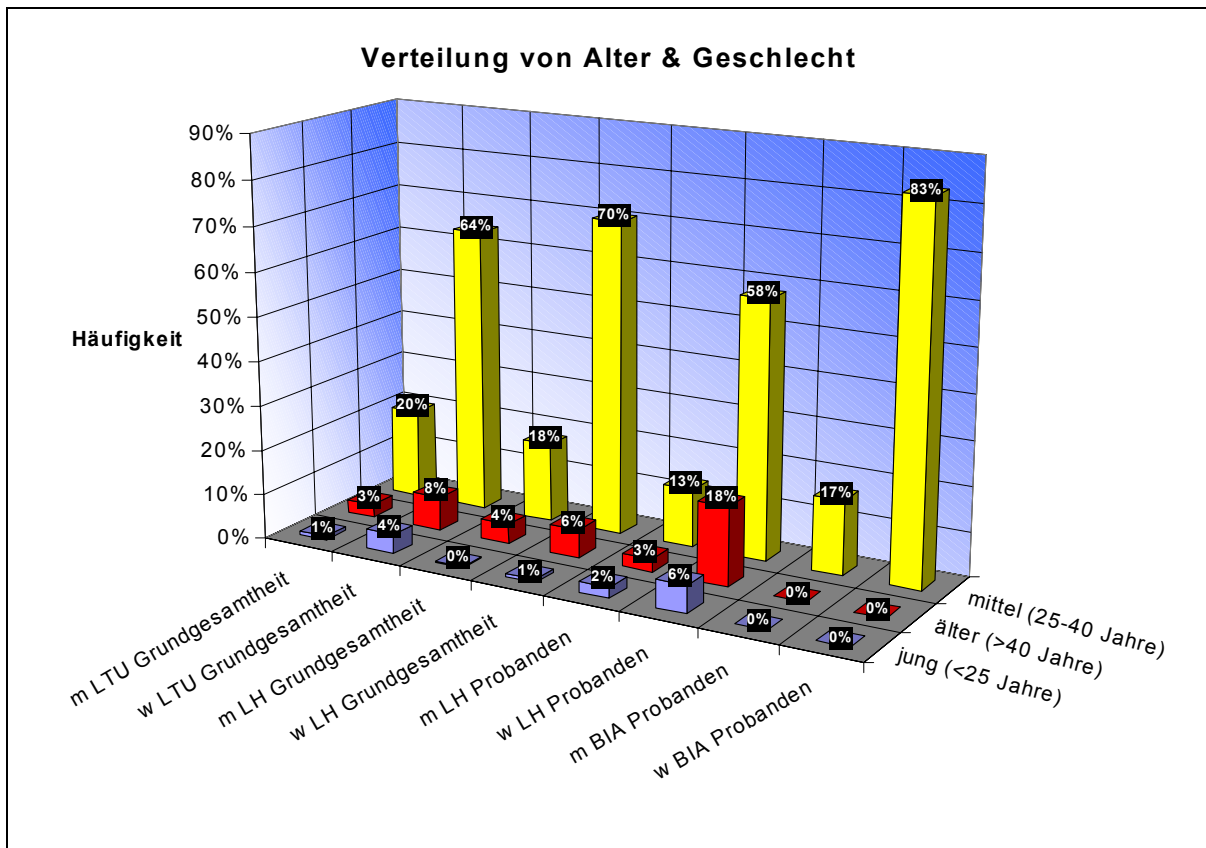
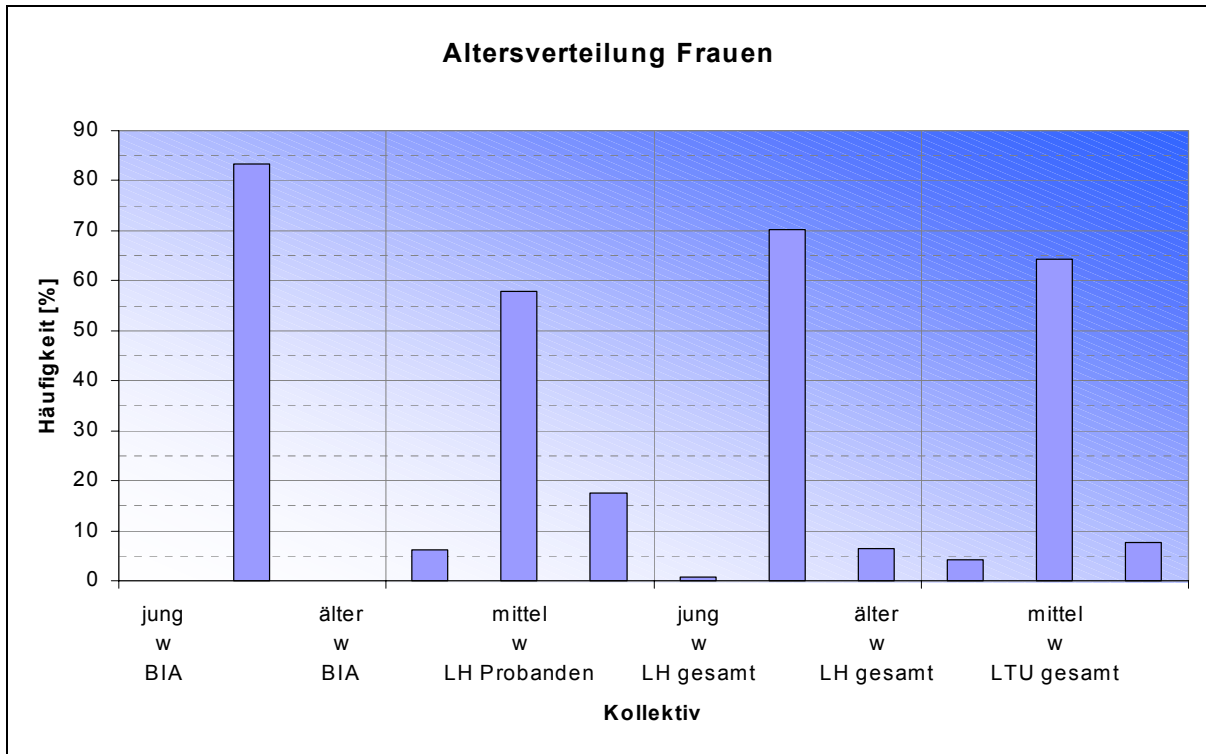


A3.2 Biometrische Daten der Probanden

A3.2.1 Alter und Geschlecht

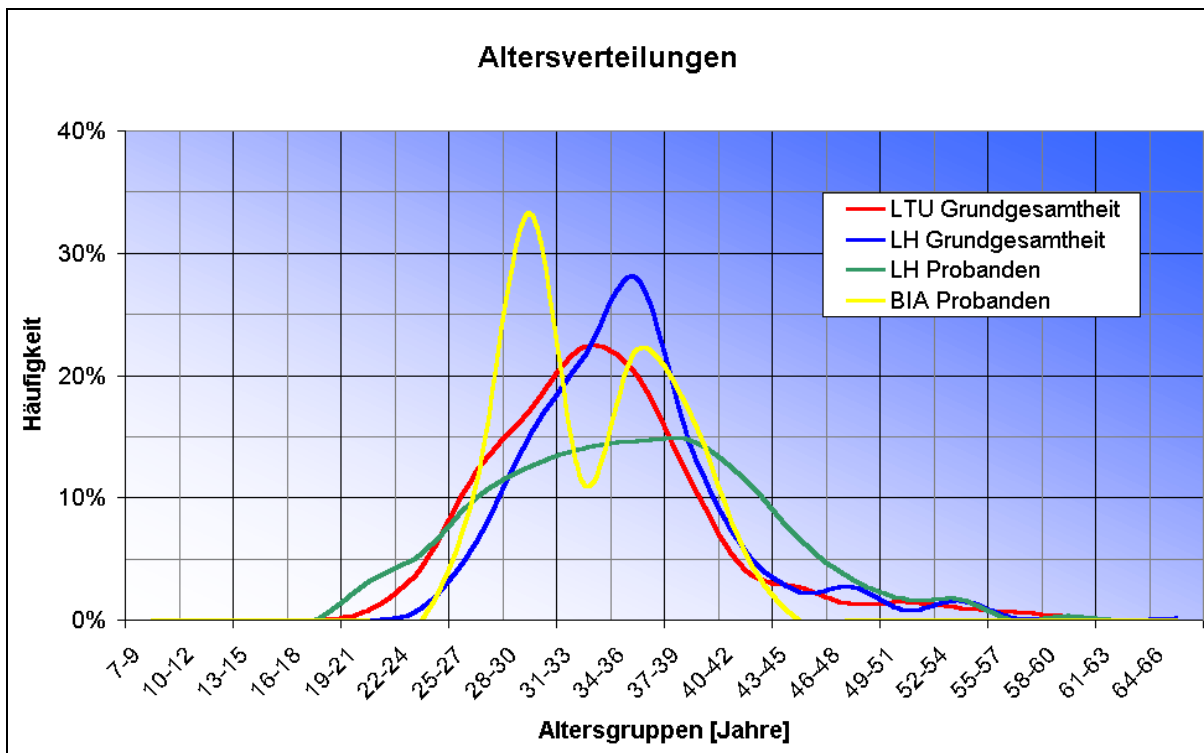
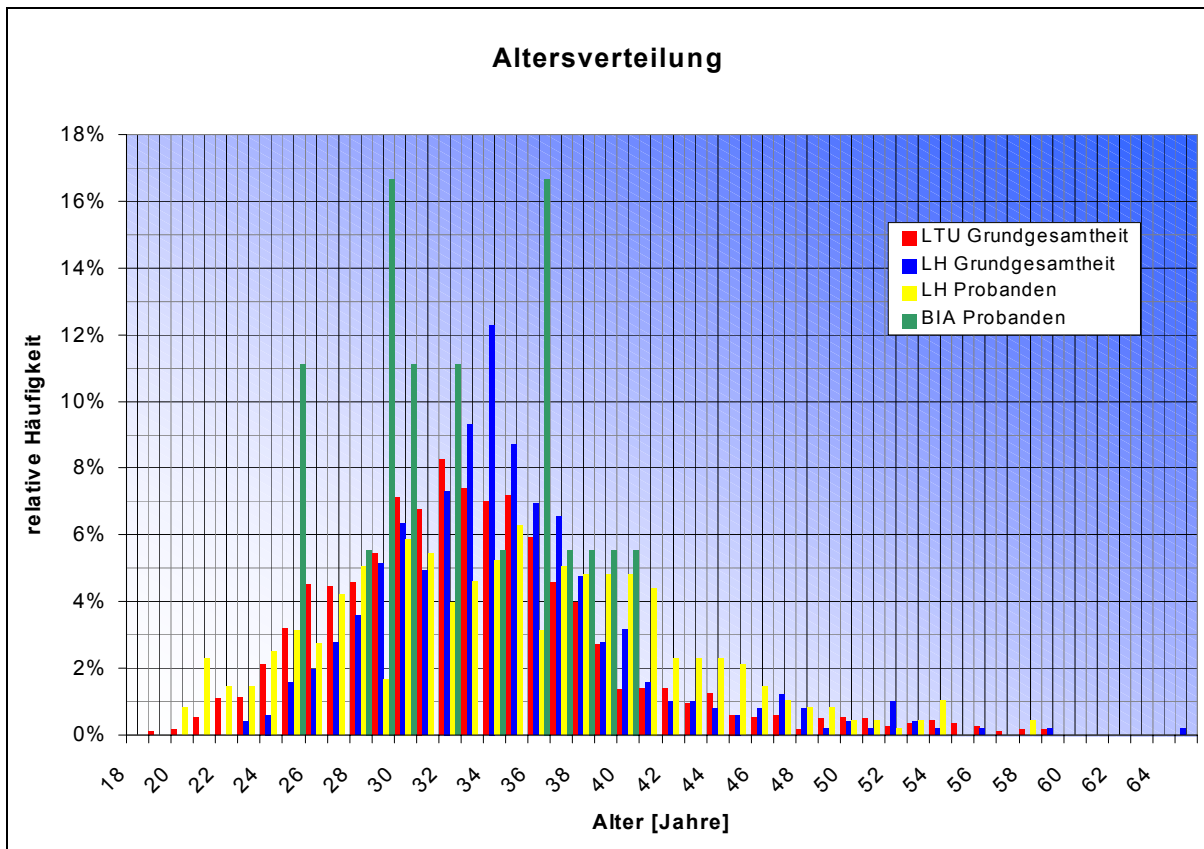


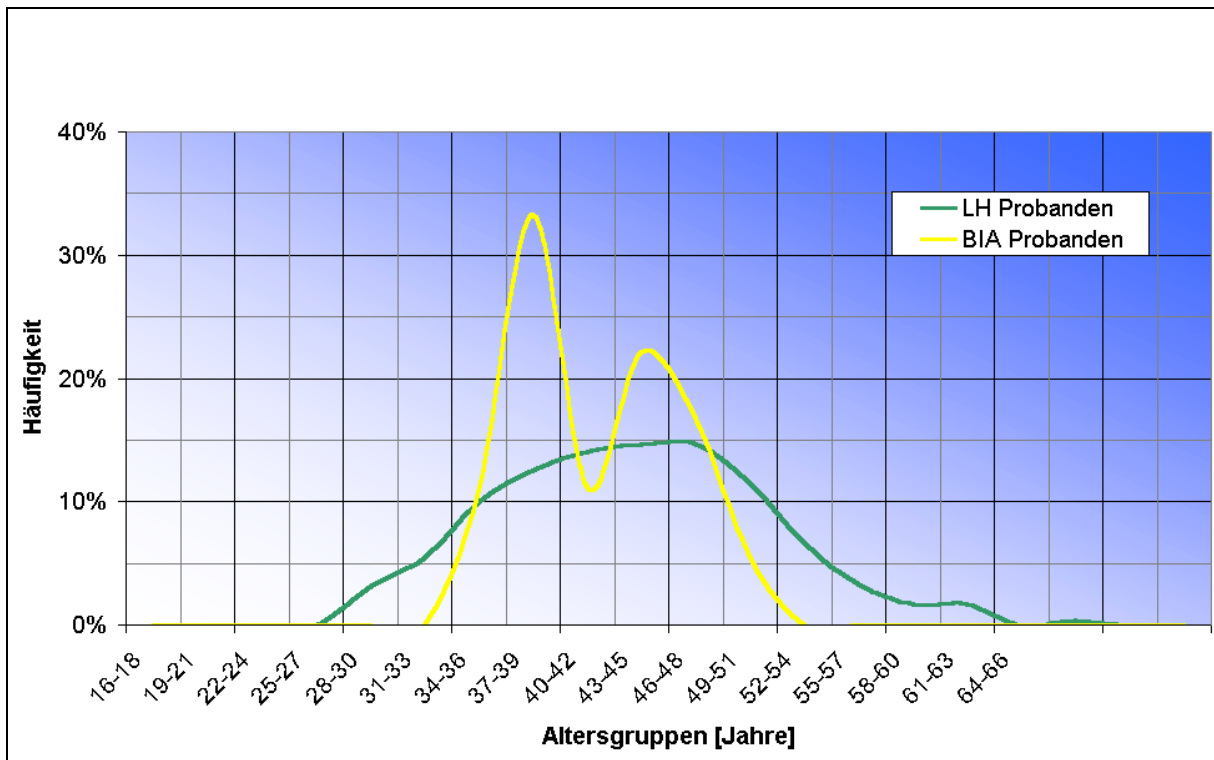
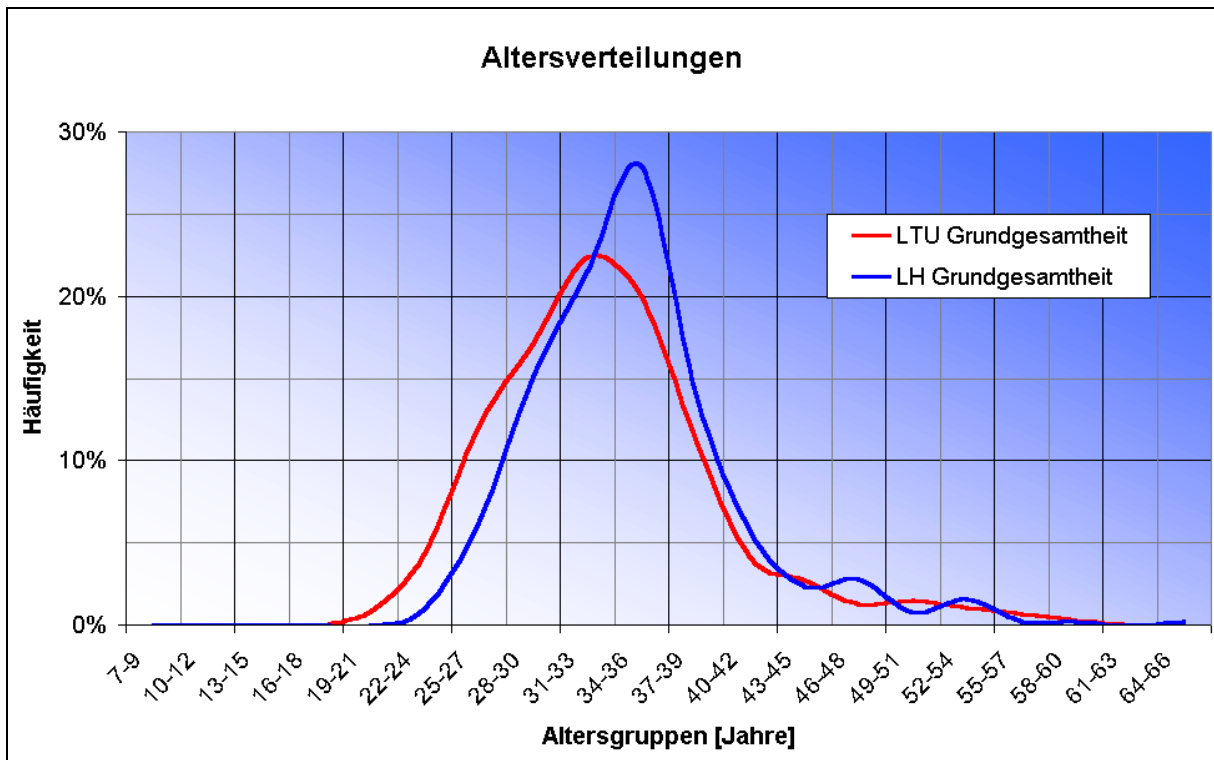


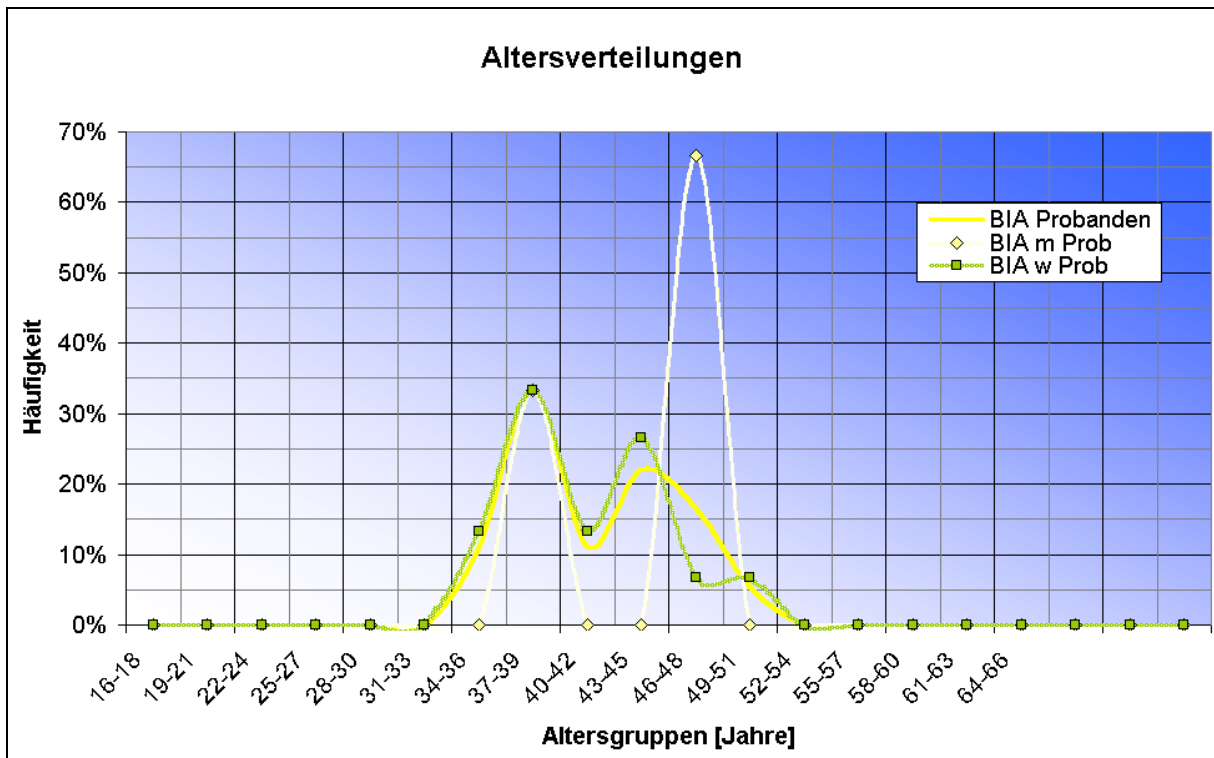
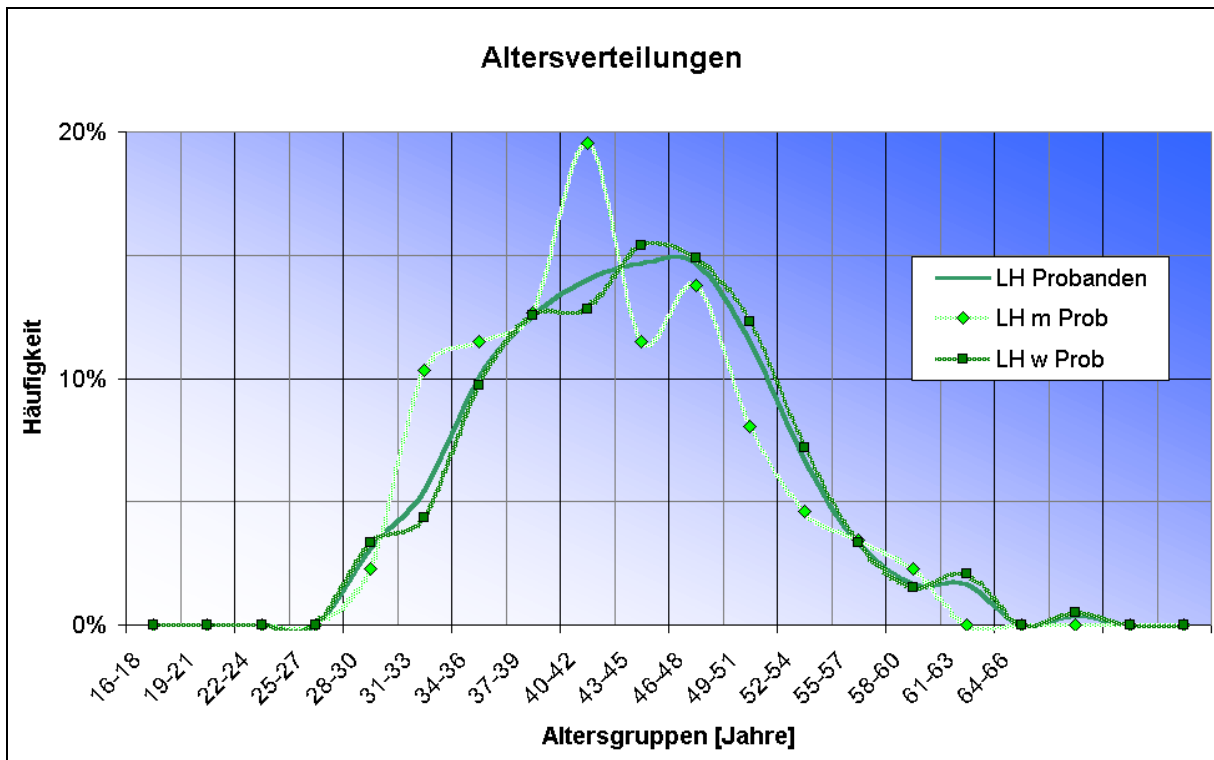


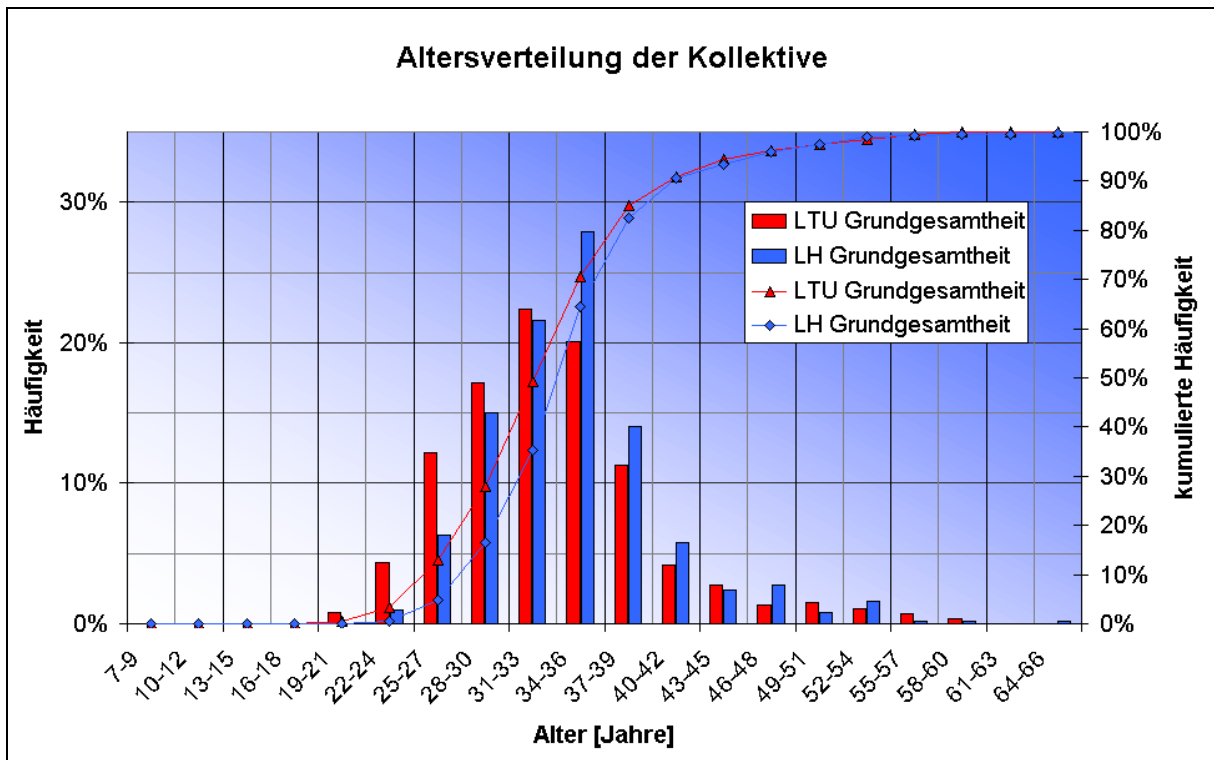
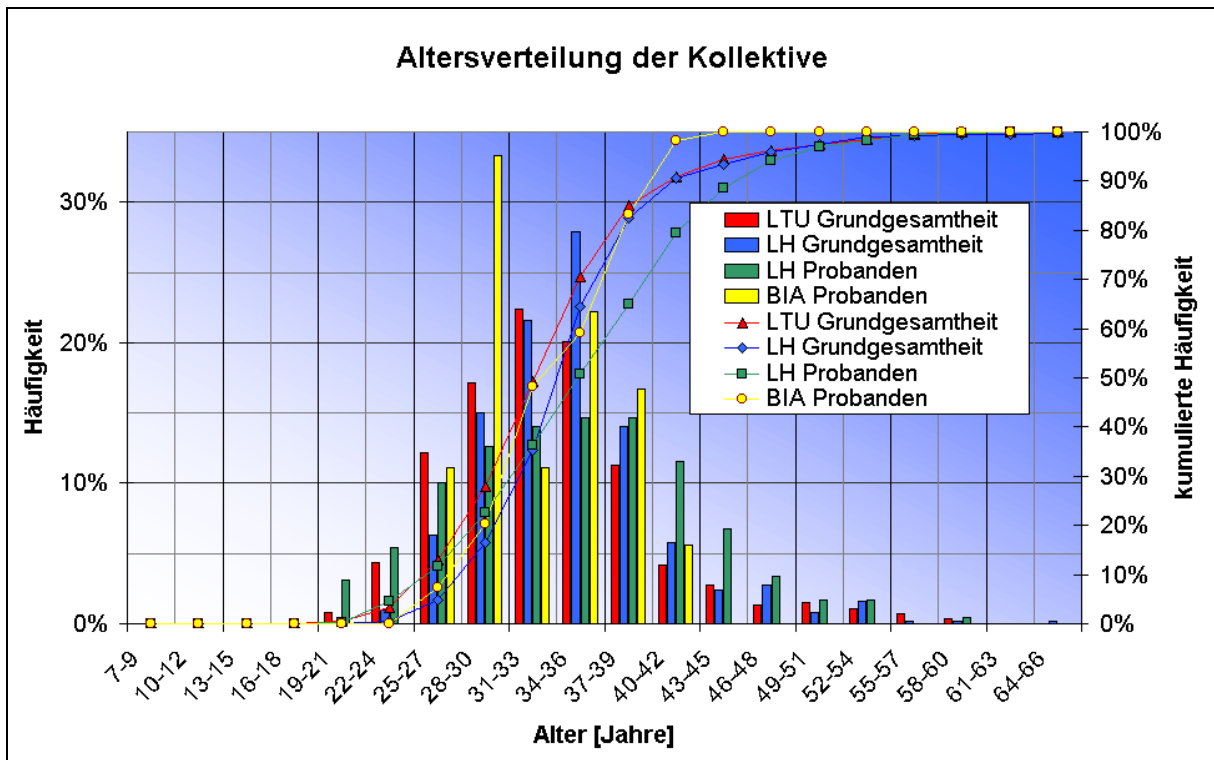


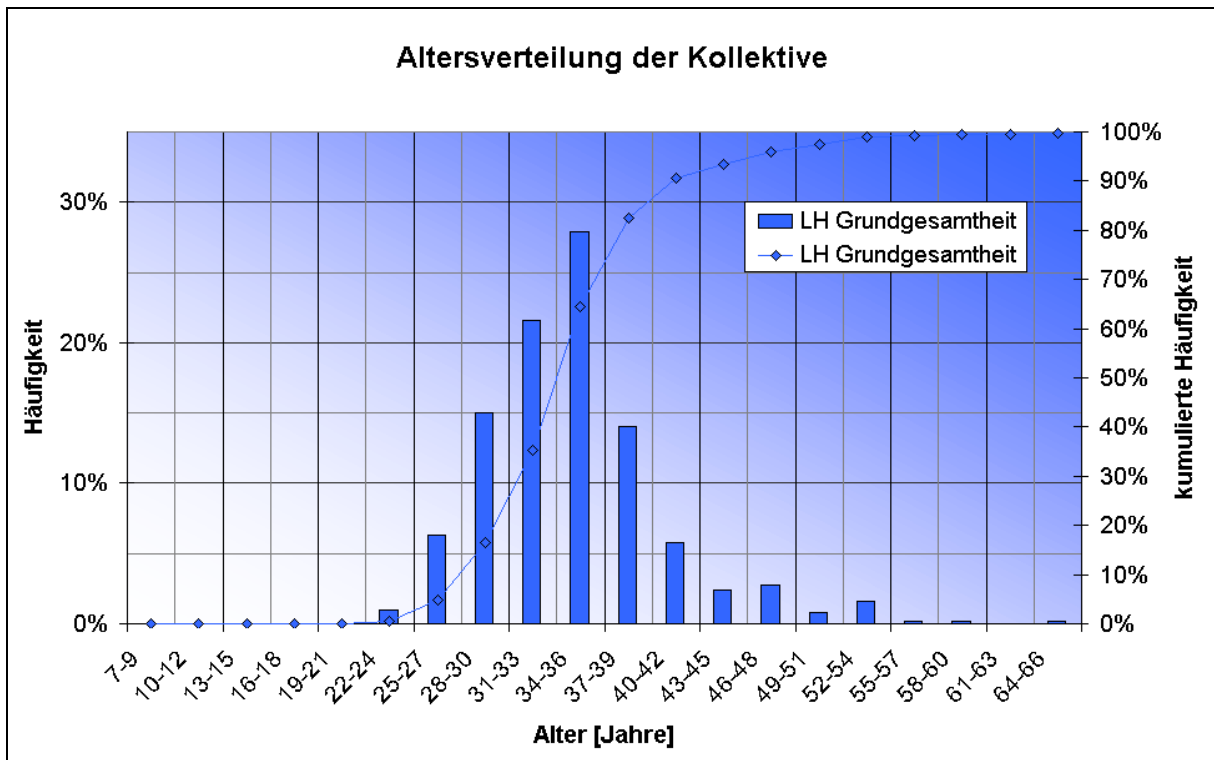
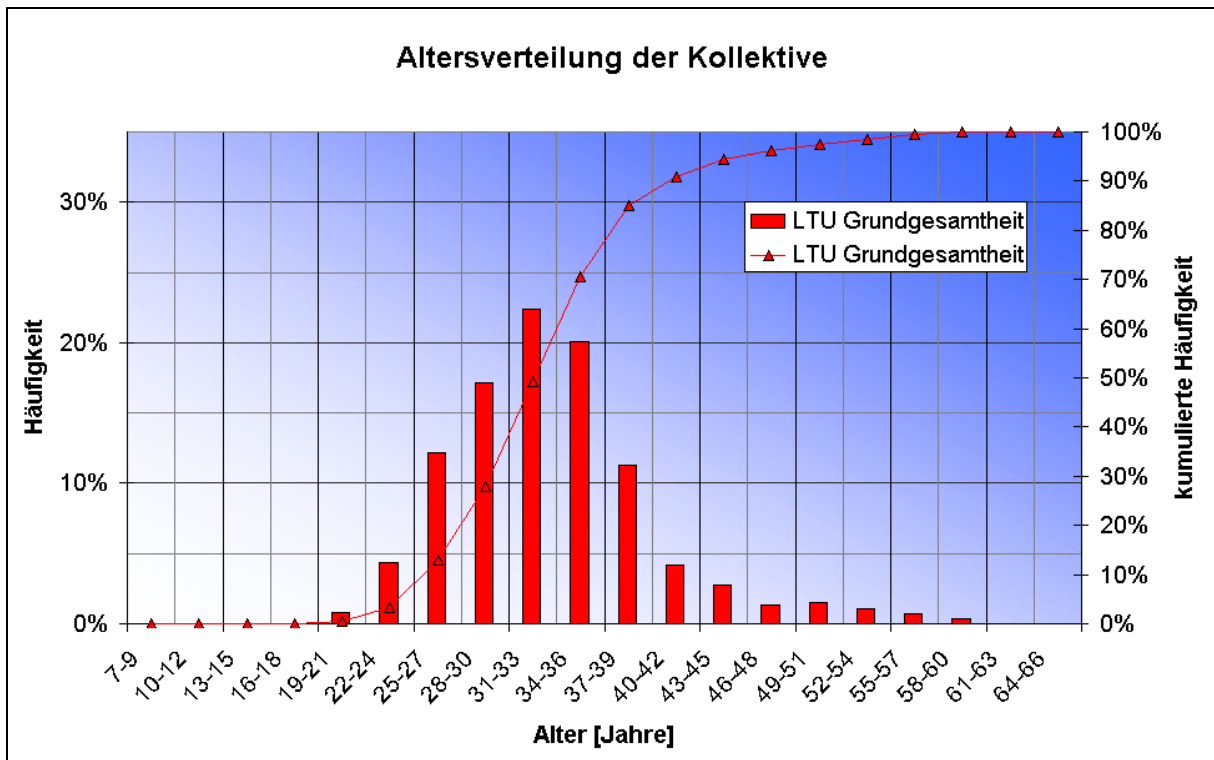
A3.2.2 Alter

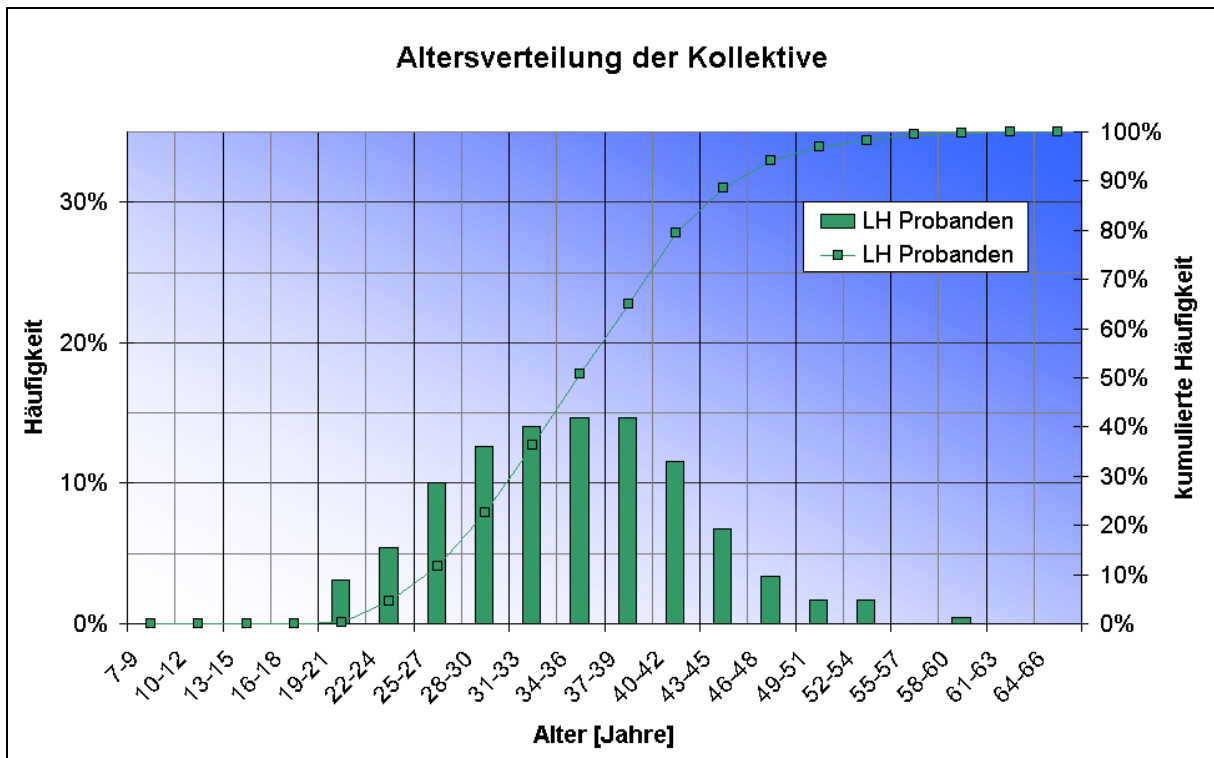
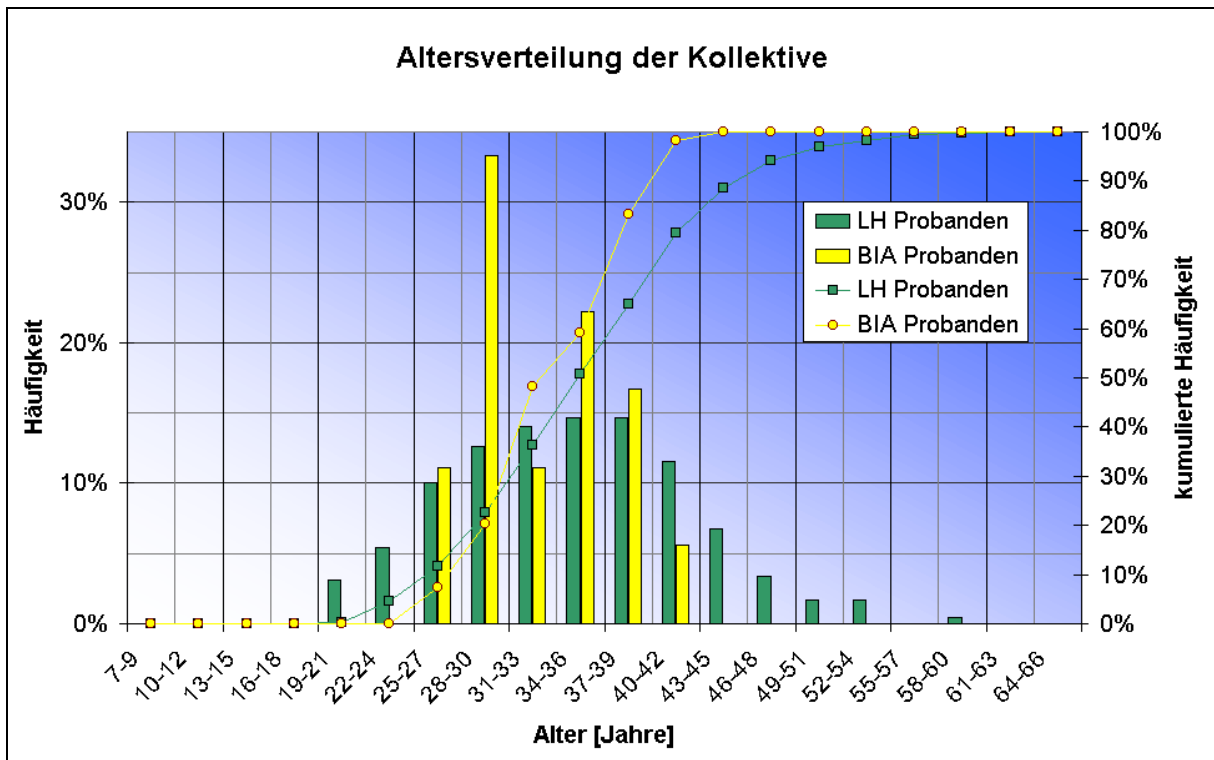


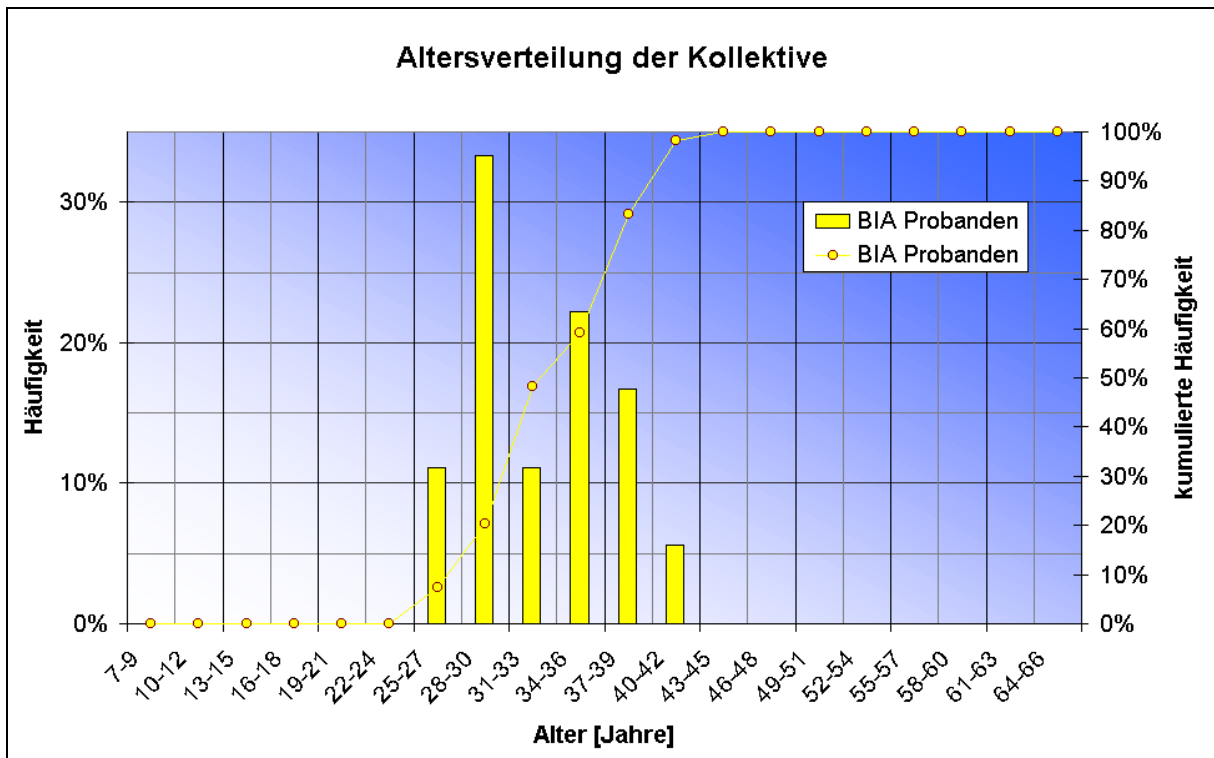
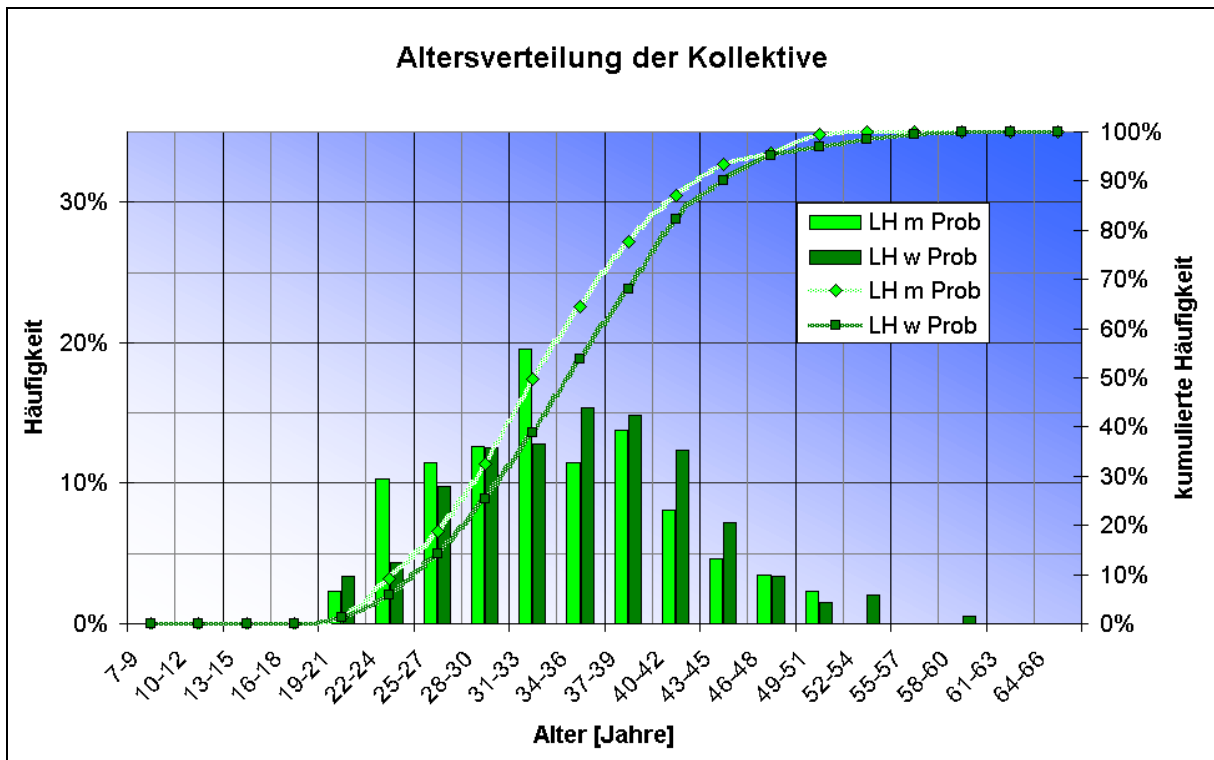


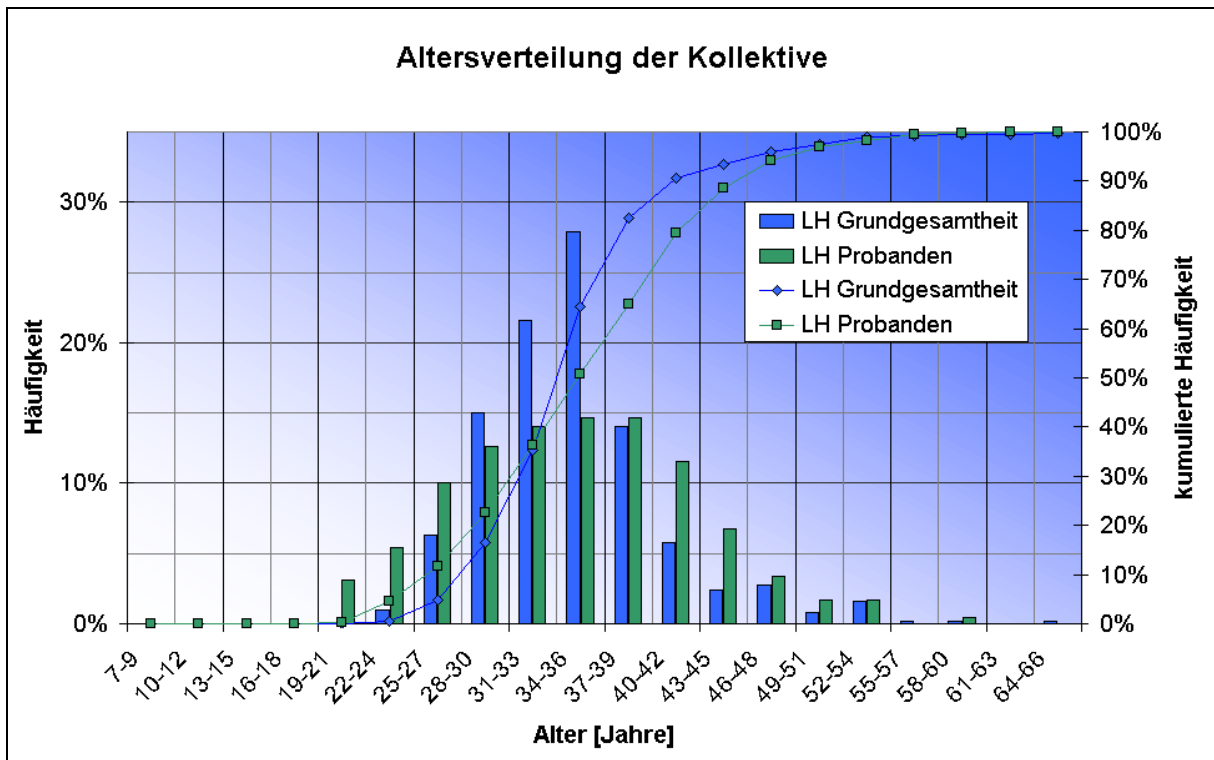
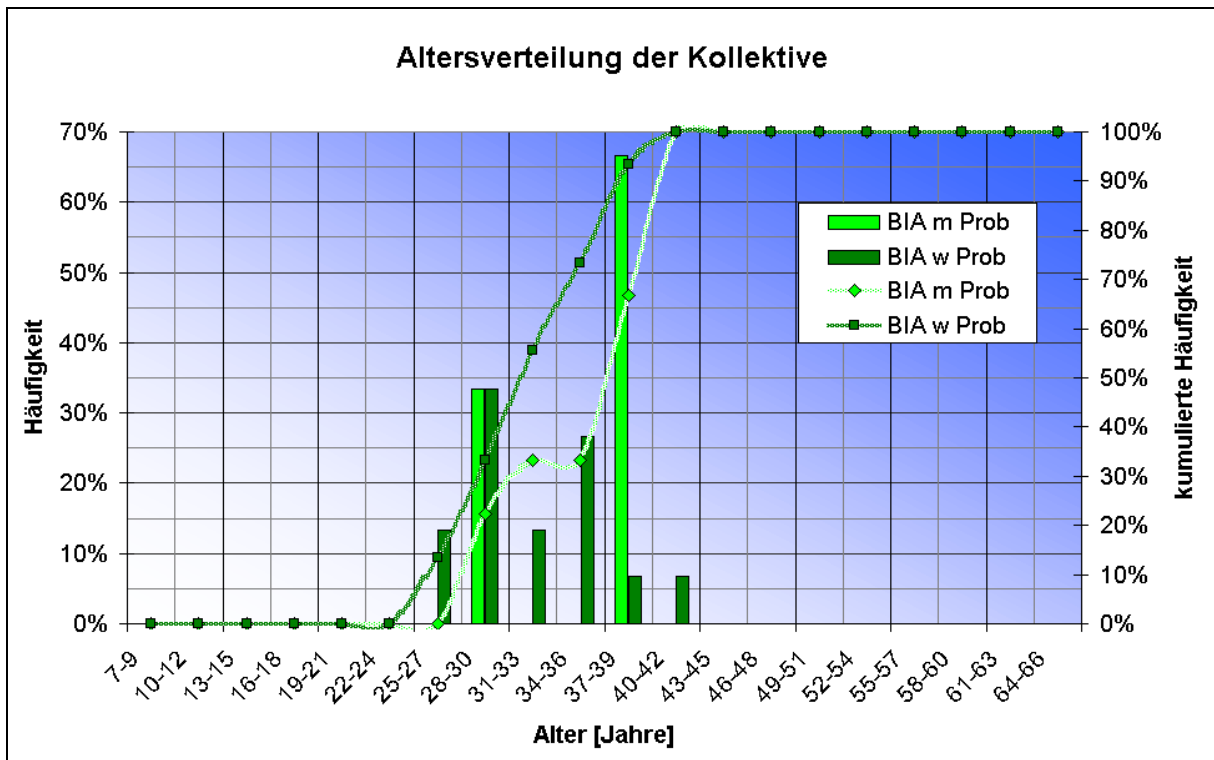


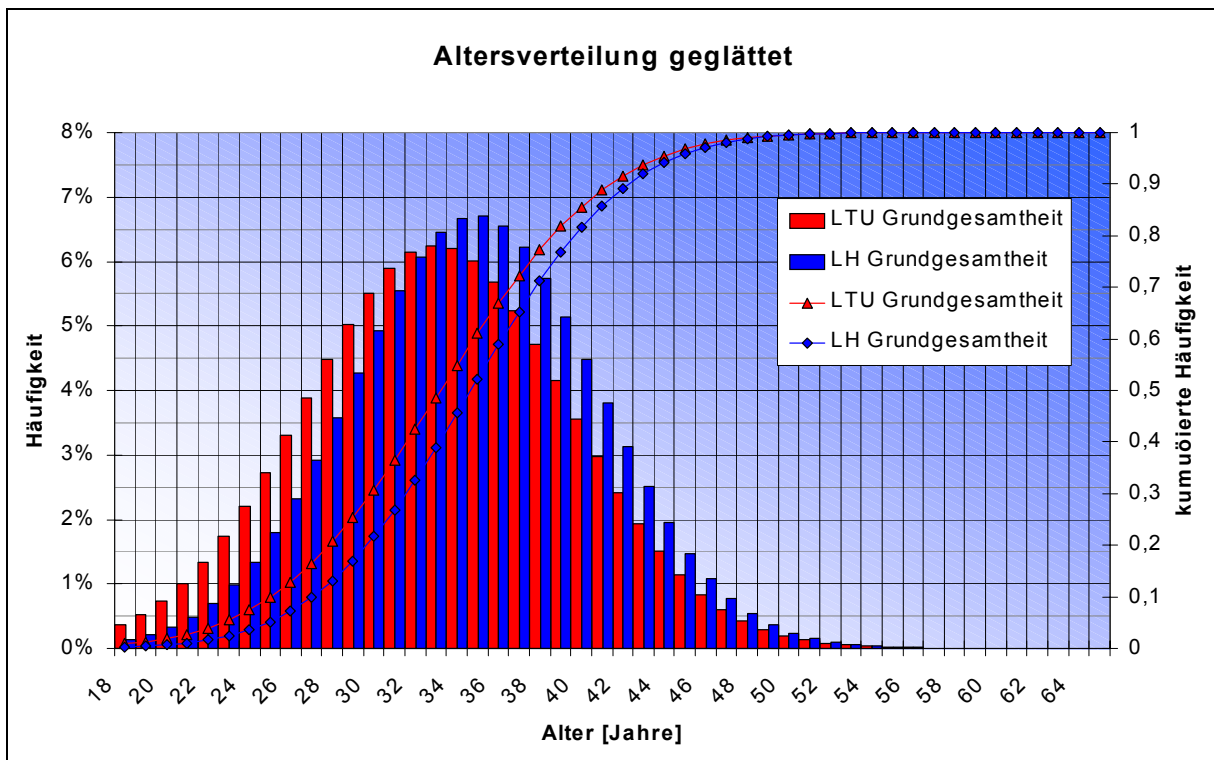
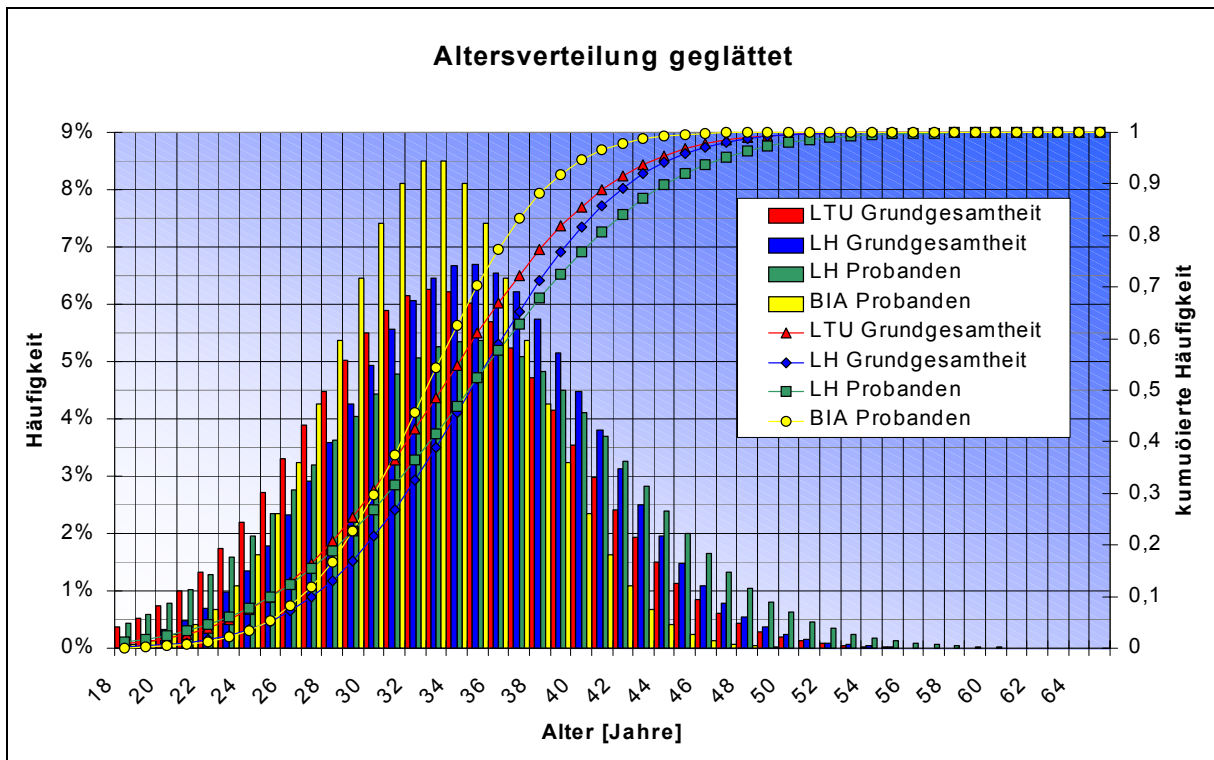


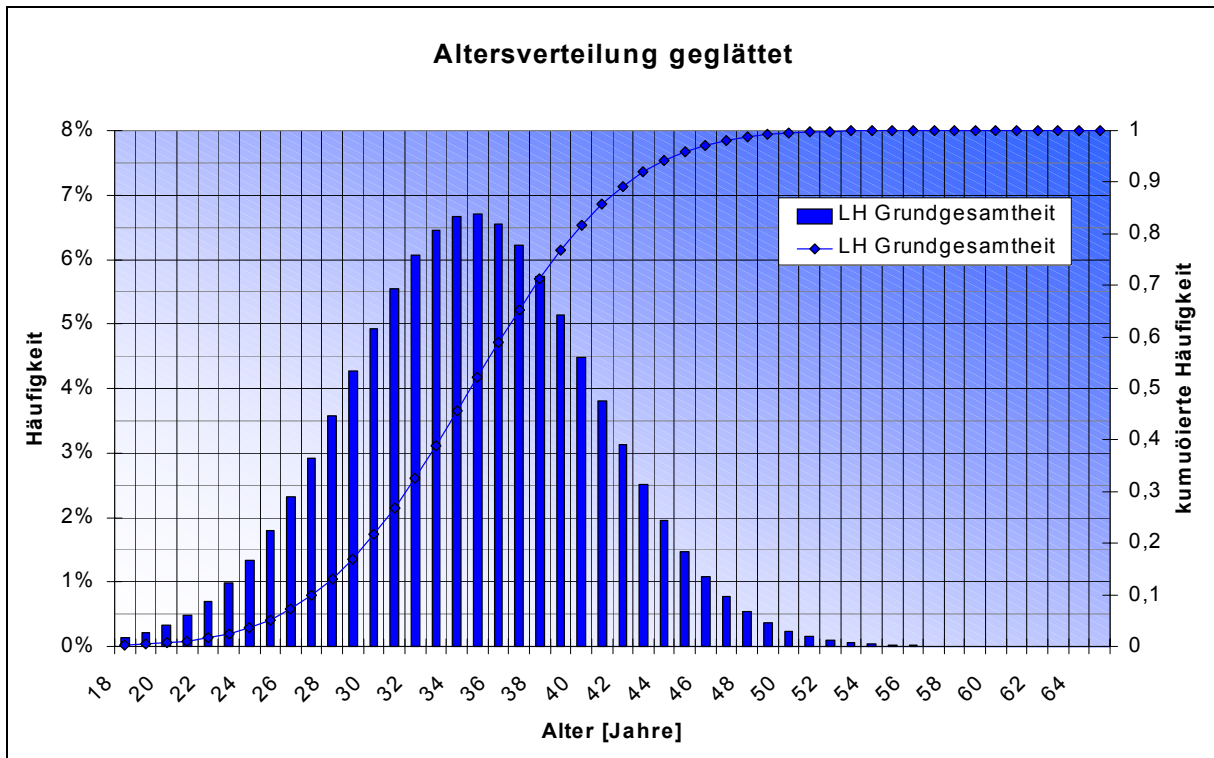
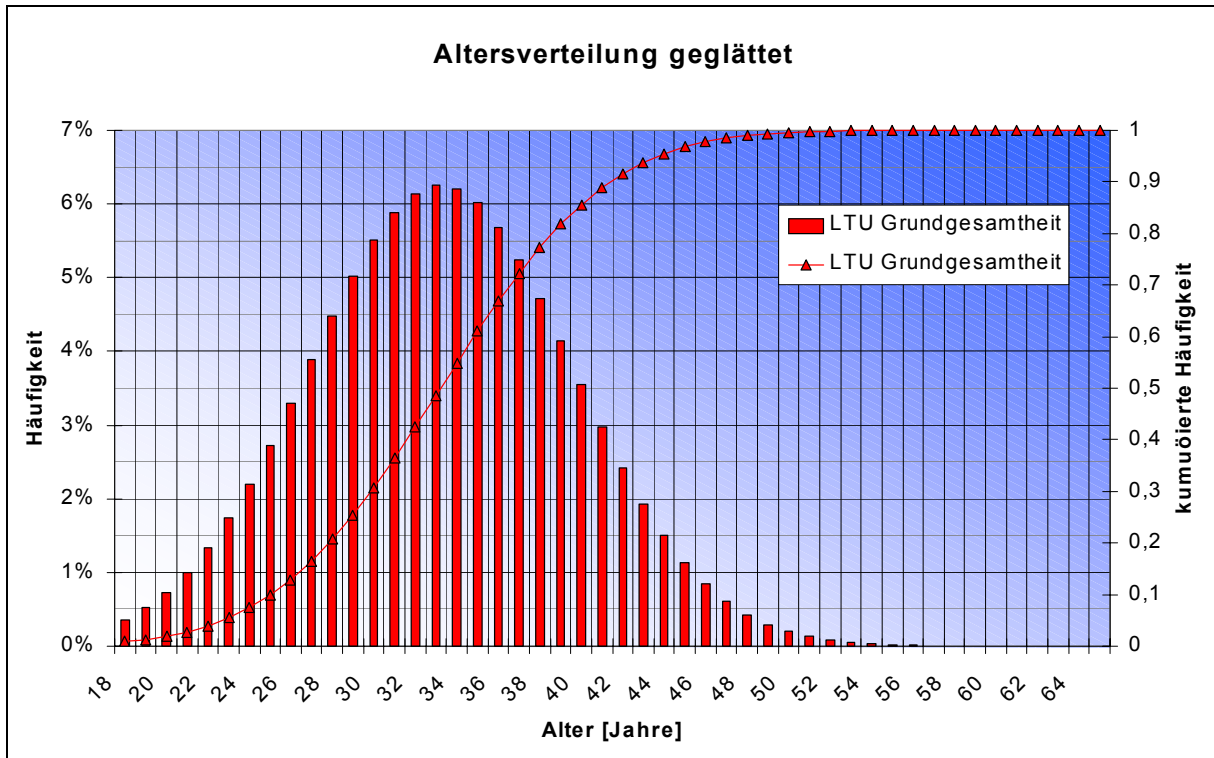


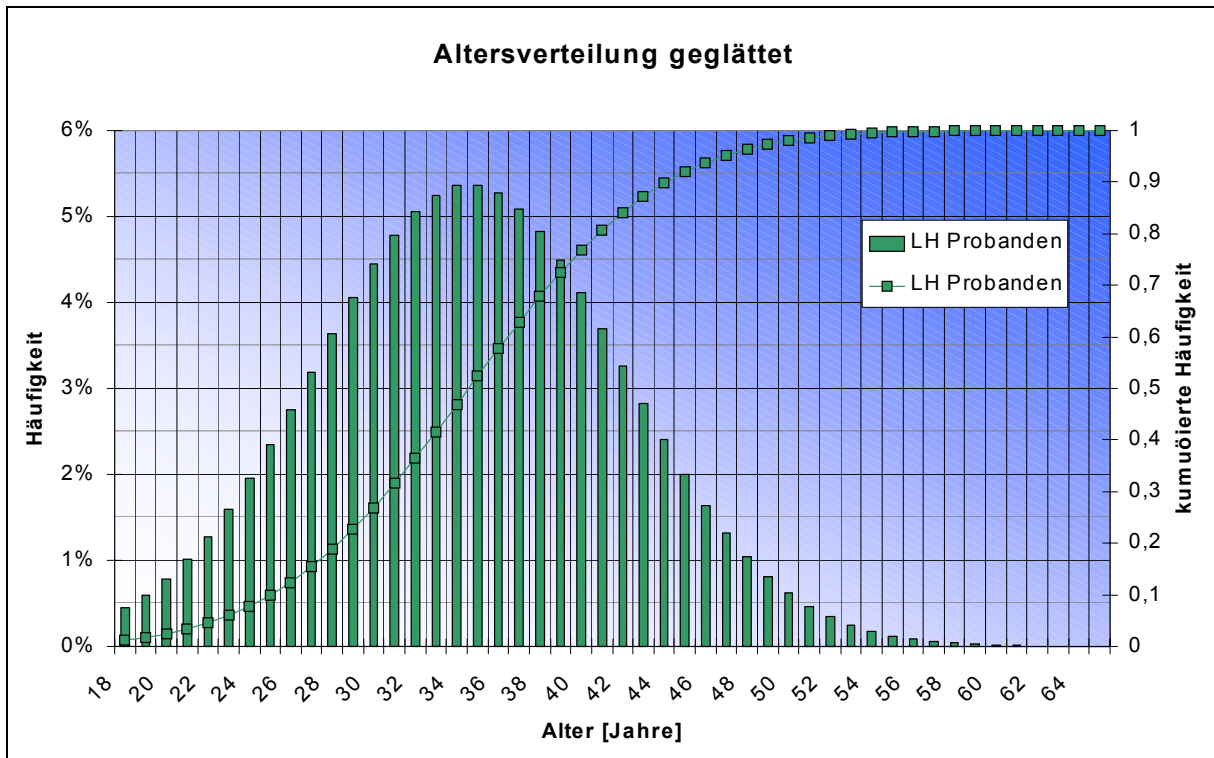
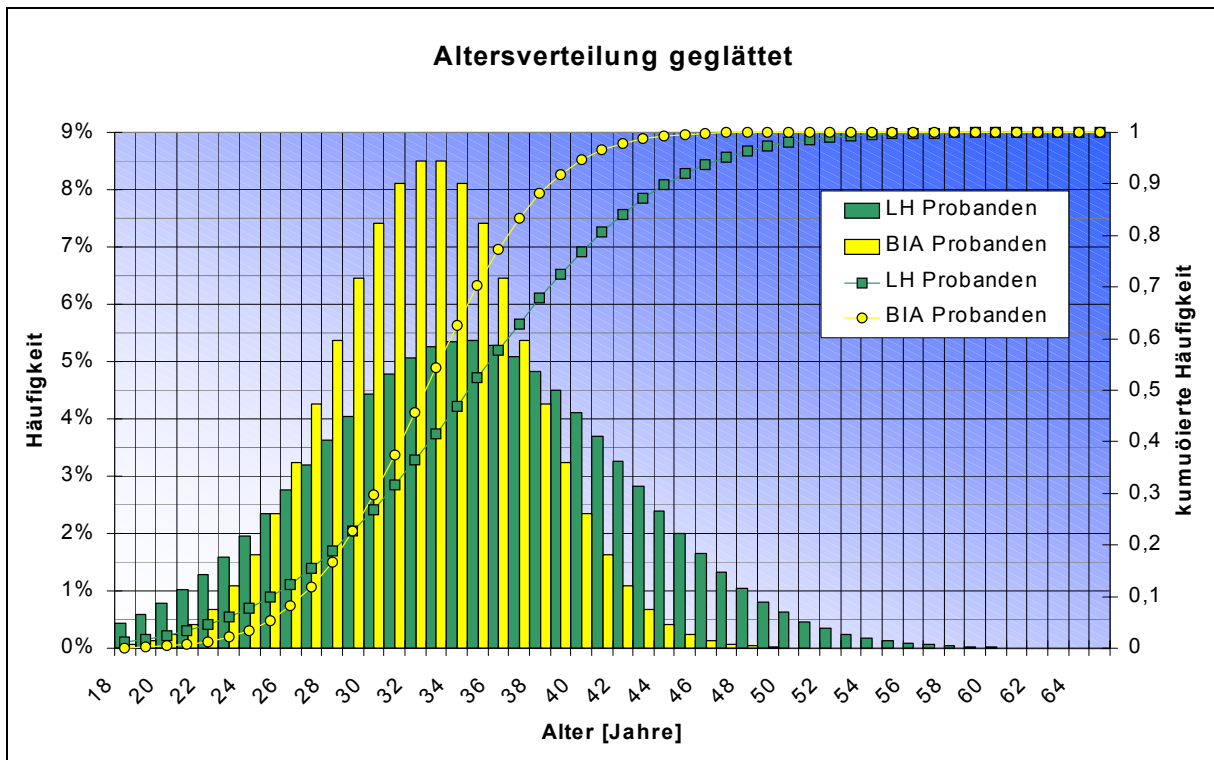


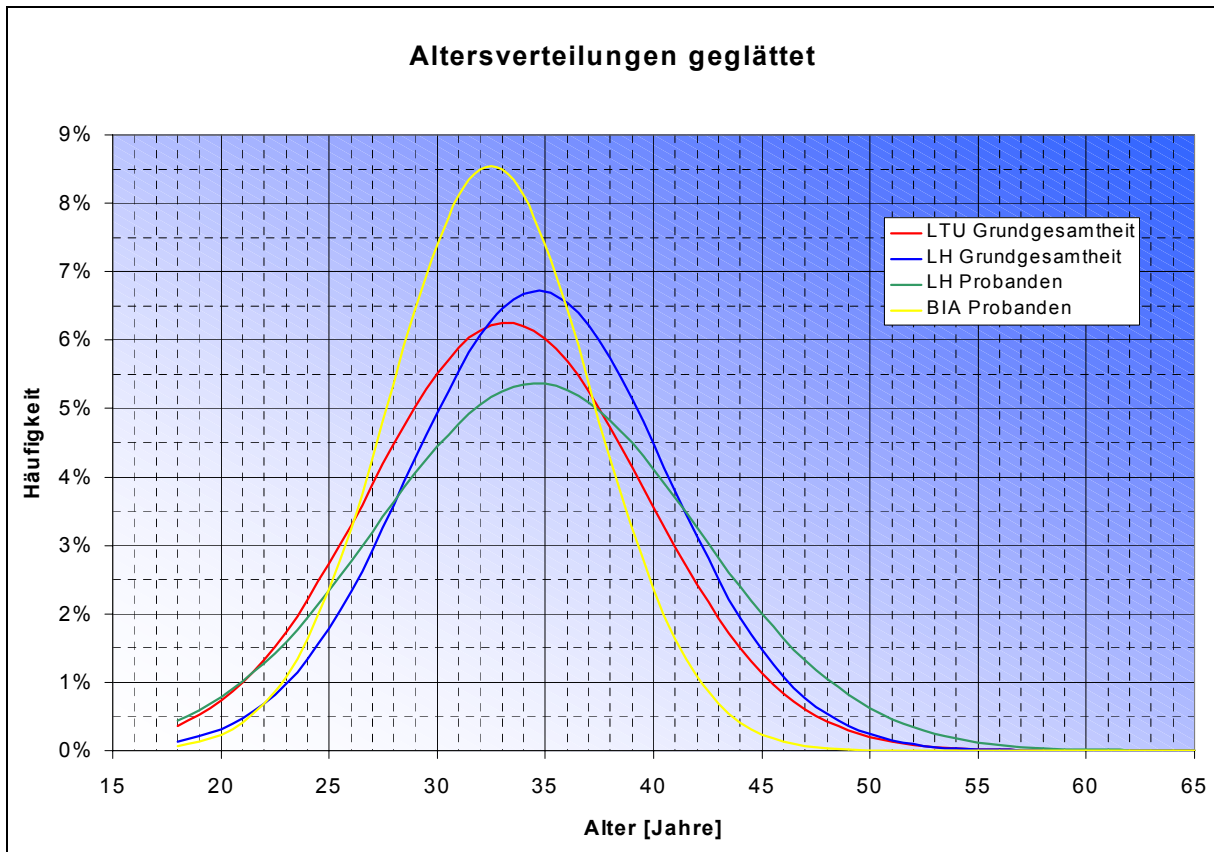
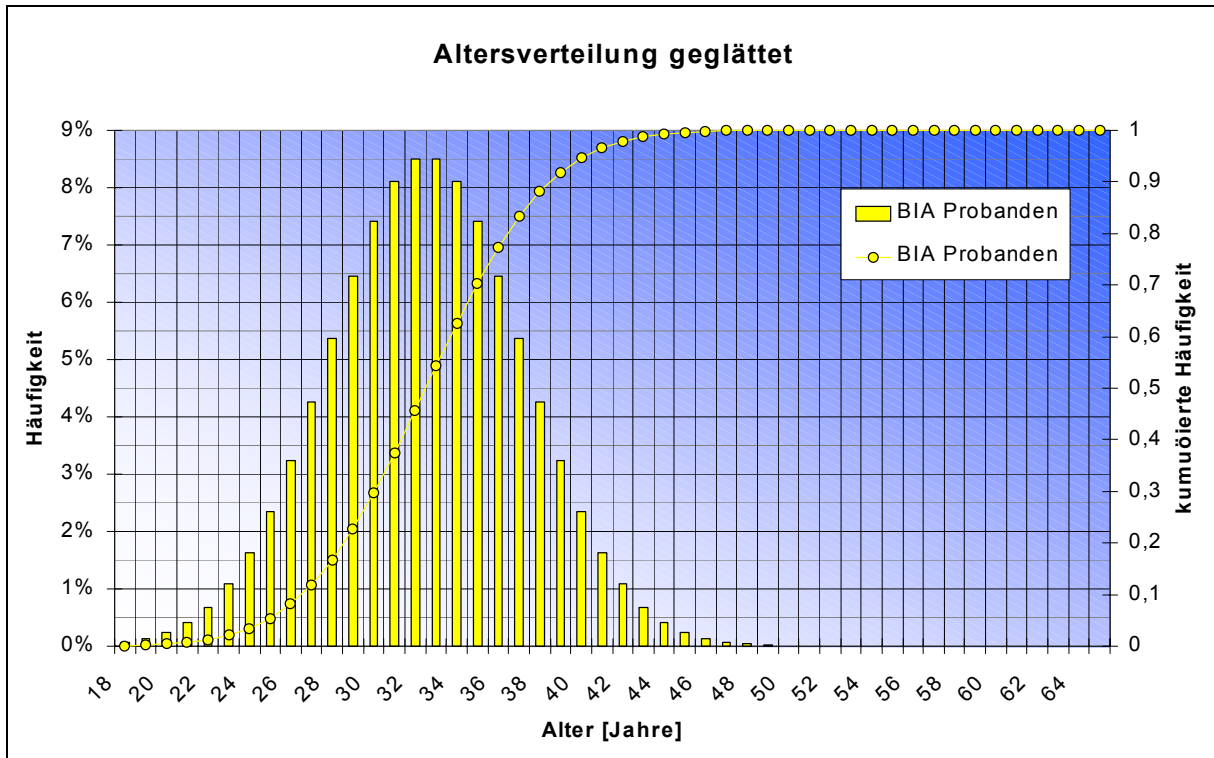






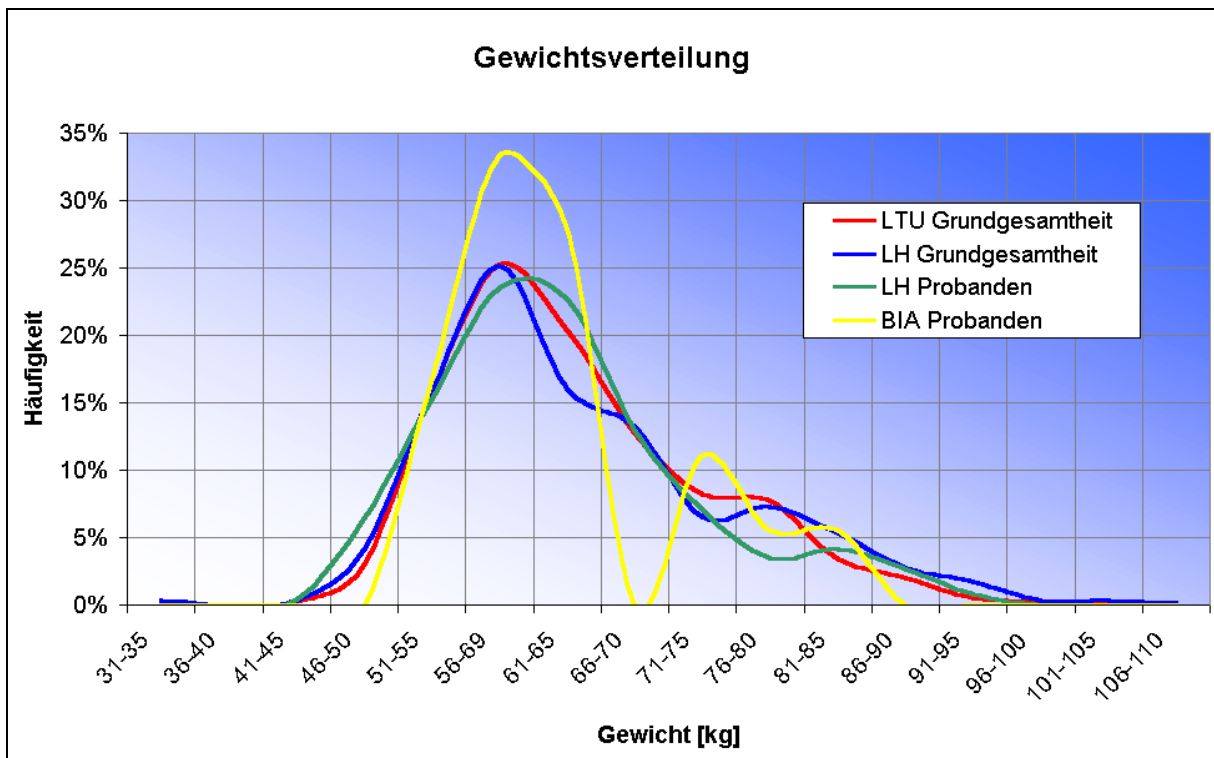
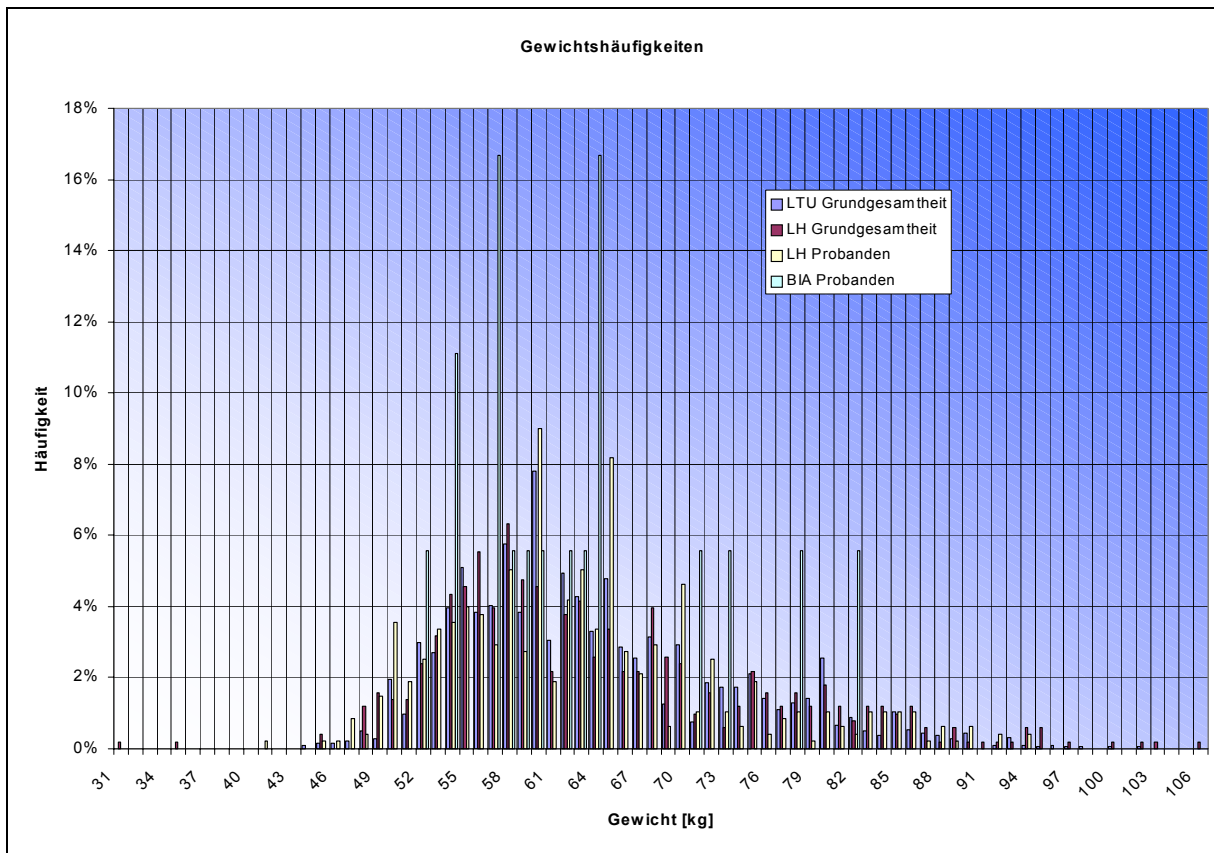


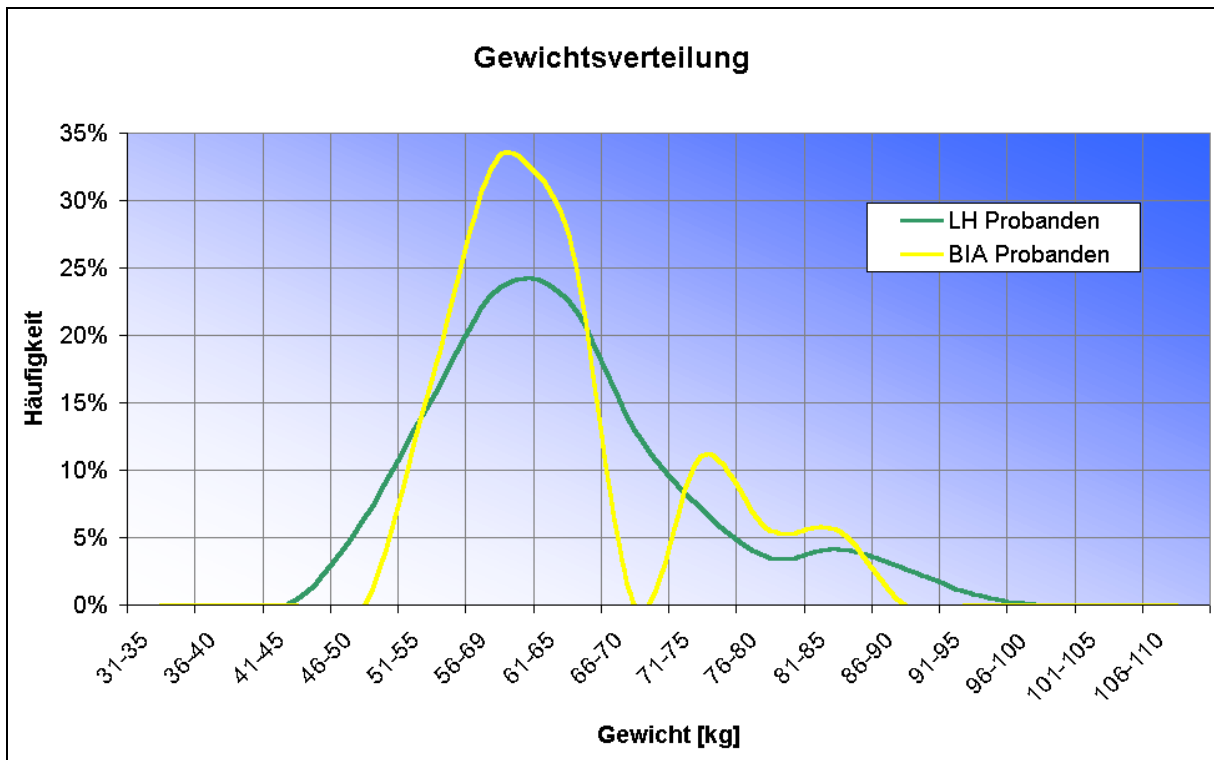
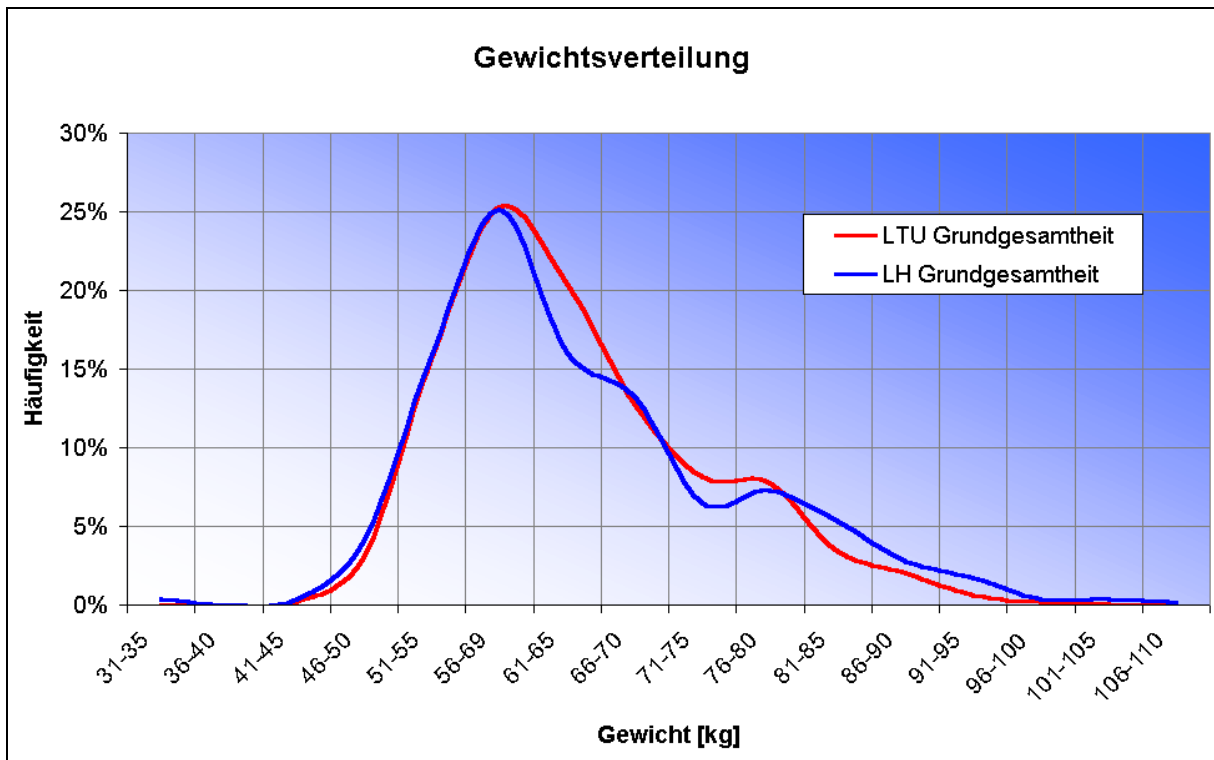


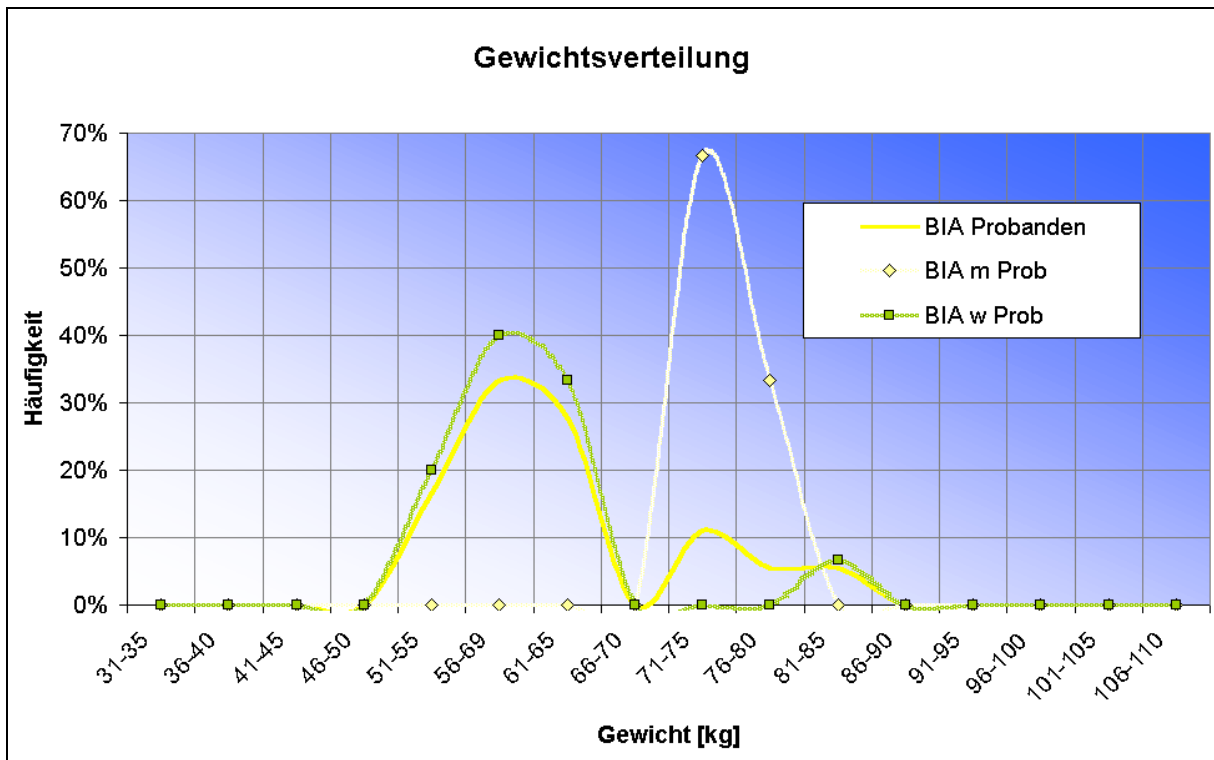
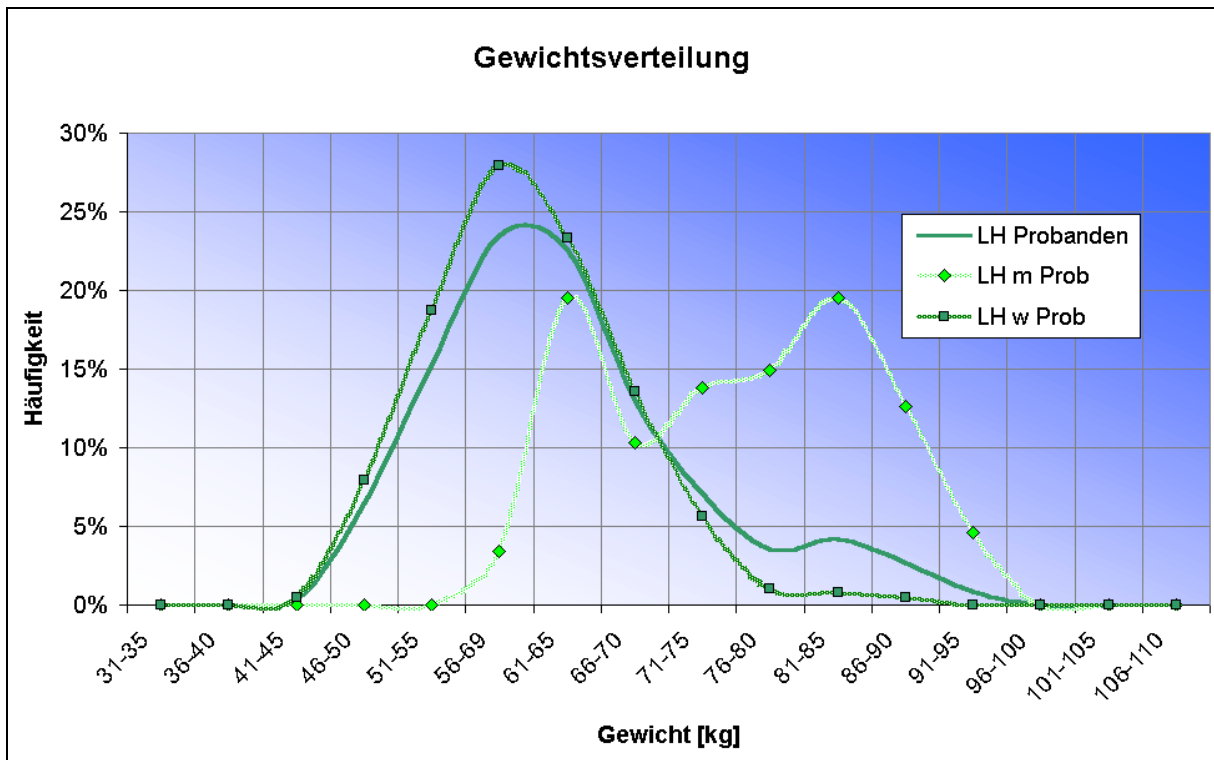


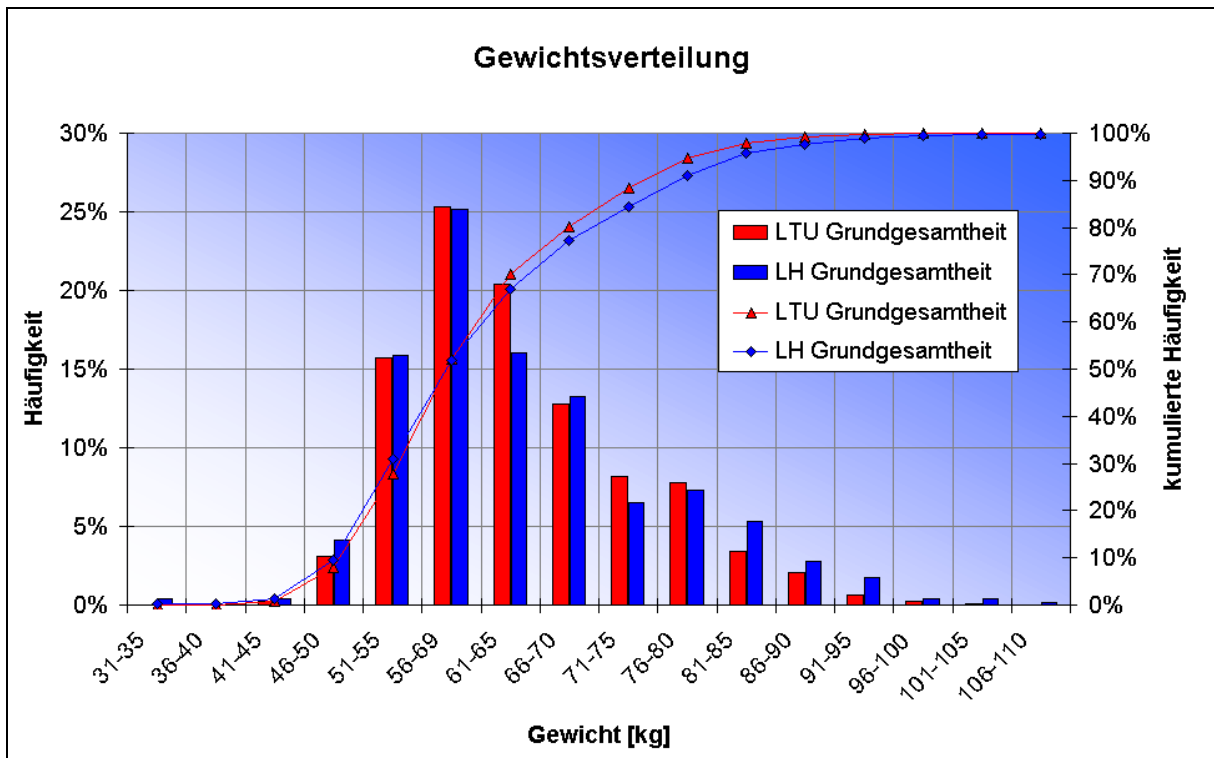
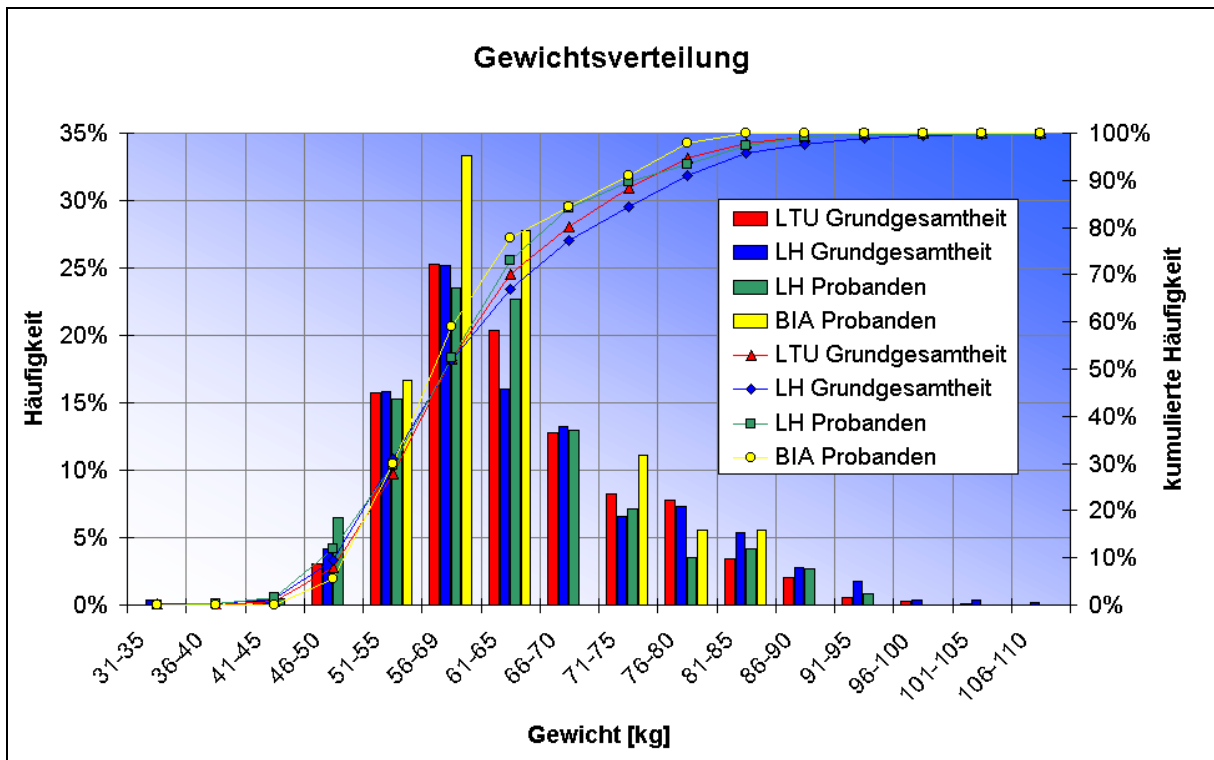


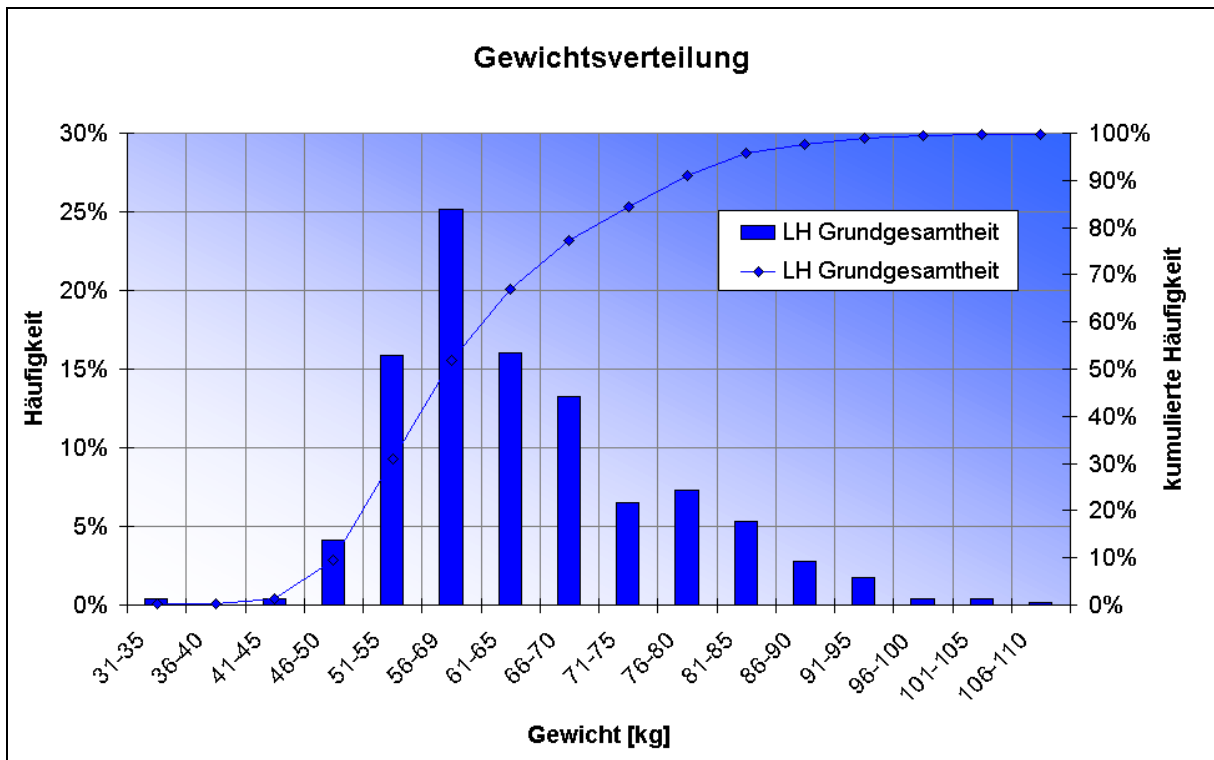
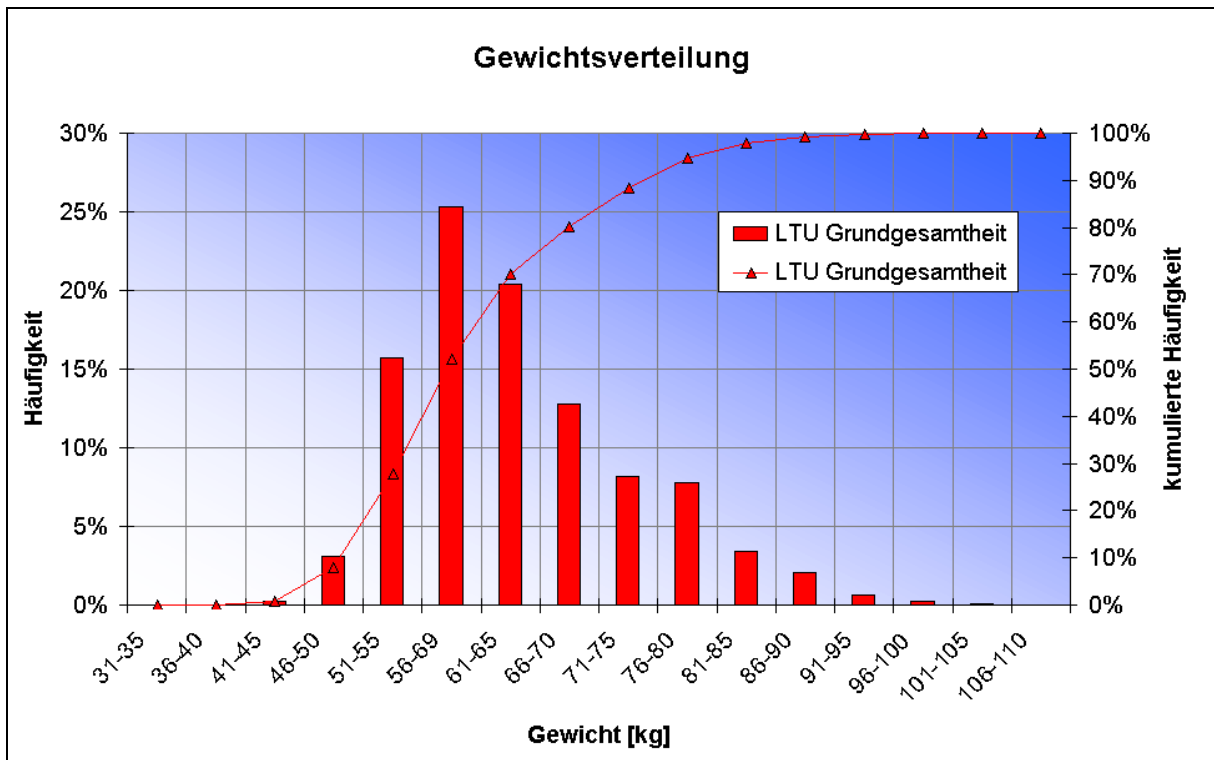
A3.2.3 Gewicht

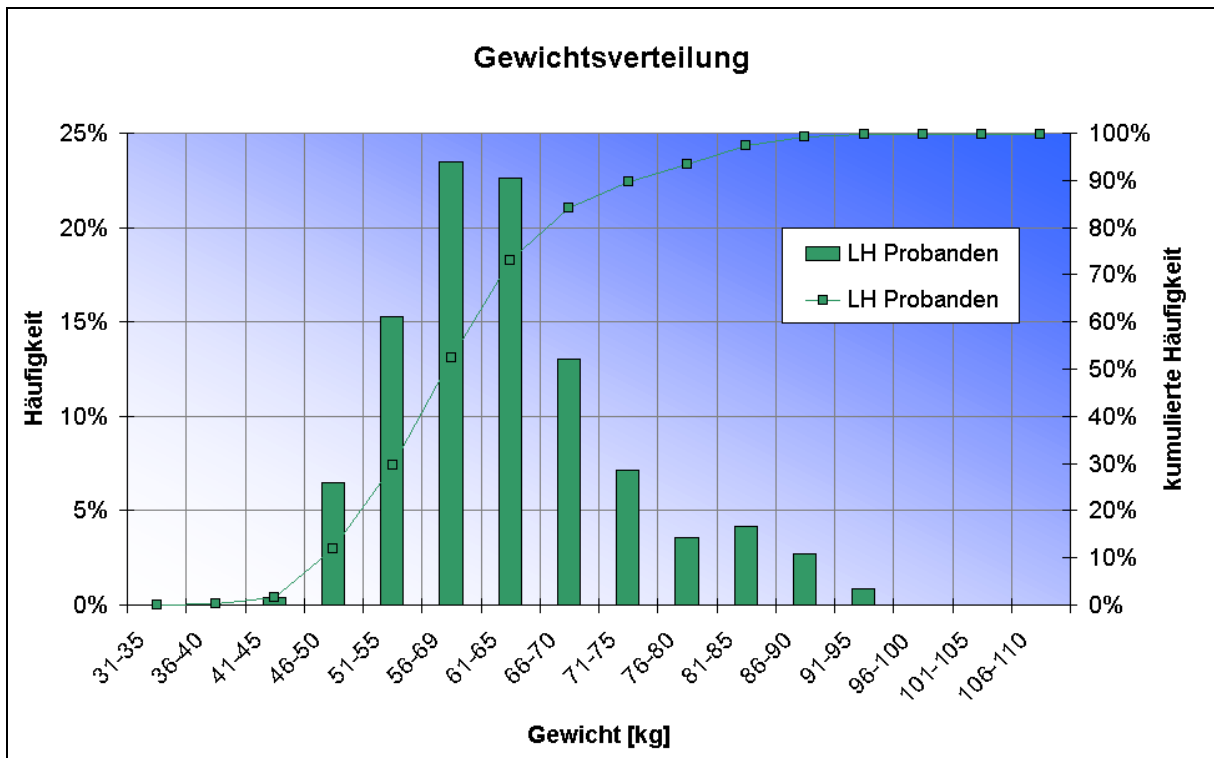
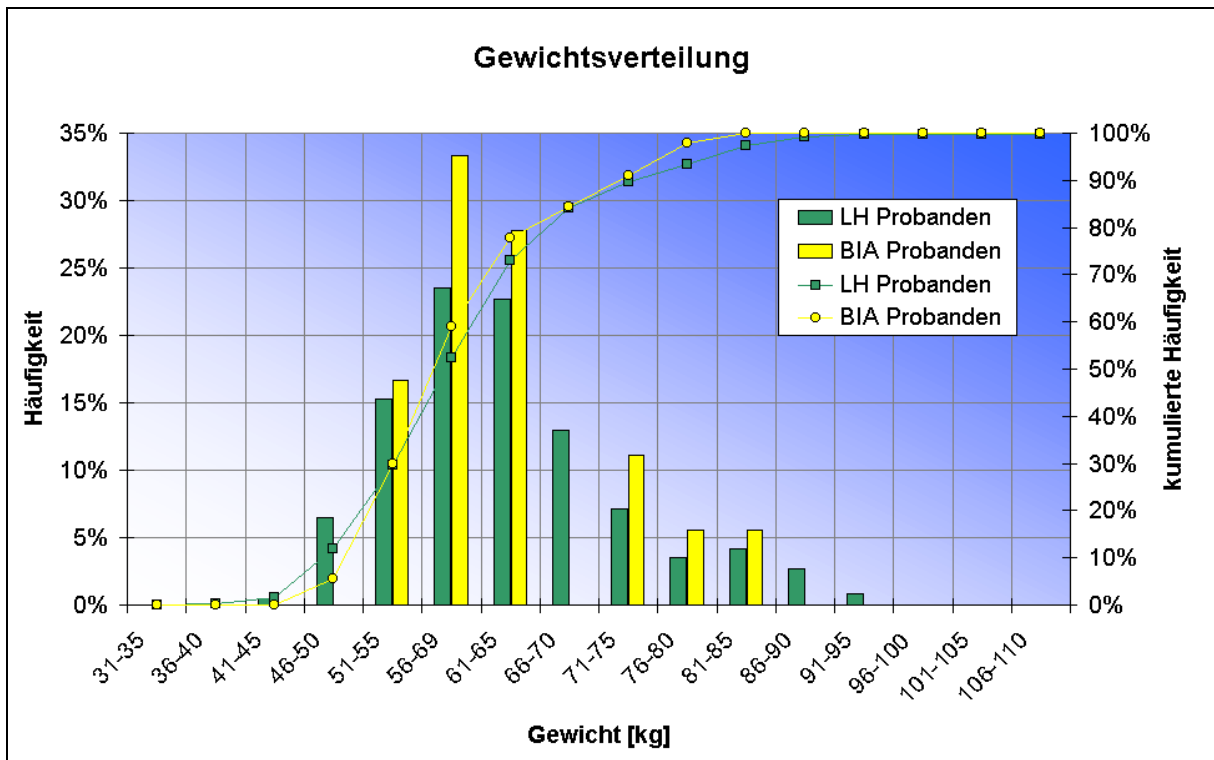


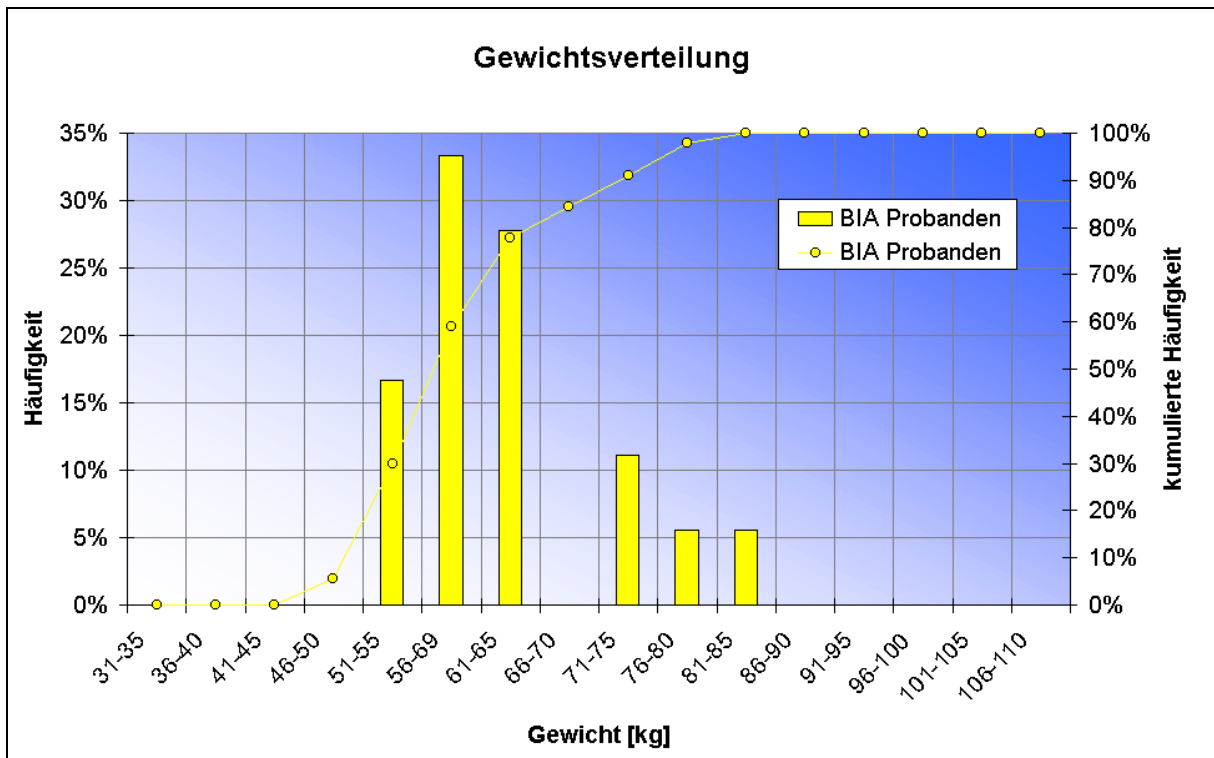
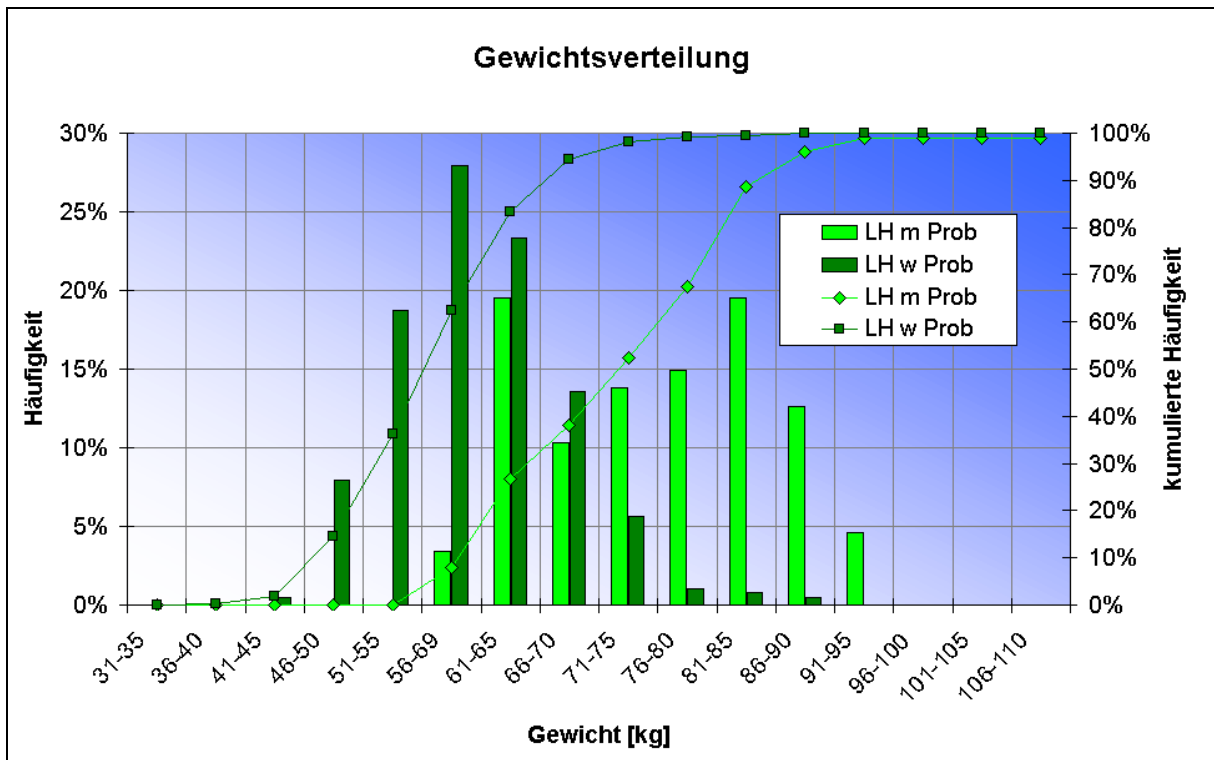


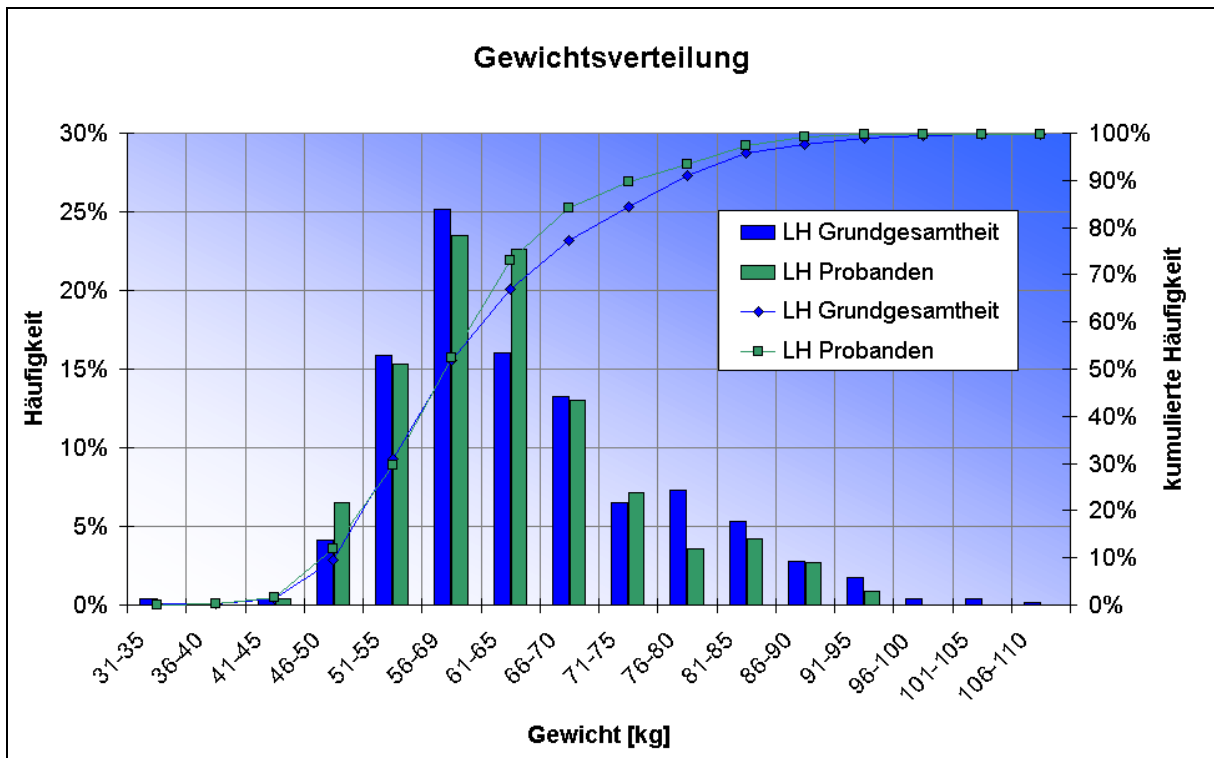
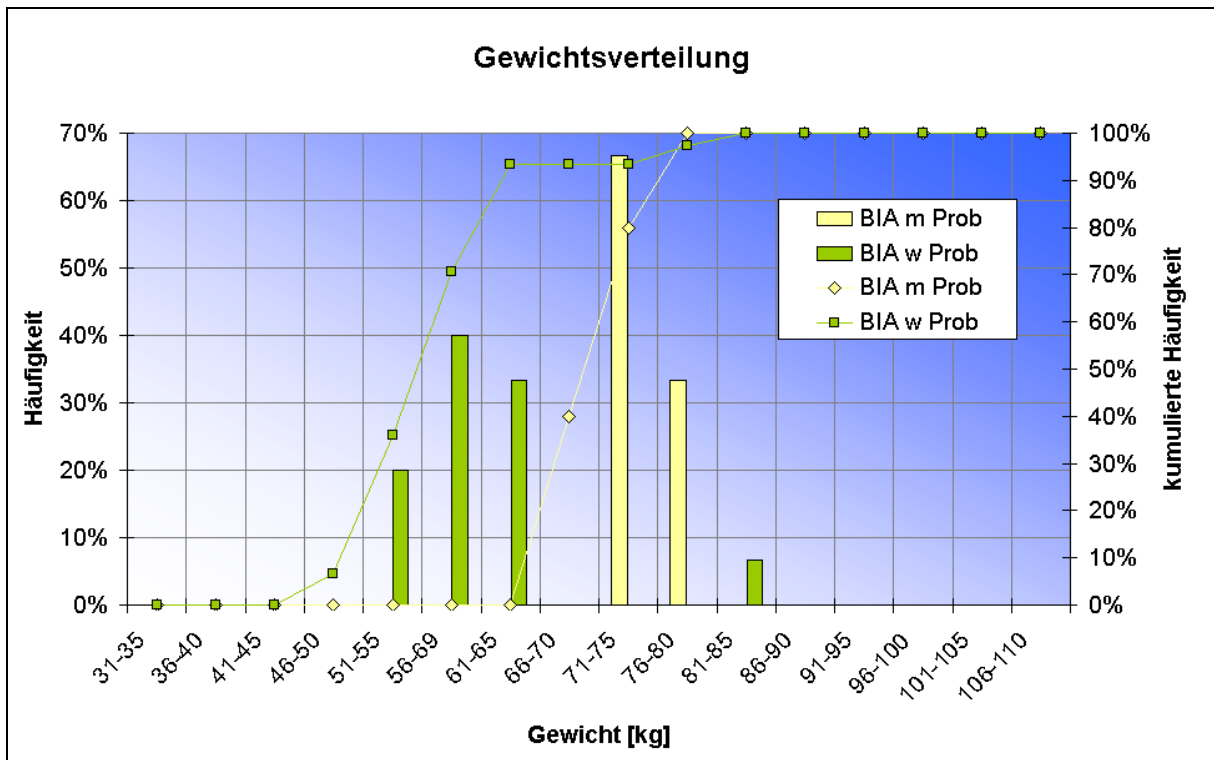






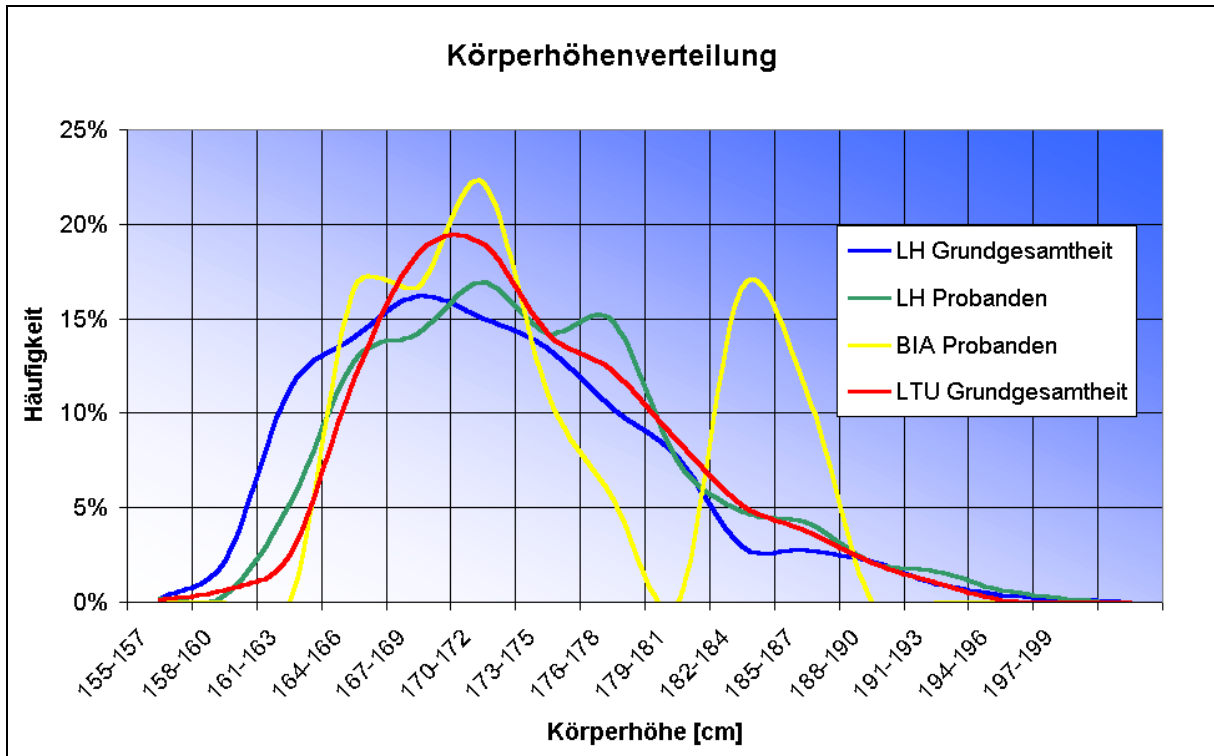
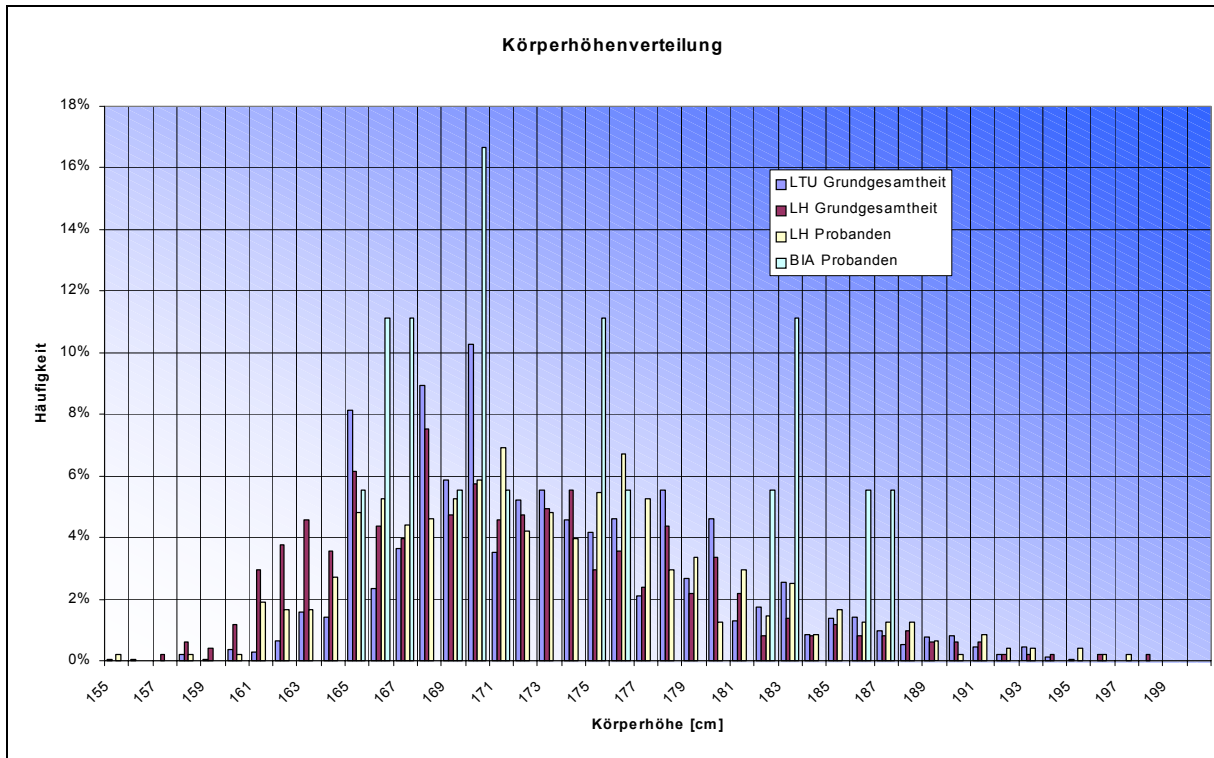


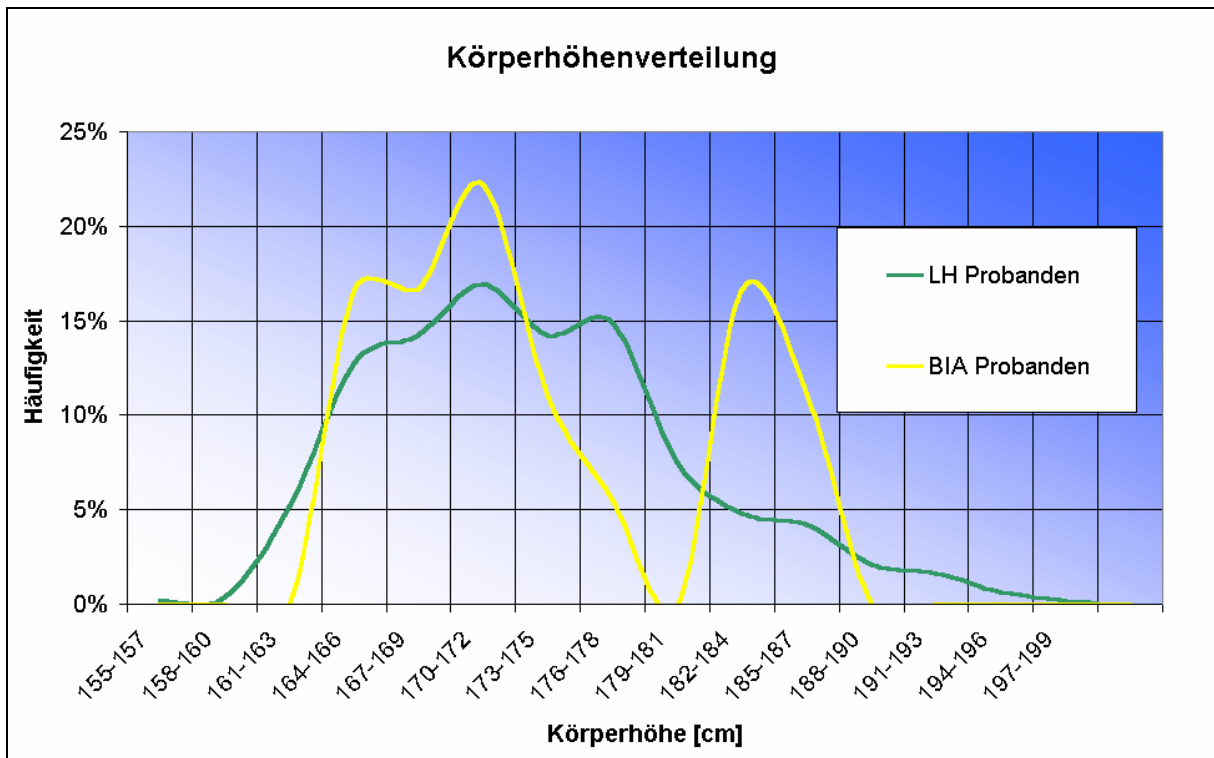
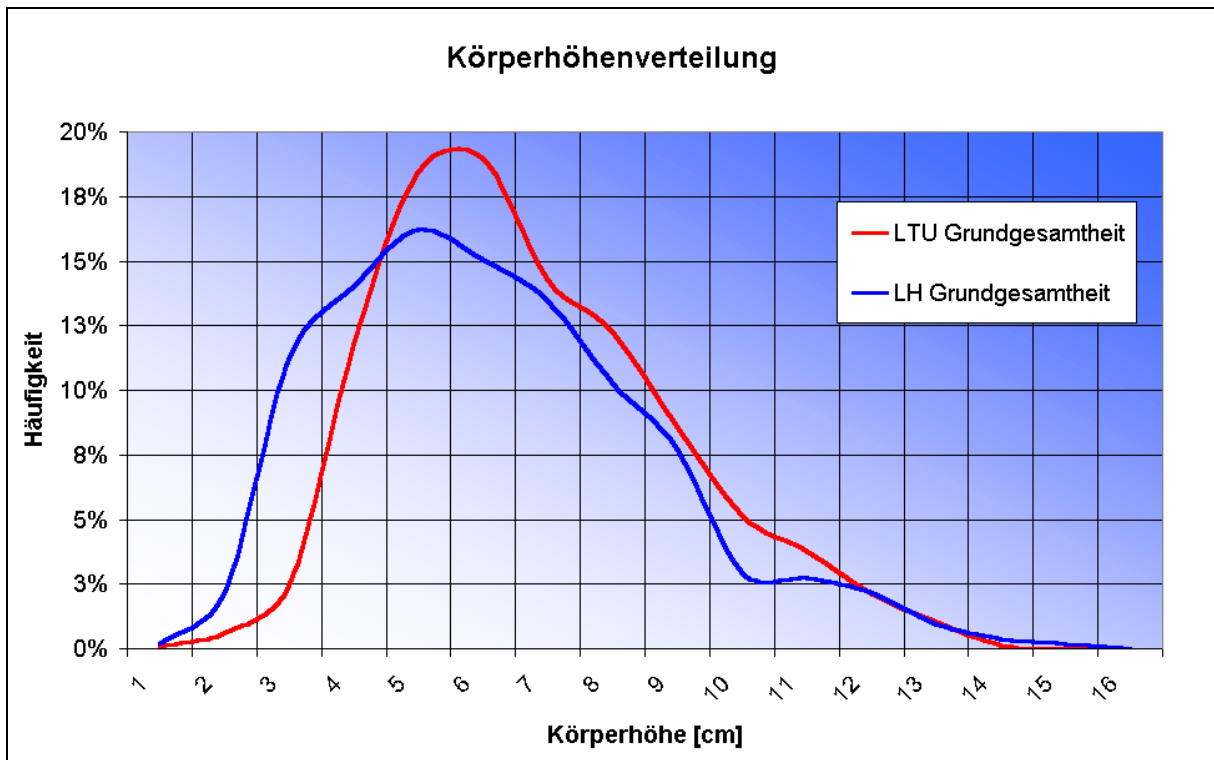


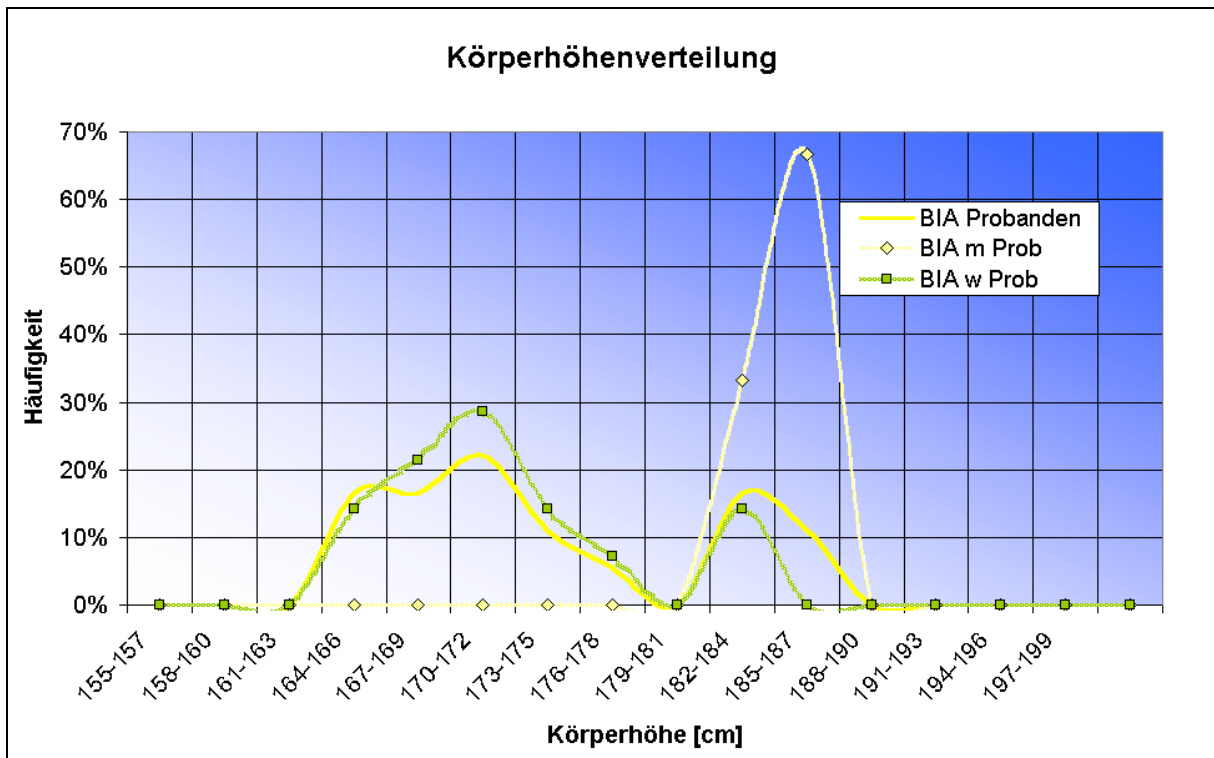
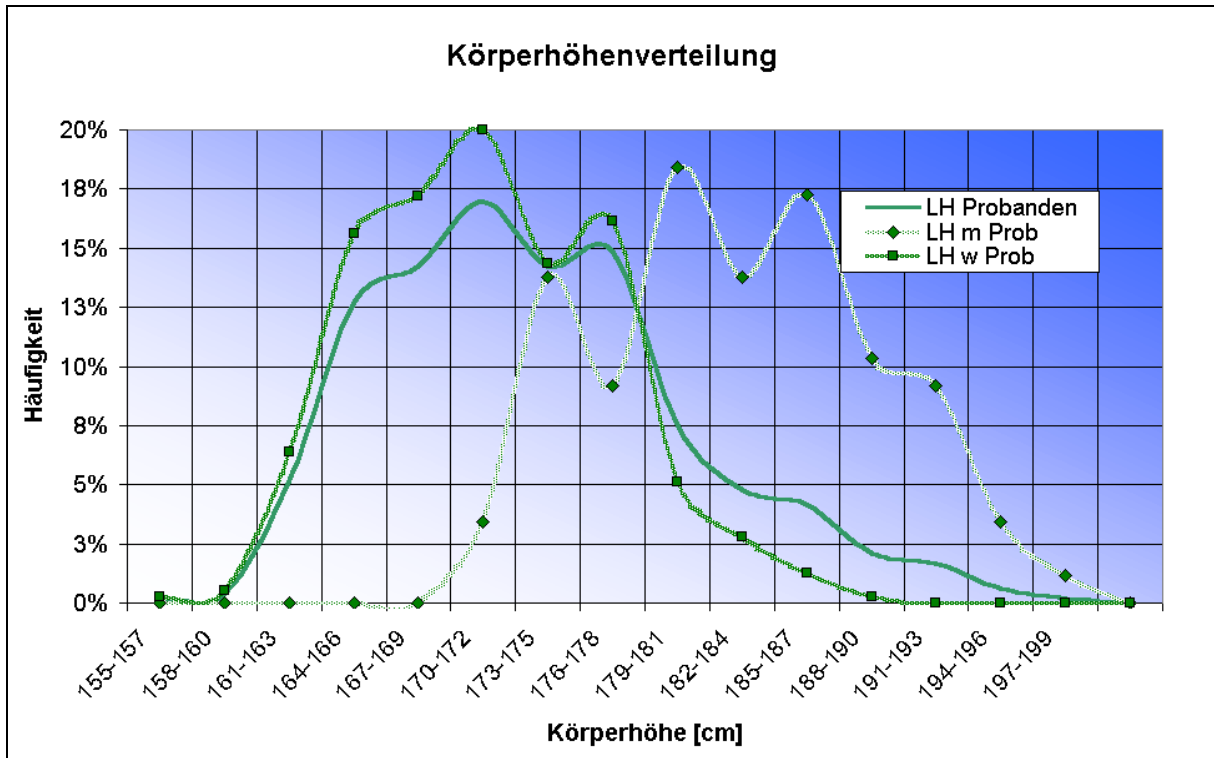


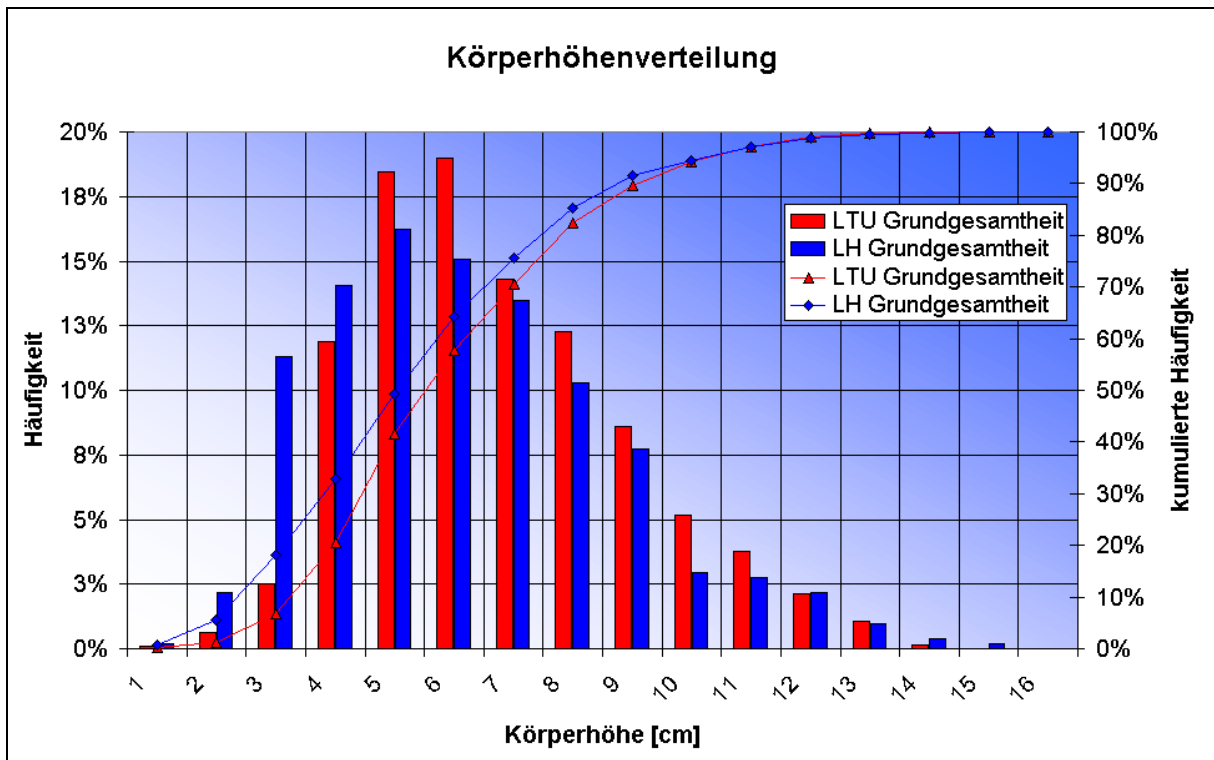
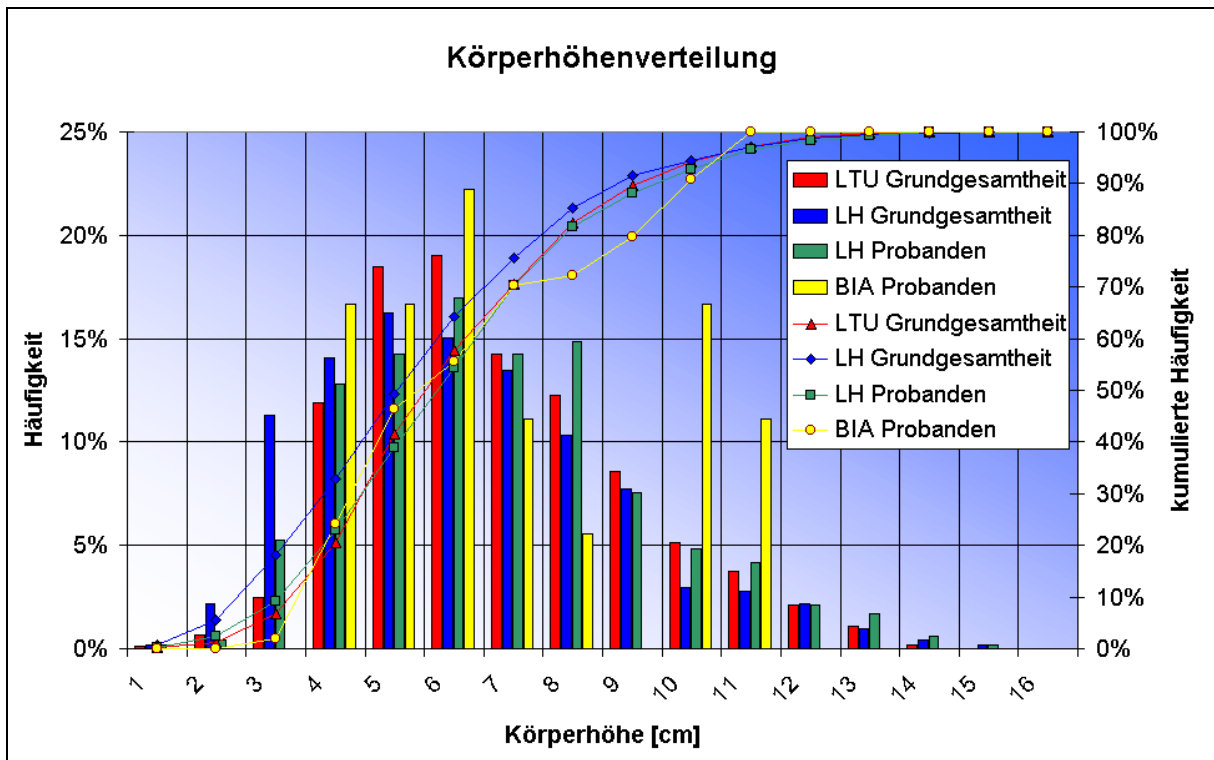


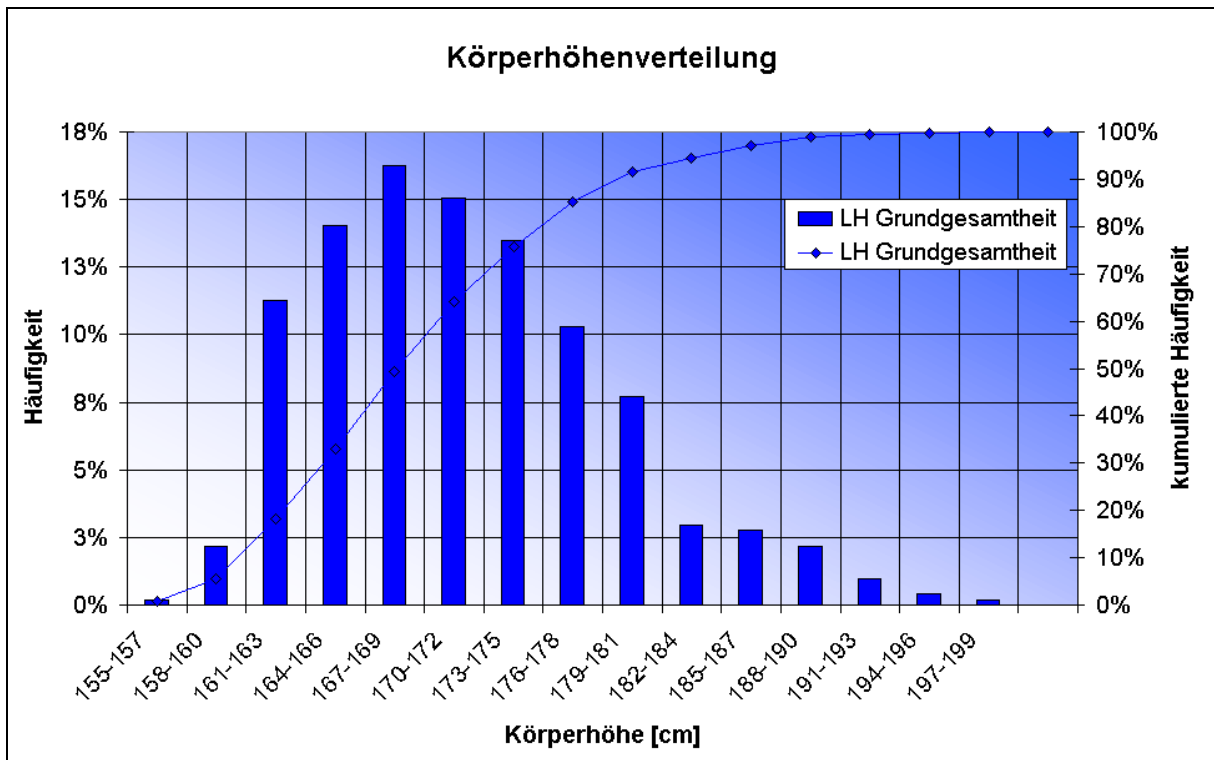
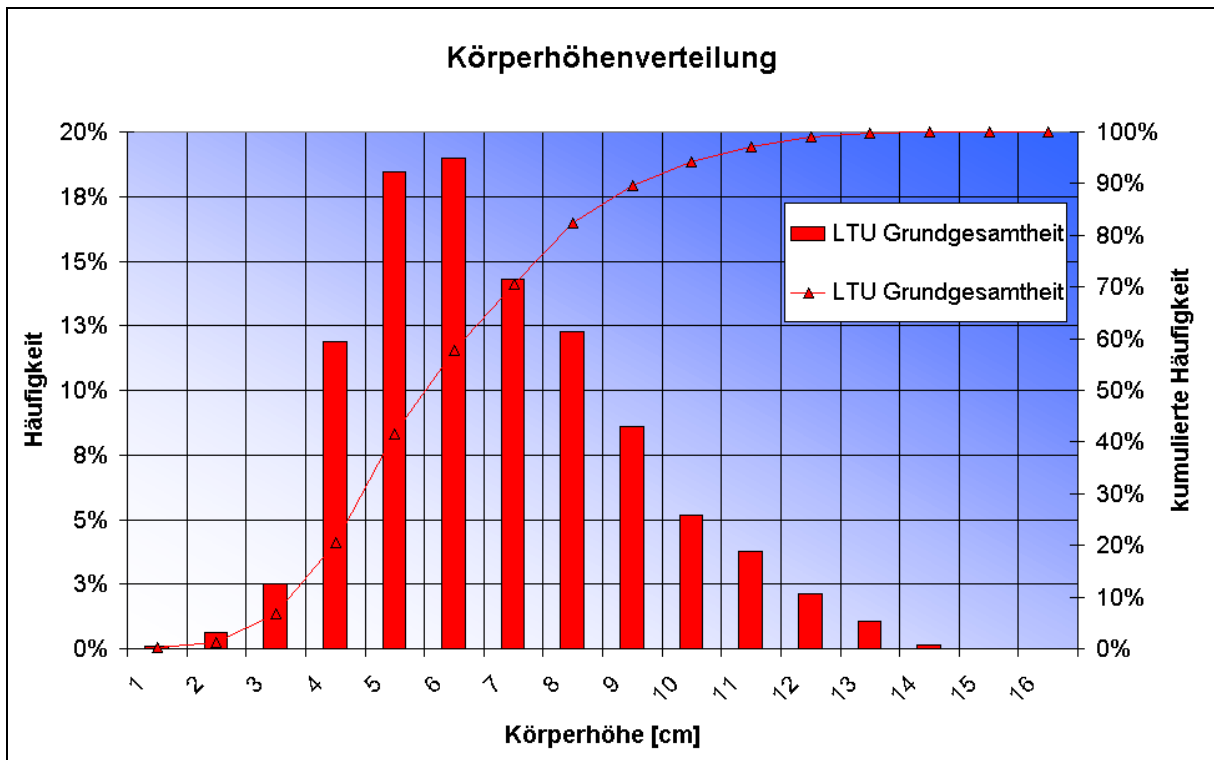
A3.2.4 Körperhöhe

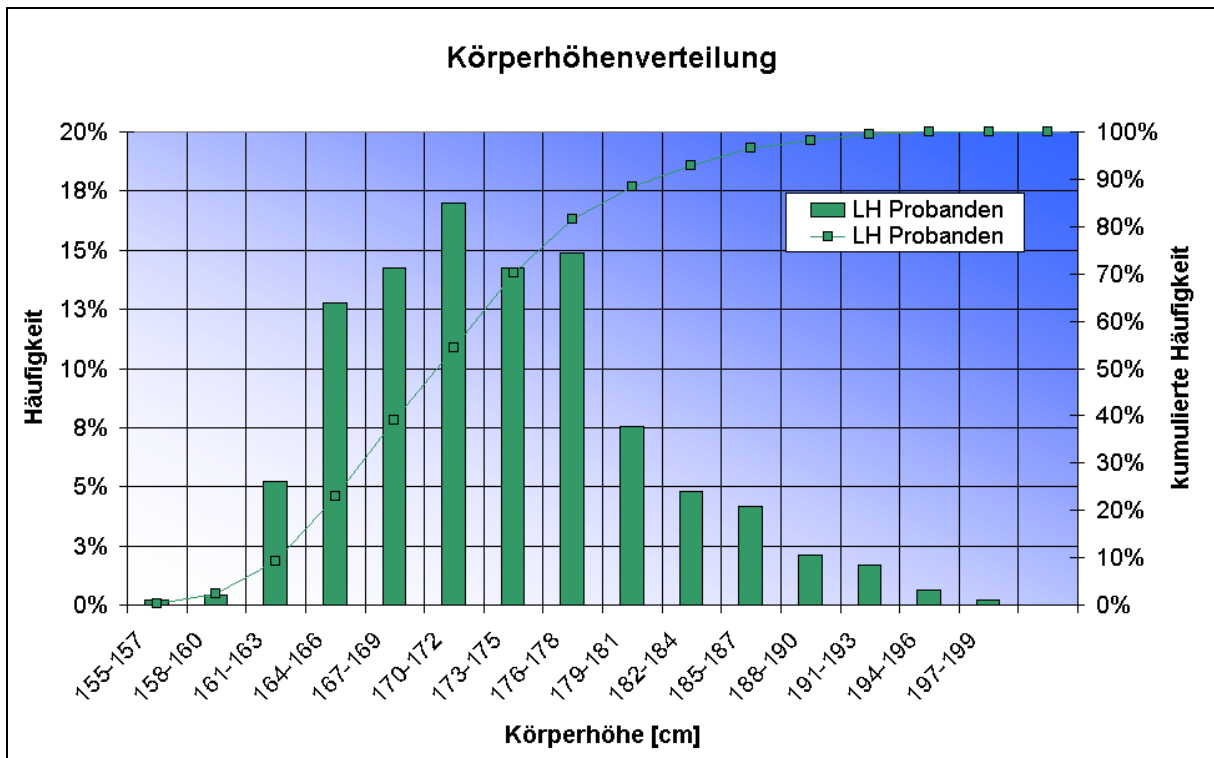
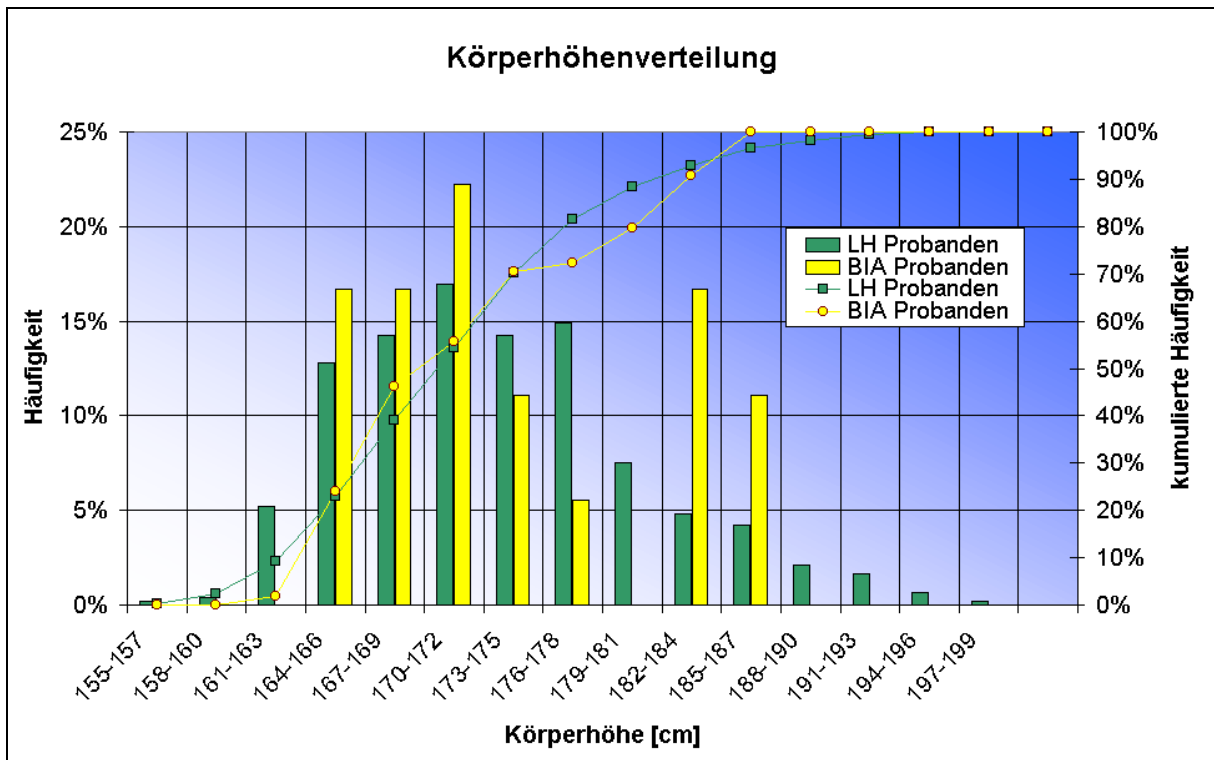


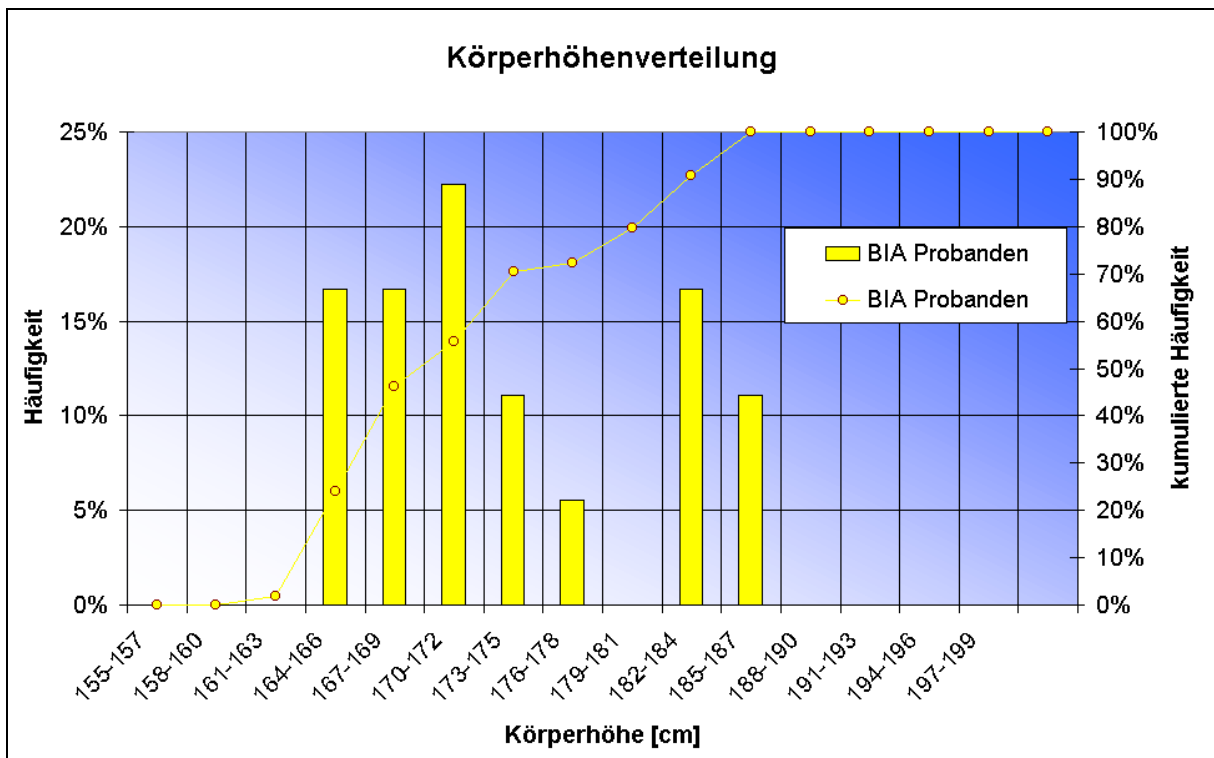
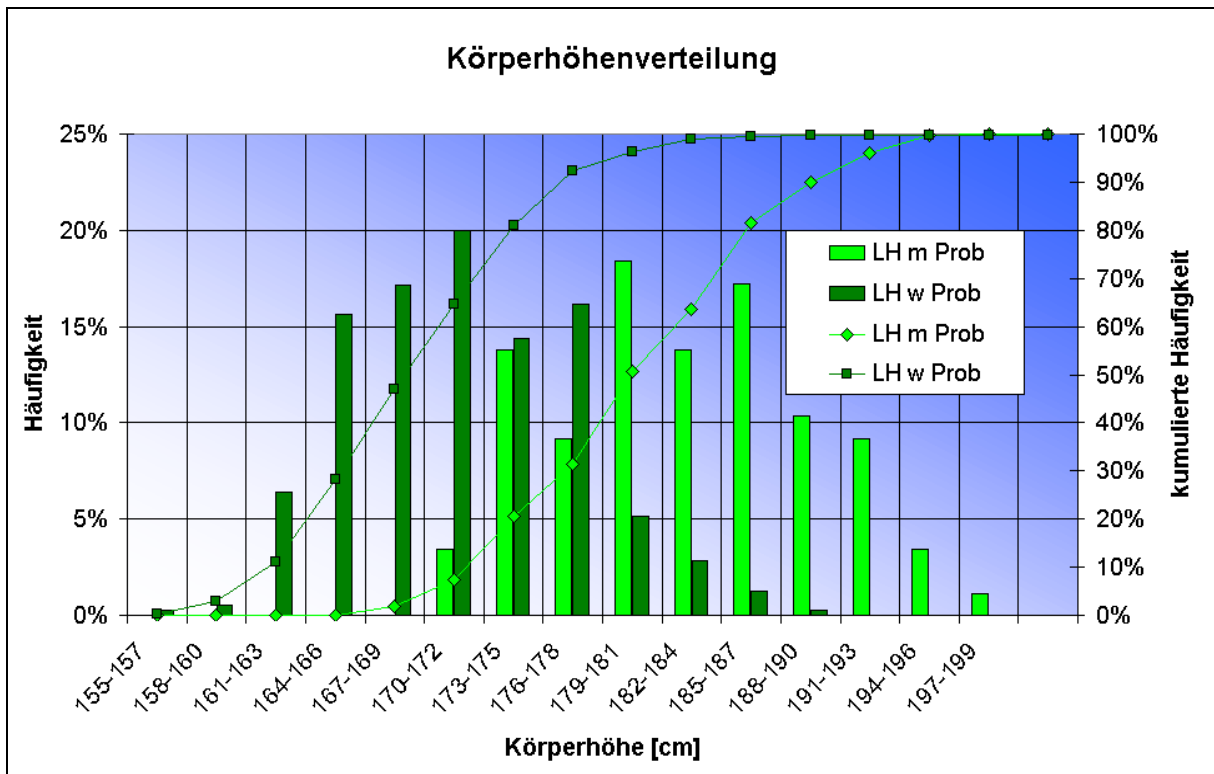


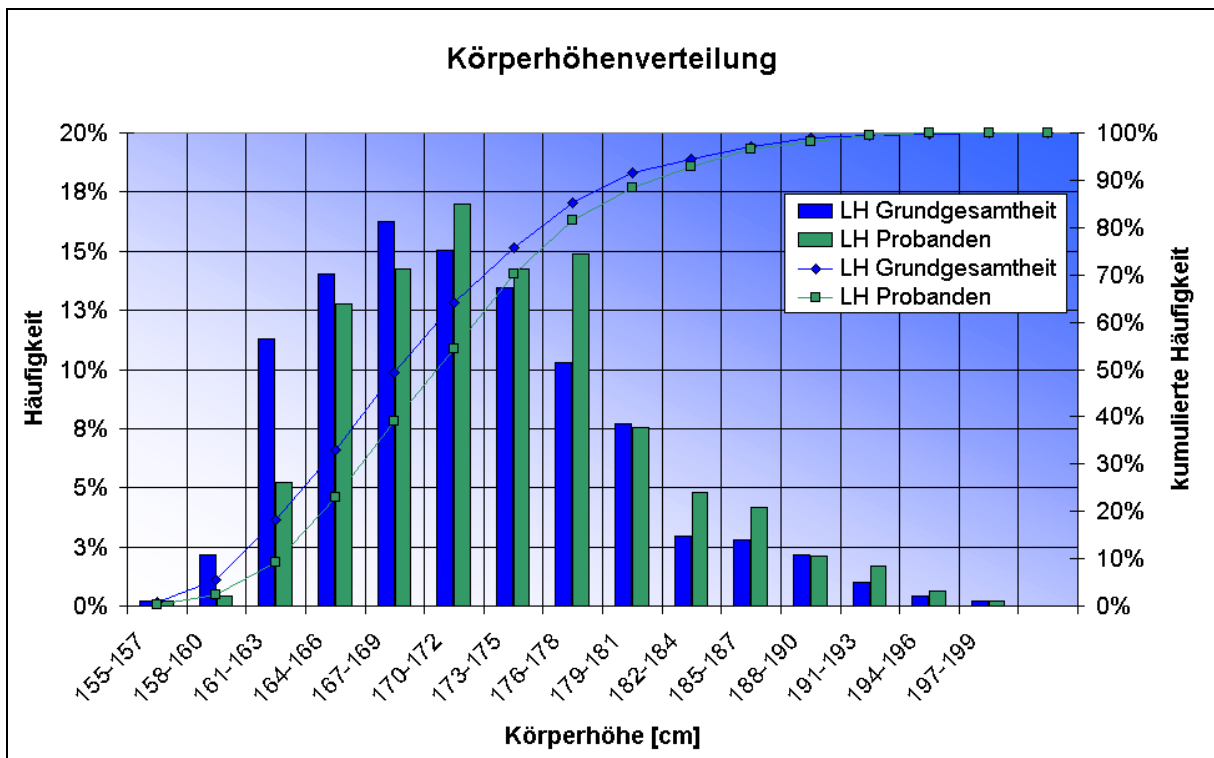
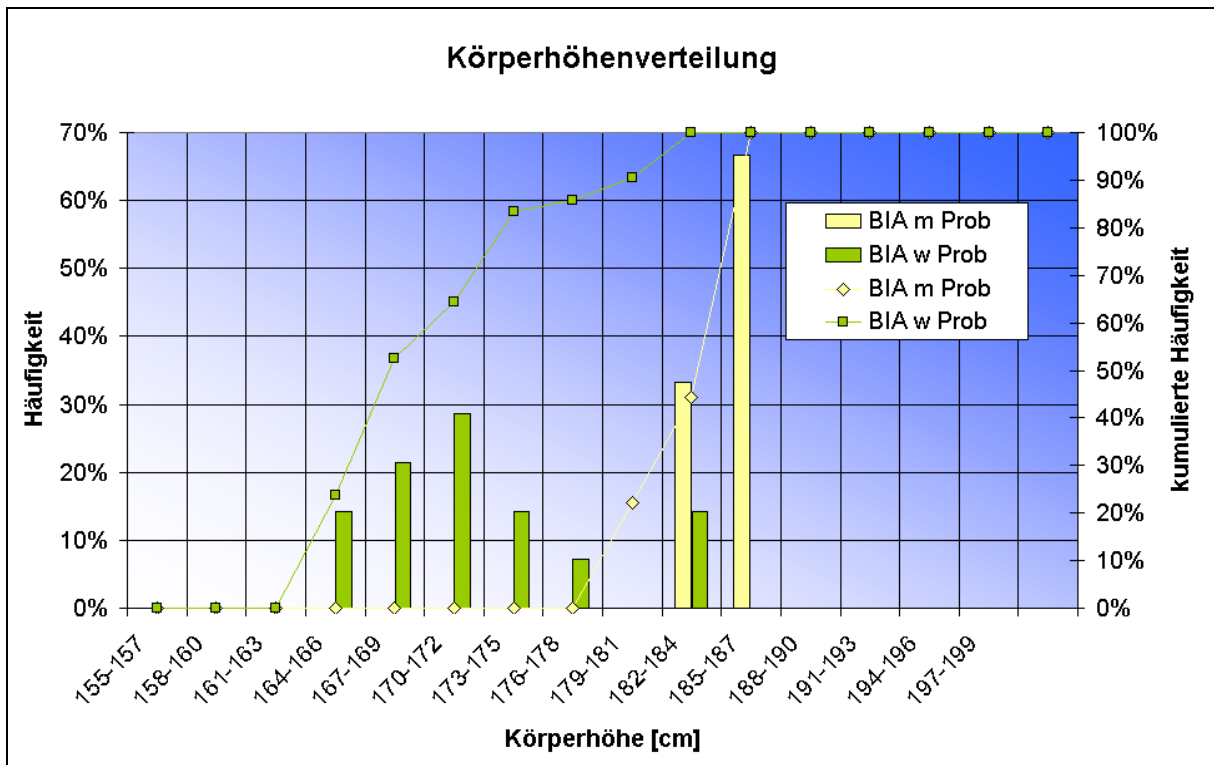








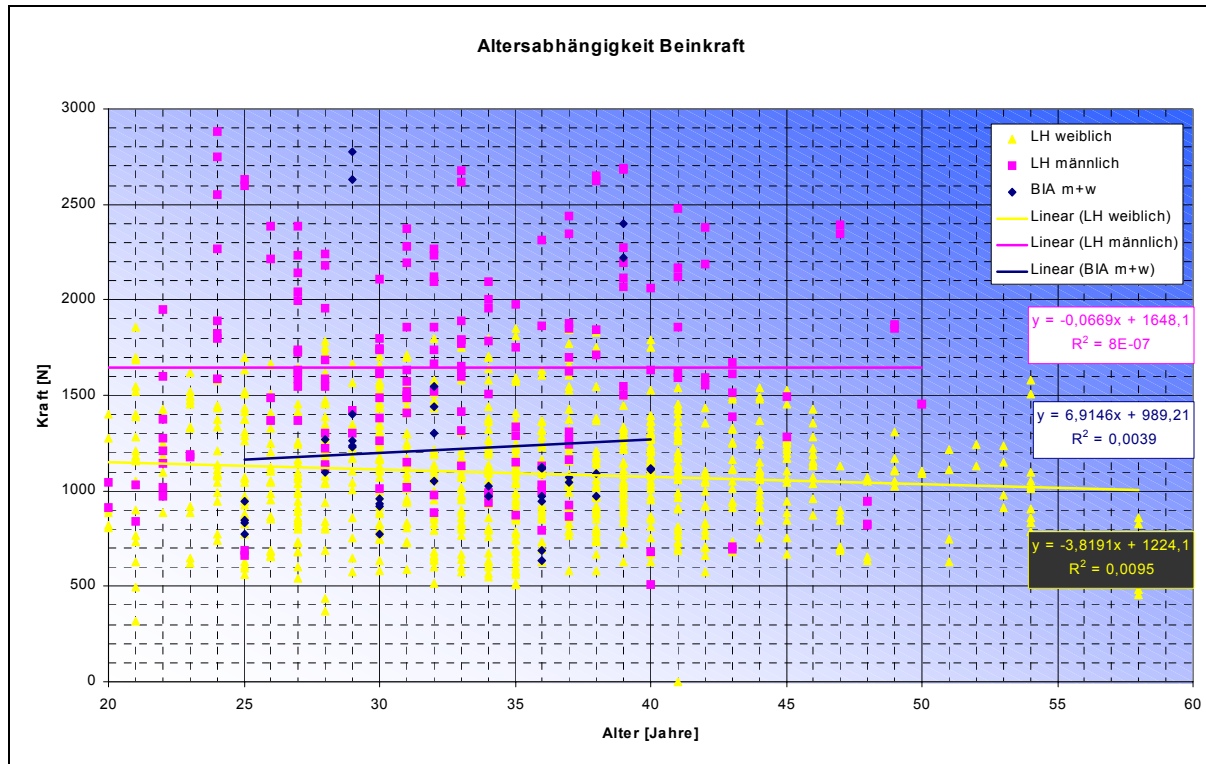


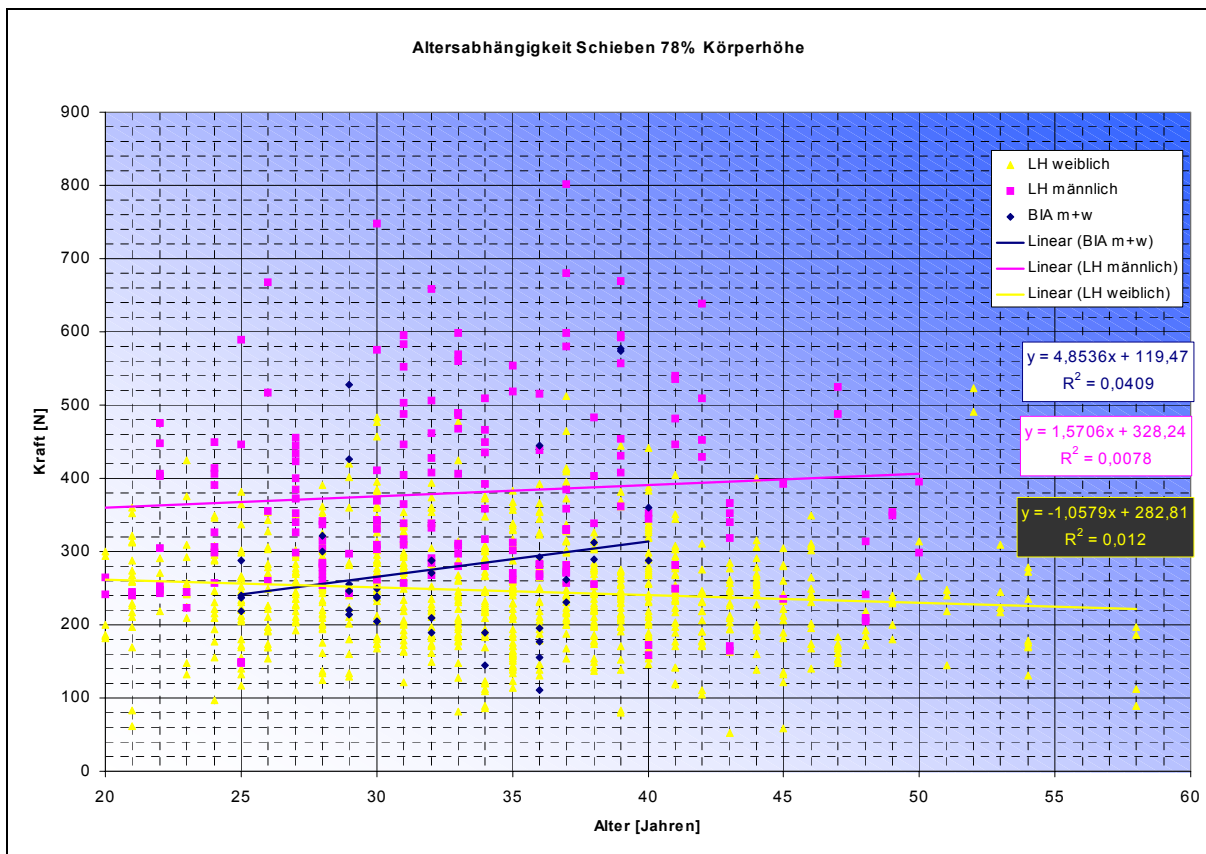
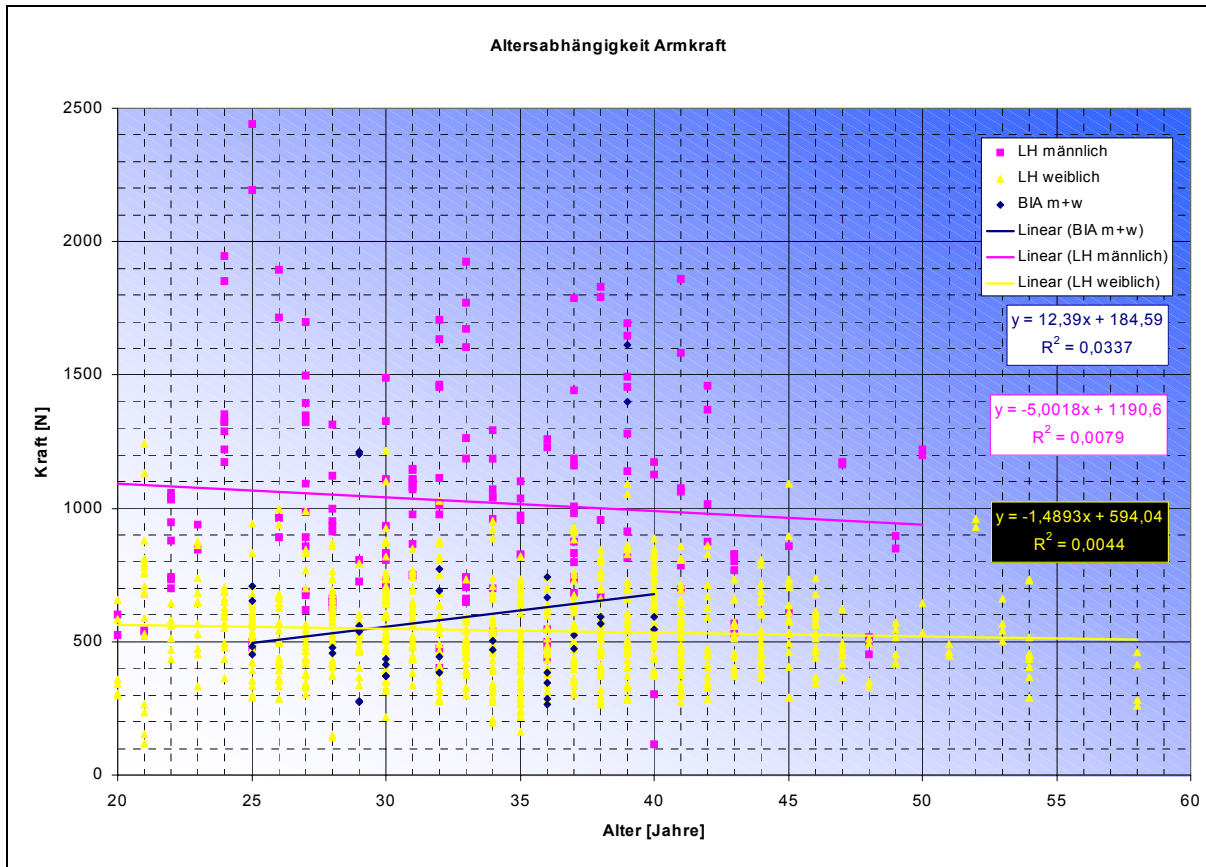


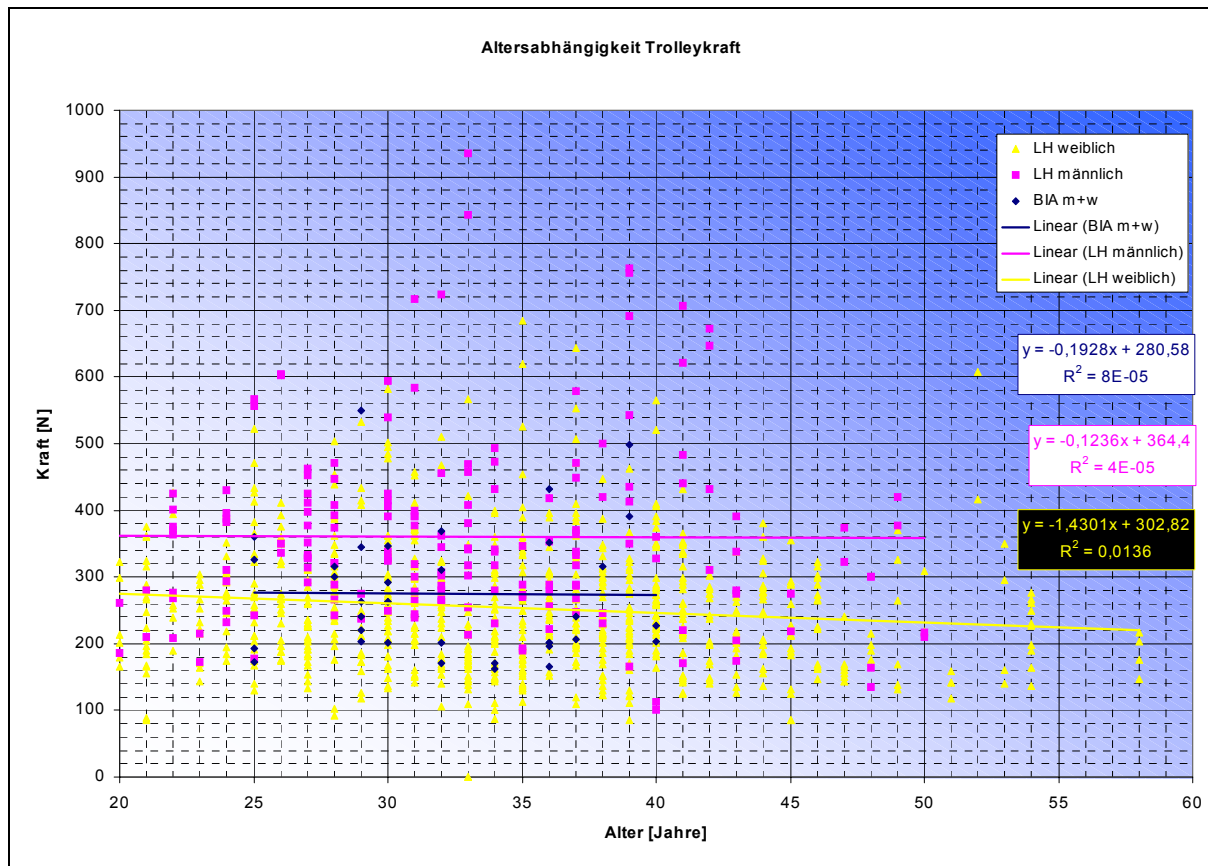


A3.3 Korrelationen zwischen biometrischen Daten und Maximalkraftmessungen

A3.3.1 Alter

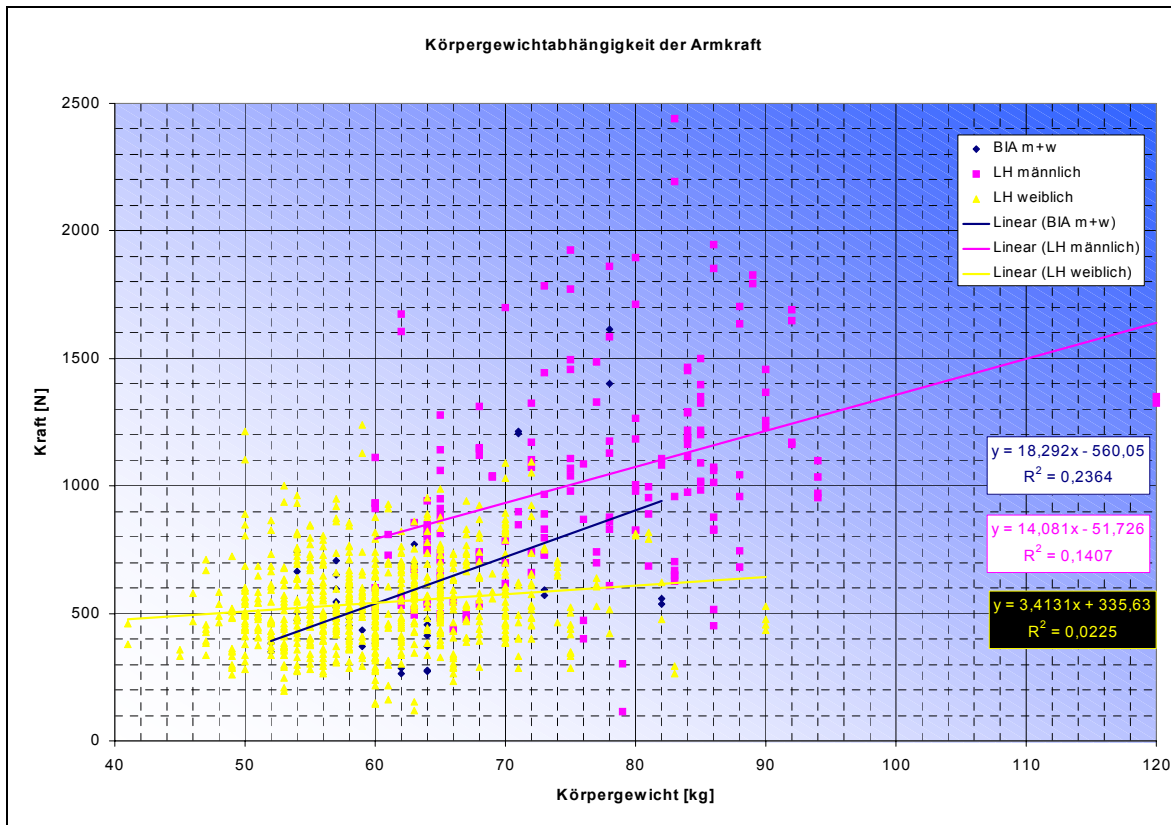
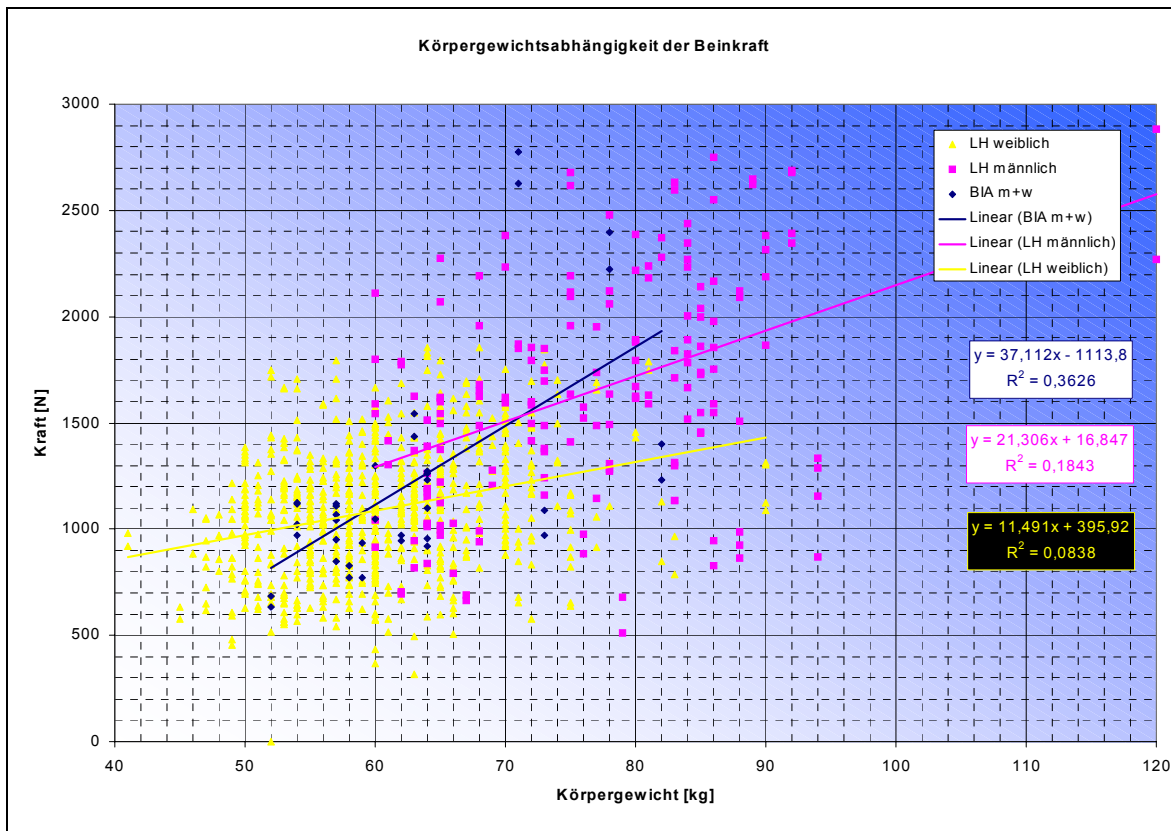


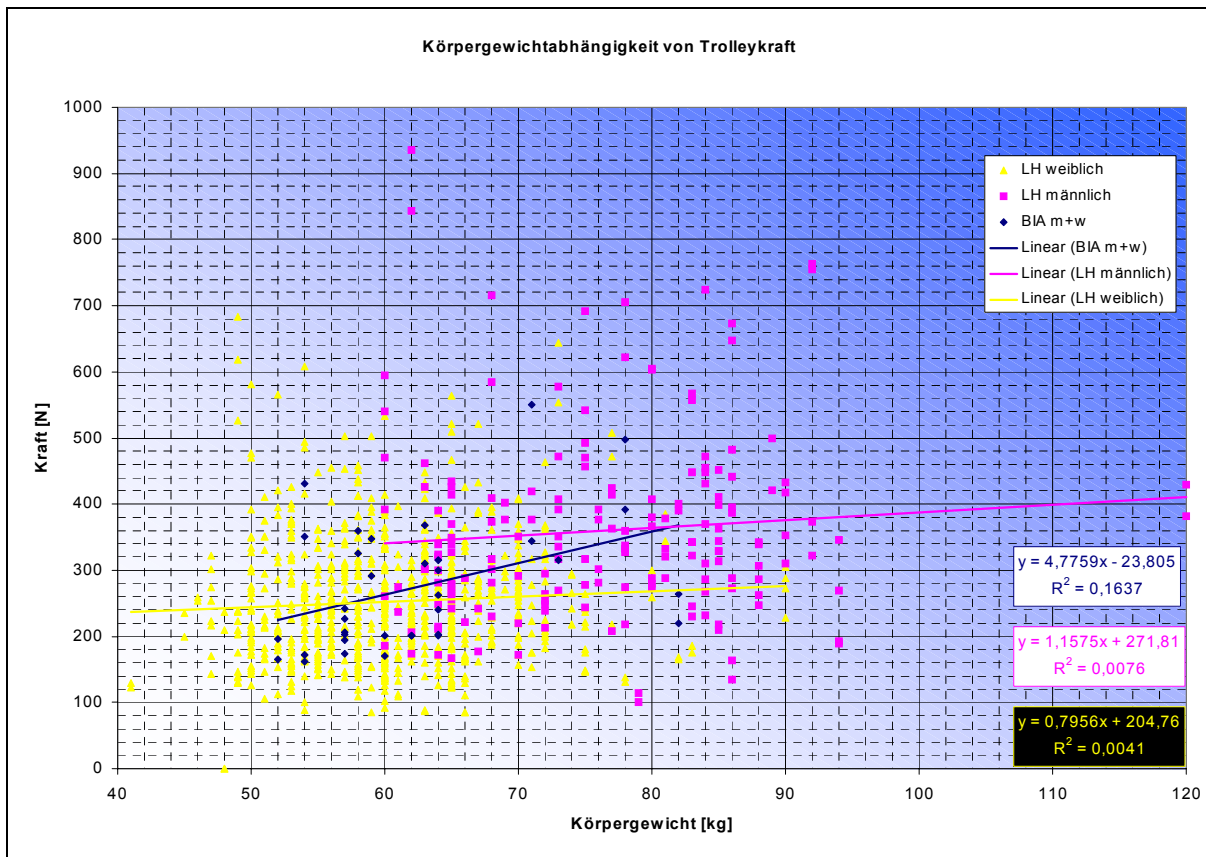
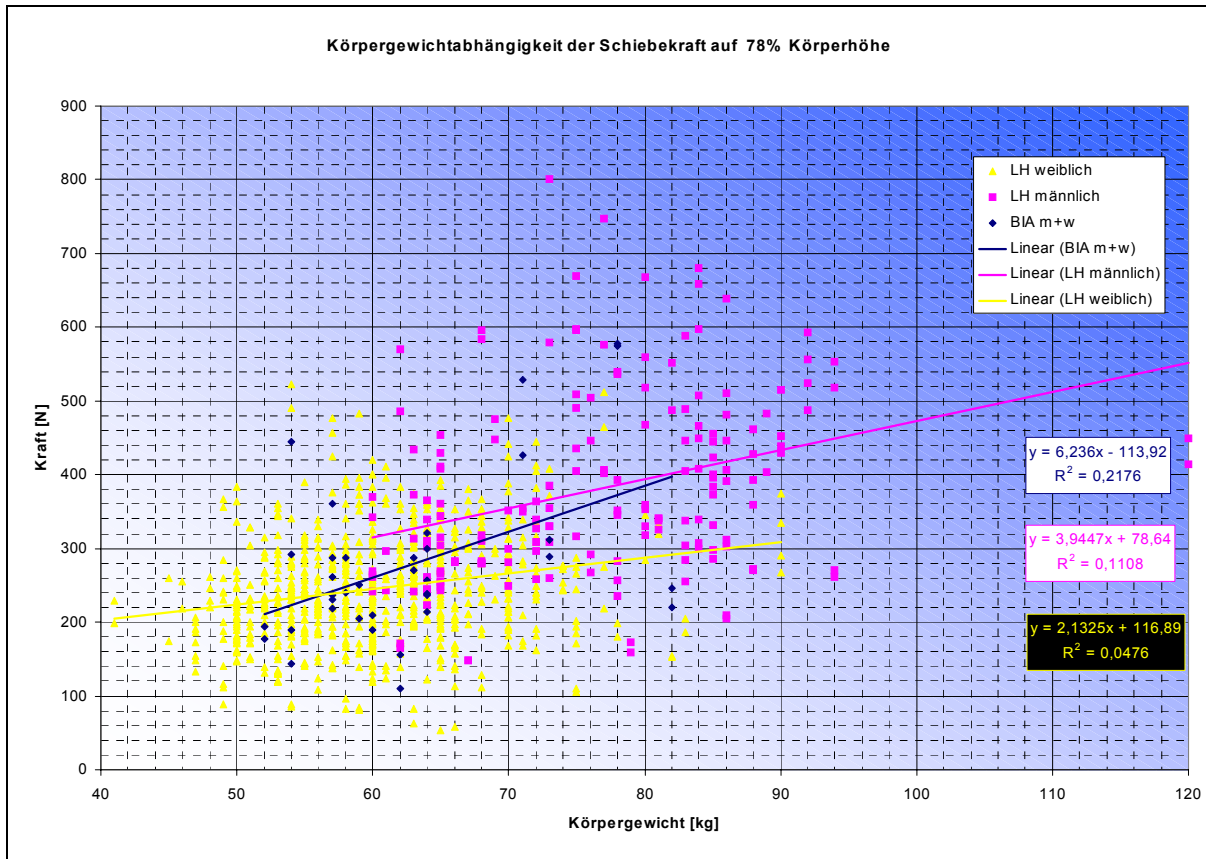






A3.3.2 Gewicht







A3.3.3 Körpergröße

