



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.

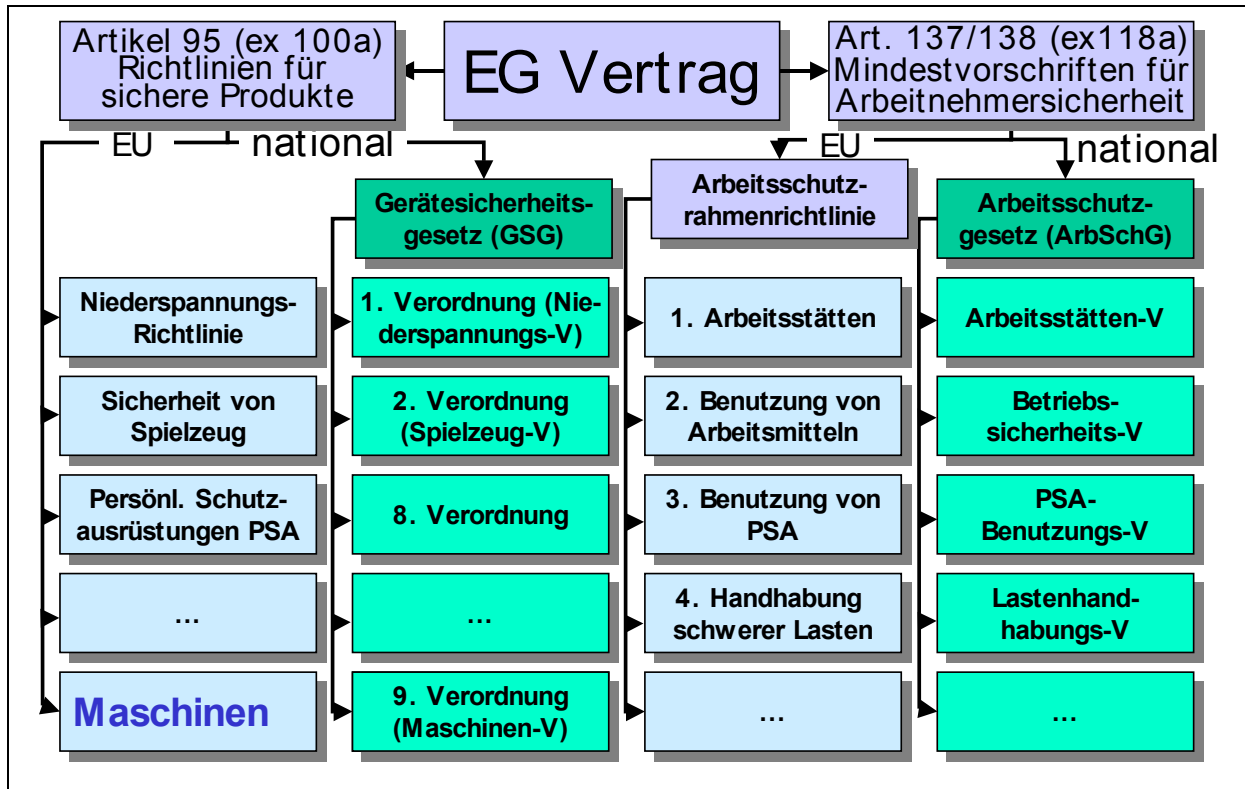
4.1.1 Das Konzept dualer Arbeitssicherheit in der EU

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.

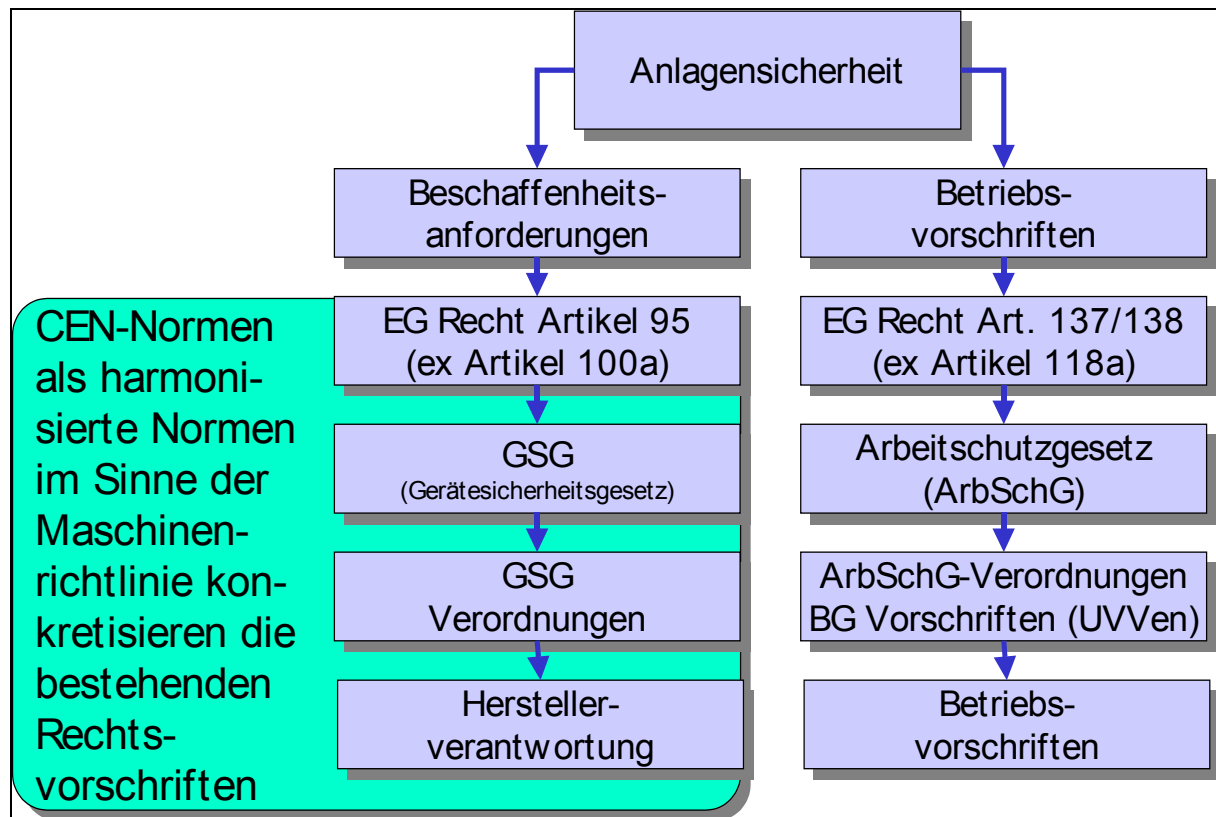
Abbildung 4-2:
Konkretisierung bestehender Rechtsvorschriften durch europäisch harmonisierte Normen

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

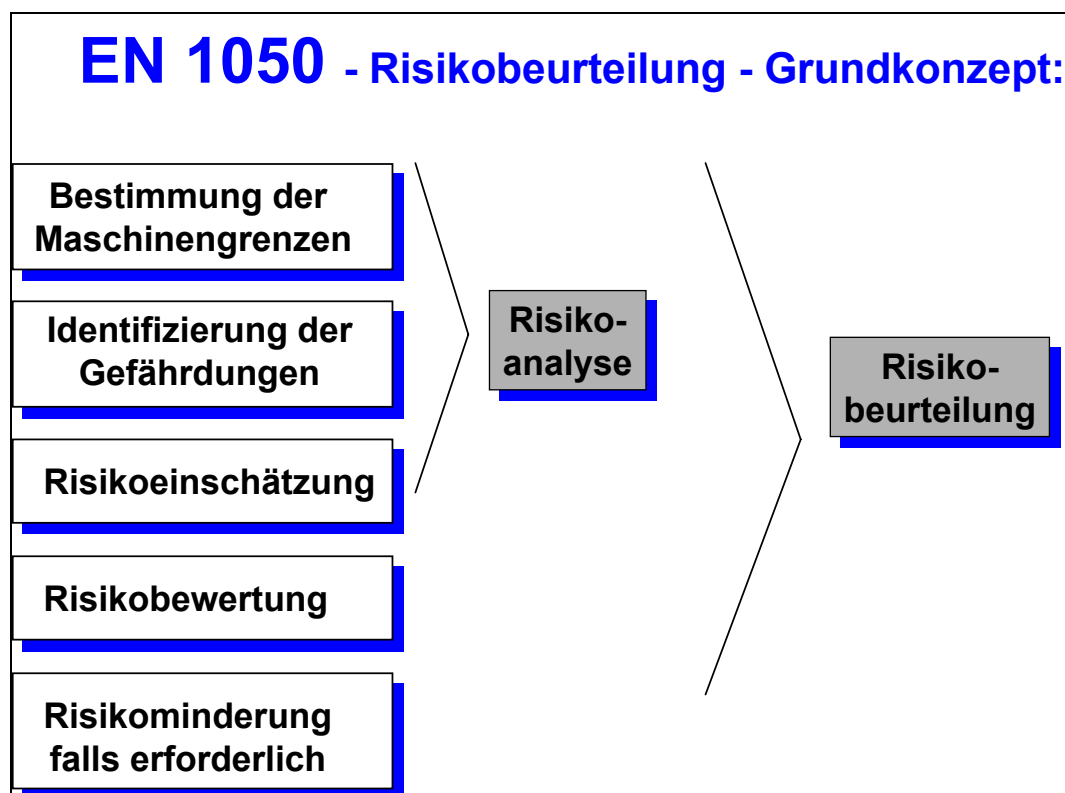




Abbildung 4-5:
Risikodefinition gemäß DIN EN 1050



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.

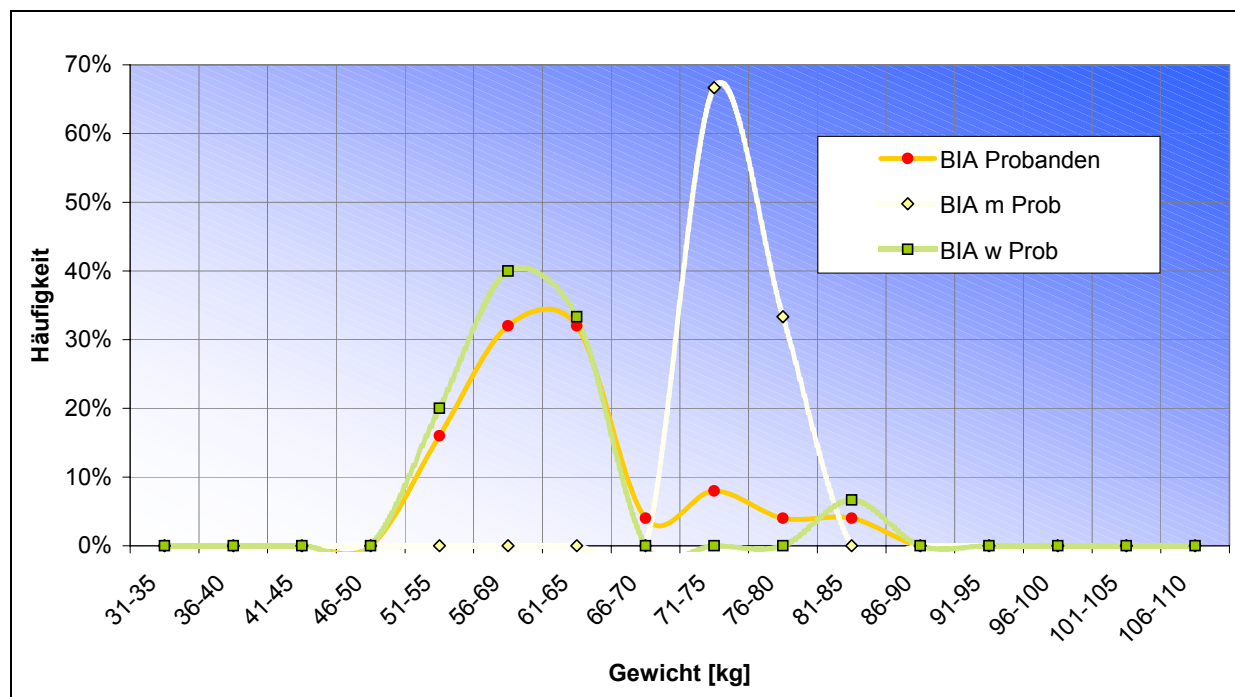
Der einfacheren Lektüre halber seien nachfolgend einige Charakteristika dieses Kollektives beschrieben. Die Darstellung von Verteilungshäufigkeiten ist für solch kleine Kollektive ($n = 25$) nur sehr begrenzt sinnvoll. Die Abbildungen 4-8 bis 4-10 (siehe Seite 56 bis 58) dienen somit nur der Vergleichbarkeit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

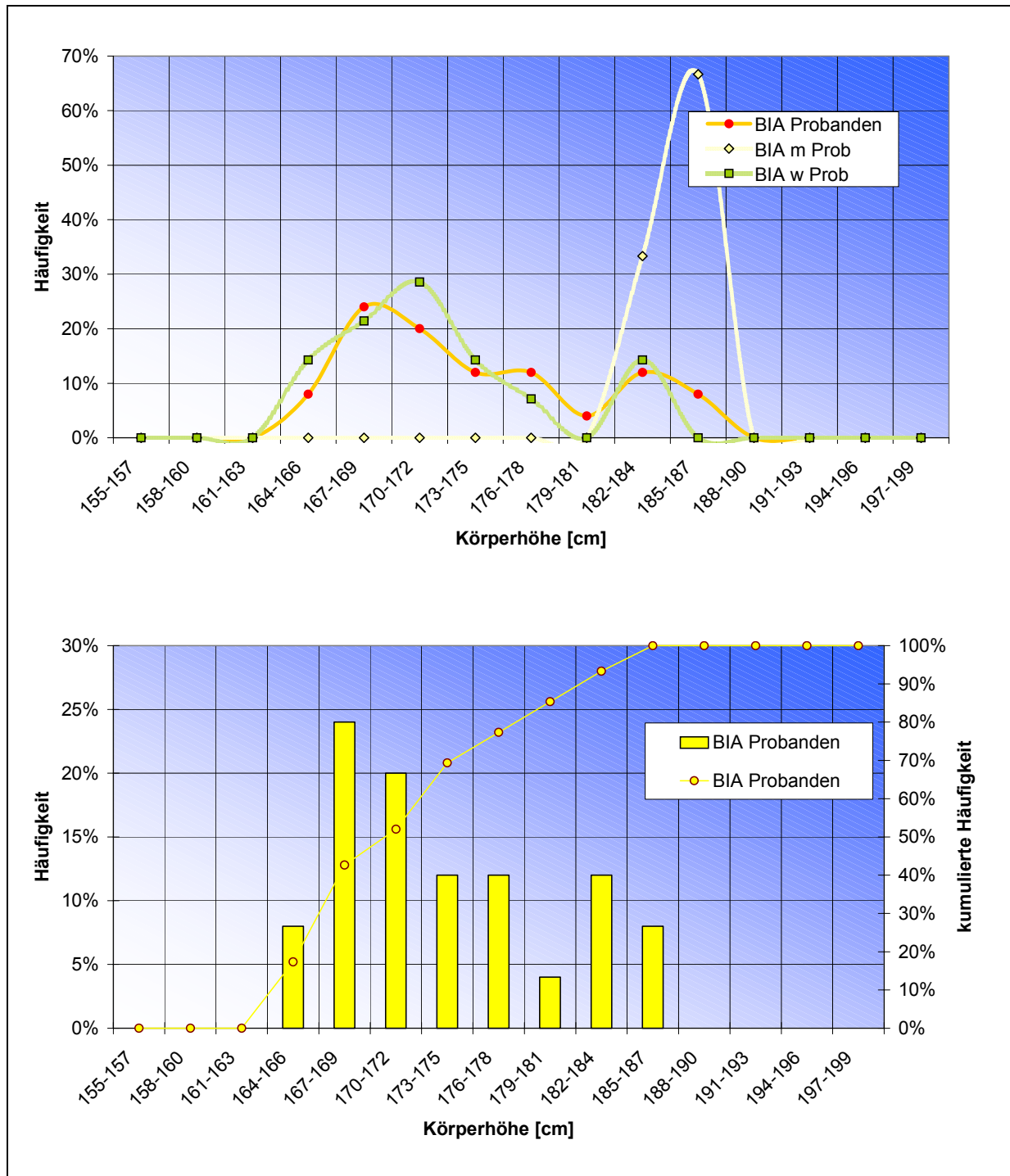
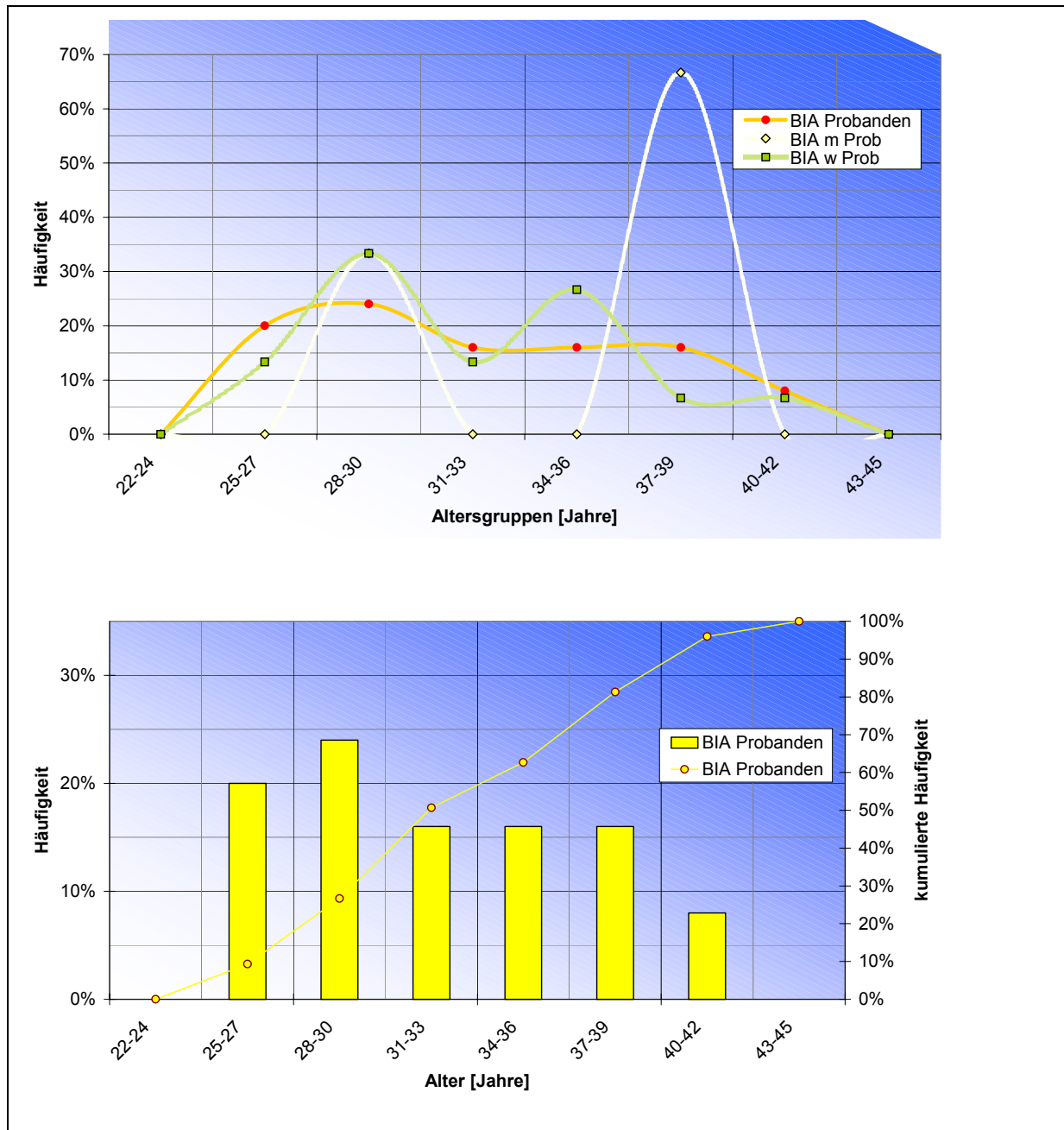




Abbildung 4-10:
Altersverteilung der BIA-Probanden ($n = 25$)



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 ($n = 478$)

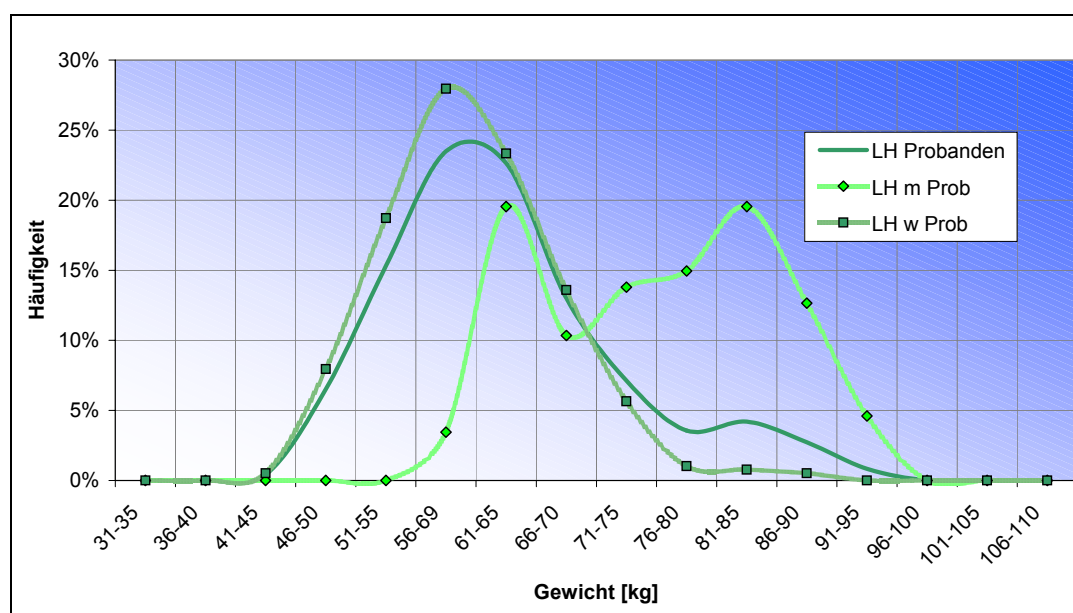




Abbildung 4-12:
Größenverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

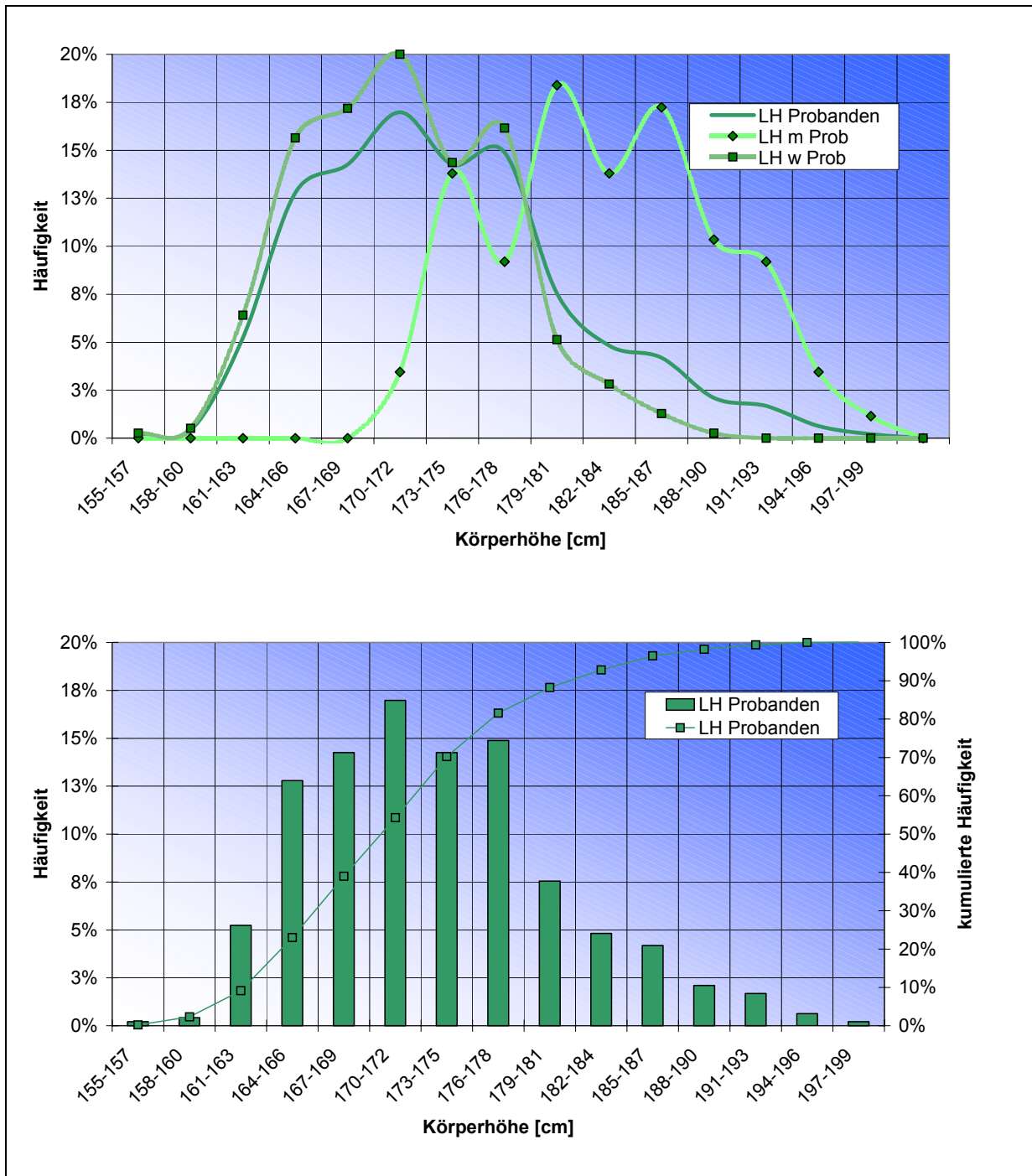




Abbildung 4-13:
Altersverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

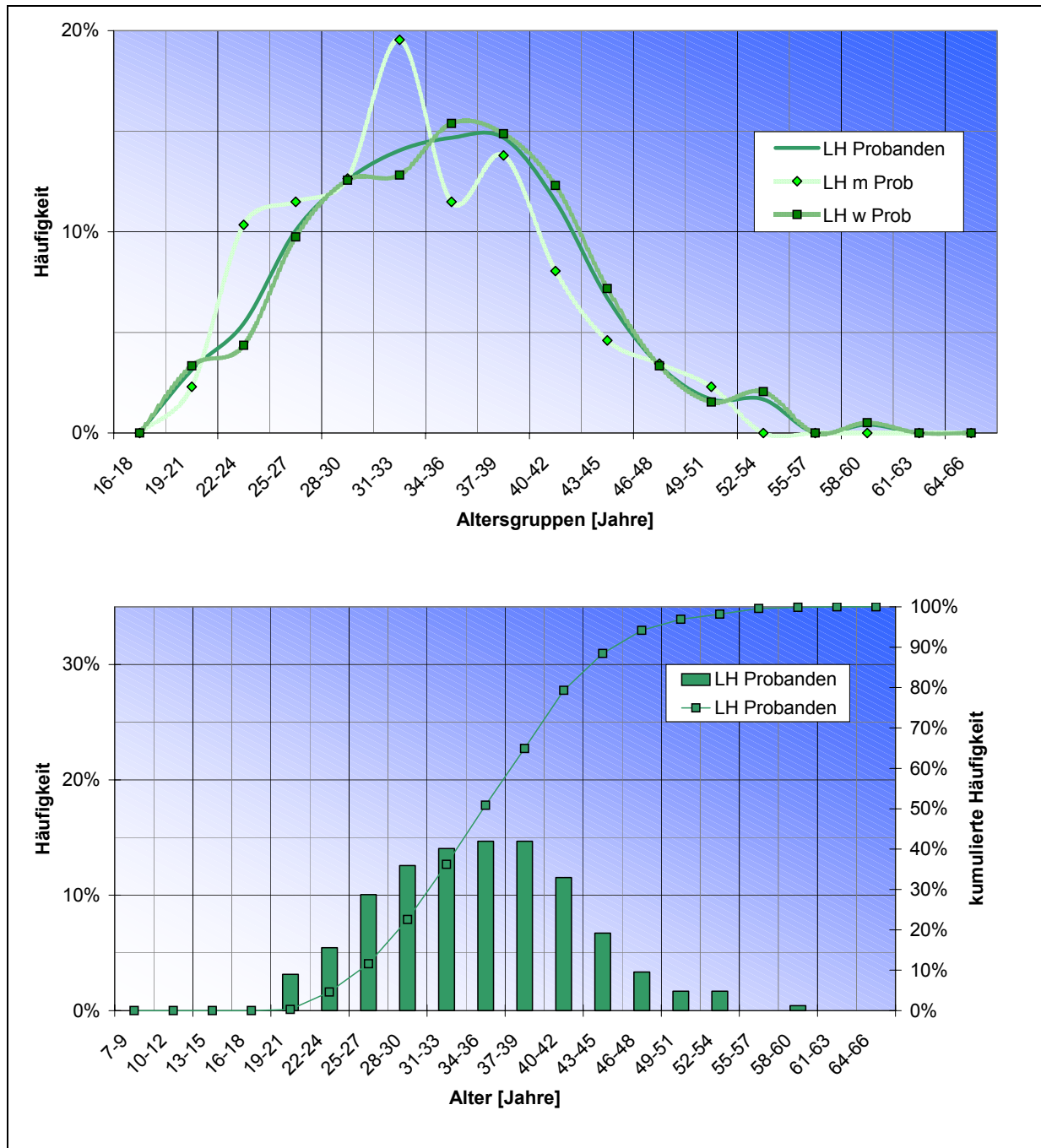




Abbildung 4-14:
Geglättete Altersverteilung der LH-Probanden ($n = 478$)

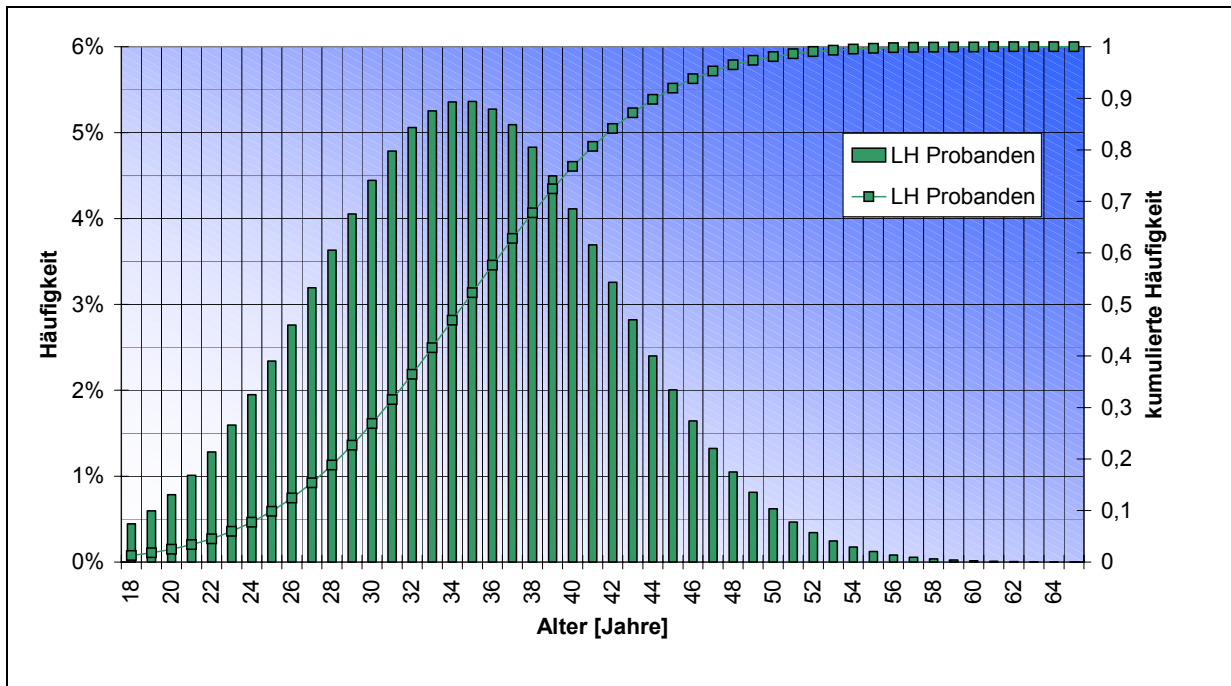


Abbildung 4-15:
Mittelwertentwicklung der maximalen Trolley-Druckkraft bei den weiblichen Probanden ($n = 390 \times 2$ Messungen = 780)

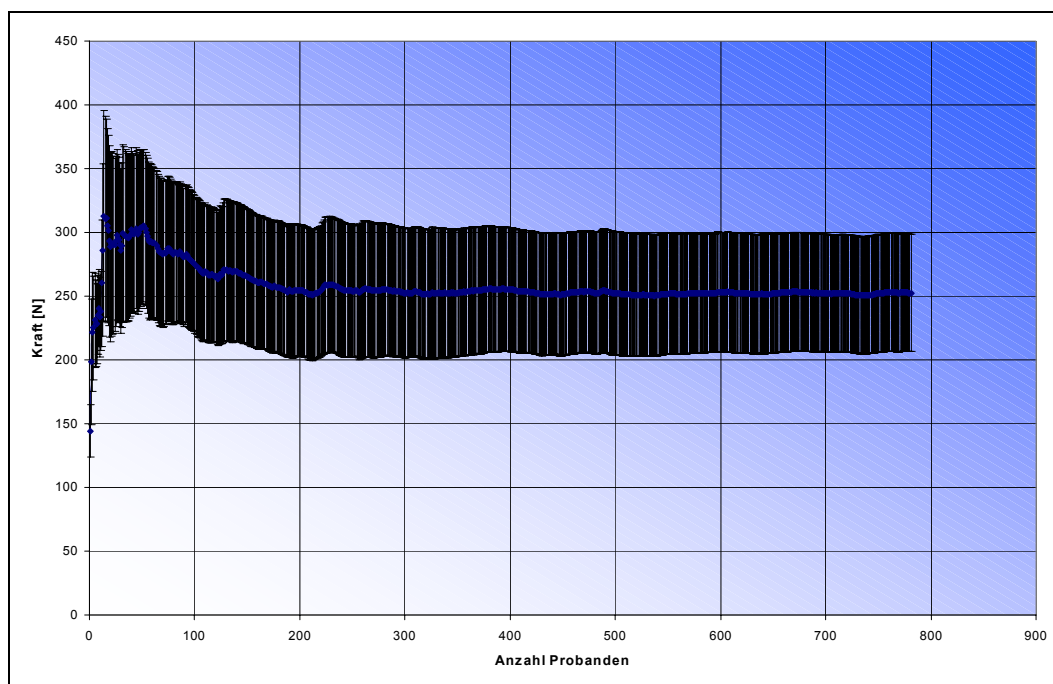
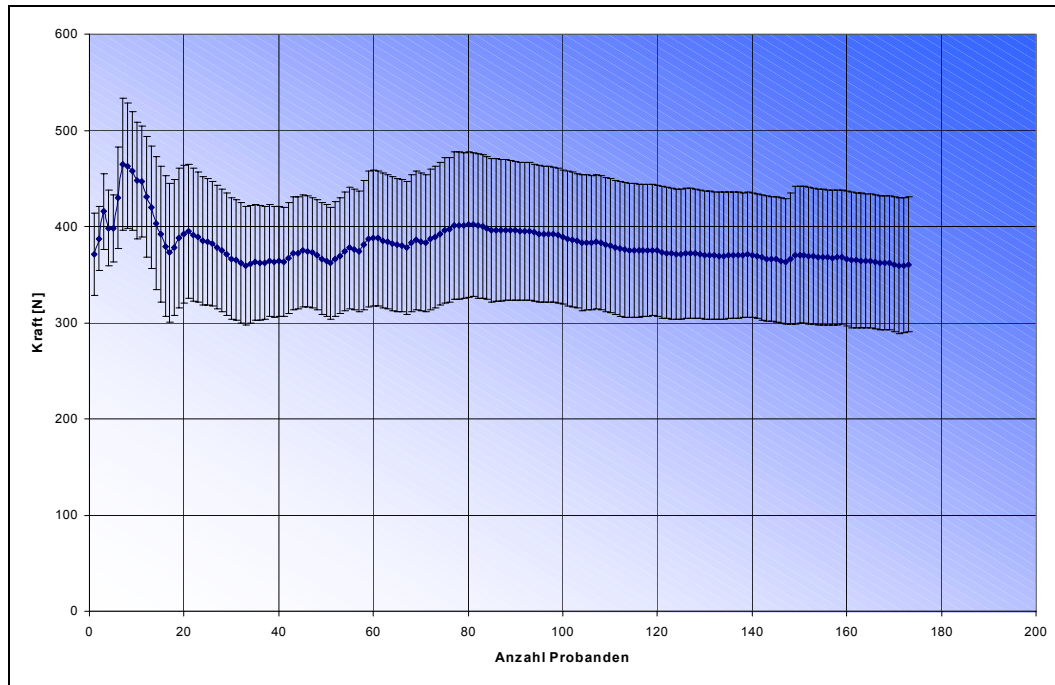




Abbildung 4-16:
Mittelwertentwicklung der maximalen Trolley-Druckkraft bei den männlichen Probanden ($n = 88 \times 2$ Messungen = 176)





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 ($n = 505$)

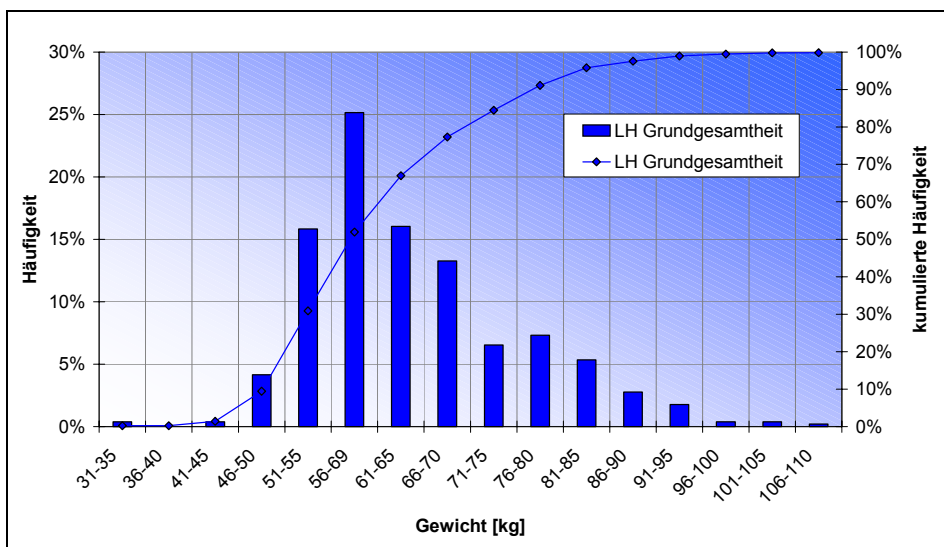


Abbildung 4-18:
Körpergrößenverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)

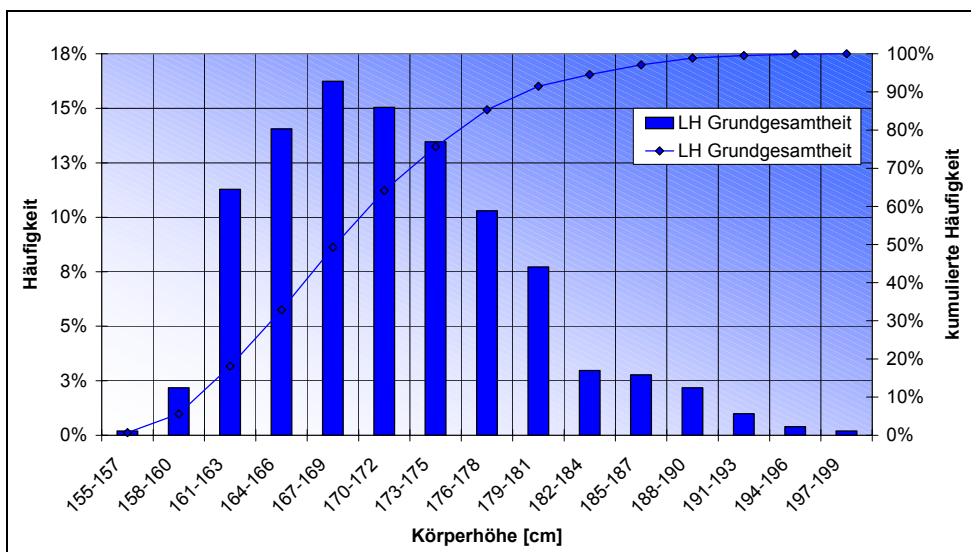




Abbildung 4-19:
Altersverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)

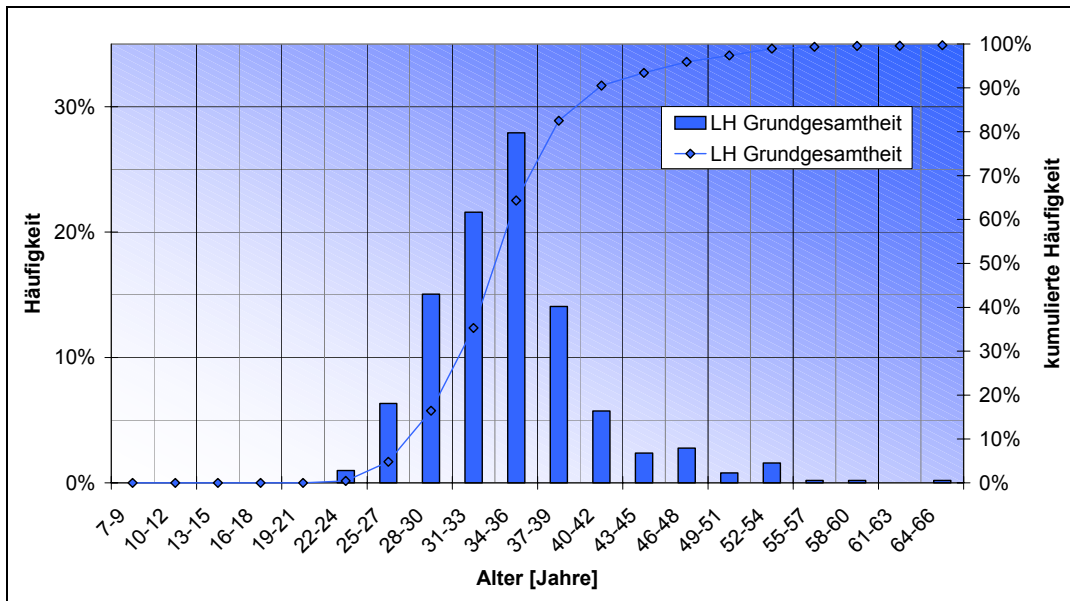
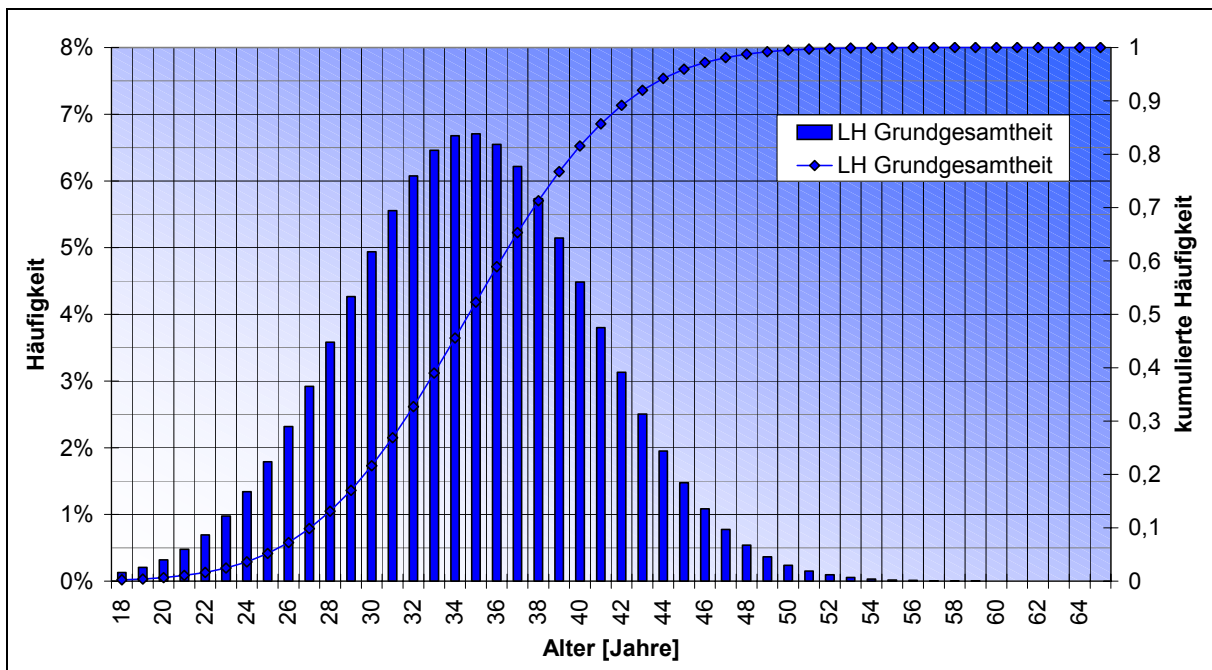


Abbildung 4-20:
Geglättete Altersverteilung der LH-Grundgesamtheit ($n = 505$)





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 ($n = 1\ 842$)

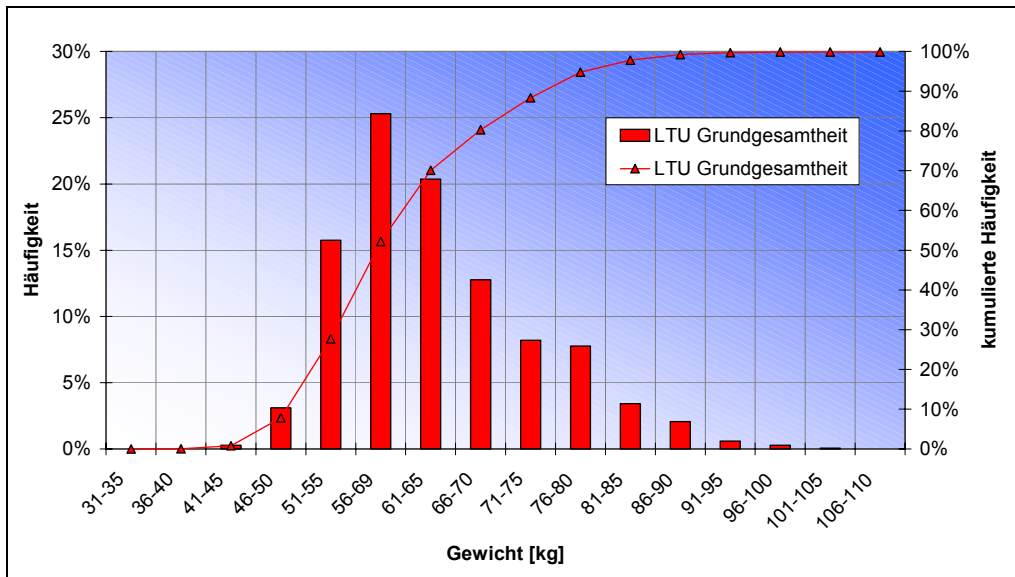


Abbildung 4-22:
Körpergrößenverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\ 842$)

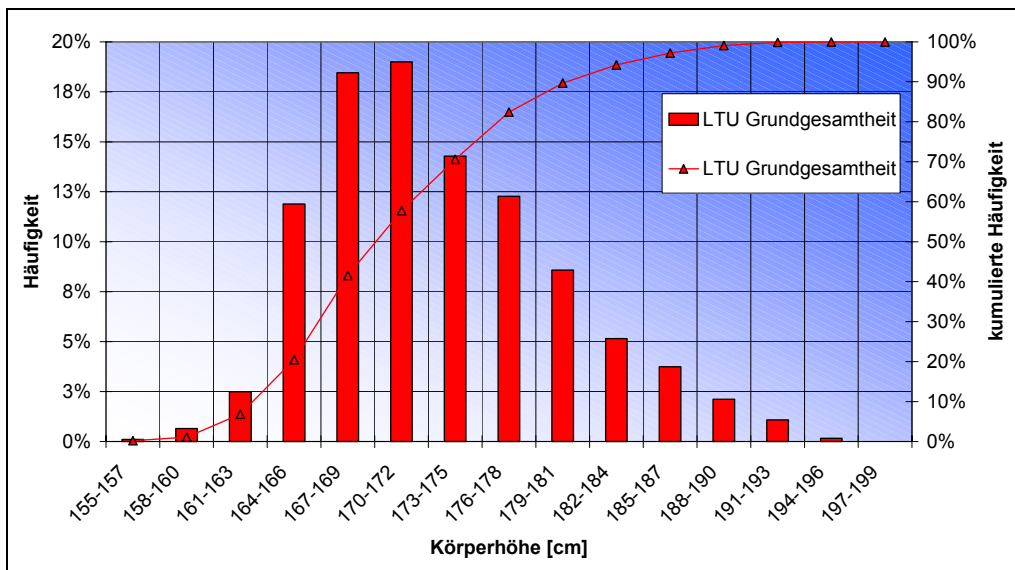




Abbildung 4-23:
Altersverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\,842$)

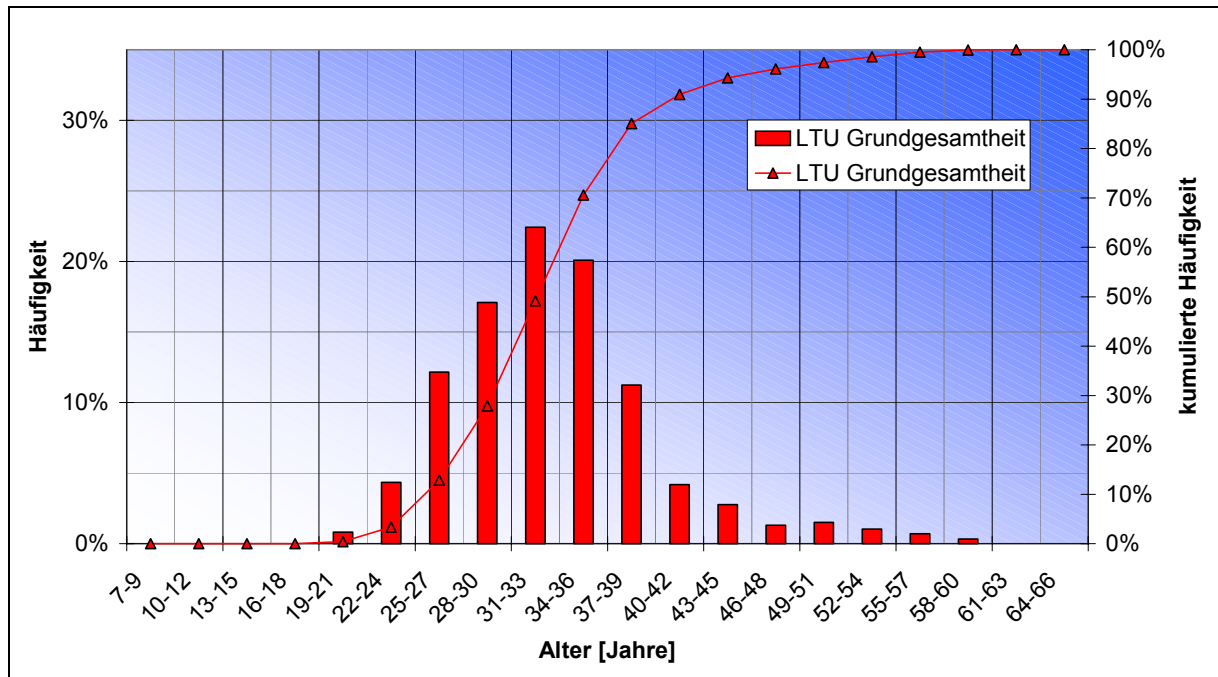
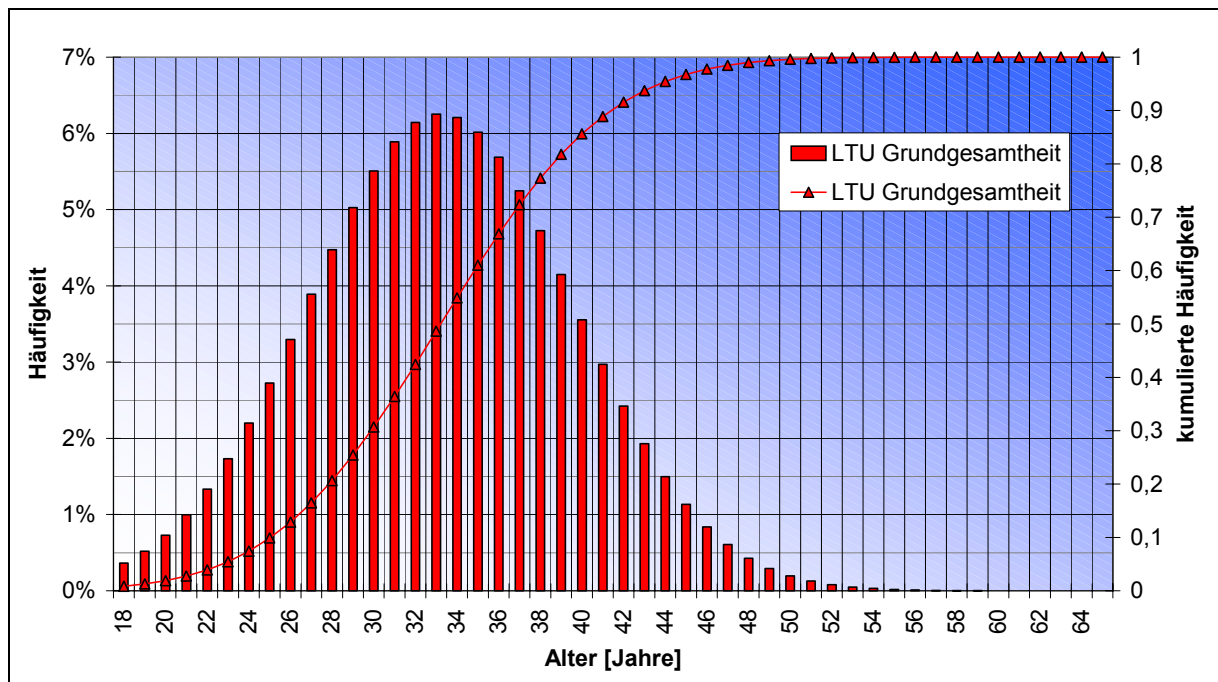


Abbildung 4-24:
Geplättete Altersverteilung der LTU-Grundgesamtheit ($n = 1\,842$)

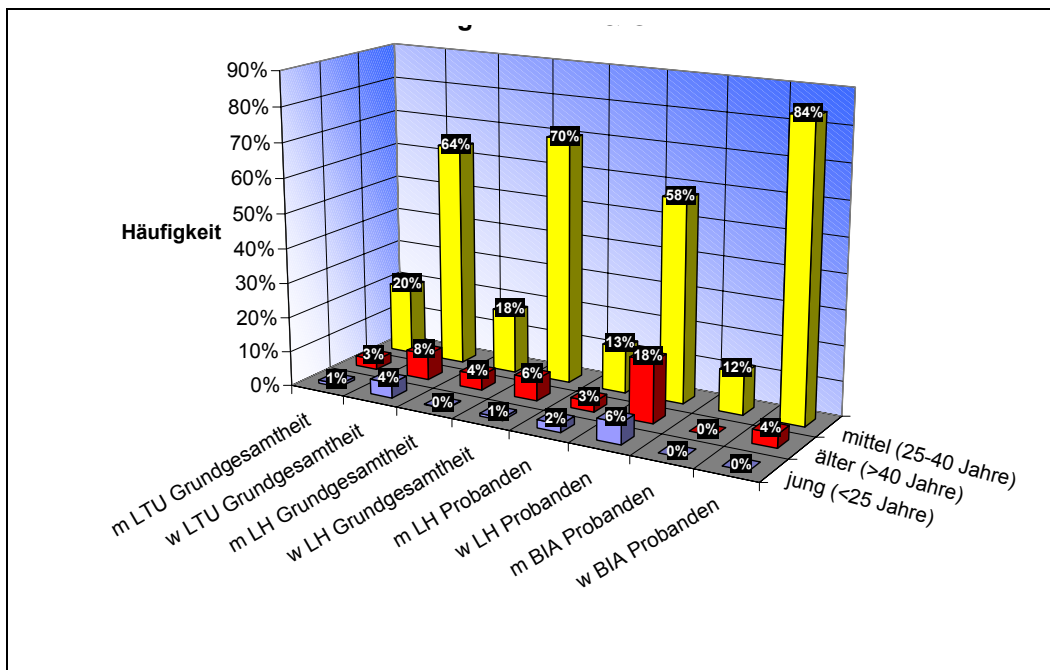




In der mittleren Altersgruppe (25 bis 40 Jahre) ist der Männeranteil der Probandenkollektive etwas geringer als in den beiden Grundgesamtheiten. Dies ist bei der jüngeren (< 25 Jahre) und älteren (> 40 Jahre) Altersgruppe nicht so stark der Fall. Die BIA-Probanden decken nur die ausgewählte mittlere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

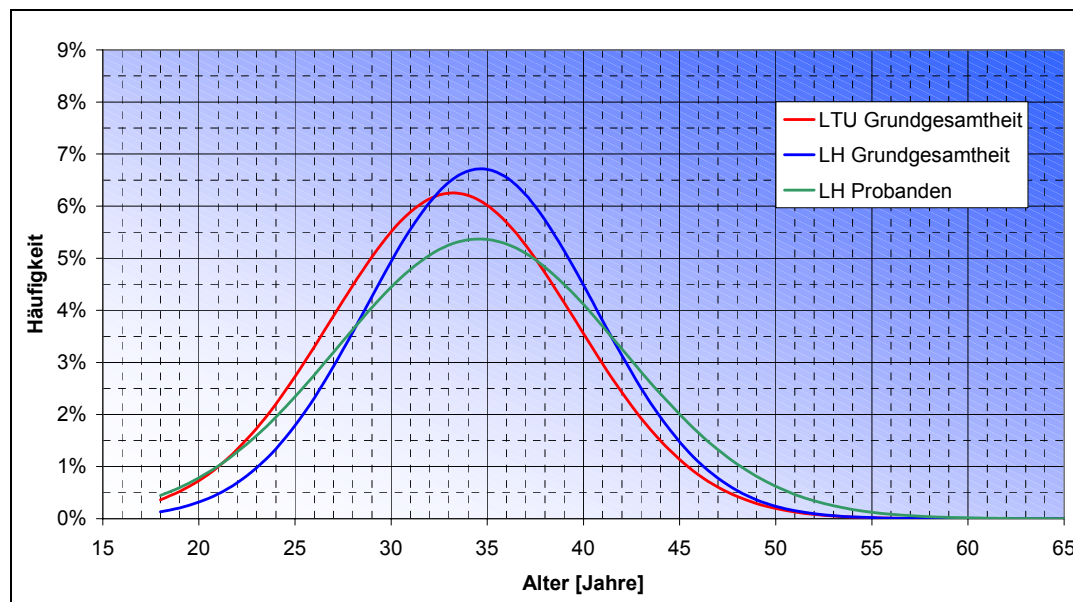
Vergleicht man die Grundgesamtheiten mit dem LH-Probanden-Kollektiv hinsichtlich des Alters (Abbildung 4-26, siehe Seite 69), so erkennt man, dass die LTU-Grundgesamtheit ihr Häufigkeitsmaximum etwas früher hat (bei ca. 33 Jahre) als die LH-Kollektive. Hierbei sind die jüngeren Altersklassen im Vergleich 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
0	1	2
	3	4
	5	6
	7	
Beschwerderegionen	Beispieleinstufung:	Nicht ausfüllen! nur zum internen Gebrauch!
Nummerieren Sie die Körperbereiche in denen Sie Beschwerden haben. Beginnen Sie am stärksten Beschwerdepunkt mit 1. Wichtiger Hinweis: 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 ($n = 478$)

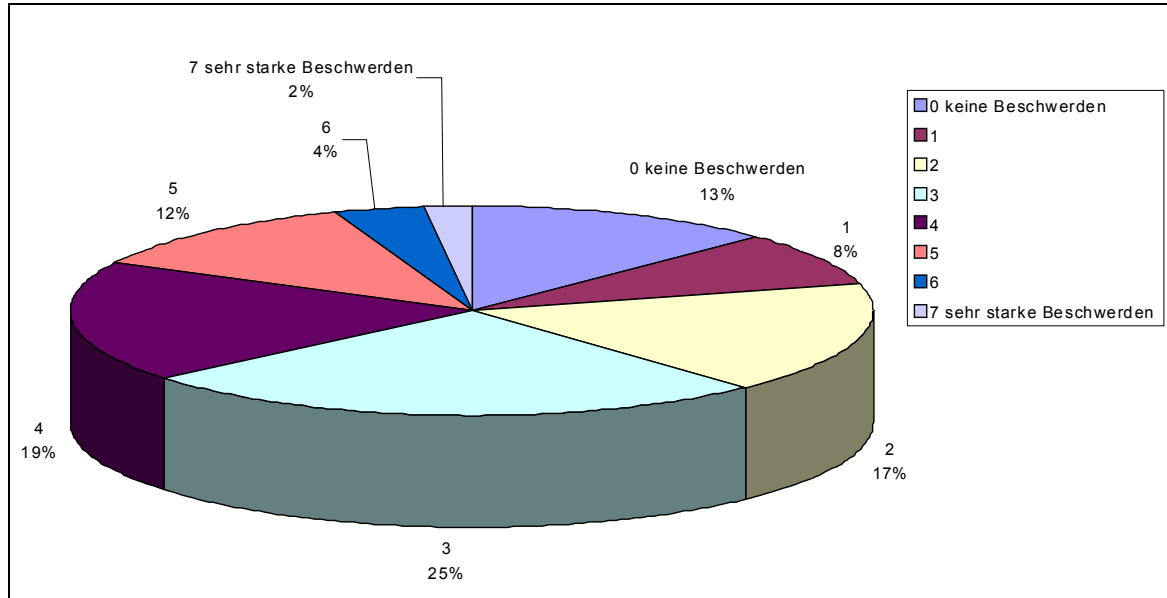
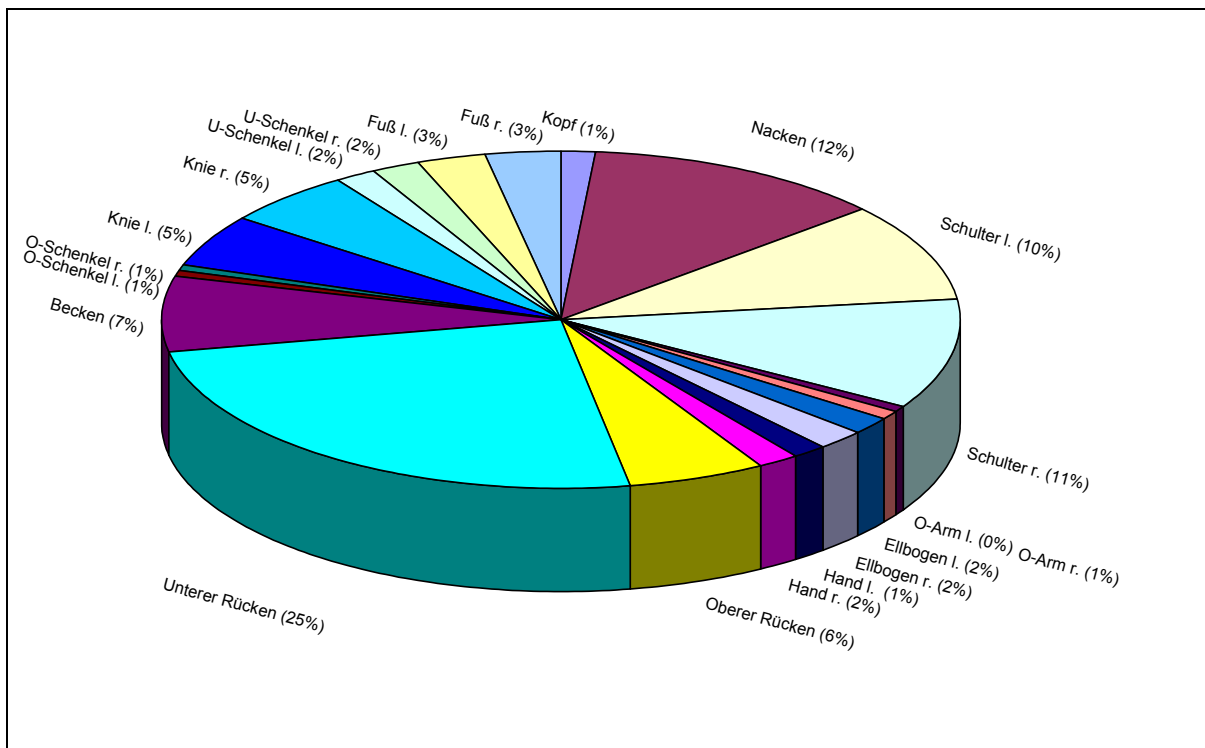


Abbildung 4-29:
 Beschwerderegionen und Häufigkeit der Nennung ($n = 478$)

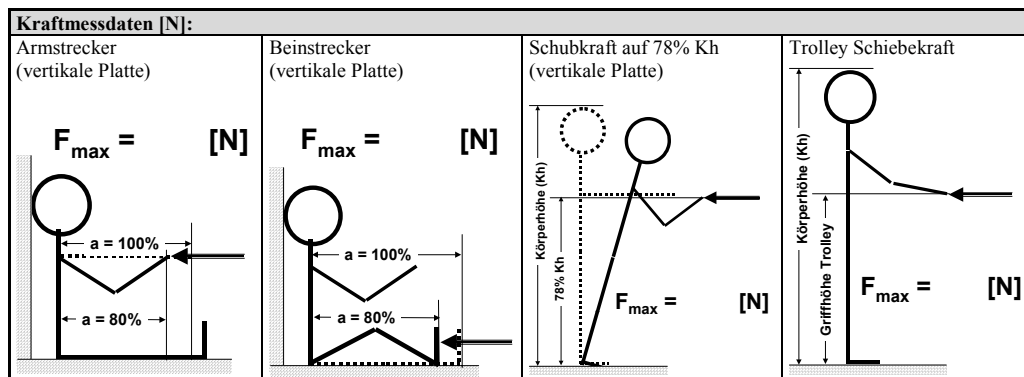




4.4.2 Kraftwerte

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-

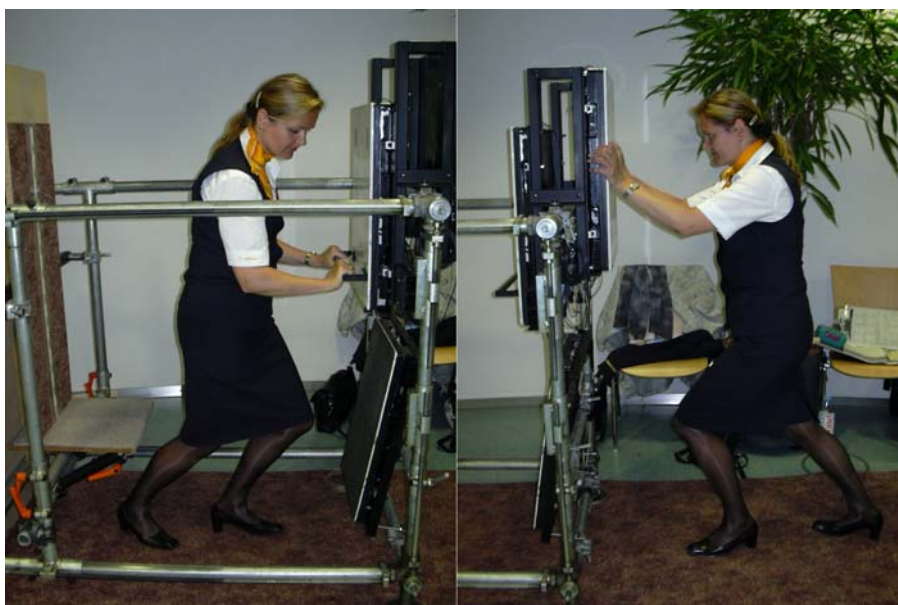


erfassungssystem der Fa. HBM digitalisiert und auf einem Notebook abgespeichert. Um eventuelle Messwertschwankungen zu vermeiden, wurden täglich Kalibriermessungen mit definierten Kräften durchgeführt.

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



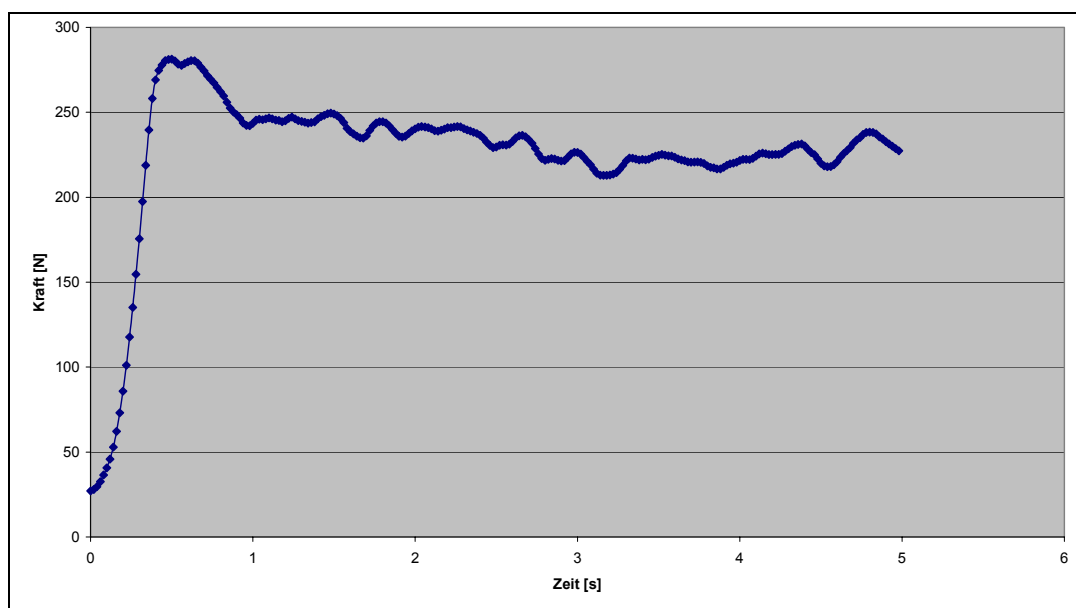
Abbildung 4-32:
Maximalkraftmessungen am Trolley-Griff und auf 78 % Körperhöhe





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)

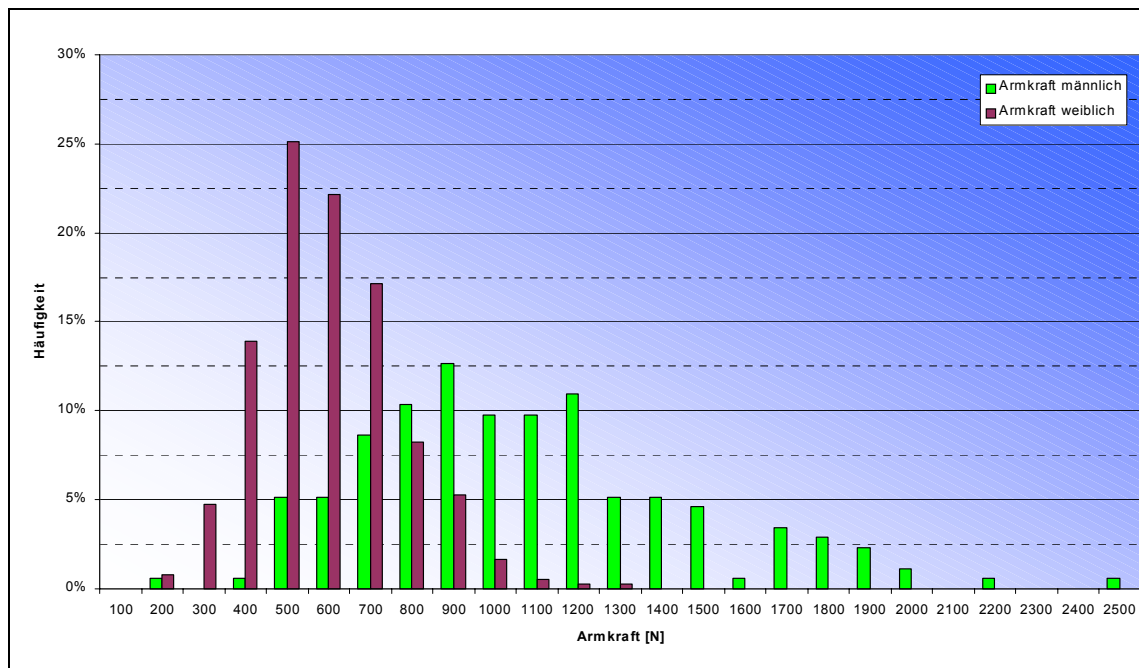


Abbildung 4-35:
Verteilung der maximalen Beinkräfte

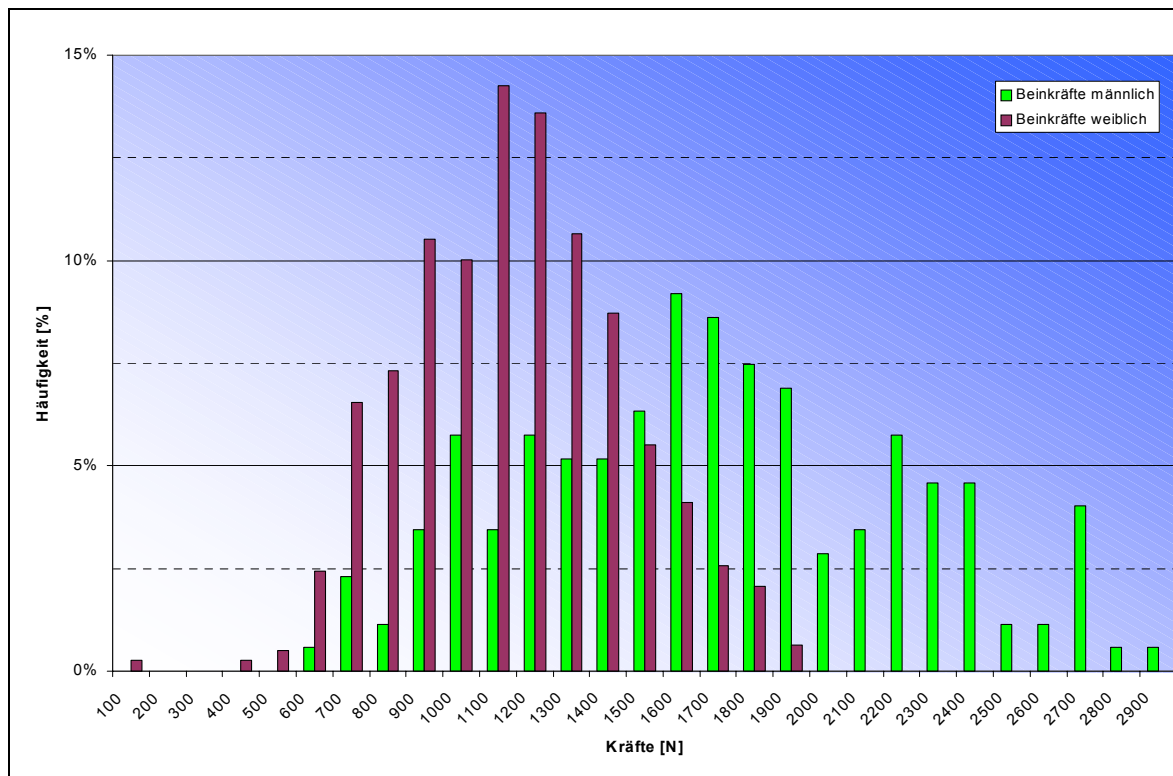




Abbildung 4-36:
Verteilung der maximalen Druckkräfte auf 78 % Körperhöhe

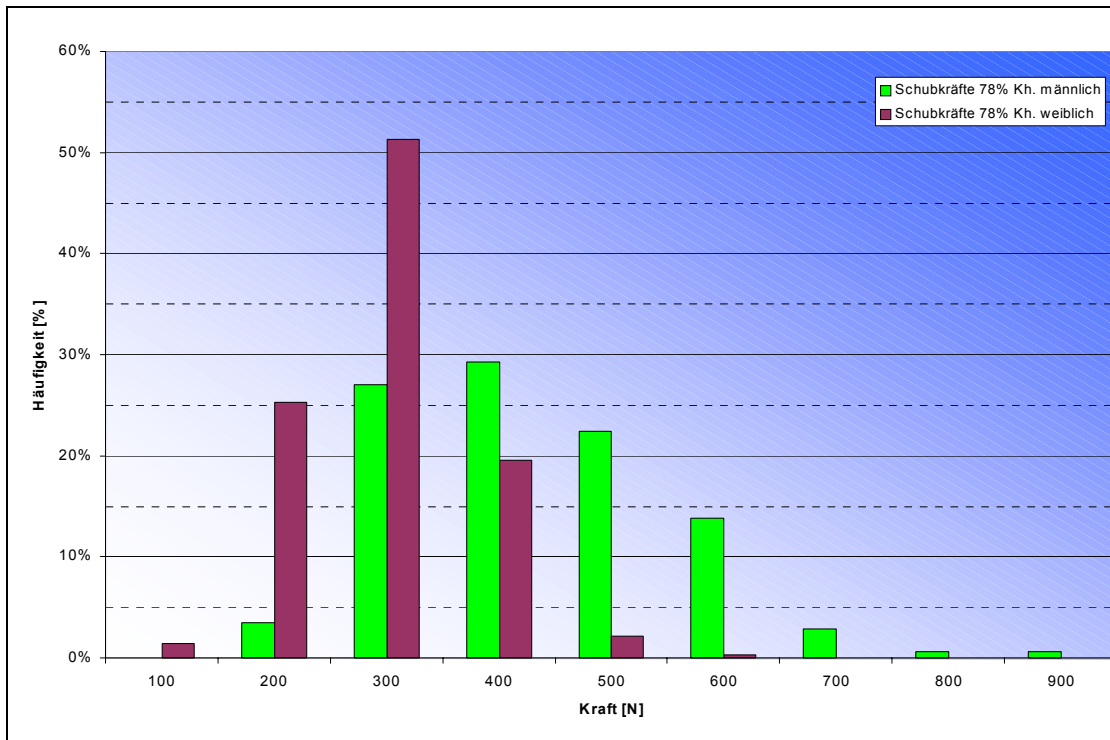
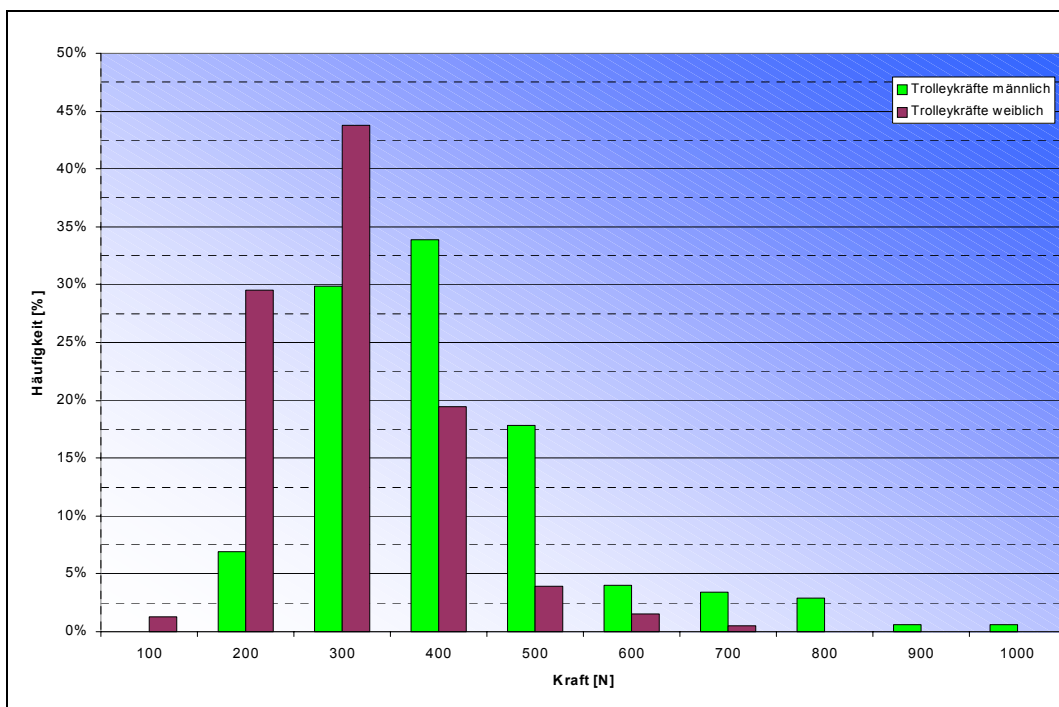


Abbildung 4-37:
Verteilung der maximalen Druckkräfte in Trolley-Griffhöhe



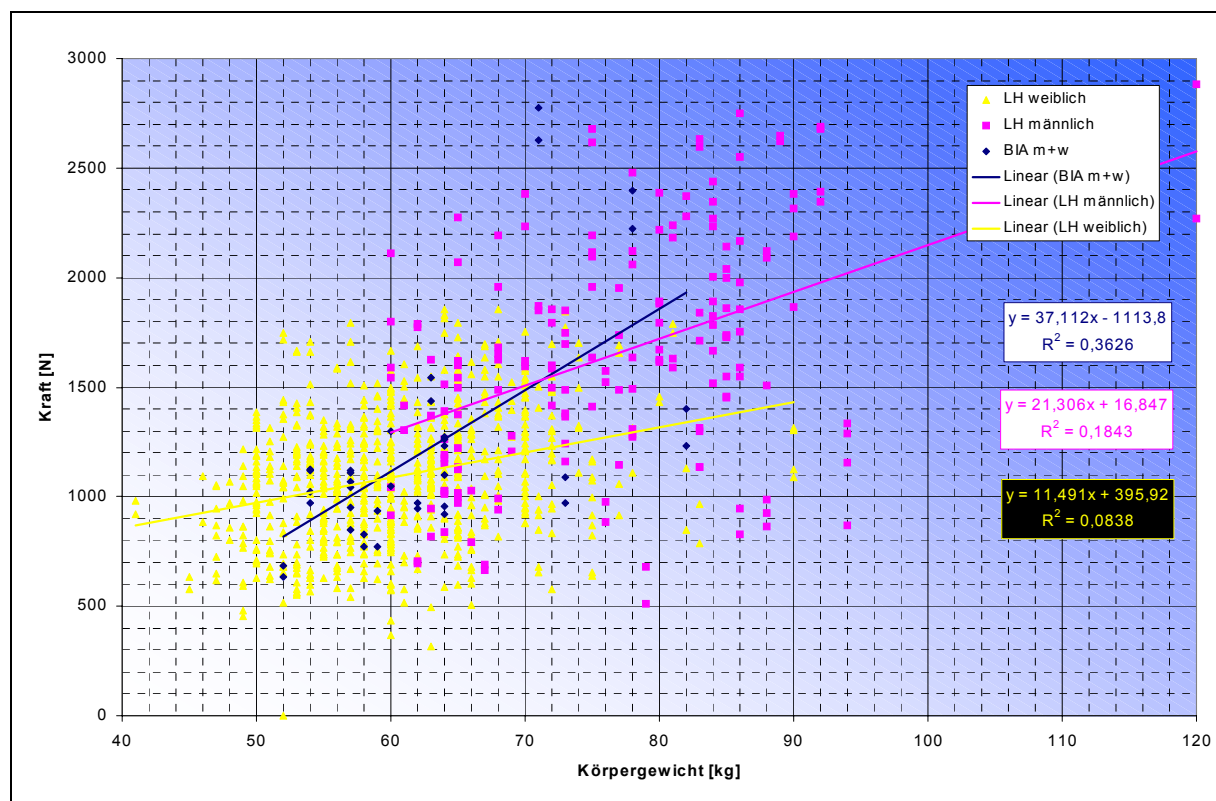


Bei Arm- und Ganzkörperkräften deuten sich für beide Geschlechter linkssteile Verteilungen an, die auf Trainingseffekte schließen lassen. Bei den Beinkräften ist dies nicht der Fall. Die Streubereiche für die männlichen Kraftwerte liegen deutlich über denen der Frauen, was sich mit den Ergebnissen anderer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

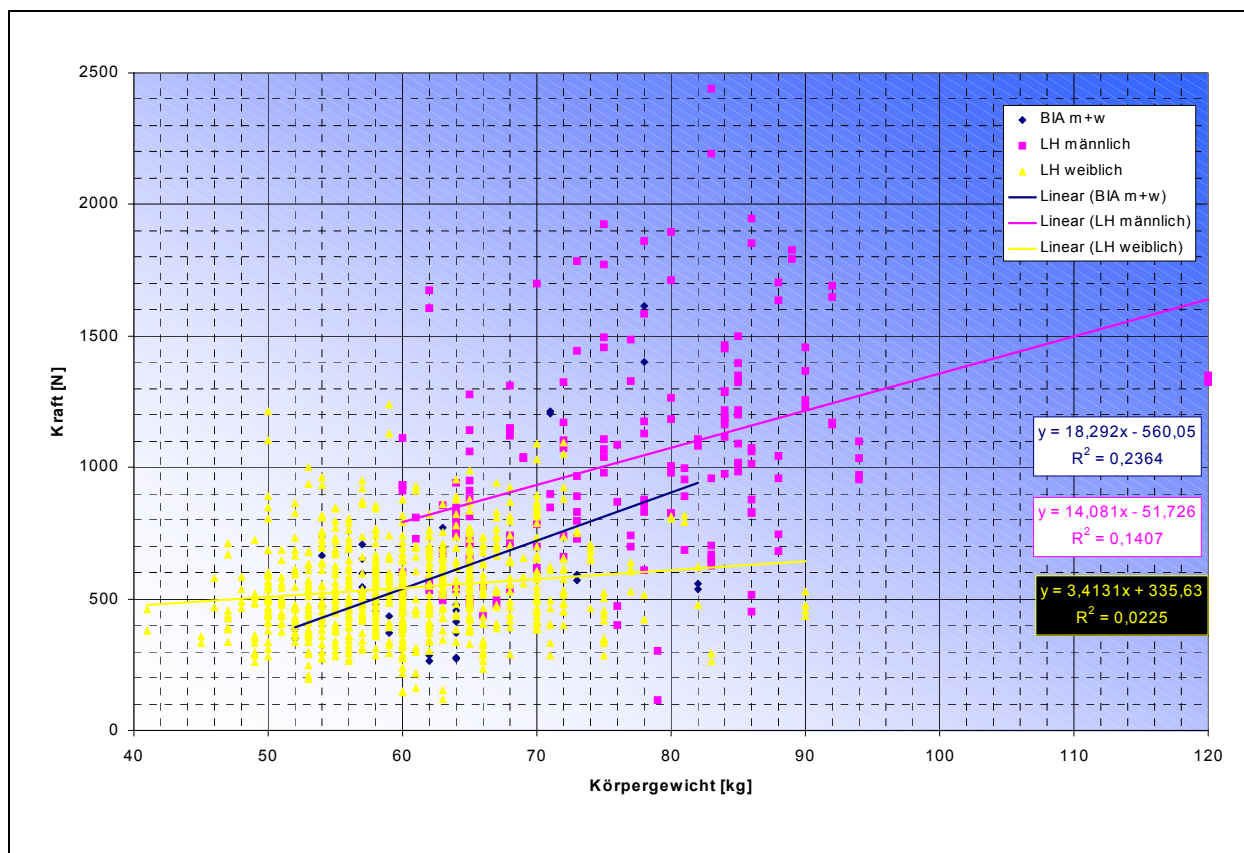


Nach *Rohmert* besteht ein Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Körpergewicht [28]. Die Beinkräfte haben an Ganzkörperkräften wesentlich Anteil, sodass die in Abbildung 4-38 dargestellte Beziehung zwischen Beinkraft und Körpergewicht zu



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

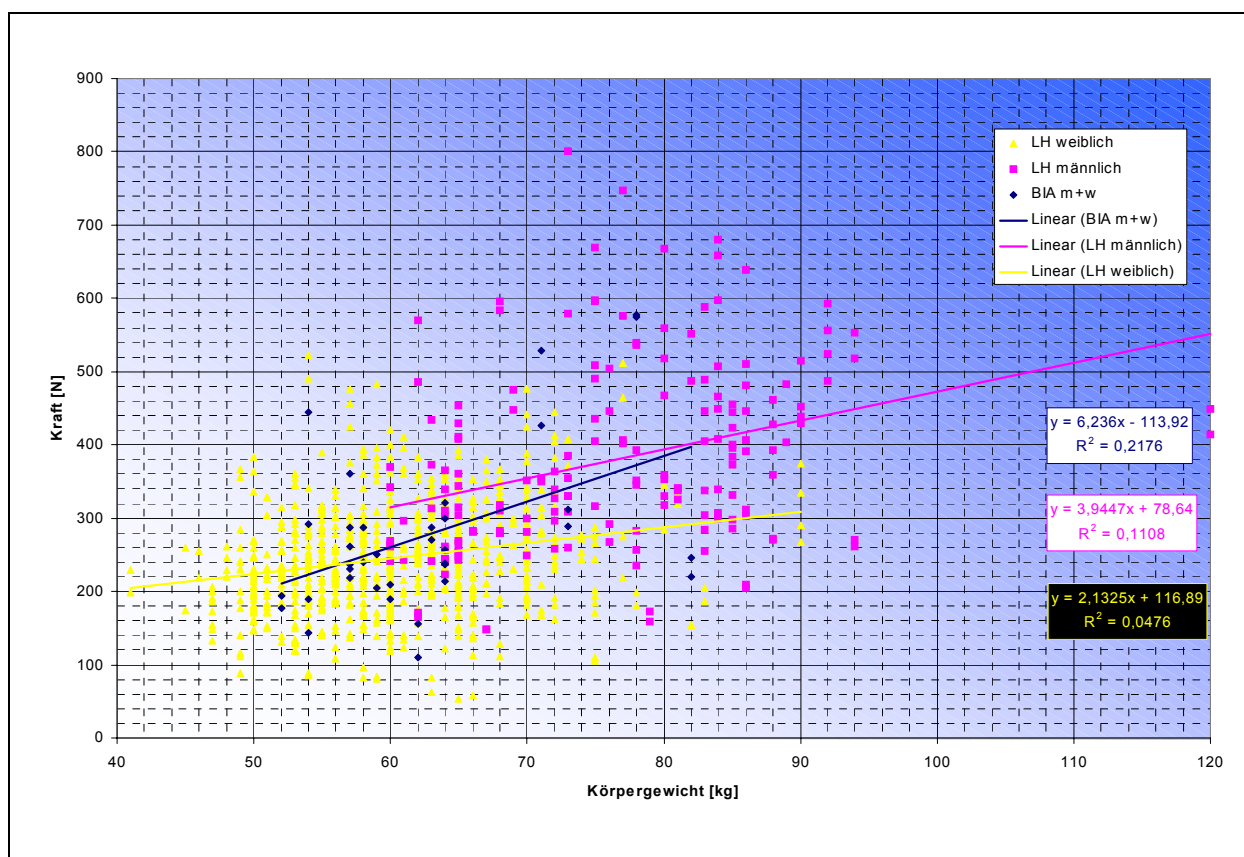
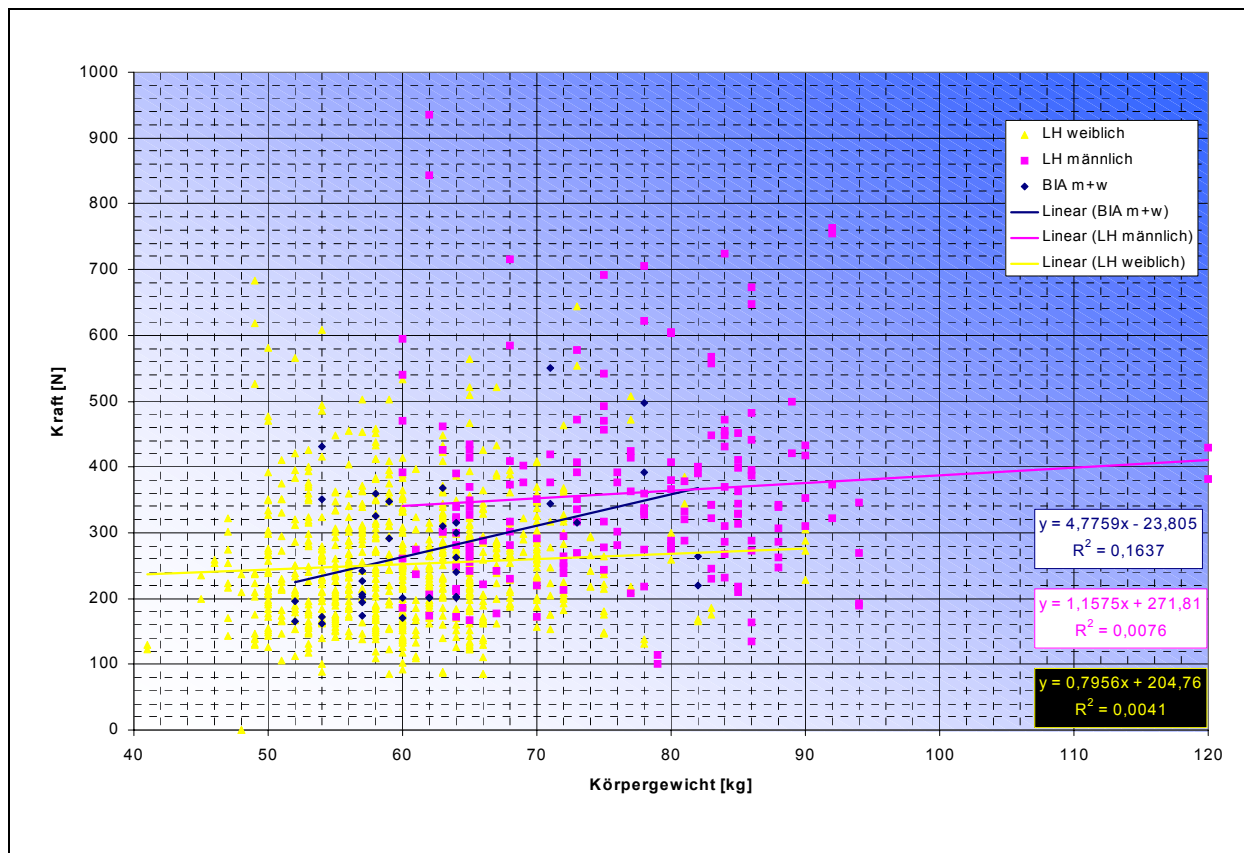




Abbildung 4-41:
Korrelation zwischen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe und Körpergewicht



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)

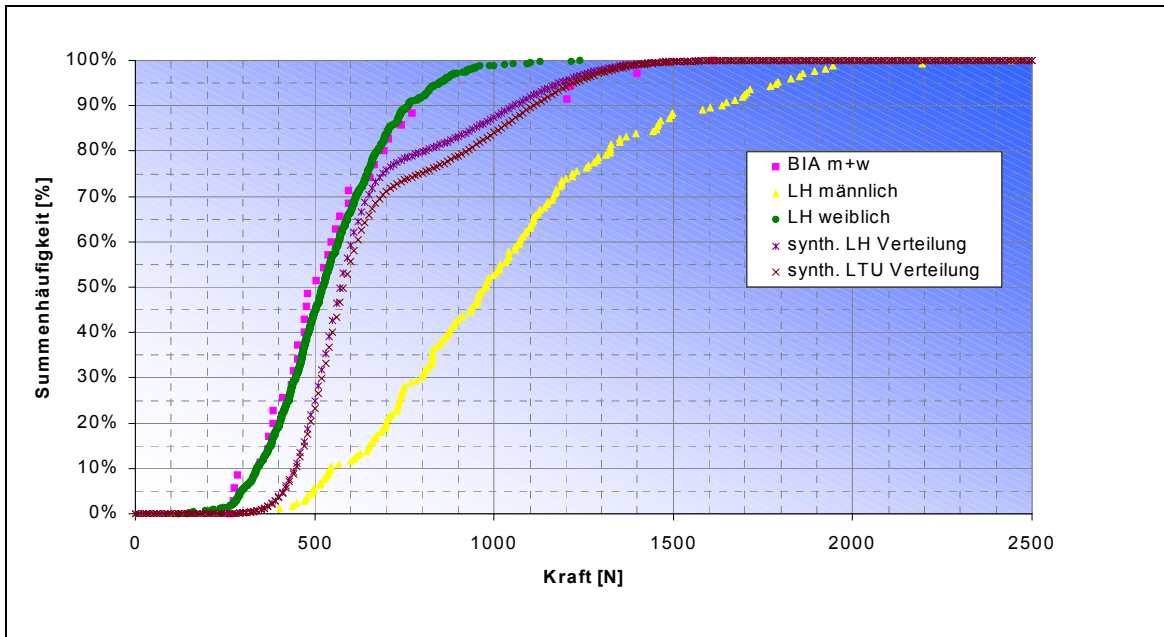


Abbildung 4-43:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft auf 78 % Körperhöhe
(nur weibliche Daten)

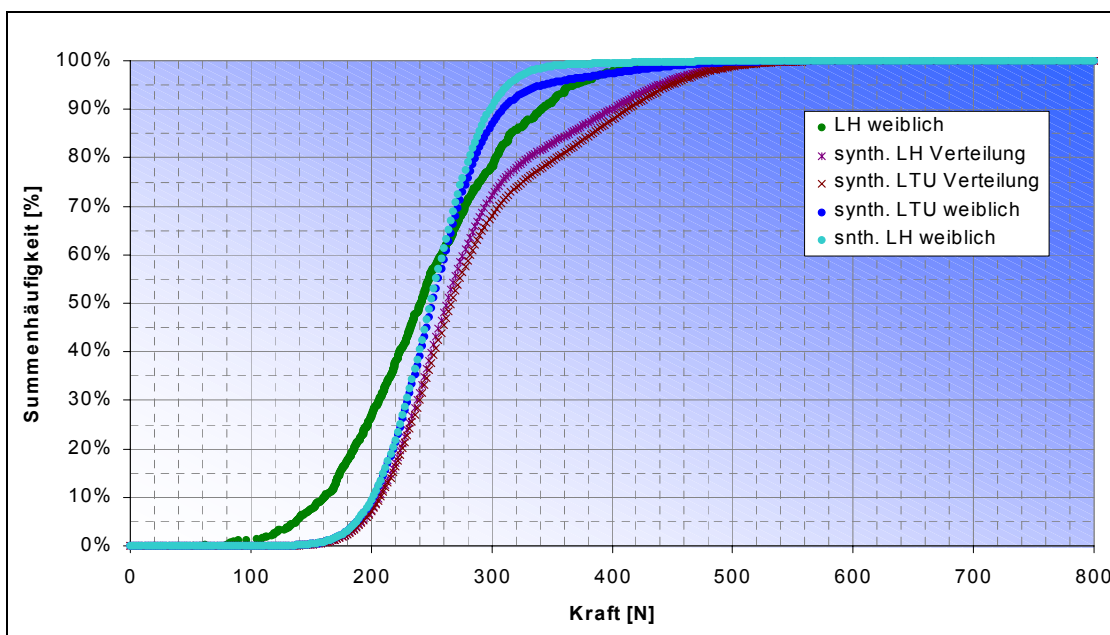




Abbildung 4-44:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe
(nur weibliche Daten)

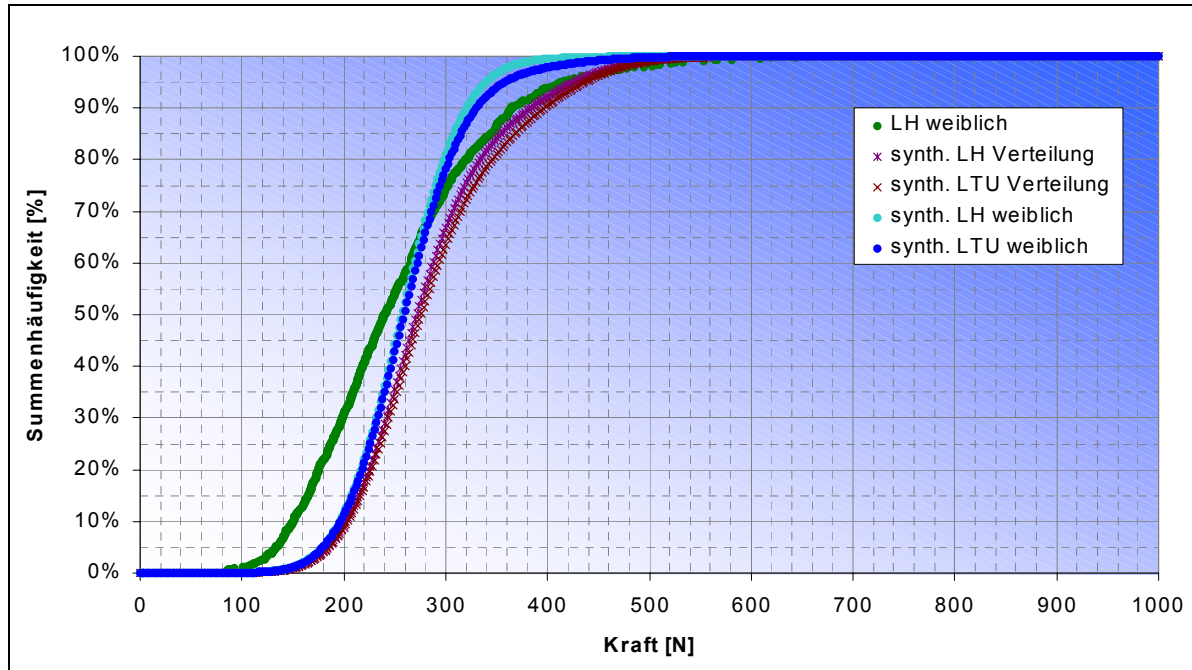


Abbildung 4-45:
Summenhäufigkeit der maximalen Beinkräfte

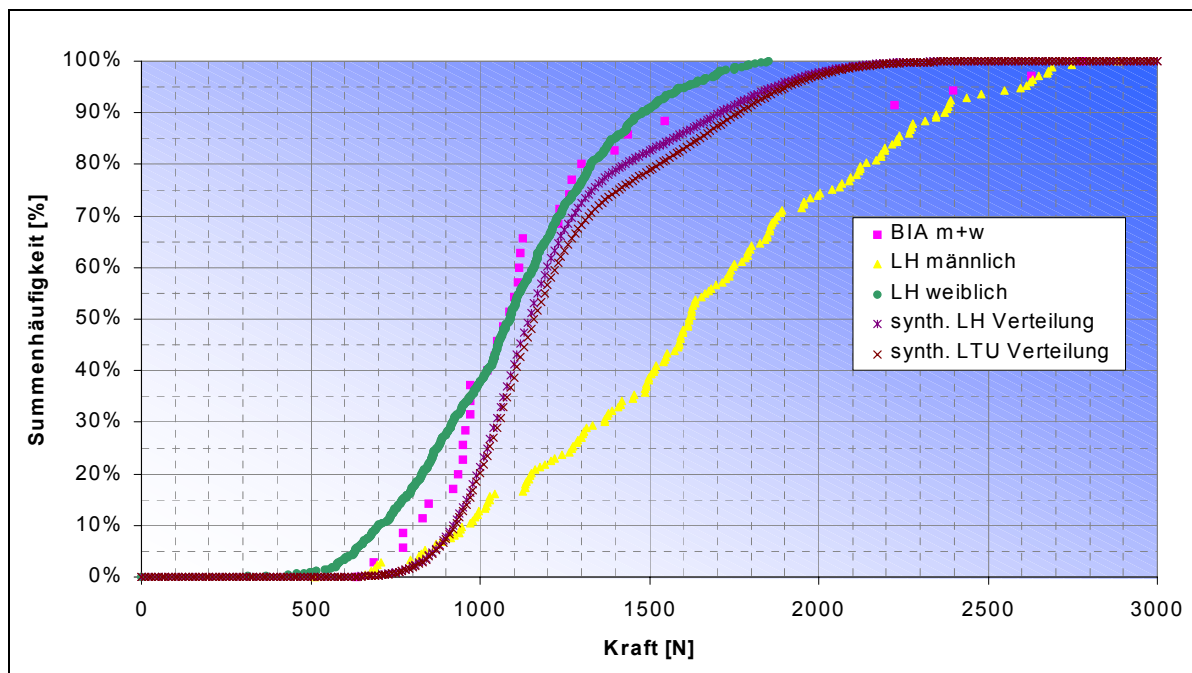




Abbildung 4-46:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft auf 78 % Körperhöhe

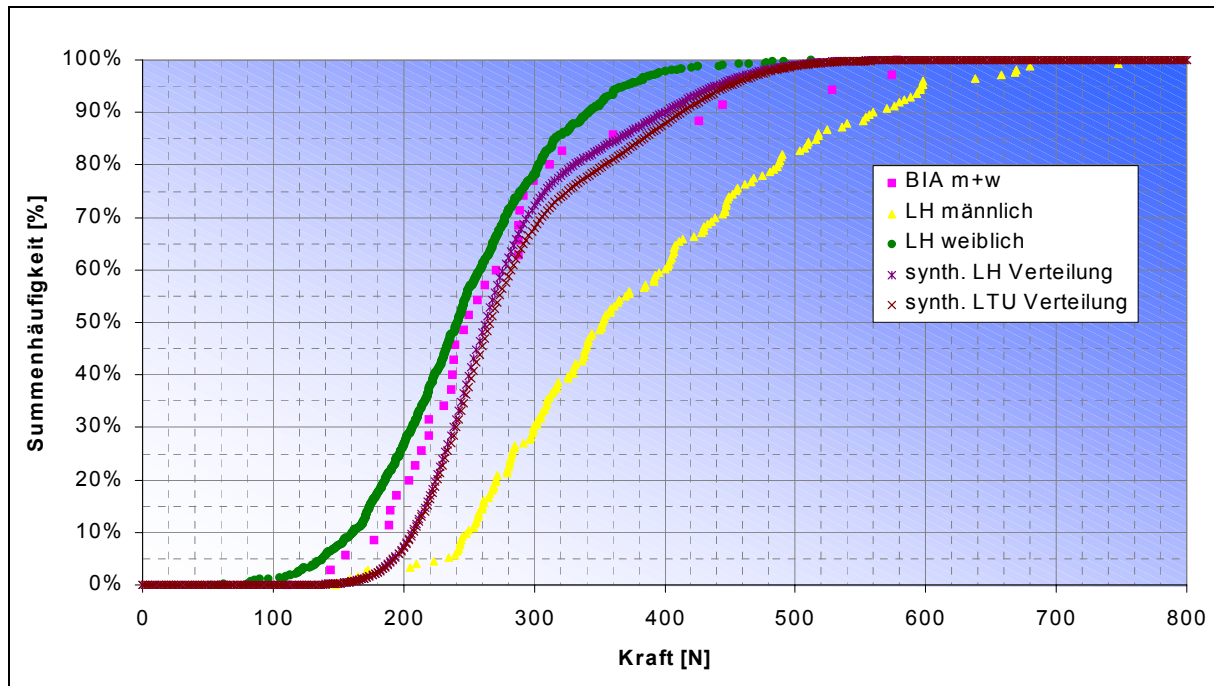


Abbildung 4-47:
Summenhäufigkeit der maximalen Druckkraft in Trolley-Griffhöhe

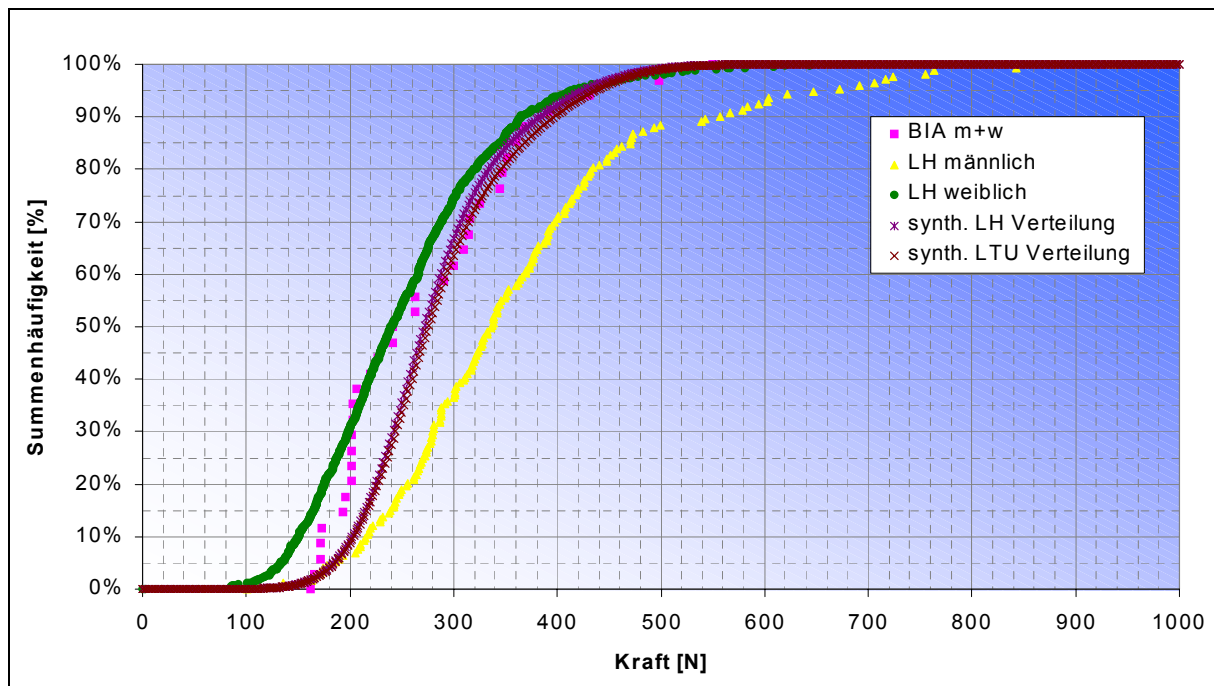




Abbildung 4-48:
Vergleich Druckkraft auf 78 % Körperhöhe und Druckkraft in Trolley-Griffhöhe

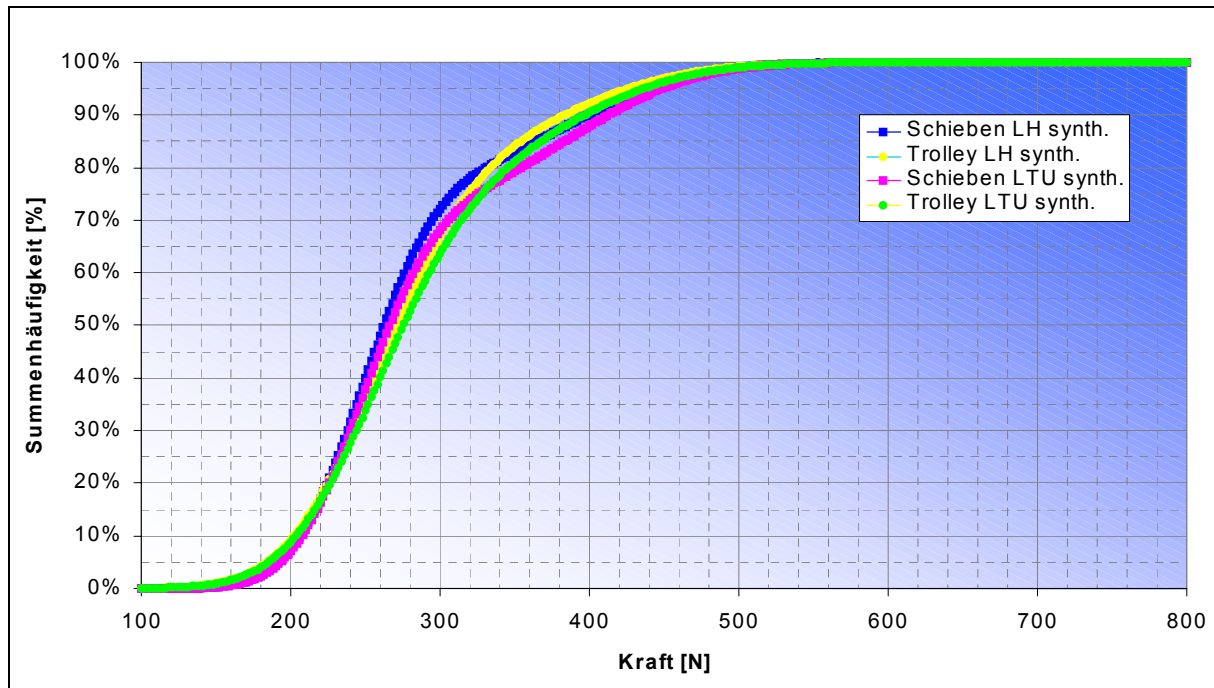
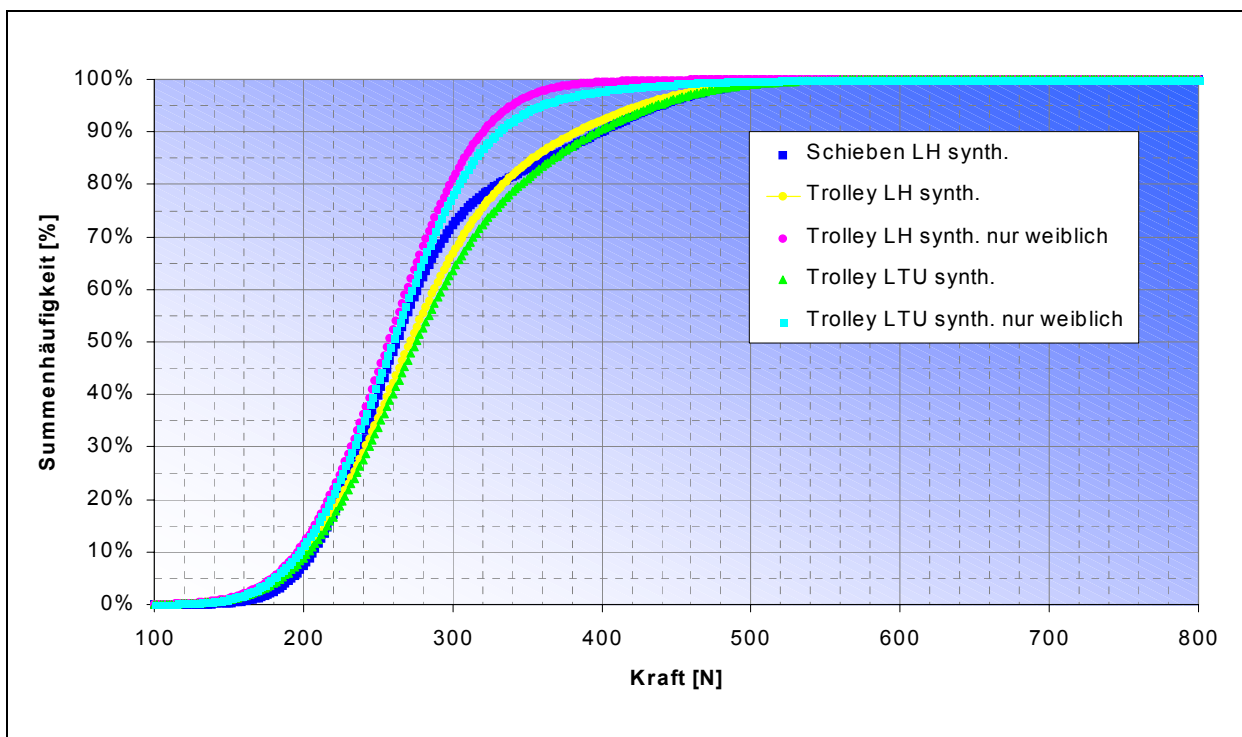


Abbildung 4-49:
Vergleich Druckkraft auf 78 % Körperhöhe und Druckkraft in Trolley-Griffhöhe
(nur weibliche Daten)





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]

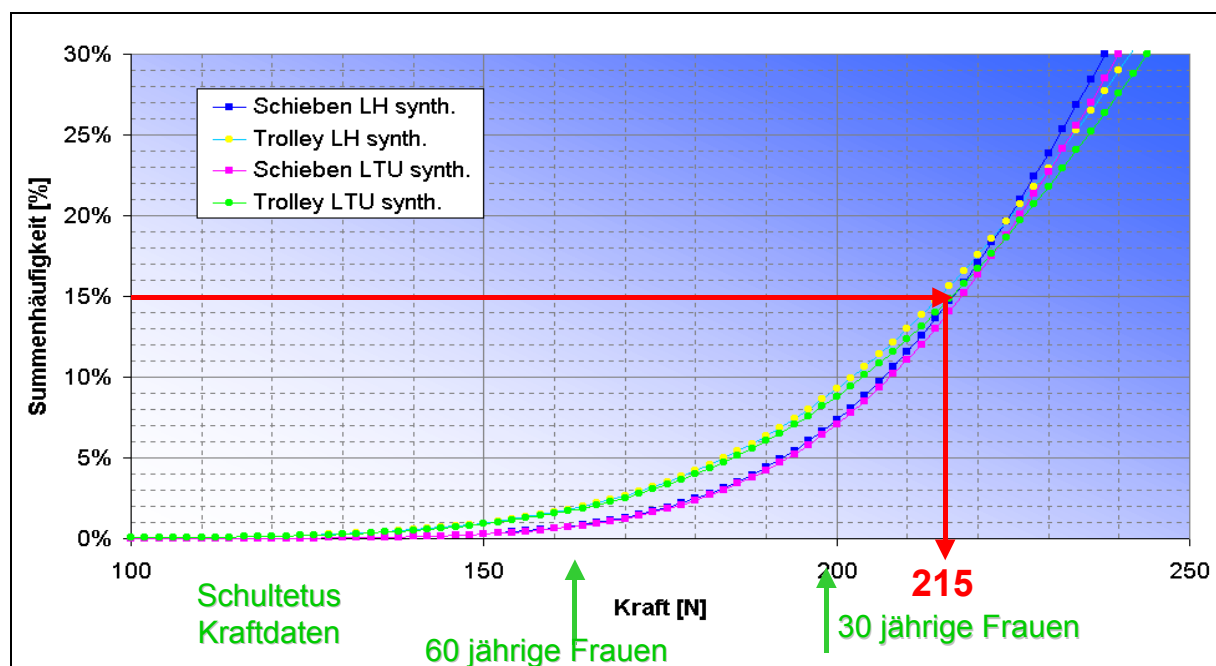




Abbildung 4-51:

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

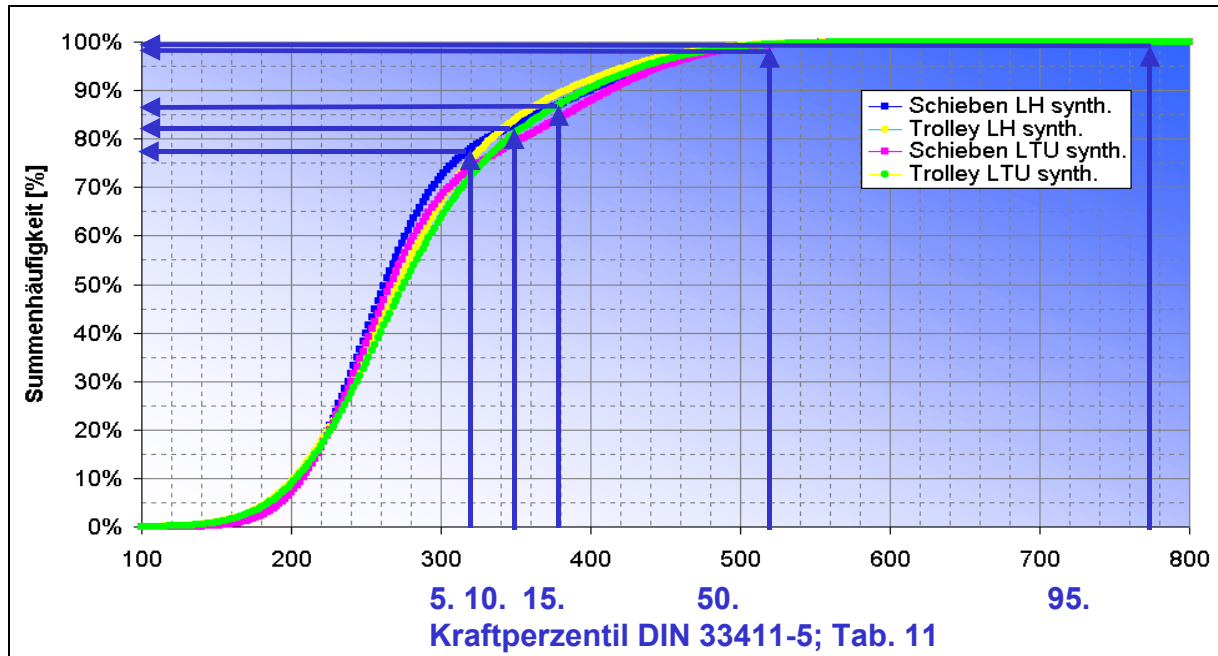


Abbildung 4-52:

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

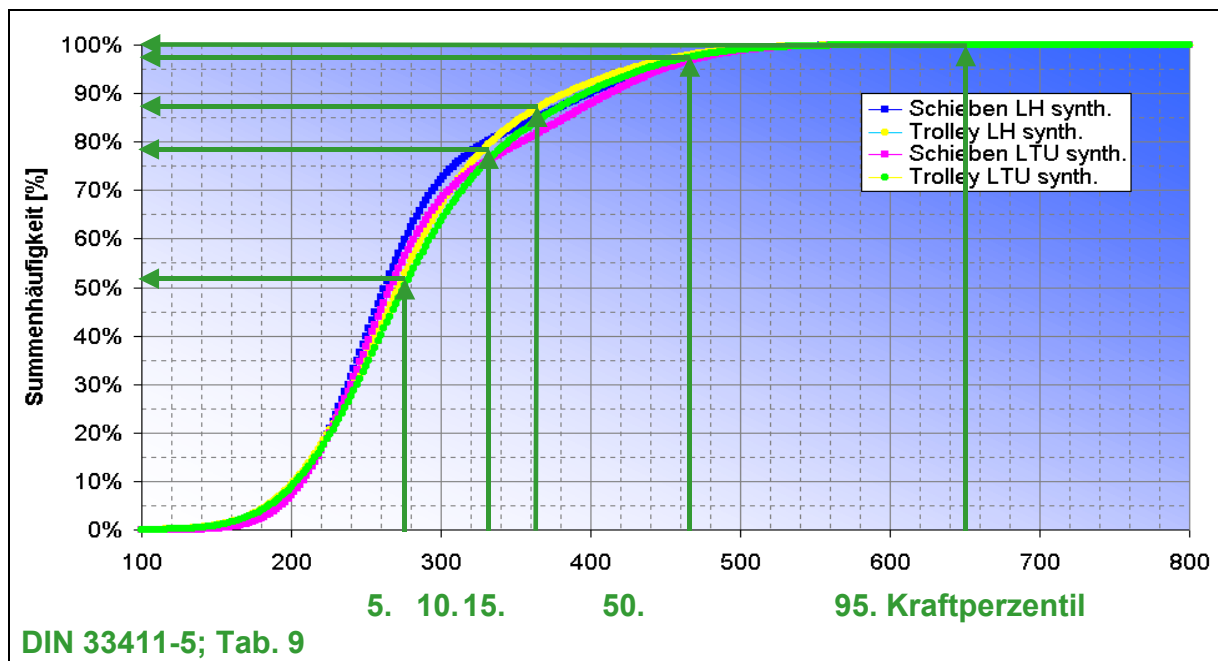
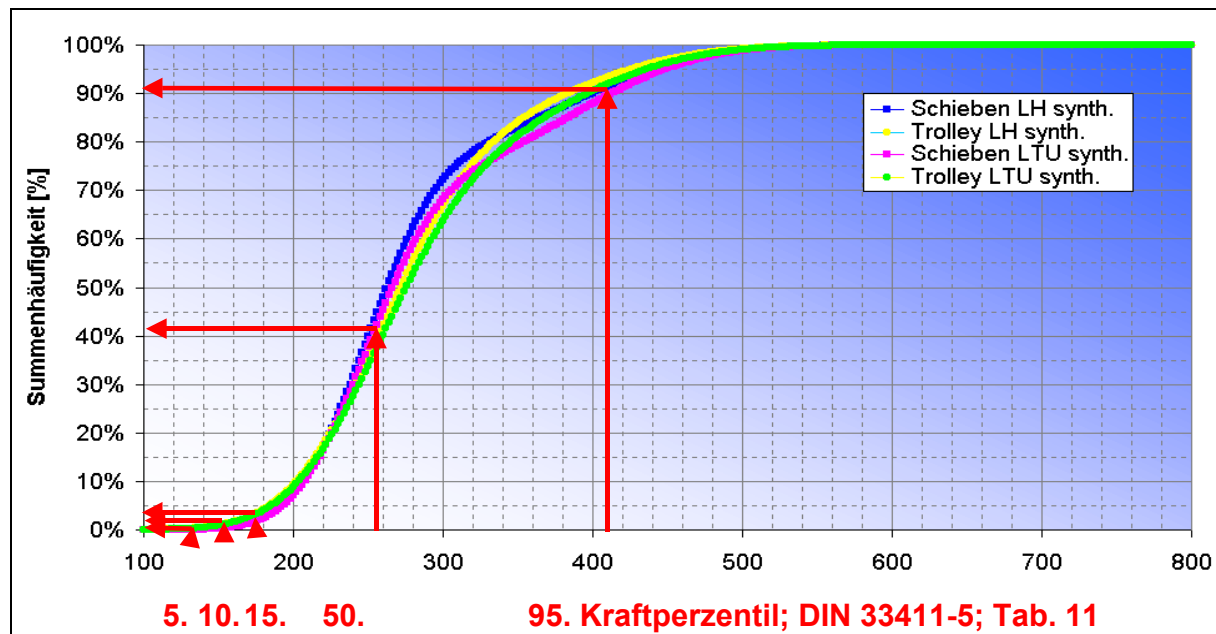




Abbildung 4-53:

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.

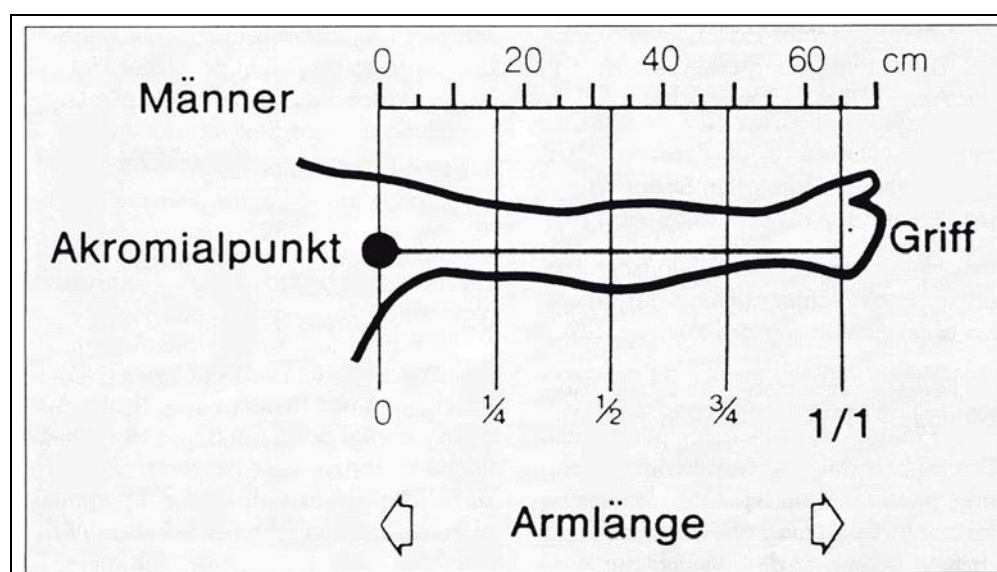
In der Fachwelt wird die Bewertung des Bauchrauminnendrucks kontrovers diskutiert, da einem erhöhten Bauchrauminnendruck entlastende als auch belastende Wirkungen auf die Wirbelsäule zugesprochen werden [36; 37].

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.

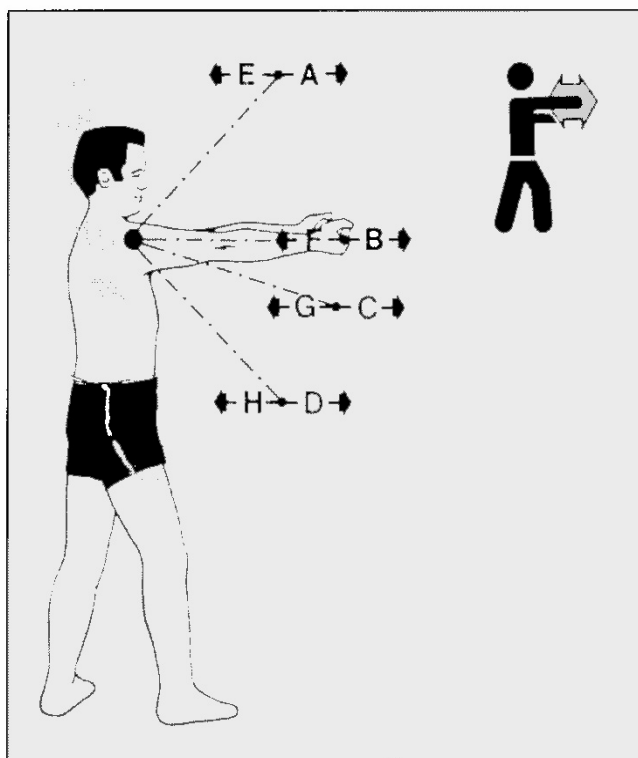


Abbildung 4-55:
Beidhändiges Schieben und Ziehen
im Stehen mit den Beinen in Schritt-
stellung; siehe [35]



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:

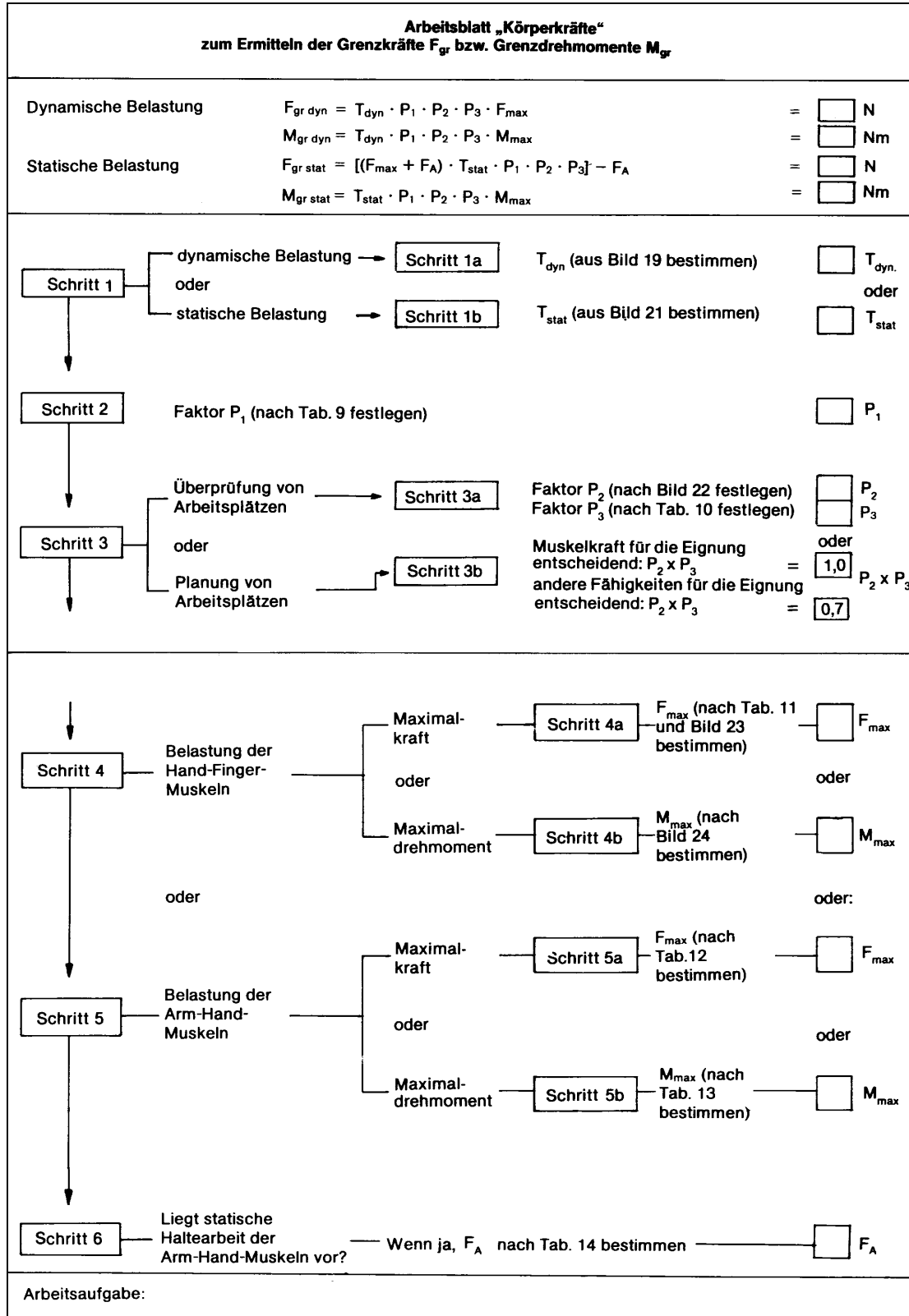
- persönliche Faktoren (Geschlecht, Alter, Trainiertheit)
- Art der Kraftaufbringung (statisch/dynamisch)
- Kraft aufbringendes Körperteil (Finger-Hand, Arm-Schulter, Bein) oder Kraftart (Kraft, Moment, Lastgewicht)
- Häufigkeit und je nach Verfahren auch Dauer der Kraftausübung
- Kraftangriffspunkt (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

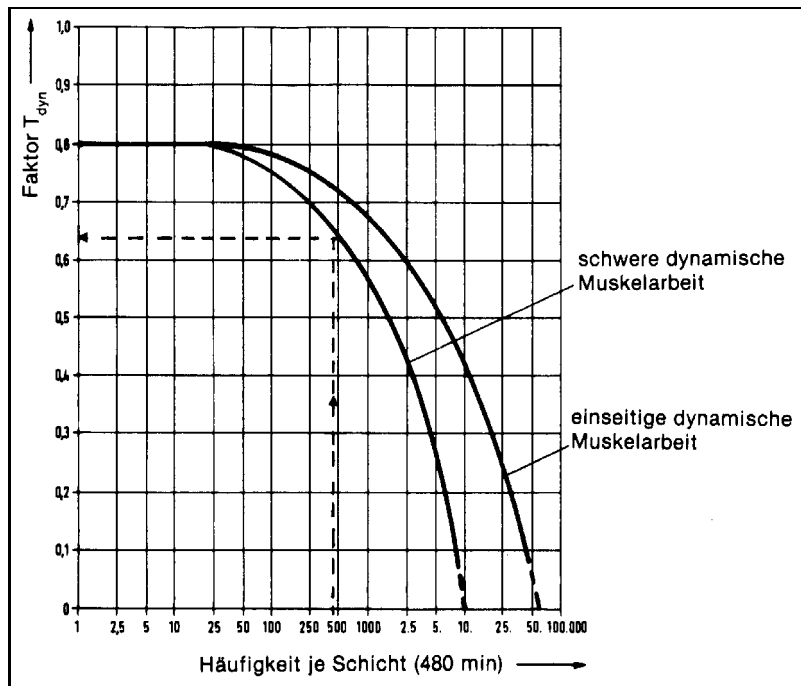
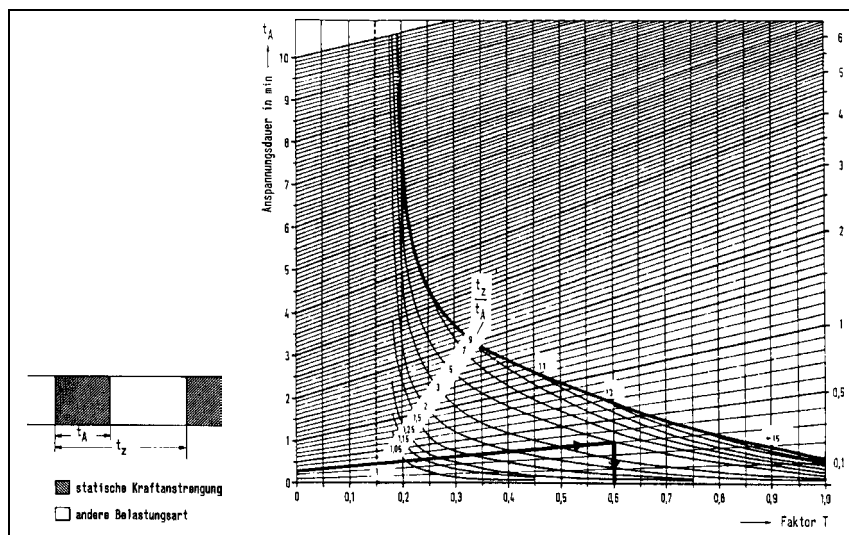


Abbildung 4-58:
Ermittlung des Faktors T_{stat} für statische Kraftanstrengungen





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.

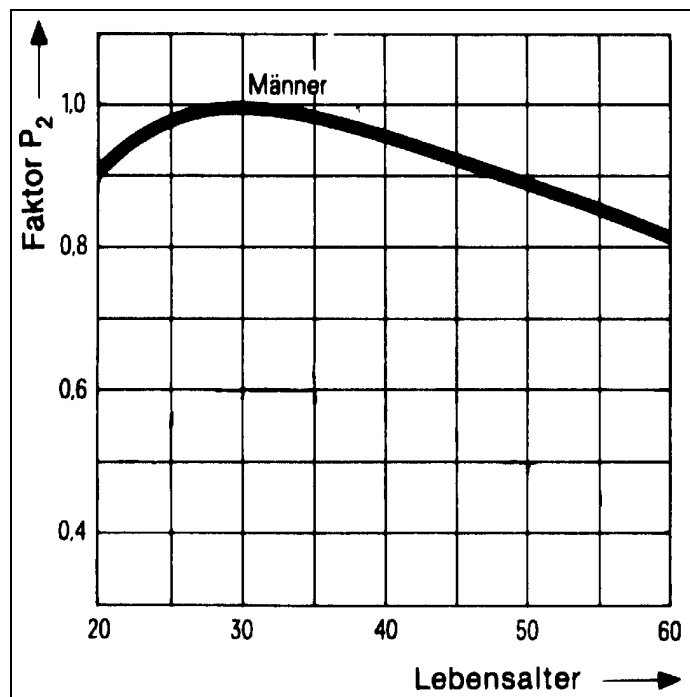


Abbildung 4-59:
Korrekturfaktor (P2) zur Berücksichtigung vom Alter des Nutzerkollektives



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)





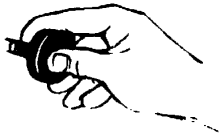
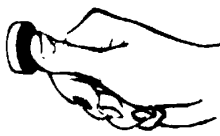
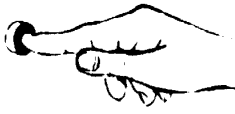
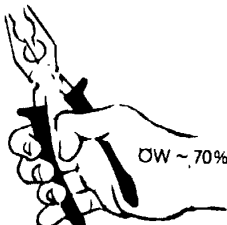
Belastung durch		Maximalkraft in N
Faustschluß um einen Zylinder von 40 mm Durchmesser		410
Druck des Daumens gegen vier Finger		190
Betätigen einer Druckleiste durch den Daumenballen		180
Druck des Daumens gegen die Zeigefingerseite		120
Betätigen eines Daumenschalters, Zeigefinger gehalten		100
Betätigen 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

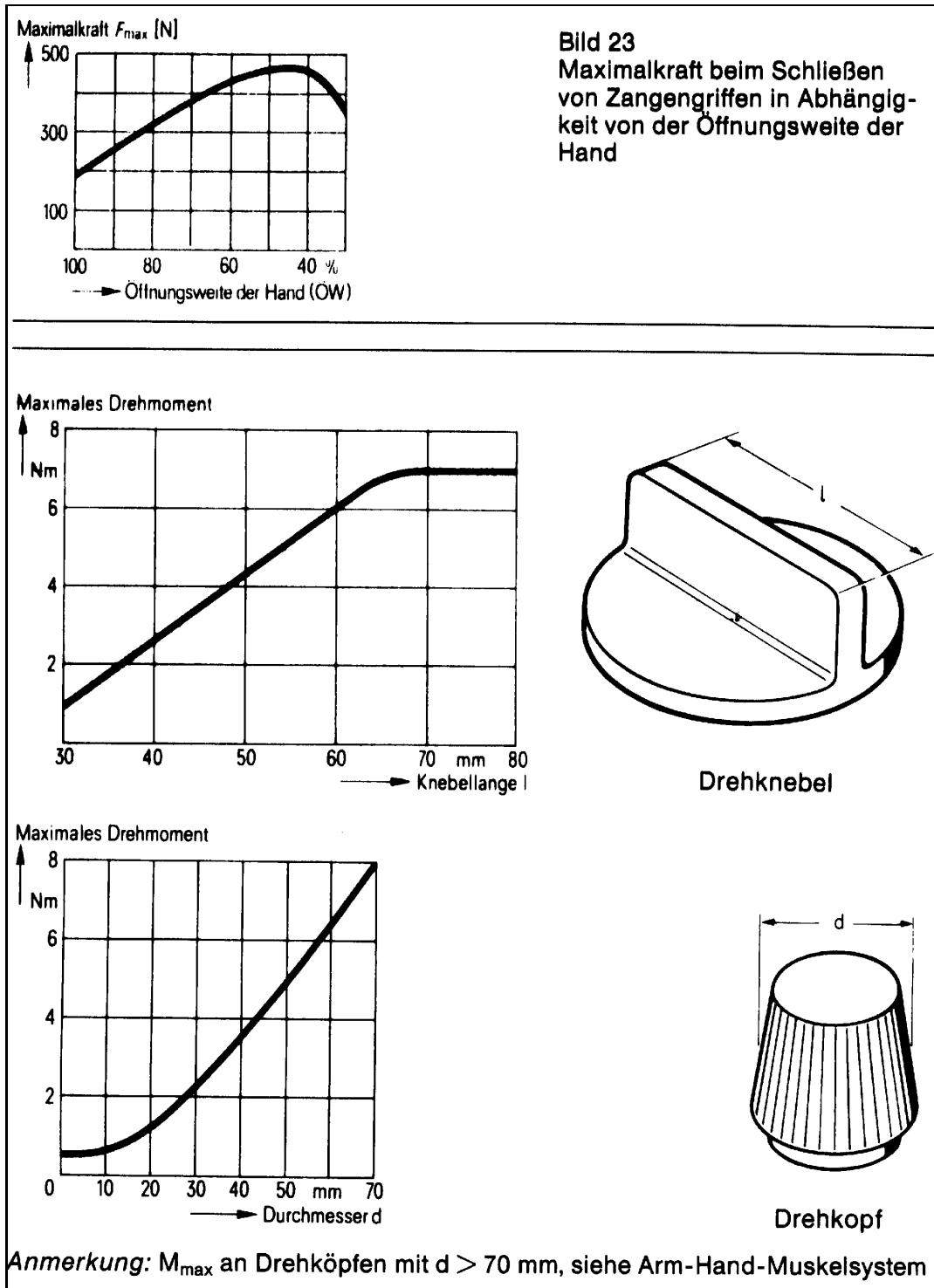




Abbildung 4-64:
Maximalkraftwerte des Hand-Arm-Systems in Abhängigkeit von der Kraftart

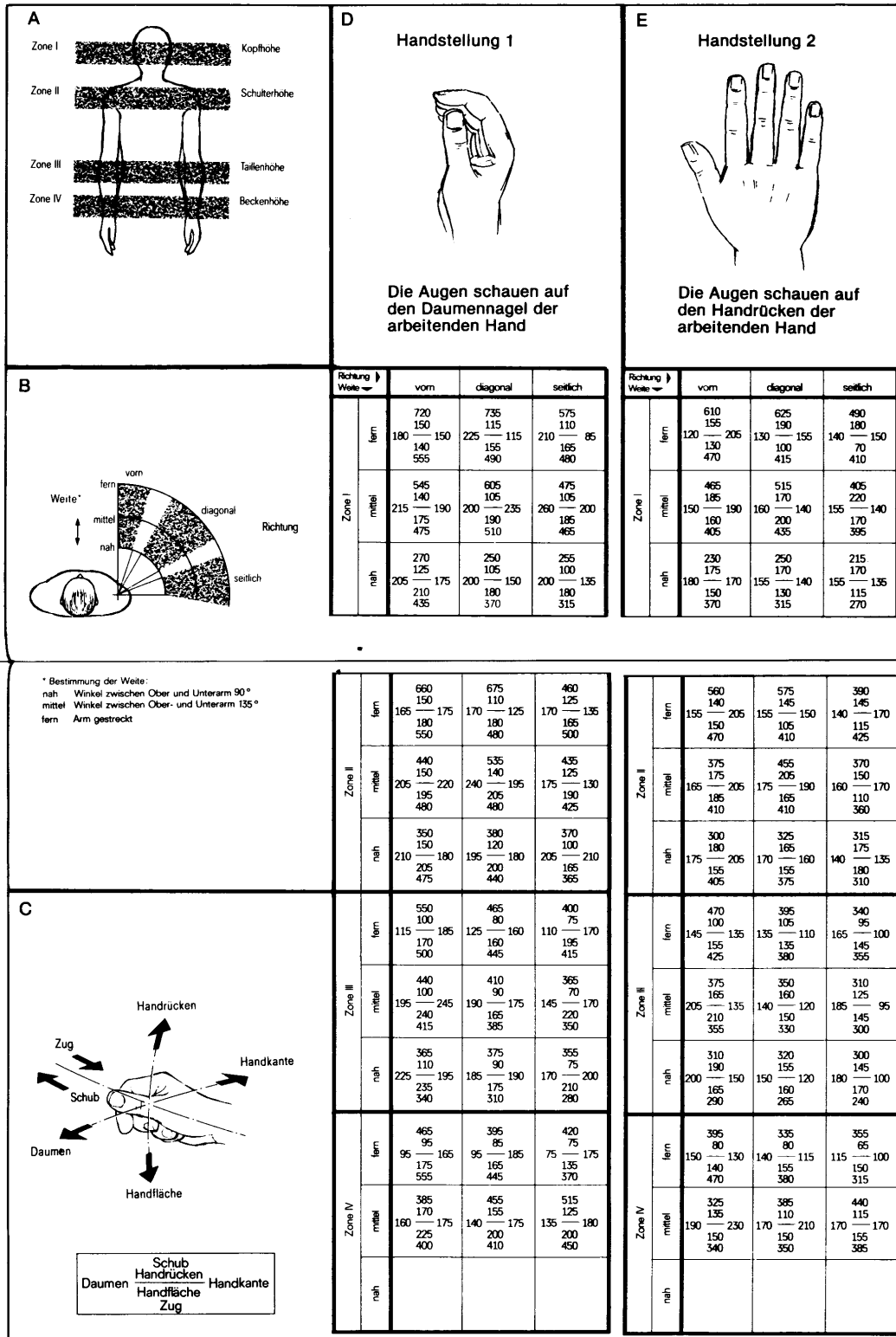
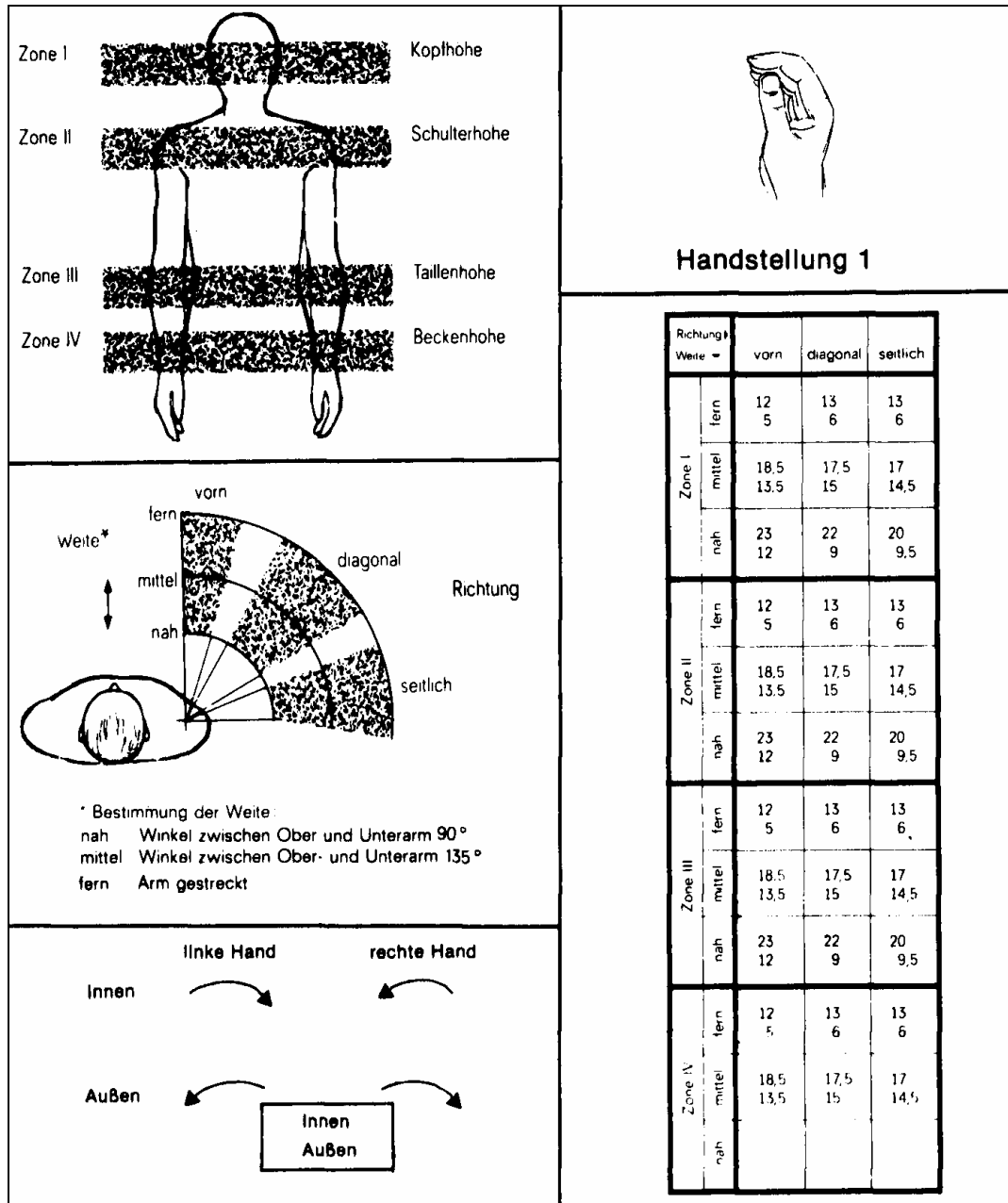




Abbildung 4-65:
Maximale Drehmomente des Hand-Arm-Systems



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 Gesamtpunktzahl 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 Rumpfleigung ist zu veranschauligen, 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 Räder/Lager	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			
+	Belastungswichtung			
+	Ausführungsbedingungen			
=	Summe	x	Zeitwichtung	x
				1,3
				= Punktwert

für weibliche Beschäftigte

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.



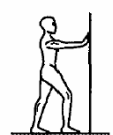
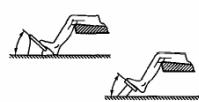
Hierzu werden Kraftgrenzen für eine gewählte Kraftausübung (Körperhaltung, Kraft-richtung, Kraftangriffspunkt) in Abhängigkeit von der beabsichtigten Nutzergruppe (Verteilung von Alter und Geschlecht) ermittelt (Tabelle 4-6, siehe Seite 110). Für



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
rein ↔ raus  drücken ↓ ziehen  hoch ↓ runter	Armarbeit (sitzende Haltung, einarmig): - aufwärts - abwärts - nach außen - nach innen - Schieben: - mit Rumpfabstützung - ohne Rumpfabstützung - Ziehen: - mit Rumpfabstützung - ohne Rumpfabstützung	50 75 55 75 275 62 225 55	31 44 31 49 186 30 169 28
	Ganzkörperarbeit (stehende Haltung): - Schieben - Ziehen	200 145	119 96
	Pedalarbeit (sitzende Haltung, mit Rumpfabstützung): - Betätigung mit dem Fußgelenk - Betätigung mit dem Bein	250 475	154 308



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.

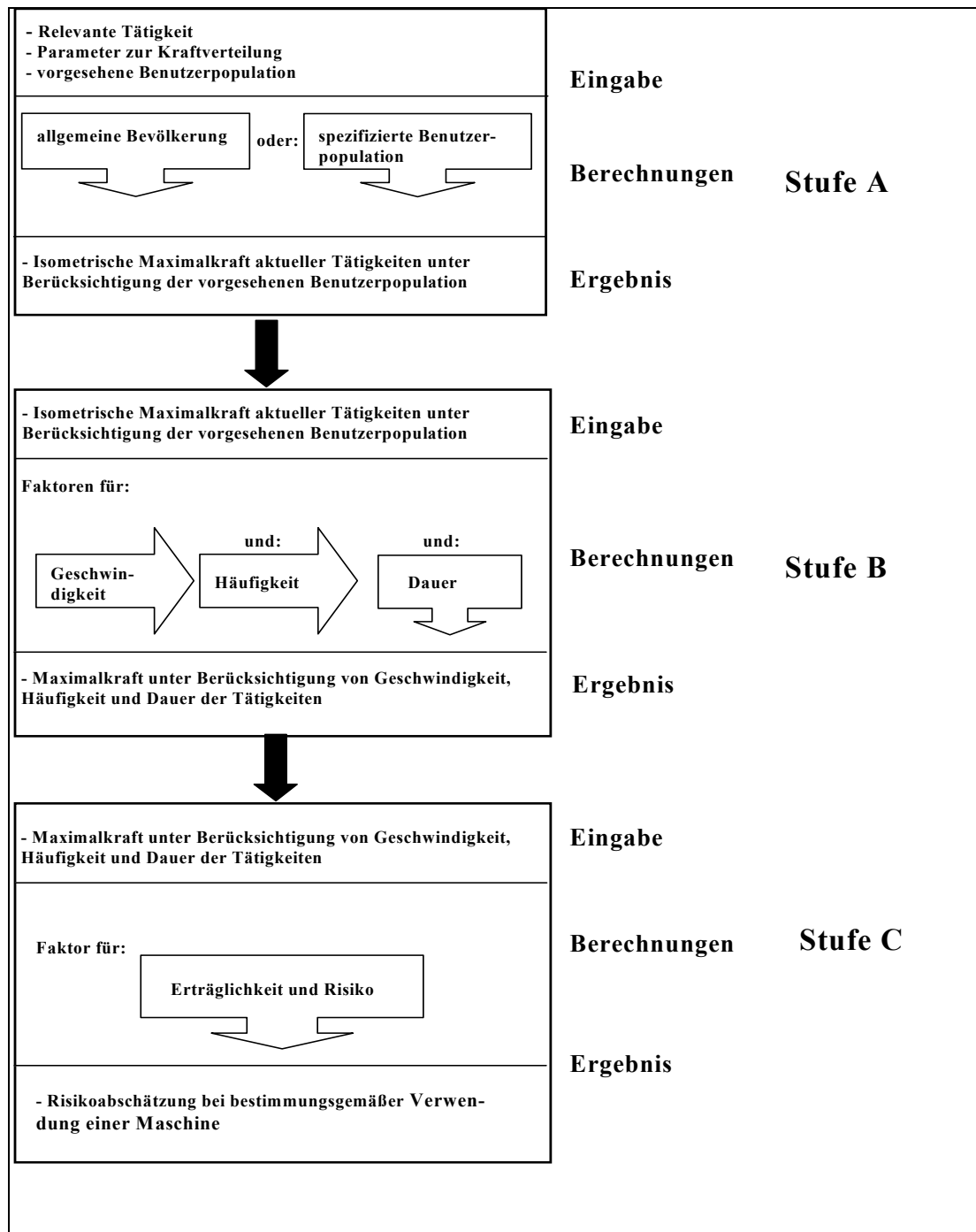
Als harmonisierte europäische Norm bietet DIN EN 1005-3 dem Konstrukteur eine Erleichterung bei der Erlangung des CE-Zeichens, wenn seine Konstruktion im Einklang mit dieser Norm entwickelt wurde.

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

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

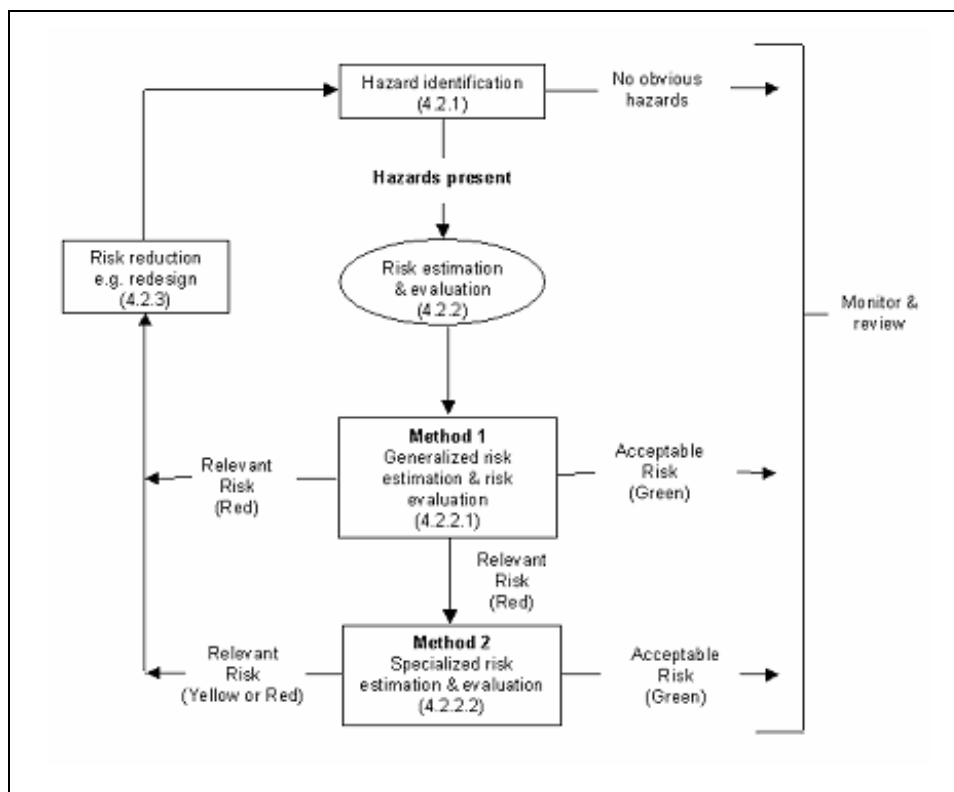


Abbildung 4-71 (siehe Seite 117) zeigt die Vorgehensweise zur Risikoeinschätzung und Risikobewertung nach Methode 2 (Arbeitspapier zum Entwurf ISO/WD 11228-2).

Die komplette Formel für die Berechnung der Kraftgrenze lautet somit:

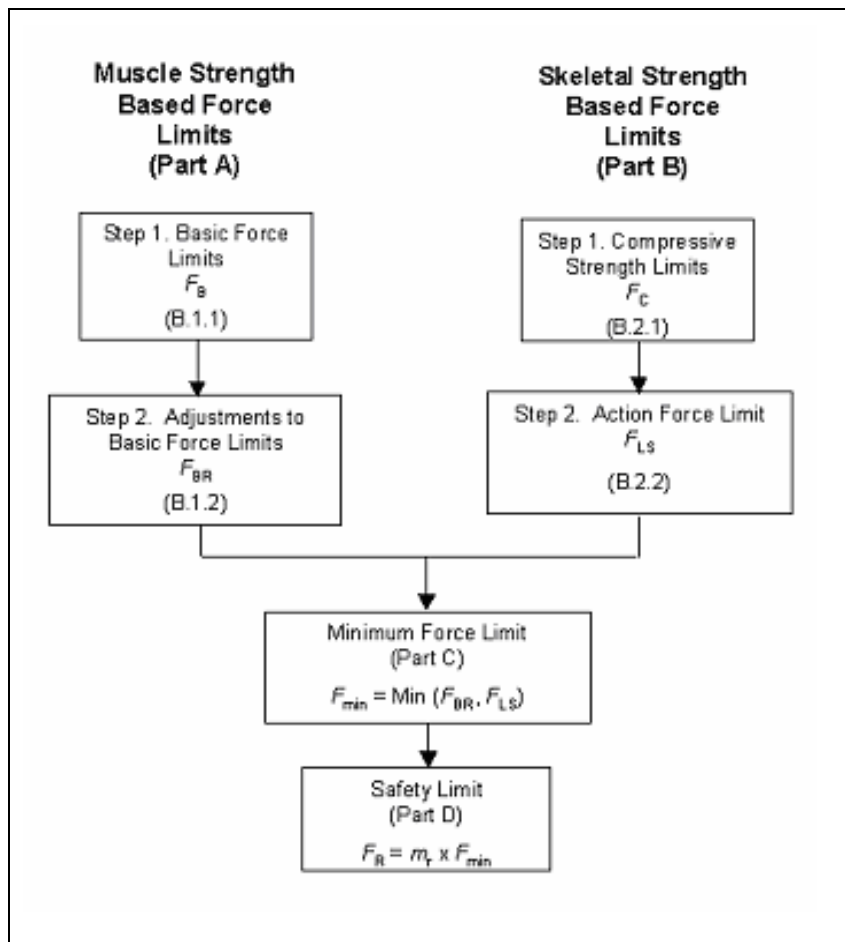
$$F_R = m_r \times F_B (1 - m_d(d) - m_f(f))$$

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)

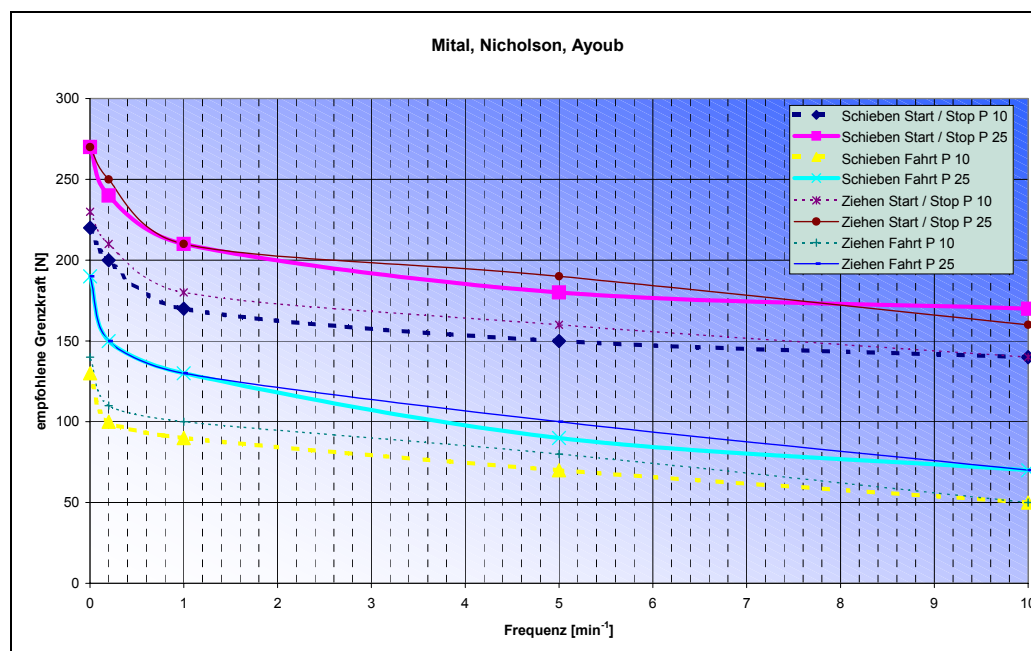
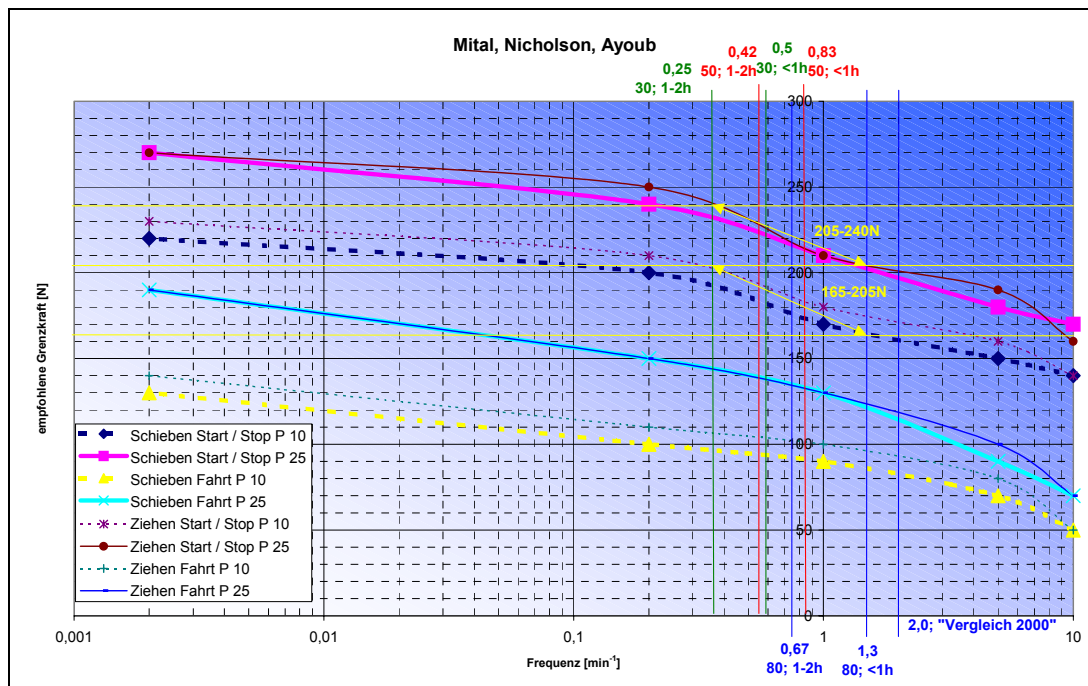




Abbildung 4-73:

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: Taillenhöhe, 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

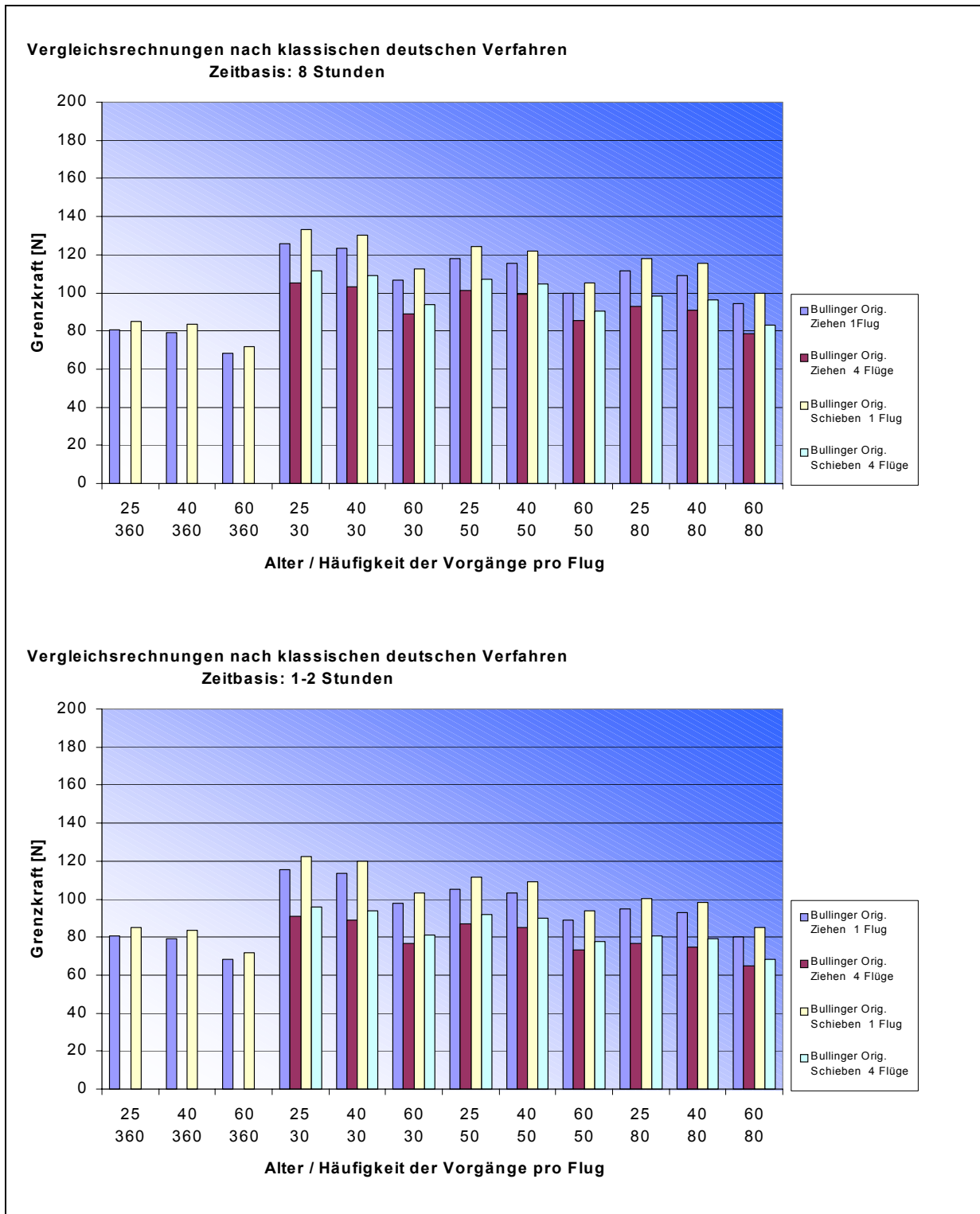
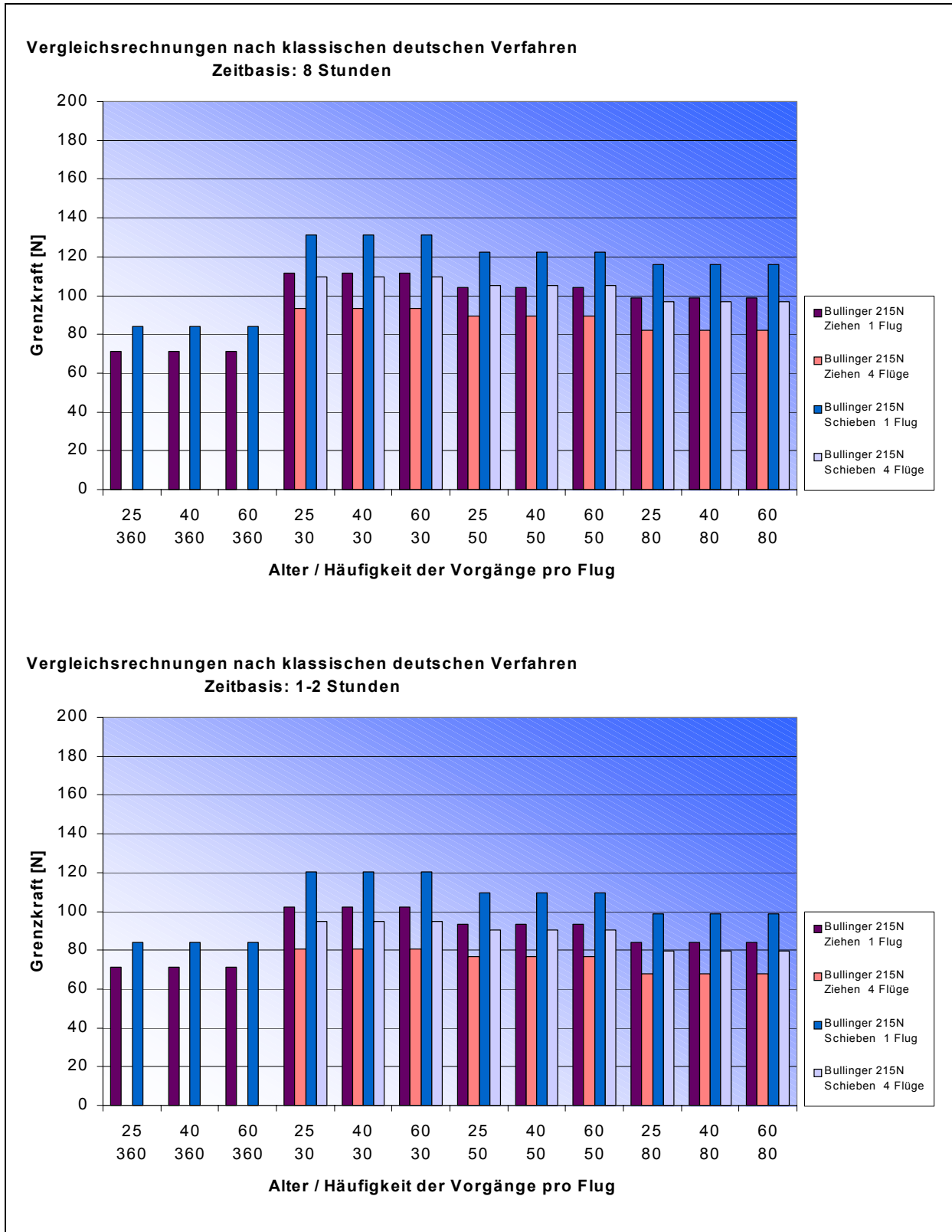




Abbildung 4-75:
Berechnungen nach Bullinger „P 15 synthetisch“





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

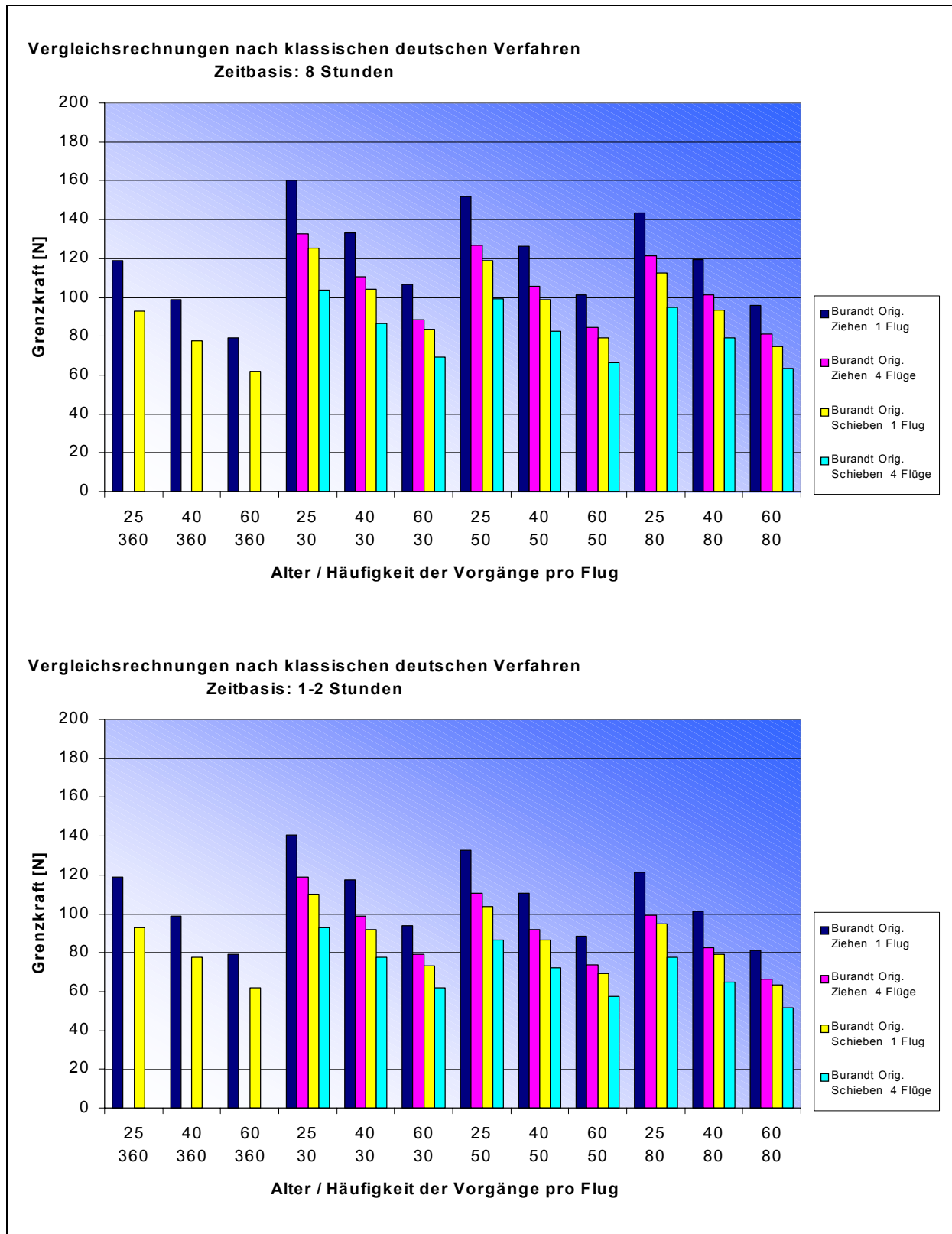




Abbildung 4-77:
Berechnungen nach *Burandt* „P 15 synthetisch“

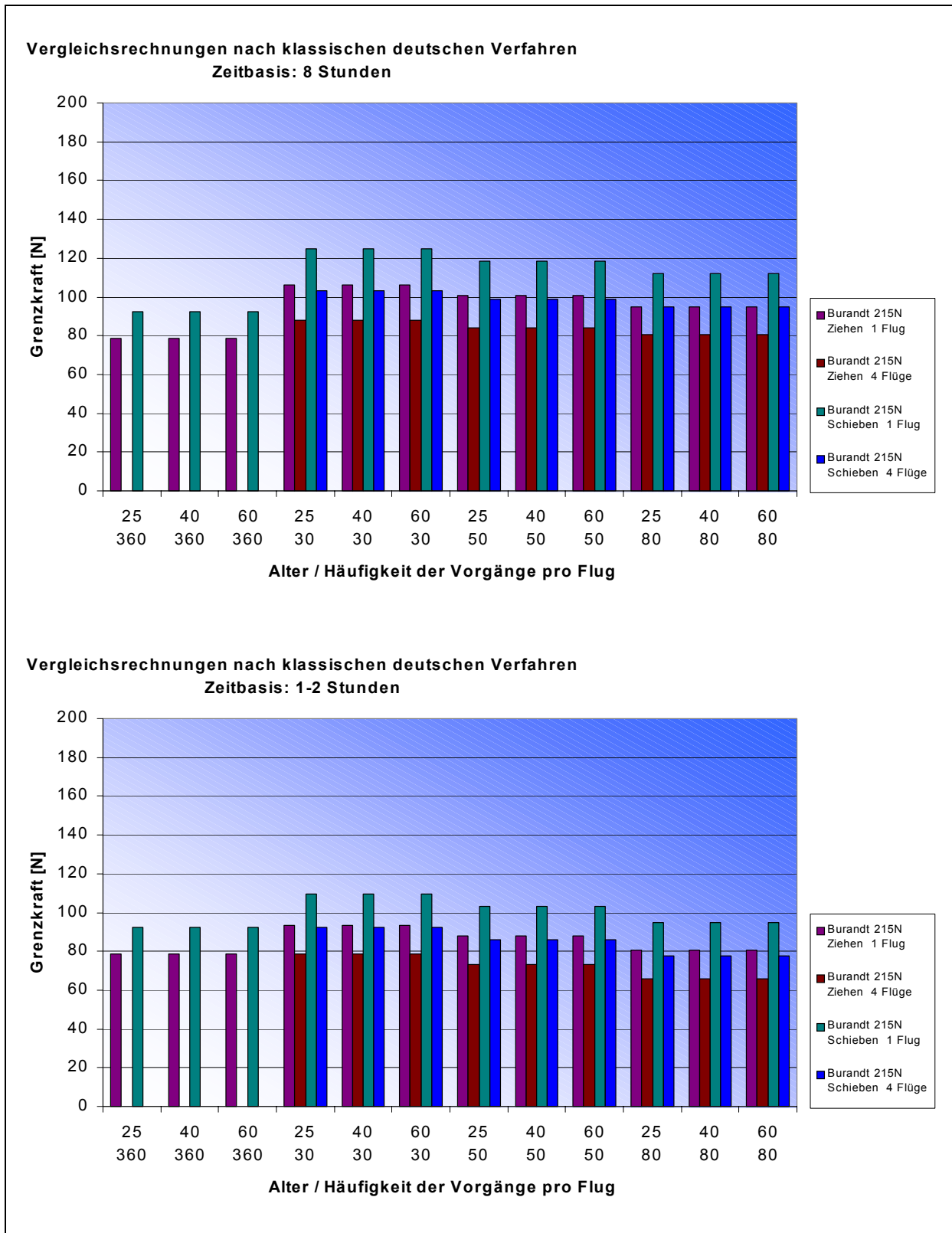




Abbildung 4-78:
Berechnungen nach dem REFA-Originalverfahren

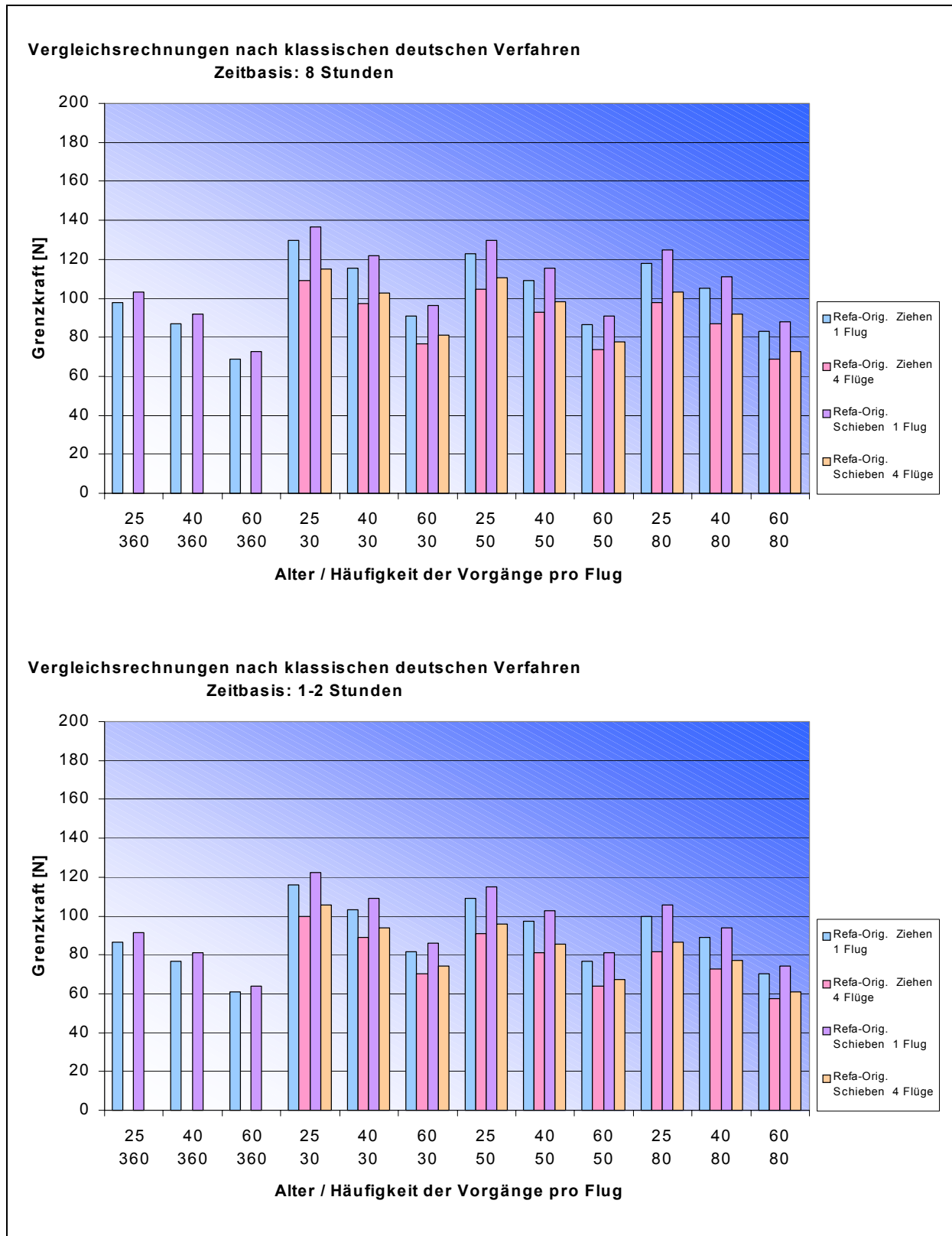
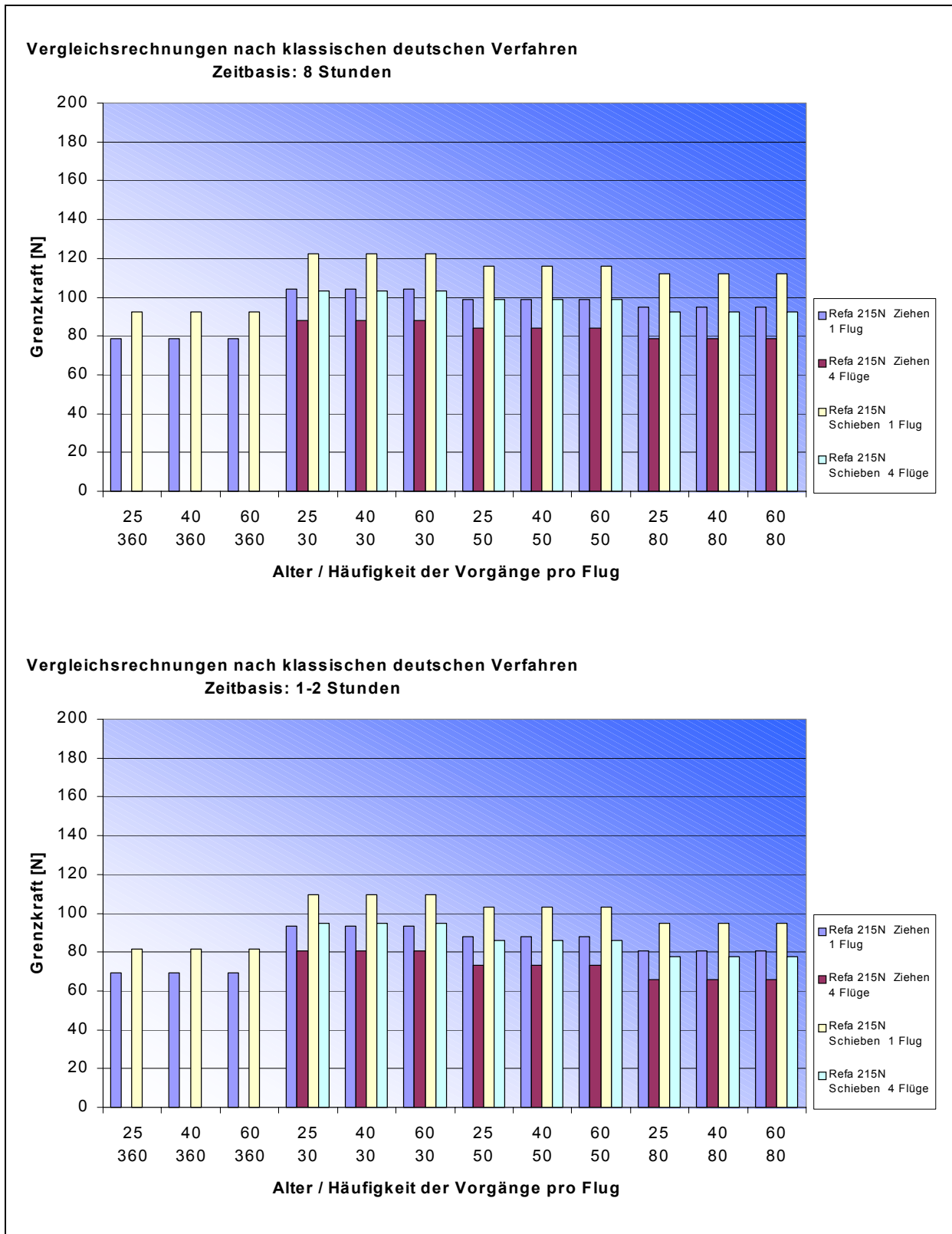




Abbildung 4-79:
Berechnungen nach REFA „P 15 synthetisch“





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

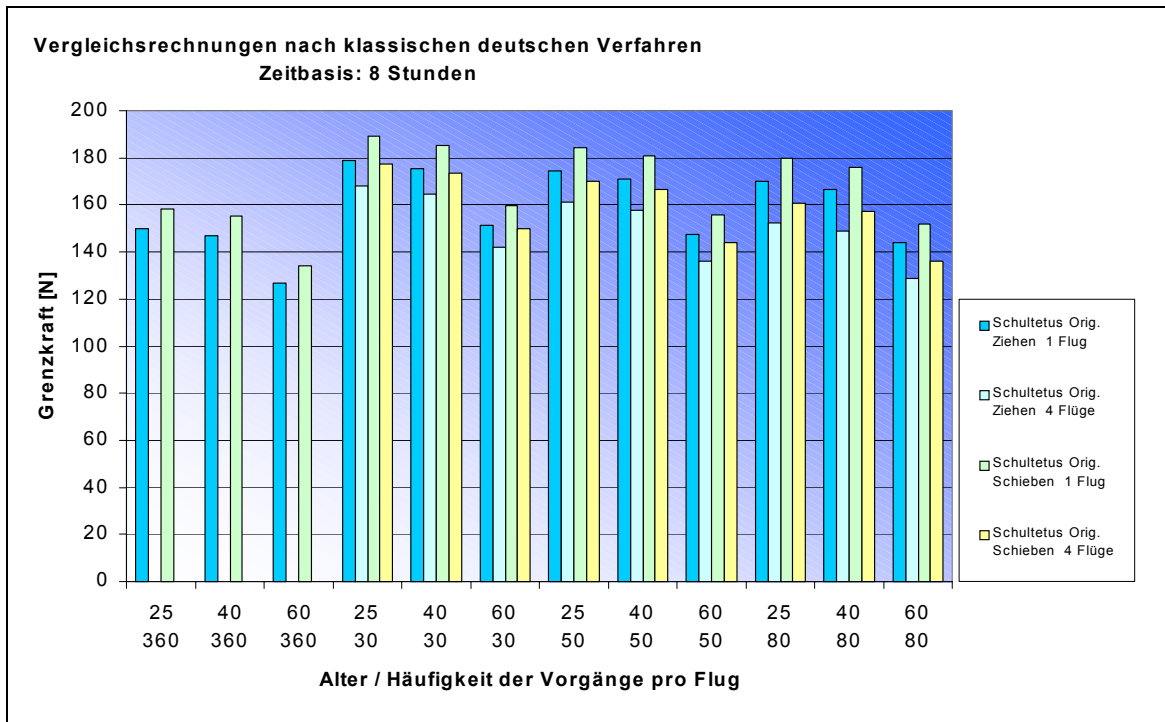


Abbildung 4-81:
Berechnungen nach *Schultetus* „P 15 synthetisch“

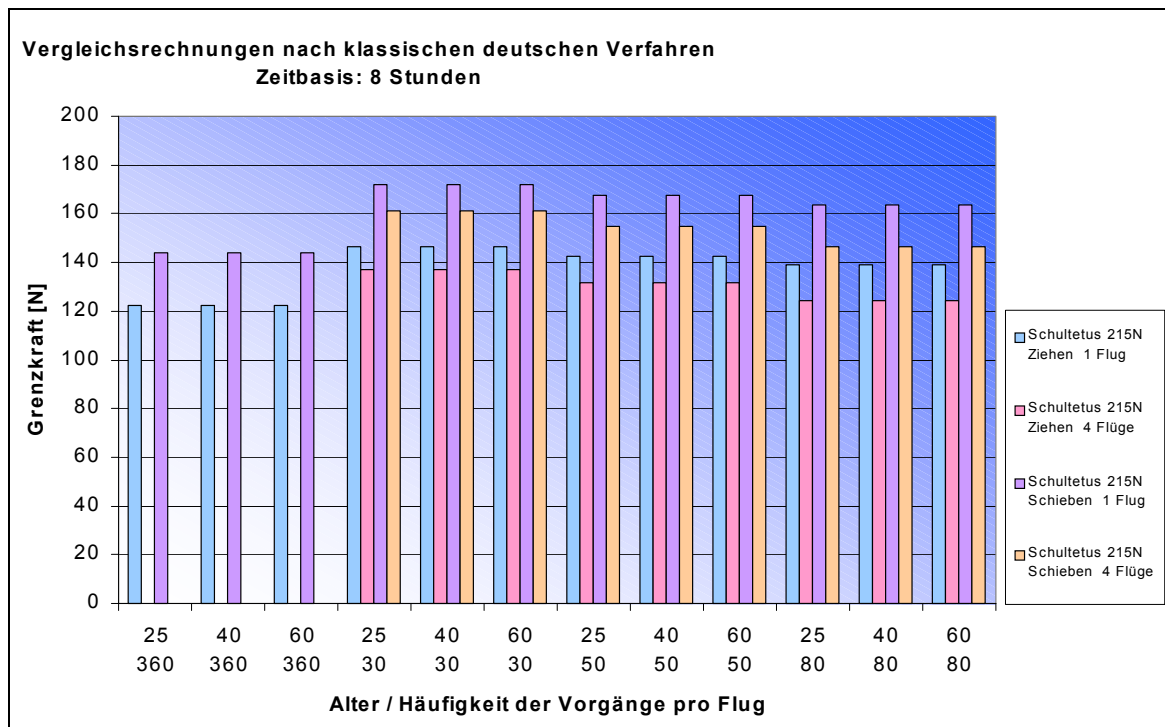




Abbildung 4-82:
Berechnungen nach dem Siemens-Originalverfahren

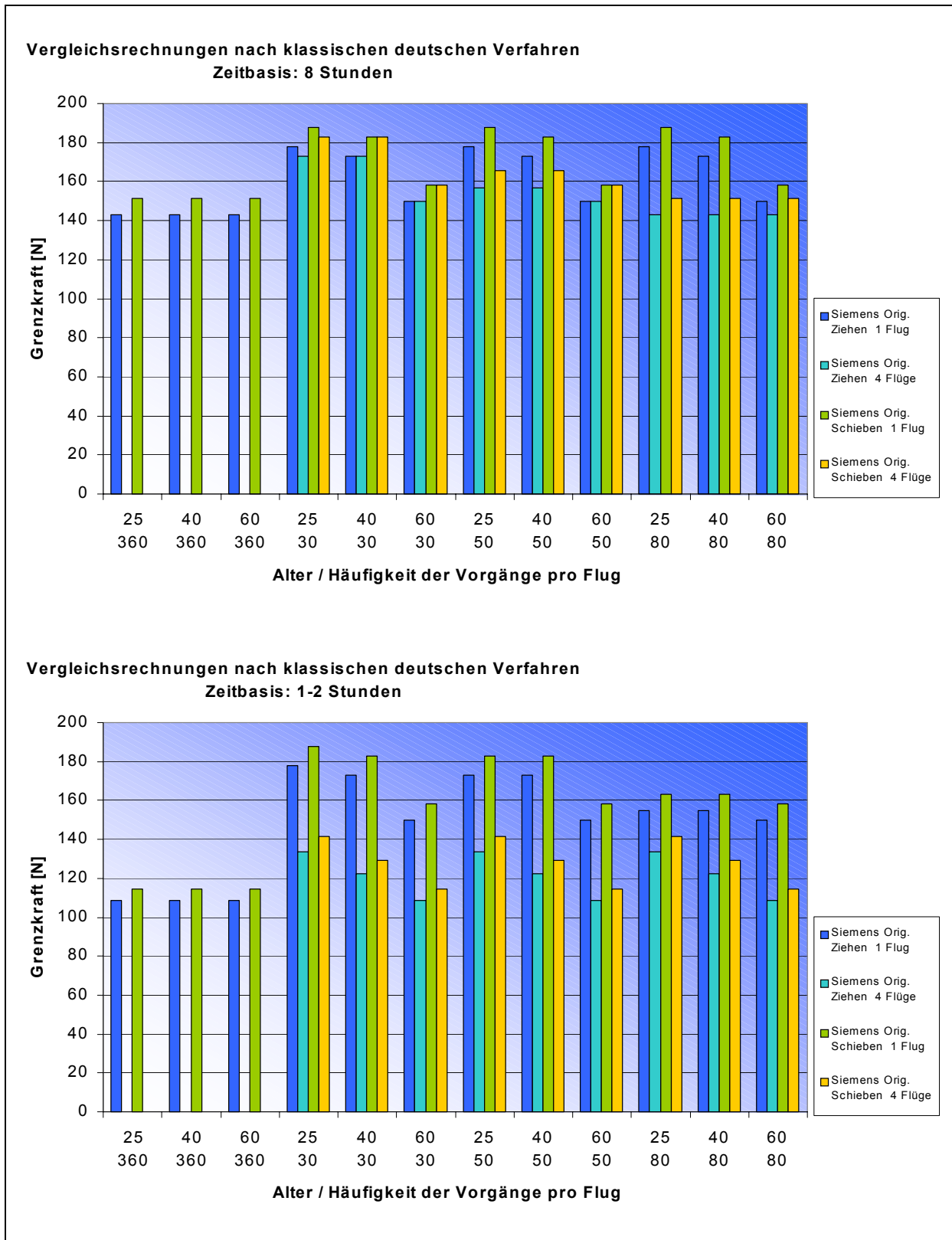




Abbildung 4-83:
Berechnungen nach Siemens „P 15 synthetisch“

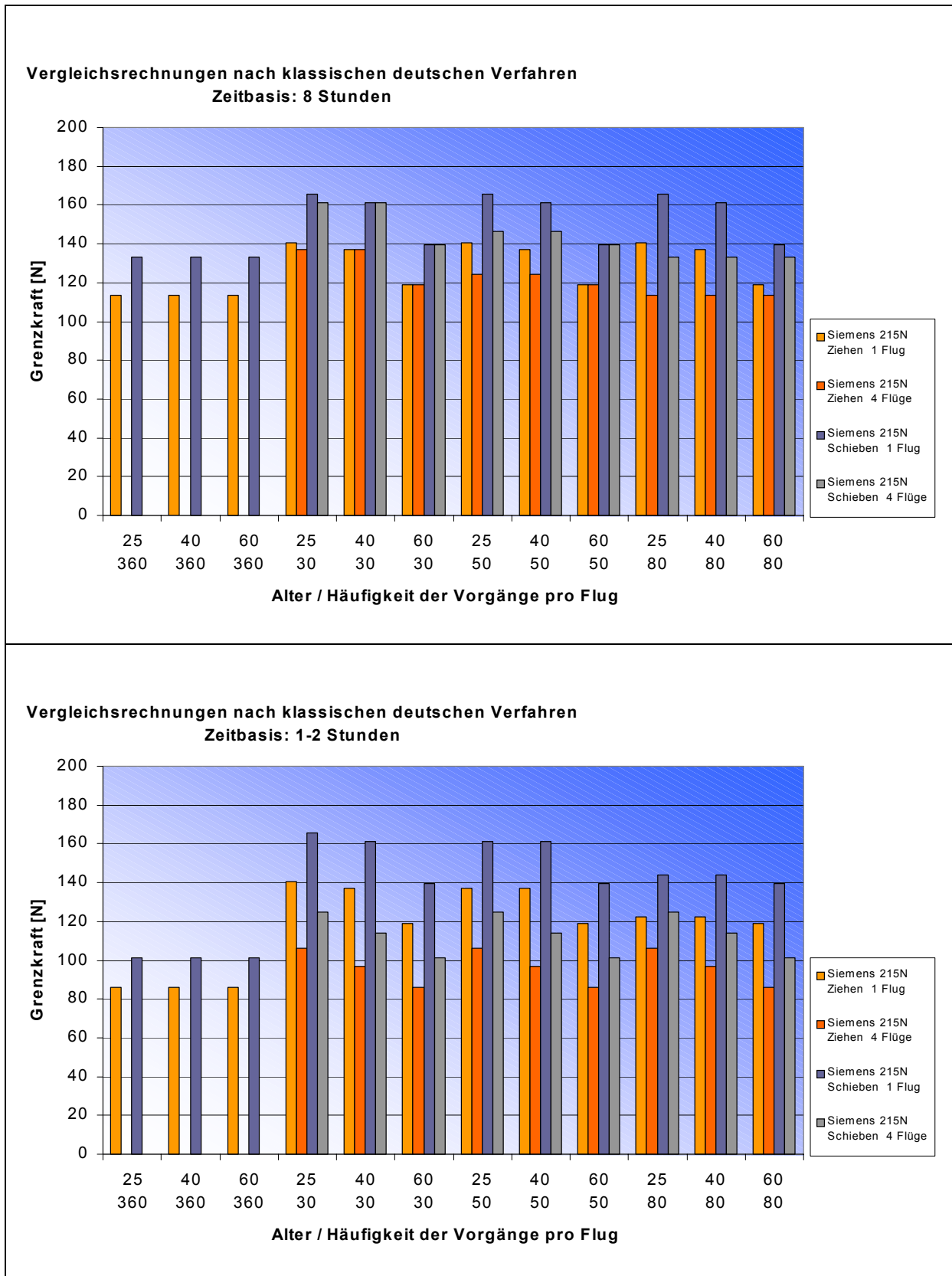




Abbildung 4-84:
Berechnungen nach dem VDI-Originalverfahren

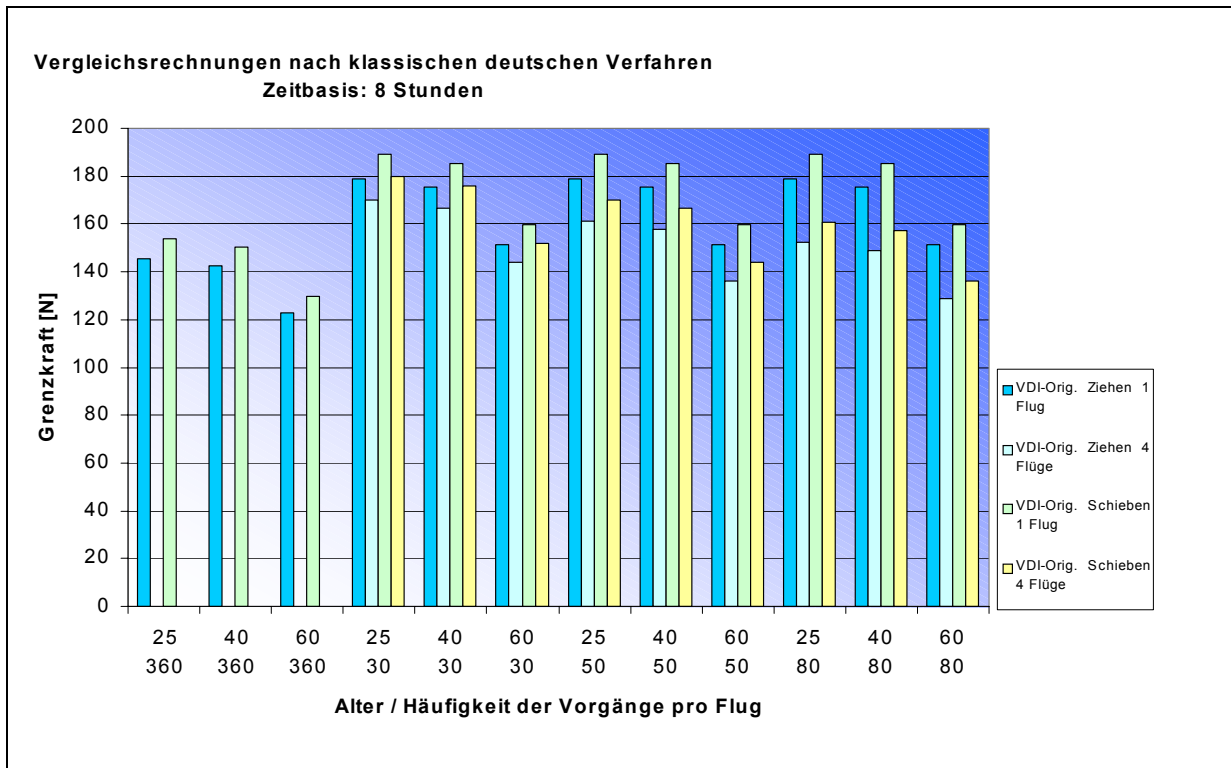
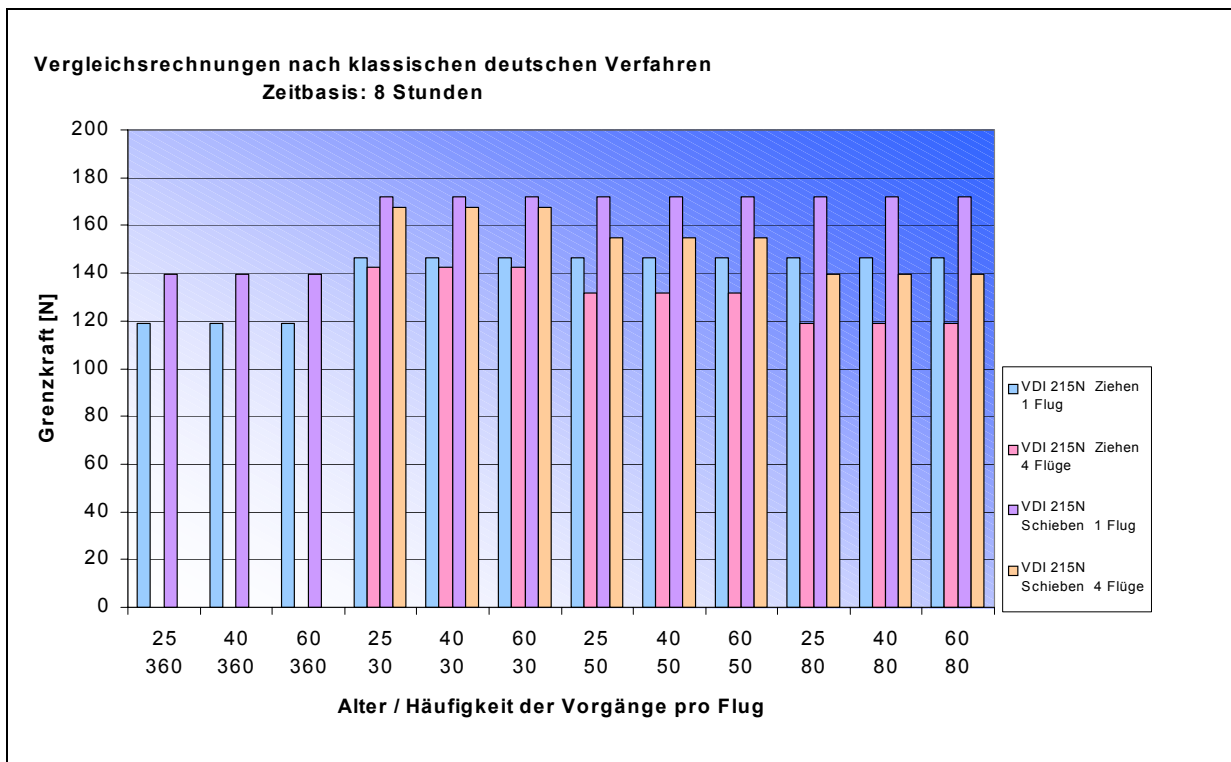


Abbildung 4-85:
Berechnungen nach VDI „P 15 synthetisch“





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	50-100	0	10	20
			0-2	16	30
			2-5	22	40
			>5	33	60
	50	50-100	0	13	25
			0-2	20	36
			2-5	27	49
			>5	40	74
	80	50-100	0	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.

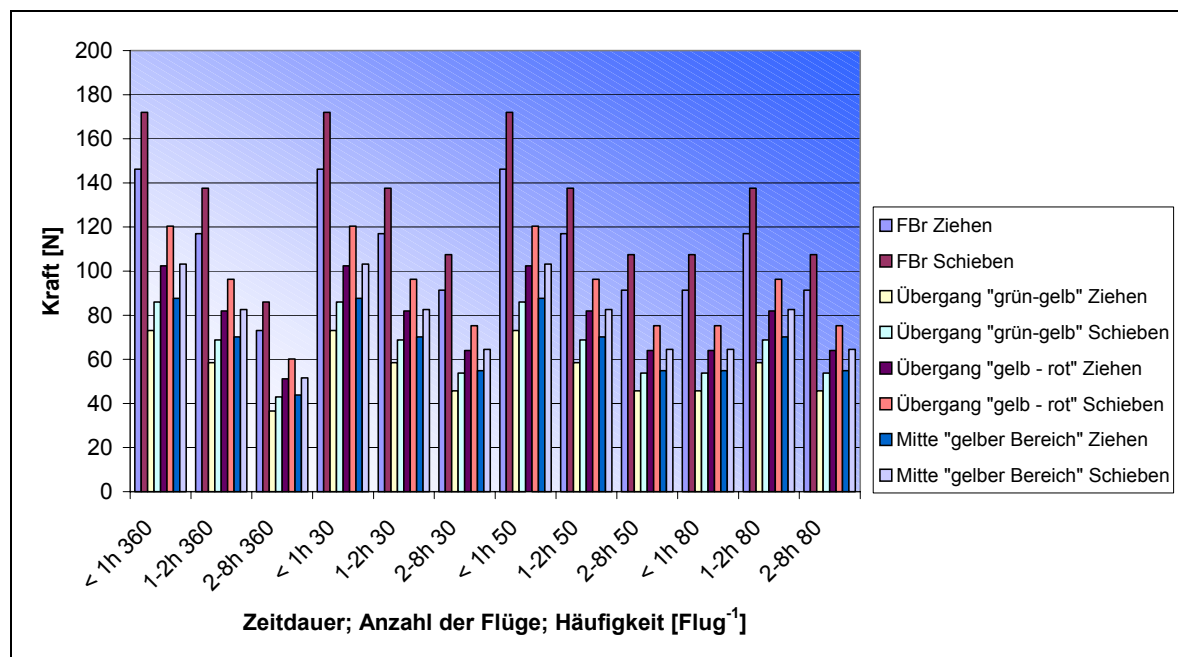
Tabelle 4-18:
Frequenzfaktoren für die Modellrechnungen best/worst case

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)



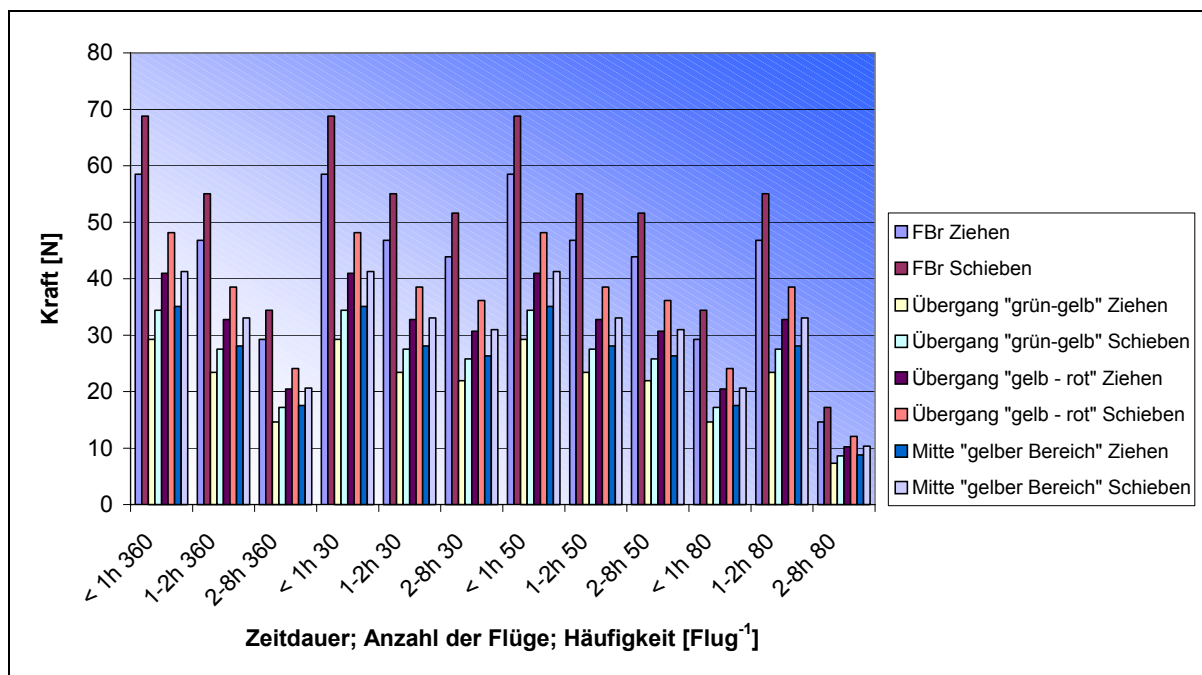
Betrachtet man die Modellrechnungen, so liegen die empfohlenen Kraftgrenzen am Übergang „grün-gelb“ frequenzabhängig zwischen ca. 20 und 70 N (best case) bzw. weniger als 10 bis 30 N (worst case).

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

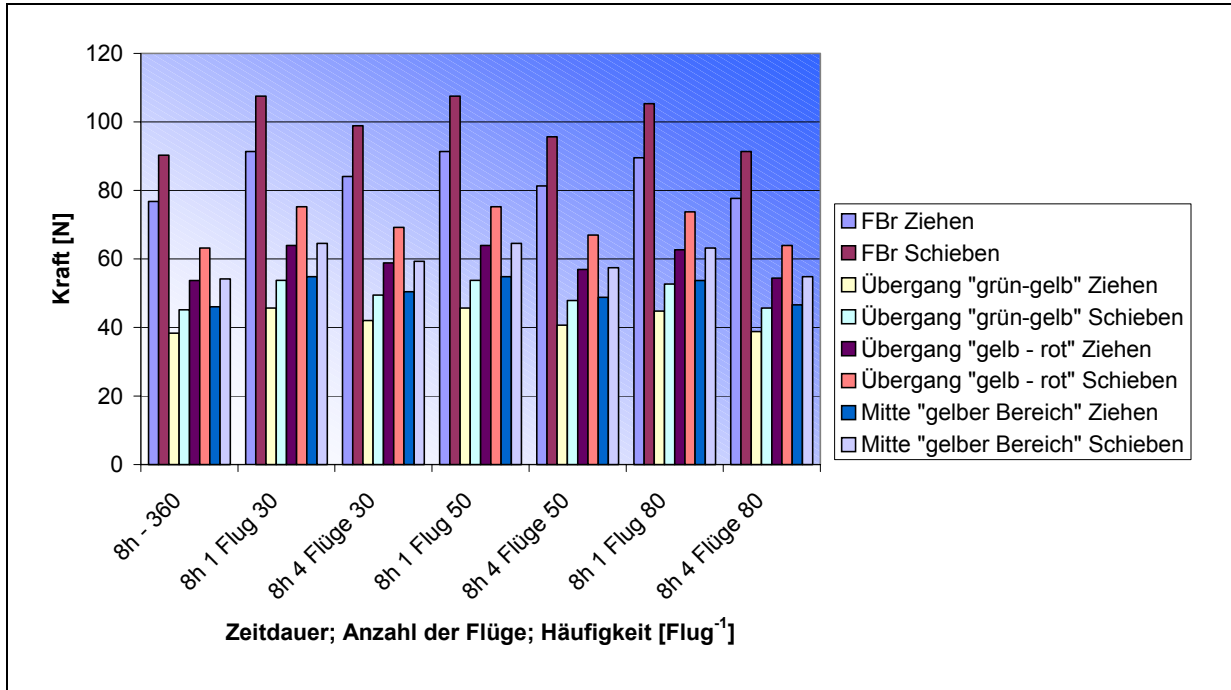
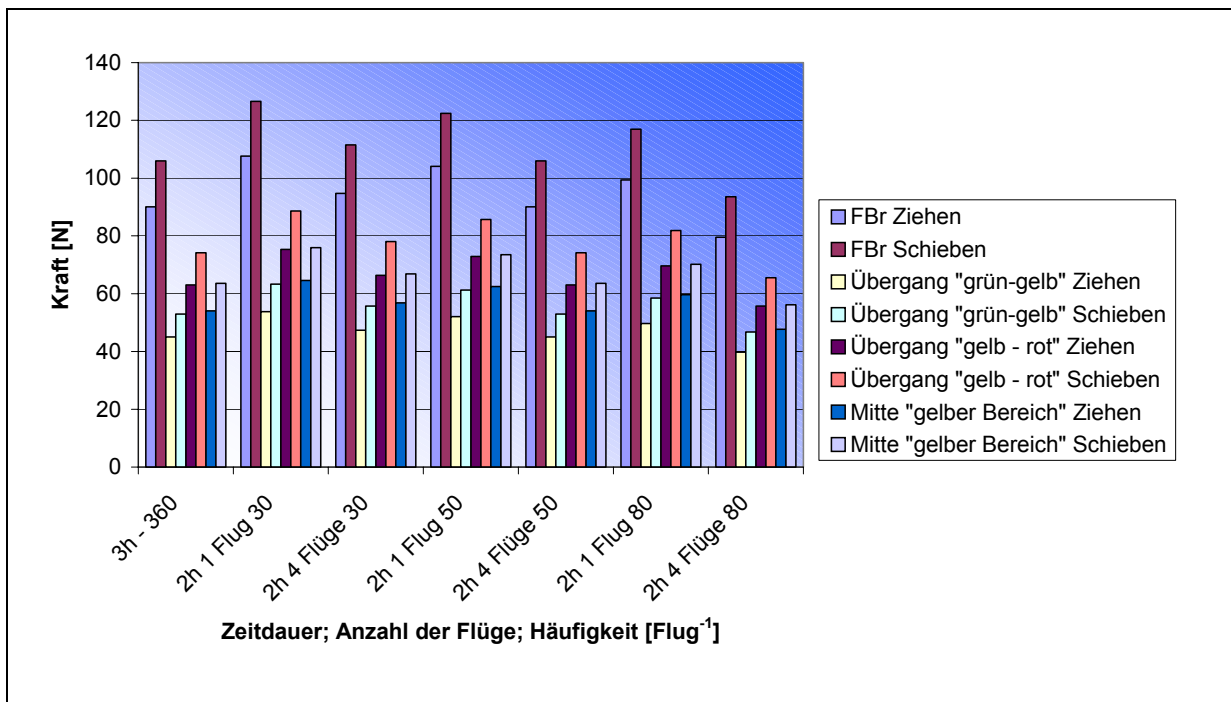


Abbildung 4-89:
Reduzierte Kapazitätsgrenzen F_{Br} nach DIN EN 1005-3 auf der Zeitbasis von zwei Stunden





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

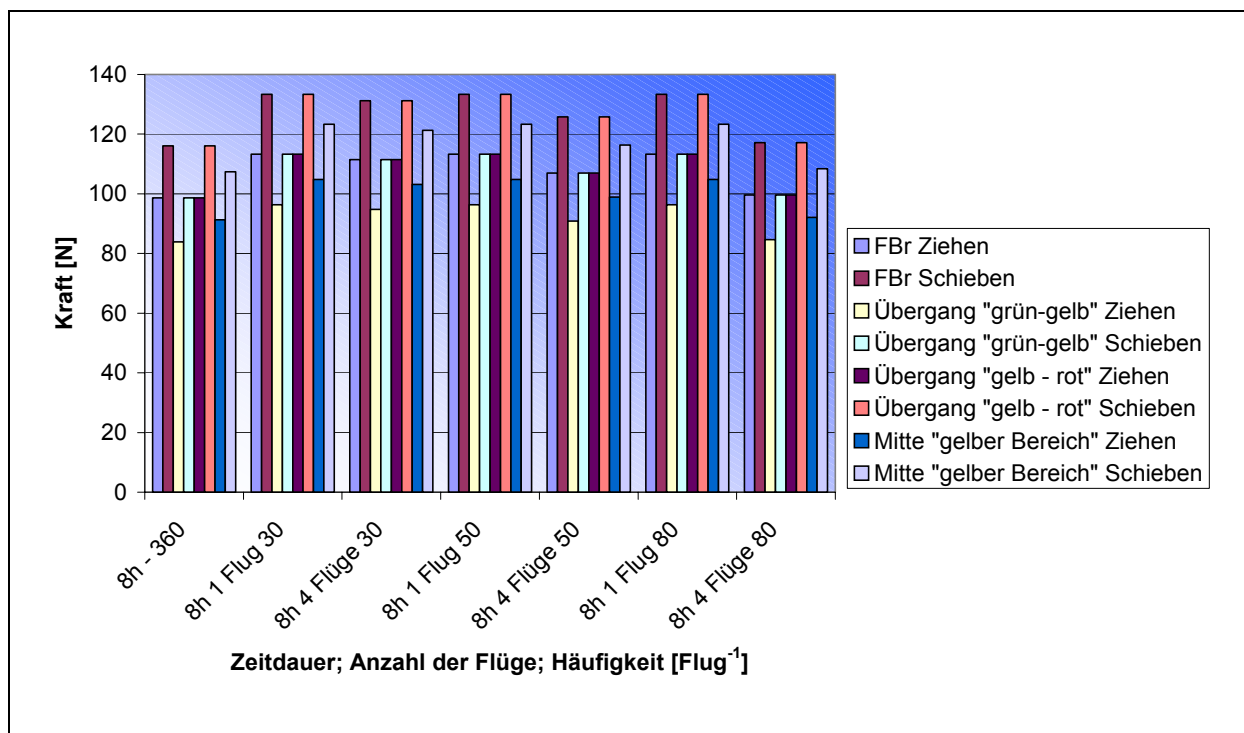




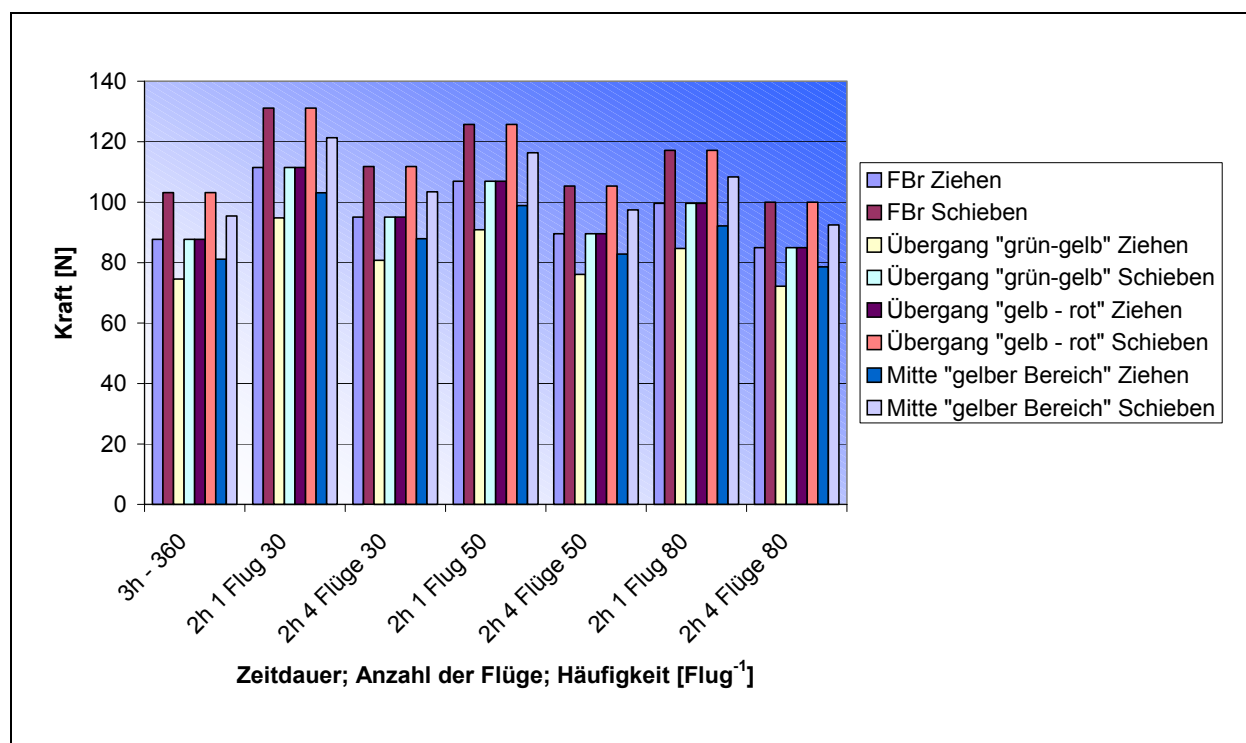
Tabelle 4-22:

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

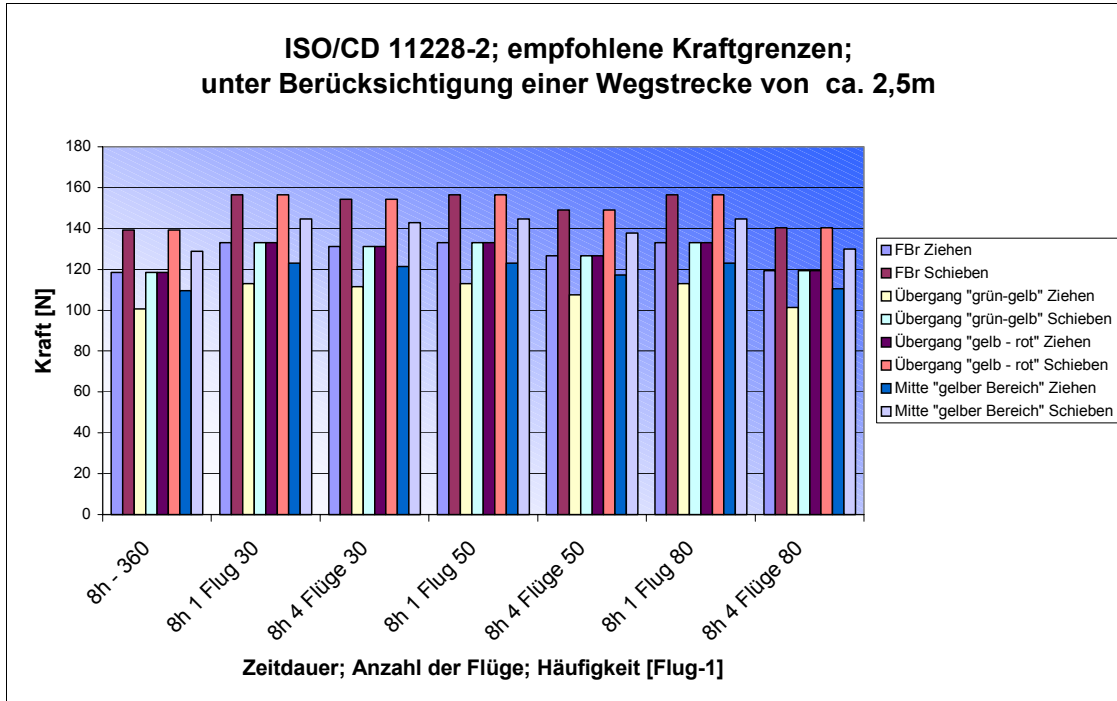
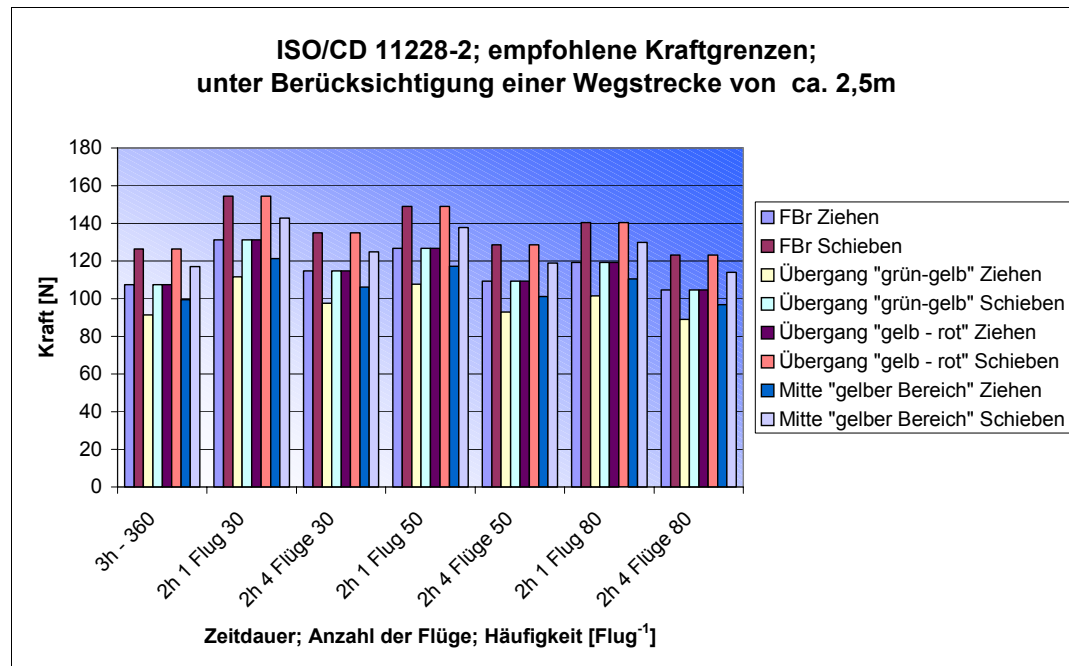


Abbildung 4-93:

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

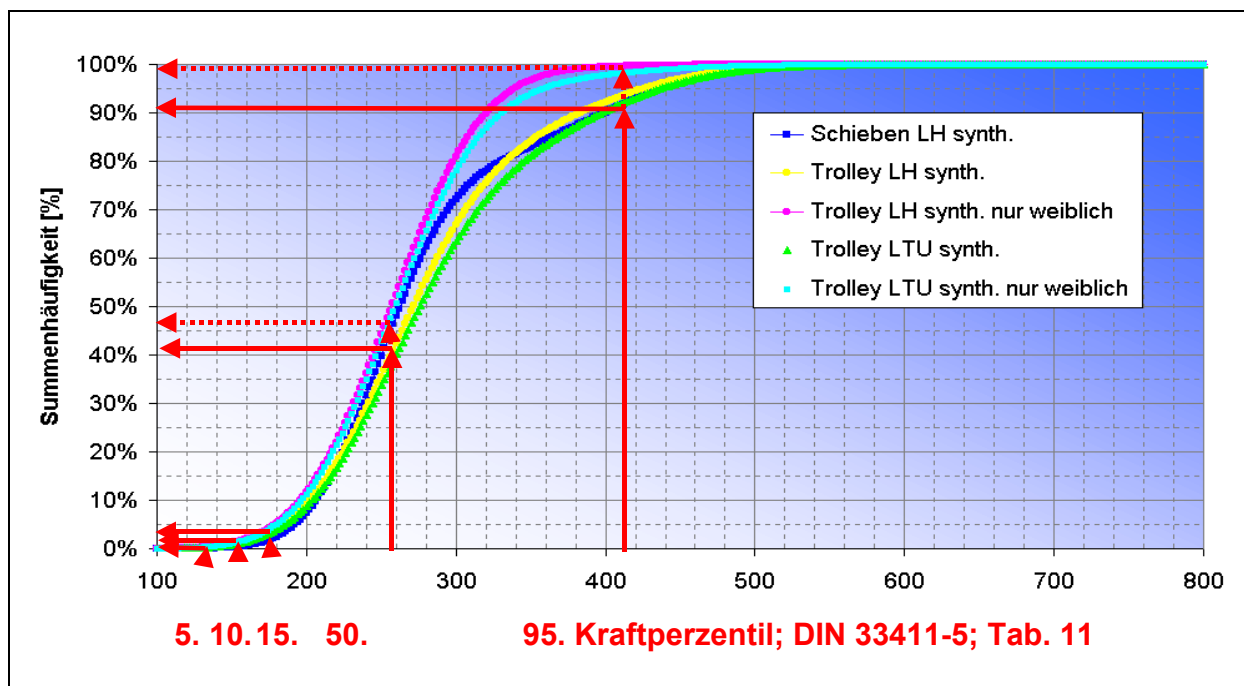


ISO/WD 11228-2, die Reduktionsfaktoren für Manipulationshäufigkeit und zurückgelegte Wegstrecke auf der Basis der Daten von *Mital*, *Nicholson* und *Ayoub* ermittelte, werden Reduktionsfaktoren von minimal 38 % für die vorliegenden Lastfälle vorgesehen! Auch die klassischen deutschen Bewertungsverfahren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

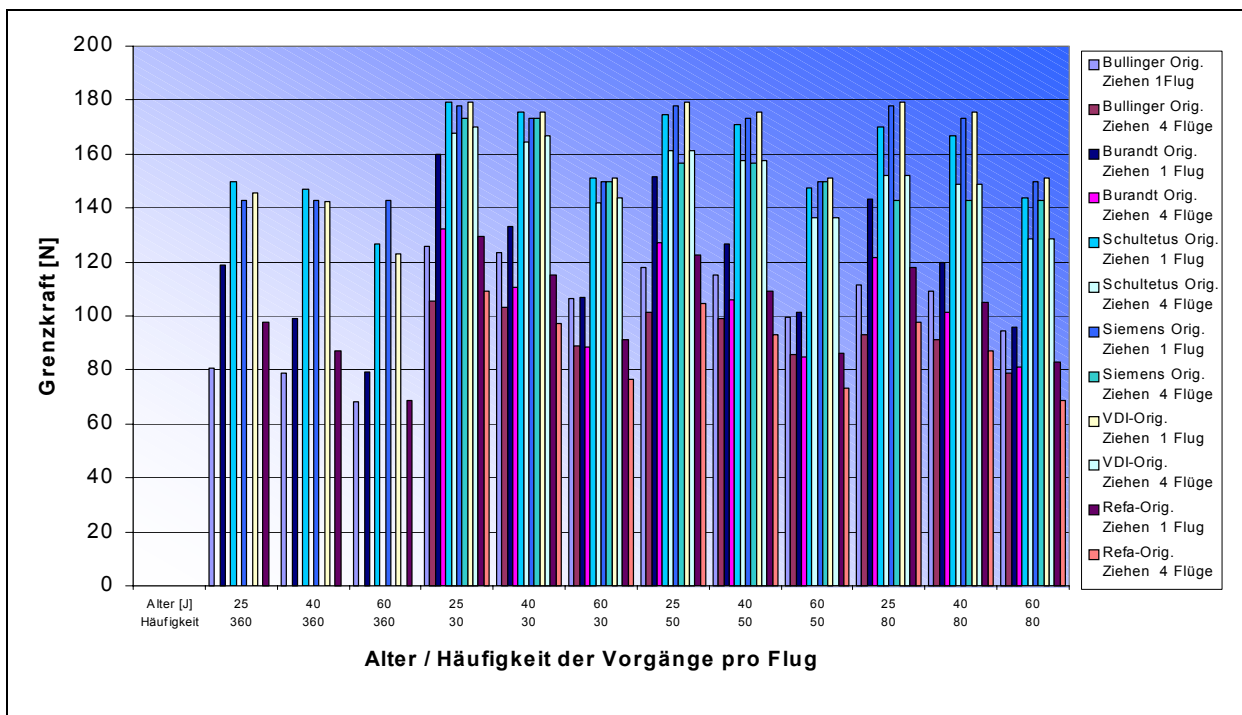




Abbildung 4-96:
Grenzkraftermittlung für Schubkräfte nach den Originalverfahren
(Zeitbasis: acht Stunden)

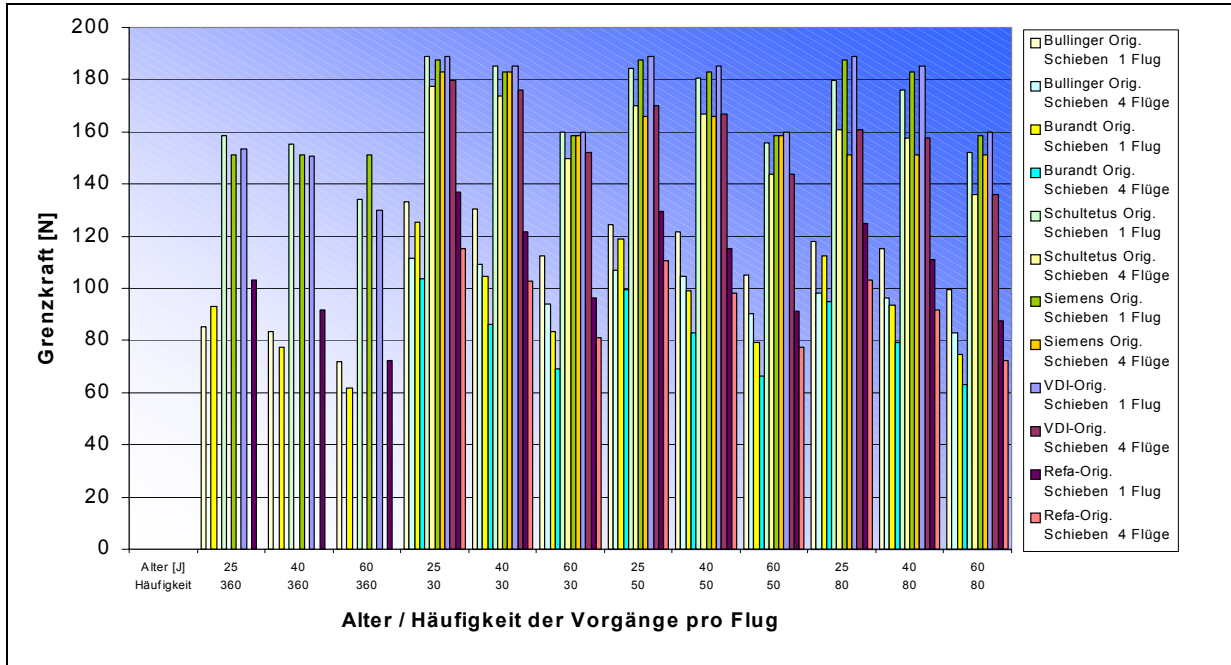


Abbildung 4-97:
Grenzkraftermittlung für Zugkräfte auf der Kraftbasis von 215 N
(Zeitbasis: acht Stunden)

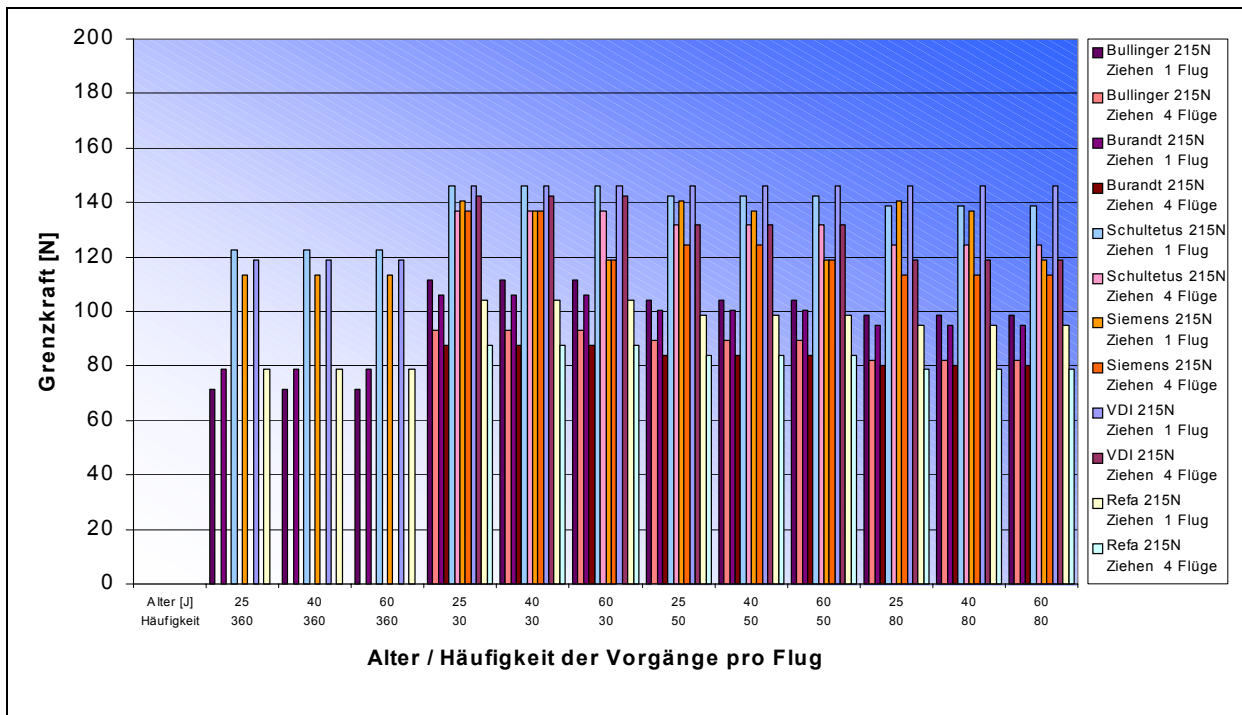
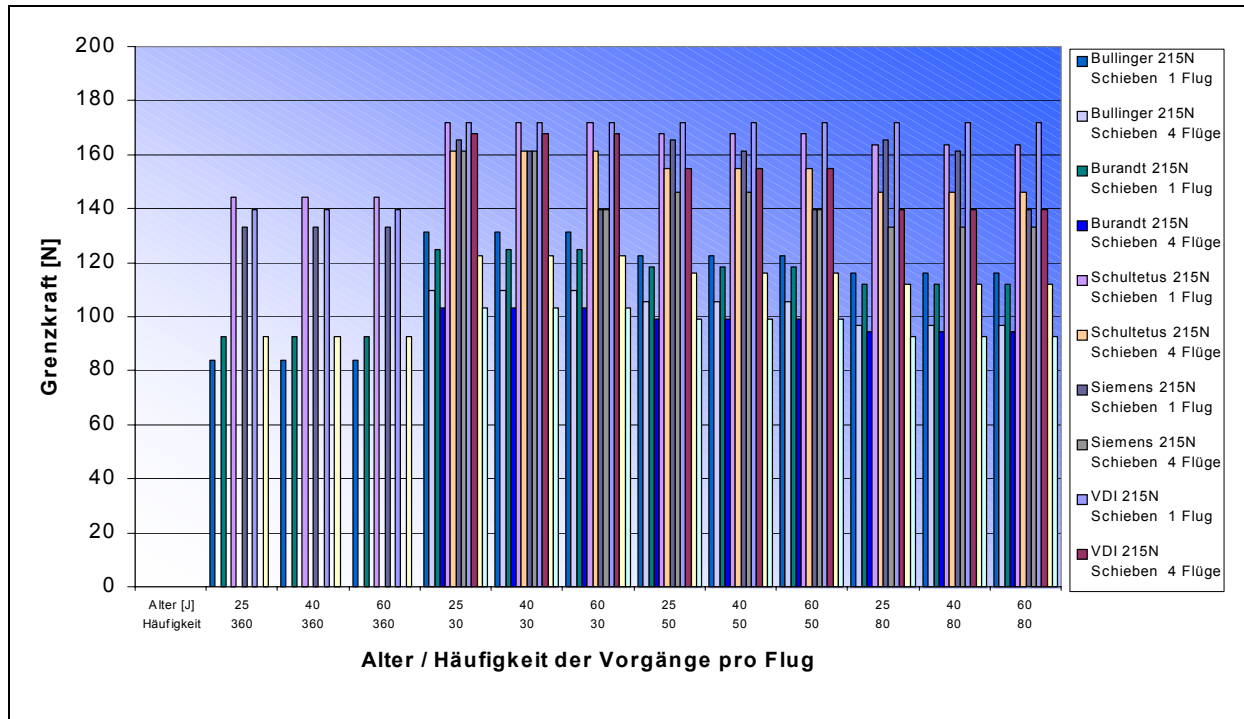




Abbildung 4-98:
Grenzkraftermittlung für Schubkräfte auf der Kraftbasis von 215 N
(Zeitbasis: acht Stunden)



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 11228-2 [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
Leitmerkalmethode 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:

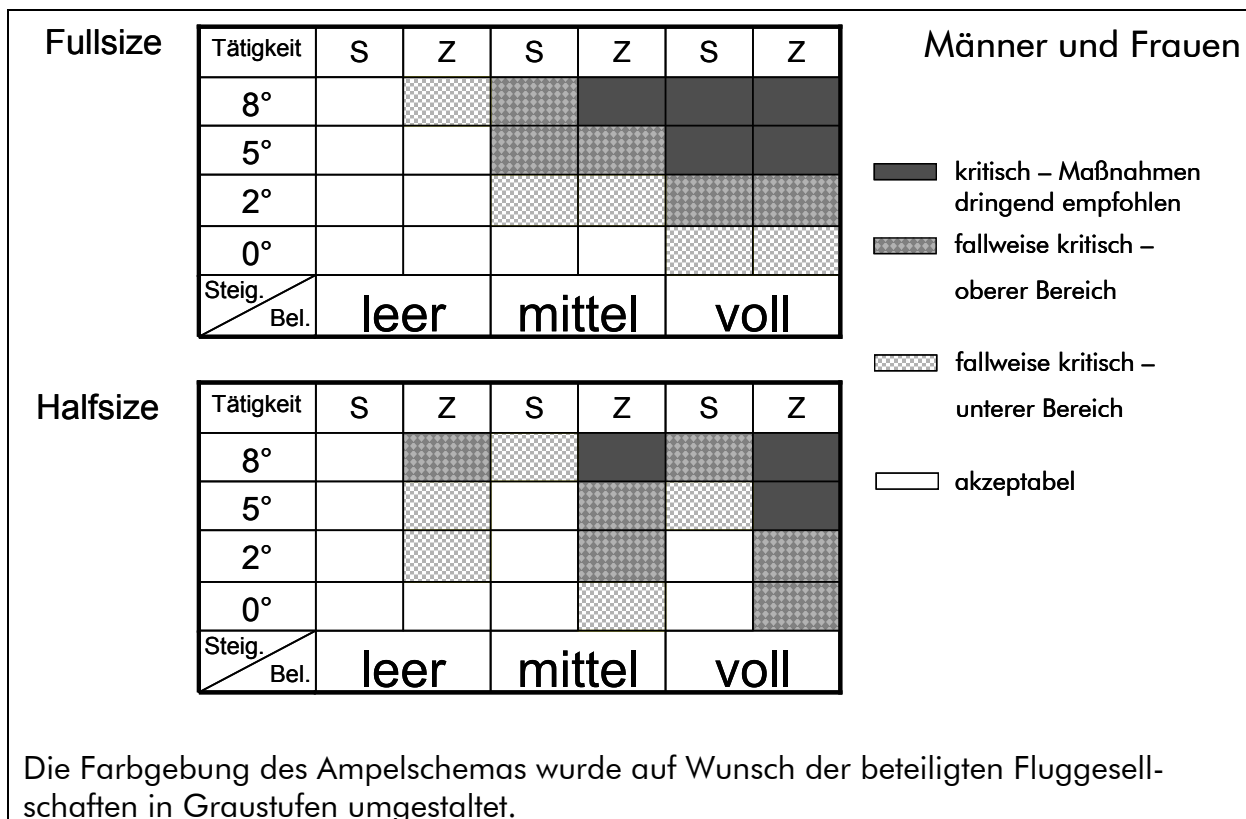
- Das Gewicht der Trolley-Zuladungen verringert sich mit fortschreitendem Service nicht.
- Der Neigungswinkel bleibt – insbesondere während der höher belastenden Servicephase zu Flugbeginn – konstant und verringert sich nicht.
- Der komplette Service findet – bei einer Zeitbasis von zwei Stunden – während 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°								■ fallweise kritisch – Maßnahmen empfohlen
	2°								□ akzeptabel
	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
	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.*: Dortmund 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 Servicetätigkeiten bei Flugbegleitern. Interner Abschlussbericht für die Deutsche Lufthansa. Darmstadt 1995

