



# Betätigungskräfte an Landmaschinen

Analyse und Messung von  
Handbetätigungskräften und  
abgeleitete Empfehlungen

# Betätigungskräfte an Landmaschinen

Analyse und Messung von Handbetätigungskräften und abgeleitete Empfehlungen

## Operating forces on agricultural machinery

Analysis and measurement of manual operating forces; resulting recommendations

## Les forces d'actionnement sur les machines agricoles

Analyse et mesure de forces d'actionnement manuelles et recommandations



# Impressum

Das Projekt „Kommission Arbeitsschutz und Normung“ wird finanziell durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert.

Autoren:	Dr.-Ing., M.Sc. André Klußmann B.Sc. Patrick Serafin Dipl.-Ing. Andreas Schäfer Dipl.-Ing. Martin Keuchel Netzwerk- und Systemtechniker (TAW) Bernd Neumann Dipl.-Ing. Karl-Heinz Lang Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) an der Bergischen Universität Wuppertal
Herausgeber:	Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (VFA)
Redaktion:	Katharina von Rymon Lipinski Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) – Geschäftsstelle – Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin Telefon (02241) 231–3467 Telefax (02241) 231–3464 E-Mail: <a href="mailto:info@kan.de">info@kan.de</a> Internet: <a href="http://www.kan.de">www.kan.de</a>
Übersetzung	Marc Prior, Odile Brogden
Umschlagabbildungen	Institut ASER
Gesamtherstellung	Köllen Druck
ISBN	978-3-9816319-0-6

<b>Zu diesem Bericht .....</b>	<b>5</b>
Ziel dieser Studie .....	6
Zusammenfassung .....	7
Empfehlungen .....	8
<b>About this report .....</b>	<b>10</b>
Background .....	10
Purpose of the study .....	11
Summary and recommendations by KAN .....	12
<b>À ce propos .....</b>	<b>15</b>
Contexte .....	15
Objectif de l'étude .....	16
Résumé et Recommandations de la KAN .....	17
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>20</b>
1.1 Hintergrund der Studie .....	20
1.2 Ziele dieser Studie .....	21
1.3 Aufbau des vorliegenden Berichtes .....	22
<b>2 Begriffe, Definitionen und Hintergründe .....</b>	<b>23</b>
2.1 Grundprinzipien der Ergonomie .....	23
2.2 Körperkräfte .....	23
2.3 Messtechnik zur Bestimmung von Kräften .....	26
2.4 Vor- und Nachteile verschiedener Messtechniken .....	29
2.5 Methoden zur Ermittlung der isometrischen Maximalkraft .....	30
2.6 Anforderungen an das zu entwickelnde Messverfahren .....	31
<b>3 Betätigungsfälle an Landmaschinen .....</b>	<b>33</b>
3.1 Betätigen von Hebeln .....	33
3.2 Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen .....	34
3.3 Betätigen von Aufstiegen / Leitern .....	36
3.4 Sonstige Betätigungsfälle .....	38
<b>4 Stand von Wissenschaft und Technik zur Messung von Betätigungs Kräften (an Landmaschinen) .....</b>	<b>40</b>
4.1 Existierende Prüfverfahren zur Messung von Betätigungs Kräften .....	40
4.2 Werte/Kraftgrenzen in Normen zu Betätigungs Kräften für mobile Maschinen in der Landwirtschaft .....	45



# Inhaltsverzeichnis

4.3	Vergleich der Kraftgrenzen in Normen mit empirisch ermittelten isometrischen maximalen Betätigungskräften .....	47
4.4	Sichtung und Bewertung vorliegender Gutachten .....	48
4.5	Herstellerebefragung zu bisher eingesetzten Messverfahren .....	51
<b>5</b>	<b>Erprobung von Messverfahren .....</b>	<b>53</b>
5.1	Beschreibung der eingesetzten Messverfahren .....	53
5.2	Erprobung von Betätigungsfällen in der Praxis .....	62
5.3	Erprobung von Betätigungsfällen im Labor .....	64
<b>6</b>	<b>Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte .....</b>	<b>68</b>
6.1	Methoden und Kollektive zur Ermittlung von Maximalkräften .....	68
6.2	Einordnung der Repräsentativität der ausgewählten Probanden .....	69
6.3	Maximalkräfte für verschiedene Betätigungsfälle .....	71
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>75</b>
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Praxismessungen zur Anwendbarkeit der Verfahren .....	75
7.2	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Labormessungen zur Reproduzierbarkeit der Verfahren .....	75
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Ermittlungen von Orientierungswerten für Maximalkräfte .....	81
<b>8</b>	<b>Erkenntnisse und Empfehlungen .....</b>	<b>83</b>
8.1	Erkenntnisse .....	83
8.2	Empfehlungen .....	84
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>Anhänge .....</b>	<b>96</b>
Anhang 1:	Übersicht der analysierten Normen .....	96
Anhang 2:	Textpassagen zu Betätigungskräften in Normen .....	98
Anhang 3:	Erprobung von Betätigungsfällen in der Praxis .....	107
Anhang 4:	Erprobung von Betätigungsfällen im Labor .....	128
Anhang 5:	Ergebnisse der Kraftmessungen .....	141
Anhang 6:	Orientierungswerte für Maximalkräfte .....	161

## Zu diesem Bericht

Die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) hat den Auftrag, die deutschen Arbeitsschutzinteressen in der nationalen, europäischen und internationalen Normung zu wahren und die Beteiligung der Sozialpartner an der Normung zu gewährleisten. Dabei verfolgt sie das Ziel, dass nicht nur die deutsche und europäische, sondern auch die internationale Normung den Arbeitsschutz bestmöglich berücksichtigt. Die KAN setzt sich aus je fünf Vertretern der Arbeitgeber, der Arbeitnehmer, des Staates, sowie aus je einem Vertreter der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. zusammen.

Um arbeitsschutzrelevante Sachverhalte in der Normung zu analysieren und den Verbesserungsbedarf in der Normungsarbeit zu ermitteln, vergibt die KAN unter anderem Studien und Gutachten.

## Hintergrund

Im Jahr 2008 veröffentlichte die KAN den Bericht 41 „Sicherheit von Landmaschinen“, in dem die Sicherheitsaspekte in Normen zu Landmaschinen analysiert wurden. Die Empfehlungen des KAN-Berichtes haben auf nationaler Ebene einen Normüberprüfungsprozess in Gang gesetzt, in dessen Verlauf auch das Thema „Betätigungskräfte“ diskutiert wurde.

Eine erste Einschätzung der in Landmaschinennormen genannten Werte für Betätigungskräfte durch das Institut für Arbeitswis-

senschaft der TU Darmstadt (IAD) basierte auf einer beispielhaften, direkten Berechnung nach den gültigen Normen der Reihe DIN EN 1005. Danach erscheinen die häufig in Landmaschinennormen genannten „Kraftmittelwerte“ von 200 N bis 250 N und „Kraftmaxima“ von 250 N bis 400 N deutlich zu hoch. Diese Einschätzung wird dadurch noch verstärkt, dass wichtige Einflussgrößen wie Alter, Geschlecht, Krafrichtung und Kraftangriffspunkt bei der Festlegung der Kraftwerte nicht berücksichtigt wurden. Für die in den Normen enthaltenen Werte gibt es nach Aussage der im Normenausschuss Maschinenbau zuständigen Normungsgremien keine wissenschaftliche Begründung. Es handelt sich um Erfahrungswerte, die bei der Erarbeitung der Normen als geeignet eingestuft wurden.

Die Diskussion im zuständigen nationalen Gremium ergab außerdem, dass es vermutlich keine europäische oder internationale Norm für die Messung von Betätigungs Kräften gibt, auf die in den Landmaschinennormen verwiesen werden könnte. Diese Annahme wird untermauert durch die Ergebnisse der KAN-Studie 42 „Berücksichtigung der Messunsicherheit in Prüfnormen“.

Um zukünftig sicherzustellen, dass alle Bedienpersonen z.B. beim Schwenken von Maschinenteilen eine Betätigung ausführen können, müssen unter anderem die Werte für Betätigungskräfte in Normen eingehender untersucht und auf eine abgesicherte Basis gestellt werden.

# Zu diesem Bericht

Die KAN hat das Thema aufgegriffen und als Vorbereitung dieser Studie zu Betätigungskräften an Landmaschinen drei Gutachten durchführen lassen. Gemessen wurden verschiedene Kraftfälle, wie sie typischerweise an Landmaschinen vorkommen. Dabei kamen unterschiedliche Messmethoden zum Einsatz. Es wurden erste Erkenntnisse gewonnen zu den benötigten Kräften, um z.B. Aufstiege aus- und einzuschwenken oder seitliche Geräteteile ein- oder hochzuklappen. Besonderes Augenmerk wurde darauf gerichtet, dass die verwendeten Messmethoden möglichst einfach und reproduzierbar sind und somit in der Praxis, z. B. von Herstellern oder Vertretern der Marktaufsicht und der Berufsgenossenschaften, eingesetzt werden können. Die vorliegende Studie basiert auf den Ergebnissen dieser Gutachten.

## **Ziel der Studie**

Die Studie sollte ein einfaches Messverfahren beschreiben, das geeignet ist, reproduzierbare Messwerte für Kräfte zum Betätigen von Bauteilen an mobilen Maschinen abzuschätzen.

Am Beispiel Landmaschinen sollten Kraftfälle an Bauteilen analysiert werden, die infolge ihres Gewichtes, ihrer Schwergängigkeit oder ihrer mit der Betriebsdauer/Verschmutzung zunehmenden Schwergängigkeit zu hohe Bedienkräfte generieren (können).

Die KAN dankt dem Projektnehmer Herrn Dr. André Klußmann und dem begleitenden Team vom Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) in Wuppertal für die Durchführung des Projektes und den

folgenden Experten für die Begleitung und Unterstützung im Rahmen einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe:

Dr. Claus Backhaus, Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft, Hamburg

Mark Brütting, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin

Heinz Hirsch,  
Gewerbeaufsichtsamt Oldenburg

Angela Janowitz,  
Leiterin des Fachbereiches Ergonomie und Gesundheitsschutz der KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin

Sebastian Lentz,  
DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin

Hans-Joachim Ritz,  
Regierungspräsidium Freiburg

Dr. Georg Scamoni,  
Arbeitnehmervertreter, Potsdam

Uwe Schäfer,  
Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Kassel

Marc Schulze,  
Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Bonn

Dr. Anja Vomberg,  
KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin

Katharina von Rymon Lipinski,  
KAN-Geschäftsstelle, Sankt Augustin

Michael Wiedemann,  
Arbeitgebervertreter, Krumbach

## Zusammenfassung der KAN

Die anfänglich durchgeführte Normenanalyse bestätigte, dass

- in deutschen, europäische und internationalen Normen keine verwendbaren Messverfahren zum Messen von Betätigungs Kräften an mobilen Maschinen beschrieben werden;
- in den Normen für Landmaschinen durchgängig Werte von maximal 200 N bis 250 N als durchschnittlich auf dem Betätigungsweg aufzubringende Kraft und 250 N bis 400 N als Maximalkraft ohne Begründung angegeben werden;
- in den Normen keine Angaben zur Lage der Stellteile getroffen werden.

Die Einschätzung des Projektnehmers ist, dass die in den Normen genannten Werte in dieser Form aus Sicht des Arbeitsschutzes nicht vertretbar sind. Eine Studie des Institutes ASER mit ca. 1.200 Probanden während der Jahre 2011 und 2012 hat ergeben, dass Frauen bei ausgewählten Krafftällen (Zugkraftmessungen und Handkraftdruckmessungen) selbst unter ergonomisch optimalen Bedingungen überwiegend nicht dazu in der Lage sind, eine Maximalkraft von 400 N aufzubringen.

Wenn also die Konstruktion einer Maschine so vorgenommen werden soll, dass ein Großteil der erwerbsfähigen Bevölkerung diese nutzen kann, dann müssen diese Werte in den Normen verändert oder durch andere Anforderungen und Leistungskriterien ersetzt werden. Die in der Studie angegebenen Empfehlungswerte für bestimmte Körperhaltungen

können dafür nur als eine erste Orientierung dienen. Es müssen weiterführende Studien durchgeführt werden, um belastbare Werte zu erhalten, denn die Messung von Betätigungs Kräften allein, ermöglicht nur begrenzt Rückschlüsse auf die bei der Betätigung auftretenden internen körperlichen Beanspruchungen.

In den Normen werden keine Anforderungen an die Lage der zu betätigenden Stellteile getroffen. Die Erreichbarkeit durch kleinere Anwender ist nicht immer gegeben. In der Normung sollte berücksichtigt werden, dass in körperfernen ergonomisch ungünstigen Positionen erheblich geringere Kräfte ausgeübt werden können, als unter ergonomisch optimalen Bedingungen.

Zur Ermittlung eines geeigneten Messverfahrens zur Messung der Durchführbarkeit einer Betätigung wurden zwei Methoden praktisch erprobt. Eine Variante war das Messen der Durchführbarkeit einer Betätigungs kraft mit Hilfe von Probanden und einem handgehaltenen Messgerät mit Messwertspeicher sowie PC-Schnittstelle. Die zweite Variante ist das Messen mit Hilfe einer Winde, einem Kraftaufnehmer und einem Winkelmesser.

Mit dem handgehaltenen Messgerät konnten reproduzierbare Ergebnisse bei den Messungen erzielt werden. Diese Methode ist mit überschaubaren Kosten verbunden und wurde als deutlich praktikabler beurteilt. Die Messung mit dem Handmessgerät kann zudem zerstörungsfrei und lackschonend an den Maschinen durchgeführt werden.

# Zu diesem Bericht

Die zweite Methode ist zwar besser standardisierbar, aber auch aufwendiger. Ein größerer Kostenaufwand ist durch die Anschaffung der Winde gegeben. Diese Methode braucht außerdem Zeit in der Vorbereitung und ist nicht immer zerstörungsfrei und lackschonend anzuwenden.

Neben der Durchführung müssen auch die zu erfüllenden Rahmenbedingungen für die Messmethode beschrieben werden. Die Studie liefert Hinweise, welche Bedingungen definiert werden müssen.

Anmerkung: Eine Abschätzung der bei der Betätigung von Stellteilen auftretenden internen körperlichen Beanspruchung erfordert einerseits eine dreidimensionale Messung der aufzubringenden Aktionskräfte und andererseits valide Bewertungsmodelle, welche die individuellen Faktoren potenzieller Anwender wie Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpermasse usw. sowie die äußeren Rahmenbedingungen wie Lage der Stellteile, Häufigkeit der Betätigung usw. berücksichtigen. Dreidimensionale Messungen der Aktionskräfte sind bei „vor Ort“ Messungen in der Regel allerdings nicht bzw. nur mit einem erheblich höheren messtechnischen Aufwand möglich. Hierzu ist jedoch ein evidenzbasiertes Bewertungsmodell für Aktionskräfte, welches die o.g. individuellen Faktoren und äußeren Rahmenbedingungen berücksichtigt, erforderlich.

## Empfehlungen der KAN

Die KAN bittet das DIN,

- den Bericht in der Normengruppe Landtechnik im Normenausschuss Maschinenbau, im Normenausschuss Ergonomie mit der Bitte zu verteilen, ihn auch den entsprechenden europäischen und internationalen Gremien zur Verfügung zu stellen.

Die KAN-Geschäftsstelle wird beauftragt,

- die Ergebnisse der Studie in den relevanten Institutionen und Gremien (z. B. den Fachbereichen und Sachgebieten der DGUV) bekannt zu machen,
- die Ergebnisse in EUROSHNET und über die Medien der KAN (KANBrief, KAN-MAIL, twitter, KAN-Webseite) zu verbreiten,
- mit Hilfe von Arbeitsschutzexperten einen Normvorschlag für die Beschreibung einer Messmethode zur Ausführbarkeit von Betätigungskräften zu erarbeiten, diesen mit der KAN abzustimmen und beim DIN einzubringen,
- mit Hilfe von Arbeitsschutzexperten Formulierungen zu erarbeiten, die an Stelle der jetzt in den Normen genannten Durchschnitts- und Maximalwerte treten können; in den Formulierungen sollten auch Angaben zur Lage der Stellteile und zur Erreichbarkeit von Stellteilen getroffen werden und diese im Anschluss in die Normung einzubringen.
- Kontakte zu europäischen Arbeitsschutzexperten zu knüpfen, um die in der Studie behandelten Themen bekannt zu machen.

Die in der KAN vertretenen Kreise werden gebeten,

- zu prüfen, an welcher Stelle weiterführende Studien von einzelnen in der KAN vertretenen Kreisen initiiert, unterstützt oder sogar durchgeführt werden können,
- sich aktiv an den Normungsarbeiten zu beteiligen und
- auf nationaler Ebene eine abgestimmte Arbeitsschutzposition in den Gremien zu vertreten, die nach Erreichen eines Konsenses als deutsche Stellungnahme in die europäische und internationale Normungsarbeit eingebracht werden kann.

# About this report

## About this report

The Commission for Occupational Health and Safety (KAN) has the mandate of safeguarding German occupational safety and health interests in national, European and international standardization activity, and of assuring the participation of the social partners in standardization. It therefore pursues the objective of ensuring that the best possible consideration is given to OSH issues in not only German and European but also international standardization. KAN comprises five representatives each from employers' organizations, employees' organizations and the state, and one representative each from the German Social Accident Insurance (DGUV) and the DIN German Institute for Standardization.

KAN analyses OSH-related issues in standards and scope for improvement in standardization work. One means by which this is achieved is the commissioning of studies and reports.

## Background

In 2008, KAN published KAN Report 41, "Safety of agricultural machinery", in which the safety aspects in standards governing agricultural machinery were analysed. The recommendations made in this KAN Report triggered a process of standards review at national level, in the course of which the topic of operating forces was also discussed.

The Institute of Ergonomics of the TU Darmstadt (IAD) conducted a preliminary

assessment of the values for operating forces stated in agricultural machinery standards, based upon a model direct analysis in accordance with the current standards in the EN 1005 series. This analysis shows the average force values of 200 N to 250 N and the maximum force values of 250 N to 400 N frequently stated in agricultural machinery standards clearly to be too high. This estimation is reinforced by the fact that important influencing variables such as age, sex, direction of force and point of force application were not considered during specification of the force values. According to the responsible standards bodies of the Mechanical Engineering Standards Committee (NAM) at DIN, no scientific basis exists for the values stated in the standards. The values were obtained empirically and deemed suitable during development of the standards.

The discussion in the responsible national committee further revealed that there is probably no European or international standard for the measurement of operating forces to which reference could be made in agricultural machinery standards. This assumption is supported by the results of a KAN study into measurement requirements in product standards.

In order to ensure in future that all operators are able to operate machinery, for example by moving a machine component, the values for operating forces stated in standards must be examined in greater detail, and validated.

KAN has addressed the subject and has commissioned three reports on operating forces on agricultural machinery in preparation for this study. A number of force scenarios typical of those occurring on agricultural machinery were measured. A range of different measurement methods were employed for this purpose. Preliminary observations were made regarding the forces required, for example to fold ladders in and out or to raise and lower side panels on machinery. Particular attention was paid to the measurement methods employed being as simple and reproducible as possible and therefore suitable for use in practice, for example by manufacturers or by representatives of the German Social Accident Insurance institutions and market surveillance authorities. The present study is based upon the results of these reports.

### **Purpose of the study**

The study was to describe a simple measurement method suitable for estimating reproducible measured values for forces for the operation of components on mobile machines.

With reference to the example of agricultural machinery, force scenarios were to be analysed on components that – owing to their weight or stiffness of movement or the increasing stiffness of their movement over the duration of their use or resulting from fouling – generate or could generate excessively high operating forces.

KAN wishes to thank the project partner, Dr André Klussmann, and the supporting team at the Institute for Occupational Medicine, Safety

and Ergonomics (ASER) in Wuppertal for conducting the project, and the following experts in the supervisory project working group for their supervision and support:

Dr Claus Backhaus,  
German Social Accident Insurance Institution  
for the transport industry, Hamburg

Mark Brütting,  
Institute for Occupational Safety and Health  
of the DGUV (IFA), Sankt Augustin

Heinz Hirsch,  
Oldenburg labour inspectorate

Angela Janowitz,  
head of the “Occupational Health and Ergonomics” Department at the KAN Secretariat,  
Sankt Augustin

Sebastian Lentz,  
DIN German Institute for Standardization,  
Berlin

Hans-Joachim Ritz,  
Freiburg Regional Council

Dr Georg Scamoni,  
employees' representative, Potsdam

Uwe Schäfer,  
Social insurance for agriculture, forestry and horticulture (SVLFG), Kassel

Marc Schulze,  
German Federal Ministry of Labour and  
Social Affairs, Bonn

Dr Anja Vomberg,  
KAN Secretariat, Sankt Augustin



# About this report

Katharina von Rymon Lipinski,  
KAN Secretariat, Sankt Augustin

Michael Wiedemann,  
employers' representative, Krumbach

## Summary by KAN

The preliminary analysis of standards confirmed that:

No methods suitable for the measurement of operating forces on mobile machines are described in German, European and international standards.

In the standards governing agricultural machinery, values of up to 200 N to 250 N are stated throughout as the average force to be exerted over the operation travel and 250 N to 400 N as the maximum force. A reasoned basis for these values is not provided.

No information on the location of the components to be operated is stated in the standards.

The assessment of the project partner is that in this form, the values stated in the standards are not justifiable from an OSH perspective. A study involving approximately 1,200 test subjects, conducted by the ASER institute in 2011 and 2012, revealed that for selected force scenarios (measurements of pulling force and hand clench force), women were not generally capable of exerting a maximum force of 400 N, even under ergonomically optimum conditions.

If therefore a machine is to be designed such that it is suitable for use by a large part of the

employable population, these values in the standards must be modified or replaced by other requirements and performance criteria. The values recommended in the study for certain body postures are suitable only as general guideline values for this purpose. Further studies must be conducted in order for robust values to be obtained, since the measurement of operating forces alone permits only limited conclusions regarding the internal strains in the body arising during the operation.

No requirements are stated in the standards concerning the location of the parts to be operated. These points cannot always be reached by shorter users. Standards should consider that where operation is performed some distance from the body in ergonomically unfavourable positions, considerably lower forces can be exerted than under optimum ergonomic conditions.

Two methods were subjected to practical trials in order to identify a suitable method for measuring the feasibility of an operation. One variant involved measurement of the feasibility of an operating force with the aid of test subjects and a hand-held instrument with measurement memory and PC interface. The second variant involved measurement with the aid of a winch, a force sensor and a goniometer.

The hand-held instrument enabled the measurements to return reproducible results. The costs entailed by this method are reasonable and it was considered substantially more practicable. Measurement by means of the hand-held instrument can also be performed

without damage to the machine or its paintwork.

The second method lends itself better to standardization, but is more complex. Purchase of the winch results in greater cost. This method also requires time for preparation, and cannot always be performed without damage to the machine or its paintwork.

Besides performance of the measurement, the underlying conditions to be satisfied by the measurement method must also be described. The study provides information on the conditions that must be defined.

Note: estimation of the internal strain arising within the body during the moving of machine components requires, firstly, a three-dimensional measurement of the operating forces to be exerted, and secondly, valid evaluation models that take account of the individual factors of potential users, such as their age, sex, body height, body mass, and the external underlying conditions such as the location of the components to be moved and the frequency of their operation. Three-dimensional in-situ measurements of the operating forces are however generally possible only with considerably more complex measurement arrangements, if at all; an evidence-based evaluation model for operating forces is required here that takes account of the individual factors and external underlying conditions referred to above.

## **KAN's recommendations**

KAN requests that DIN:

- distribute the report in the Agricultural Engineering Standards group in NAM and in the Ergonomics standards committee, with the request that it also be made available to the relevant European and international standards committees.

The KAN Secretariat is mandated:

- to make the results of the study known to the relevant institutions and committees (such as the expert committees and sub-committees of the DGUV);
- to distribute the results in EUROSHNET and through the KAN media (KANBrief, KAN-MAIL, Twitter, KAN website);
- to draft, with the aid of OSH experts, a proposal for a standard describing a method for measuring the feasibility of operating forces, to agree this proposal with KAN, and to submit it to DIN;
- to develop, with the aid of OSH experts, formulations that could replace the average and maximum values currently stated in the standards and then to submit them to the standardization process; the formulations should also include information on the position of the parts to be moved and on their ease of reach;
- to forge contacts with European OSH experts in order to make the topics of the study known.

# About this report

The KAN stakeholders are requested:

- to examine the points at which further studies can be launched, supported or even performed by individual KAN stakeholders;
- to play an active role in the standardization activity, and
- to adopt, at national level, a co-ordinated OSH position in the committees which, following attainment of a consensus, can be presented as a German position to European and international standardization activity.

## À ce propos

La Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation (KAN) a pour mission de défendre les intérêts allemands en matière de sécurité et de santé au travail dans la normalisation nationale, européenne et internationale, et de garantir la participation des partenaires sociaux à la normalisation. Son objectif, dans ce contexte, est de veiller à ce que les enjeux de la prévention soient pris en compte le mieux possible dans la normalisation, non seulement allemande et européenne, mais aussi internationale. La KAN se compose de représentants des employeurs, des employés et de l'État (cinq membres chacun), ainsi que d'un représentant chacun de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (DGUV) et de l'Institut allemand de normalisation (DIN).

La KAN commissionne, entre autres, des études et expertises destinées à analyser les aspects de la normalisation ayant une incidence sur la sécurité et la santé au travail et à déterminer les améliorations nécessaires dans le travail de normalisation.

## Contexte

En 2008, la KAN a publié son rapport 41 intitulé « La sécurité des machines agricoles », dans lequel étaient analysés les aspects portant sur la sécurité dans les normes relatives aux machines agricoles. En Allemagne, les recommandations de ce rapport de la KAN ont déclenché un processus de vérification des normes, processus dans le cadre duquel

l'aspect relatif aux forces d'actionnement a été également examiné.

Effectuée par l'Institut des Sciences du travail de l'Université technique de Darmstadt (IAD), une première évaluation des forces d'actionnement indiquées dans les normes sur le matériel agricole se basait sur un calcul exemplaire et direct selon les normes en vigueur de la série DIN EN 1005. Il en est ressorti que les « forces moyennes » de 200 N à 250 N et les « forces maximum » de 250 N à 400 N, souvent indiquées dans les normes relatives aux machines agricoles, étaient nettement trop élevées. Cette impression est encore renforcée par le fait que des paramètres importants comme l'âge, le sexe, la direction de la force et le point d'application de la force n'ont pas été pris en compte lors de la détermination des forces. D'après ce qu'affirment les instances de normalisation compétentes au sein du comité de normalisation Construction mécanique du DIN, les valeurs contenues dans les normes ne reposent sur aucune base scientifique. Il s'agit de valeurs empiriques qui ont été considérées comme adéquates lors de la rédaction des normes. De la discussion au sein de l'instance nationale compétente, il est en outre ressorti qu'il n'existe probablement aucune norme européenne ou internationale portant sur le mesurage de forces d'actionnement à laquelle les normes relatives aux machines agricoles pourraient renvoyer. Cette supposition est encore étayée par les résultats de l'étude KAN intitulée « Les exigences de mesure dans les normes de produits ».<sup>3</sup>

# À ce propos

Pour garantir à l'avenir qu'un actionnement – par exemple le pivotement d'éléments d'une machine – puisse être effectué par n'importe quel opérateur, il faudra, entre autres, vérifier de manière plus approfondie et valider les valeurs relatives aux forces d'actionnement indiquées dans les normes.

Se saisissant de la question, la KAN a fait effectuer trois expertises en amont de la présente étude sur les forces d'actionnement sur les machines agricoles. Plusieurs cas de forces d'actionnement rencontrés couramment sur des machines agricoles ont été mesurés, en utilisant différentes méthodes. De premières conclusions ont pu être tirées quant aux forces nécessaires, par exemple pour sortir ou rentrer les moyens d'accès, ou encore relever ou rabattre des éléments situés sur le côté de l'équipement. On a veillé particulièrement à ce que les méthodes de mesurage soient les plus simples et les plus reproductibles possibles, et puissent être ainsi utilisées dans la pratique, par exemple par les fabricants, les représentants des autorités de surveillance du marché ou les organismes d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles. La présente étude se base sur les résultats de ces expertises.

## Objectif de l'étude

L'étude avait pour objet de décrire une méthode de mesurage simple permettant d'évaluer des valeurs de mesure reproductibles concernant les forces d'actionnement d'éléments de machines mobiles.

Il s'agissait, à l'exemple des machines agricoles, d'analyser les forces exercées sur les éléments de machines qui, du fait de leur poids, de leur rigidité ou d'une difficulté d'actionnement croissante due à leur durée de service/à leur encrassement, sont susceptibles de générer – ou génèrent – des forces d'actionnement trop élevées.

La KAN remercie le mandataire, le Dr André Klusmann et l'équipe de l'Institut pour la Médecine du travail, la technique de sécurité et l'ergonomie (ASER) de Wuppertal pour l'exécution du projet, ainsi que les experts suivants pour leur suivi et soutien au sein du groupe de travail qui a accompagné le projet :

Le Dr Claus Backhaus, Organisme d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles du secteur des transports et de la circulation, Hambourg

Mark Brütting, Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA), Sankt Augustin

Heinz Hirsch,  
Inspection du travail d'Oldenburg

Angela Janowitz,  
responsable de la section Protection de la santé et ergonomie du Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin

Sebastian Lentz,  
DIN Institut allemand de normalisation, Berlin

Hans-Joachim Ritz,  
administration régionale de Fribourg

le Dr Georg Scamoni,  
représentant des salariés, Potsdam

Uwe Schäfer,  
Assurance sociale pour l'agriculture,  
la sylviculture et l'horticulture, Kassel

Marc Schulze,  
Ministère fédéral du Travail et des affaires  
sociales, Bonn

le Dr Anja Vomberg,  
Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin

Katharina von Rymon Lipinski,  
Secrétariat de la KAN, Sankt Augustin

Michael Wiedemann,  
représentant des employeurs, Krumbach

## Résumé de la KAN

L'analyse des normes menée au début de l'étude a confirmé que :

- aucune méthode utilisable permettant de mesurer les forces d'actionnement sur les machines mobiles n'est décrite dans les normes allemandes, européennes et internationales ;
- dans les normes relatives aux machines agricoles, les valeurs indiquées en termes de force à exercer pour l'actionnement sont toujours au maximum de 200 N à 250 N comme valeurs moyennes, et de 250 N à 400 N comme force maximum, sans qu'aucune justification soit fournie ;
- aucune indication n'est fournie dans les normes quant à la position des éléments à actionner.

Le mandataire est d'avis que, du point de vue de la prévention, les valeurs indiquées dans les normes ne sont pas acceptables sous cette forme. Une étude menée par l'Institut ASER en 2011 et 2012 auprès de quelque 1.200 sujets a révélé que, pour des cas de forces choisis (mesurage de la force de traction et de la force de pression manuelle), la plupart des femmes n'étaient pas capables d'exercer la force maximale de 400 N, même dans des conditions ergonomiques optimales.

S'il s'agit donc de concevoir une machine de manière telle qu'elle puisse être utilisée par une grande partie de la population en âge de travailler, ces valeurs doivent être modifiées dans les normes, ou bien remplacées par d'autres exigences et critères de performances. À cet effet, les valeurs préconisées dans l'étude pour certaines postures ne peuvent servir que de premiers repères, et des études plus poussées devront être menées pour obtenir des valeurs fiables. En effet, le mesurage de forces d'actionnement à lui seul ne permet de tirer que des conclusions limitées quant aux sollicitations physiques internes provoquées par l'actionnement.

Les normes ne contiennent aucune exigence quant à la position des éléments à actionner. Les utilisateurs de petite taille sont parfois dans l'impossibilité de les atteindre. Il conviendrait de tenir compte dans la normalisation du fait que, dans les positions ergonomiquement défavorables et éloignées du corps, les forces qui peuvent être exercées sont beaucoup plus faibles que ce serait le

## À ce propos

cas dans des conditions ergonomiquement optimales.

Afin de déterminer une méthode adéquate permettant de mesurer la faisabilité d'un actionnement, deux méthodes pratiques ont été testées. La première a été de mesurer la faisabilité d'une force d'actionnement à l'aide de sujets et d'un appareil de mesure portable doté d'une mémoire pour les valeurs de mesure et d'une interface avec un PC. La deuxième méthode a été de mesurer à l'aide d'un treuil, d'un capteur de force et d'un rapporteur d'angle.

L'appareil de mesure portable a permis d'obtenir des résultats reproductibles lors des mesurages. Cette méthode n'entraîne pas de frais excessifs et a été jugée comme étant nettement plus praticable. De plus, les mesures effectuées à l'aide de l'appareil portable ne sont pas destructives et n'abîment pas la peinture des machines.

Bien que pouvant être plus facilement standardisée, la deuxième méthode exige davantage de moyens. Une dépense relativement importante est liée à l'achat du treuil. De plus, cette méthode nécessite un certain temps de préparation et n'est pas toujours praticable de manière non destructive et sans abîmer la peinture.

Outre le déroulement de la méthode de mesurage, il faut également décrire les conditions dans lesquelles celle-ci doit s'effectuer. L'étude fournit des indications sur les paramètres qui doivent être définis.

Remarque : Une estimation des sollicitations

physiques internes se produisant lors de l'actionnement d'éléments implique d'une part une mesure tridimensionnelle des forces d'actionnement devant être exercées, et de l'autre des modèles d'évaluation valides qui prennent en compte les facteurs individuels des utilisateurs potentiels (âge, sexe, taille, masse corporelle...), ainsi que des paramètres externes (position des éléments à actionner, fréquence de l'actionnement...). On précisera toutefois que, lors des mesurages effectués « sur le terrain », le mesurage tridimensionnel des forces d'actionnement n'est pas possible, ou est possible uniquement en recourant à une métrologie beaucoup plus sophistiquée. Or, ceci nécessite un modèle d'évaluation des forces d'actionnement basé sur des données factuelles, qui prennent en compte à la fois les facteurs individuels et les conditions générales évoqués plus haut.

### Recommandations de la KAN

Die KAN demande au DIN

- de diffuser le rapport dans le groupe de normalisation Technique agricole au sein du Comité de normalisation Construction mécanique et dans le Comité de normalisation Ergonomie, en demandant à ces instances de le transmettre également aux instances européennes et internationales correspondantes.

Le Secrétariat de la KAN sera chargé :

- de faire connaître les résultats de l'étude aux institutions et instances concernées (p.ex. les commissions sectorielles et sous-sections spécialisées de la DGUV),

- de diffuser les résultats dans le réseau EUROSHNET et par le biais des médias de la KAN (KANBrief, KANMAIL, twitter, site web) ;
- avec l'aide de préventeurs, d'élaborer une proposition de norme portant sur la description d'une méthode permettant de mesurer la faisabilité de forces d'actionnement, de se concerter avec la KAN à ce sujet et de la soumettre au DIN ;
- avec l'aide de préventeurs, d'élaborer des formules susceptibles de se substituer aux valeurs moyennes et maximum actuellement indiquées dans les normes et de les faire valoir dans la normalisation ; ces formules devront également contenir des indications sur la position et l'accessibilité des éléments à actionner;
- d'établir des contacts avec des préventeurs européens, afin de faire connaître les sujets traités dans l'étude.

Il est demandé aux cercles représentés au sein de la KAN

- d'examiner à quel niveau des études plus approfondies pourraient être initiées, soutenues, voire réalisées par certains des cercles représentés au sein de la KAN ;
- de participer activement au travail de normalisation et
- au niveau national, de représenter auprès des instances une position concertée des préventeurs qui, le consensus une fois atteint, pourra être soumise comme position allemande dans le travail de normalisation européen et international.



# Einleitung

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund der Studie

Um Verletzungen und Gesundheitsschäden des Bedienungspersonals (gewerbliche Anwender am Arbeitsplatz, Verbraucher im Privatbereich) bei bestimmungsgemäßer Verwendung von Maschinen zu vermeiden oder zu minimieren, sind bei der Konstruktion und dem Bau von Maschinen die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG umzusetzen. Dies beinhaltet die Berücksichtigung der ergonomischen Prinzipien. Gemäß dem Grundsatz Ergonomie (Nummer 1.1.6 des Anhangs I der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG) müssen Belästigung, Ermüdung sowie körperliche und psychische Fehlbeanspruchung des Bedienungspersonals auf das mögliche Mindestmaß reduziert sein unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien, wie z. B. durch die Möglichkeit der Anpassung an die Unterschiede in den Körpermaßen, der Körperkraft und der Ausdauer des Bedienungspersonals oder durch ausreichenden Bewegungsfreiraum für die Körperteile des Bedienungspersonals.

Grundlage für den vorliegenden KAN-Bericht bildet eine zuvor ebenfalls durch die Kommission Arbeitsschutz und Normung beauftragte Untersuchung zur „Sicherheit von Landmaschinen“ (KAN-Bericht 41) [1]. Die Empfehlungen aus dem KAN-Bericht 41 haben auf nationaler Ebene einen Normüberprüfungsprozess in Gang gesetzt, in dessen Rahmen auch über das Thema Betätigungskräfte diskutiert wurde.

So wird bei der Auslegung von Betätigungskräften häufig in verschiedenen Normen auf die DIN EN 1005 Teil 3 „Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung“ [2] verwiesen. Hier wird allerdings kein Messverfahren beschrieben, sondern es handelt sich um ein Berechnungsverfahren zur Bestimmung maximal zulässiger Körperkräfte aus ermittelten Maximalkraftverteilungen. Hierzu werden Empfehlungen ausgesprochen, welche Perzentile in verschiedenen Fällen berücksichtigt werden sollen, verknüpft mit multiplikativen Abschlagsparametern (z.B. für Bewegungshäufigkeit, Dauer usw.). Darüber hinaus werden einige ausgewählte Maximalkraftwerte dargestellt. Diese abgebildeten Werte beziehen sich immer auf ergonomisch optimale Arbeitsbedingungen und berücksichtigen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt wichtige Einflussfaktoren wie Krachtrichtung und Kraftangriffspunkt. Da die Betätigung von Stellteilen, Klappen und sonstigen Betätigungseinrichtungen an landwirtschaftlichen Maschinen in vielen Fällen unter sehr unergonomischen Bedingungen ausgeführt werden muss, können diese Werte nicht für die Landtechniknormen herangezogen werden. Eine wissenschaftliche Begründung der abgebildeten Werte und der Kombination der Abschlagsparameter wird zudem nicht beschrieben.

Derzeit ist anzunehmen, dass national wie international keine Norm für das Messen von Betätigungskräften existiert, auf die für die Messung von Betätigungskräften an Bauteilen mobiler Maschinen, wie z.B. Landmaschinen, verwiesen werden könnte.

Betätigungskräfte spielen gerade bei Landmaschinen eine große Rolle. Eine ganze Reihe von Arbeitsvorgängen erfordert Aktionskräfte des Bedienungspersonals, die im Vergleich zu den sonstigen Tätigkeiten im landwirtschaftlichen Bereich überdurchschnittlich hoch sind. Diese so zu dimensionieren, dass - auch unter Berücksichtigung einer mit der Betriebsdauer/Verschmutzung meist nicht vollständig zu vermeidenden zunehmenden Schwergängigkeit - eine Verwendung für unterschiedliche in der Landwirtschaft tätige Arbeitspersonen möglich ist, ist eine der Herausforderungen bei der Konstruktion mobiler Landmaschinen.

Maßgeblich für die ergonomische Konstruktion von Bauteilen mobiler Landmaschinen, die von Hand bewegt werden sollen, sind neben der Berücksichtigung der Unterschiede der Körpermaße insbesondere die Unterschiede der Körperkräfte des Bedienungspersonals. Das Wissen über die menschlichen Aktionskräfte liegt in Form von Verteilungen der meist als Maximalkräfte gemessenen menschlichen Körperkräfte vor. Diese Aktionskräfte können jedoch - je nach Krafrichtung und Kraftangriffspunkt - deutlich variieren. Körperhaltung, aber auch Geschlecht und Alter, können bedeutsame Einflussgrößen darstellen. So finden sich z.B. im montagespezifischen Kraftatlas [3] Verteilungen für montagespezifische Anwendungsfälle, die diese Variation sehr deutlich zeigen.

Eine Überprüfung dieser Betätigungsfälle an Maschinen setzt zudem geeignete Messverfahren voraus, die eine Messung der erforderlichen Betätigungskräfte an Maschinen

ermöglichen. Gerade der Bereich „Messung von Kräften“ erweist sich jedoch in der Normung als wenig beschrieben. Dies wird auch im KAN-Bericht 46 „Messanforderungen in Produktnormen“ [4] deutlich. Die Analyse von insgesamt 941 Normen und Normentwürfen im Hinblick auf die Nennung physikalischer Messgrößen und ggf. erforderlicher Messverfahren ergab für die Messgröße „Kraft“ 775 genannte Messerfordernisse, wobei die Kraftmessung durchweg als „nicht trivial“ eingestuft wurde, jedoch nur in 45 % der Nennungen eine Messmethode benannt wurde. Im Bereich landwirtschaftlicher Maschinen sind Betätigungskräfte aufgrund der o.g. Einflussgrößen wie Krafrichtung, Kraftangriffspunkt, Bewegungsablauf usw. ungleich schwieriger zu beschreiben. Die im KAN-Bericht 46 genannten Messmethoden sind für die Messung von Betätigungskräften an Landmaschinen daher nur teilweise geeignet (siehe auch Kapitel 4).

Damit bestehen zwei Herausforderungen für die Konstruktion und den Bau von Maschinen: Einerseits bedarf es für verschiedene Kraftfälle aussagekräftiger Verteilungen über die menschlichen Aktionskräfte unter Berücksichtigung des Bedienungspersonals (Männer und Frauen unterschiedlichen Alters), andererseits bedarf es eines Messverfahrens, um die erforderlichen Betätigungskräfte an Maschinen reproduzierbar messen zu können.

# Einleitung

## 1.2 Ziele dieser Studie

Aus der Schilderung der o.g. Hintergründe dieser Studie leiten sich die folgenden drei Teilziele ab:

- 1) Erstes Teilziel der Studie ist es, den Stand von Wissenschaft und Technik zu diesem Thema zu beschreiben.
- 2) Zweites Teilziel der Studie ist es, auf Grundlage des ersten Teilzieles ein oder mehrere Messverfahren abzuleiten und zu beschreiben sowie diese(s) Messverfahren in der Praxis zu erproben und ggf. anzupassen.
- 3) Drittes Teilziel der Studie ist es, Orientierungswerte für Maximalkräfte zusammenzustellen, die dem Konstrukteur von mobilen Landmaschinen Hilfestellung sein können, um den unterschiedlichen Anwendern in der Landwirtschaft (Männer, Frauen, Jugendliche, ältere Beschäftigte) eine ergonomische Betätigung zu ermöglichen.

## 1.3 Aufbau des vorliegenden Berichtes

Der vorliegende Bericht orientiert sich in seinem Aufbau an der Reihenfolge der oben beschriebenen Teilziele.

Zur Erfüllung des ersten Teilzieles werden zunächst in Kapitel 2 Begriffe und Definitionen erläutert und Methoden zur Messung von Kräften vorgestellt und diskutiert. Unter Berücksichtigung typischer Betätigungsfälle in der Landwirtschaft (Kapitel 3) werden in Kapitel 4 der Stand von Wissenschaft und Technik zur Fragestellung beschrieben. Grundlage bildet hier eine Normenrecherche zur Ermittlung von

Betätigungs Kräften an Maschinen (Abschnitt 4.1) sowie der Werte und Kraftgrenzen, die in Normen in der Landwirtschaft beschrieben werden (Abschnitt 4.2) im Vergleich zu empirisch ermittelten Maximalkräften (Abschnitt 4.3). Darauf folgt eine Analyse der im Vorfeld dieser Studie durch die KAN beauftragten Gutachten zur Thematik (Abschnitt 4.4). Weiterhin wird betrachtet, wie Landmaschinenhersteller bisher mit diesem Thema umgegangen sind (Abschnitt 4.5).

Zur Erfüllung des zweiten Teilzieles werden in Kapitel 5 zunächst zwei verschiedene Messinstrumente und Messverfahren vorgestellt (Abschnitt 5.1) und dann an verschiedenen Betätigungsfällen in der Praxis (Abschnitt 5.2) und im Labor (Abschnitt 5.3) erprobt, um hieraus eine Bewertung hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit und Messgenauigkeit zur Messung von Betätigungs Kräften im Bereich mobiler (Land-) Maschinen abzuleiten.

Zur Erfüllung des dritten Teilzieles werden in Kapitel 6 Orientierungswerte für Maximalkräfte vorgestellt, die dem Konstrukteur von mobilen (Land-) Maschinen Hilfestellung sein können, um den unterschiedlichen Anwendern in der Landwirtschaft eine ergonomische Anwendung der mobilen (Land-) Maschinen zu ermöglichen.

Die Ergebnisse dieser Studie werden in Kapitel 7 zusammengefasst. Hieraus abgeleitete Empfehlungen werden abschließend in Kapitel 8 zusammengeführt.

## 2 Begriffe, Definitionen und Hintergründe

In diesem Abschnitt werden Begriffe und Definitionen und Sachverhalte, wie sie in der Literatur diskutiert und beschrieben werden, genannt. Hinter einigen Abschnitten sind Kästen eingefügt, in denen darauf eingegangen wird, wie im Rahmen dieses Berichtes hiermit umgegangen wird.

### 2.1 Grundprinzipien der Ergonomie

Ob eine Tätigkeit menschengerecht gestaltet ist, lässt sich über die vier Ebenen „Ausführbarkeit“, „Erträglichkeit“, „Zumutbarkeit“ und „Zufriedenheit“ beschreiben [5, 6, 7]. Diese vier Ebenen sind hierarchisch miteinander verknüpft. Demnach sollte zuerst beurteilt werden, ob die Ausführung der Handhabung an der Maschine oder dem Maschinenteil durch das Bedienungspersonal überhaupt möglich ist. Hierbei ist beispielsweise zu beachten, ob Körpermaße so berücksichtigt wurden, dass Stellteile ohne Hilfsmittel erreicht werden können und die aufbringbaren Körperkräfte größer als die maximale erforderliche Kraft am Stellteil sind. In der zweiten Ebene wird die Erträglichkeit im Sinne von Schädigungslosigkeit betrachtet. Hierbei ist zusätzlich zu beurteilen, ob die Handhabung bei täglicher Wiederholung über das gesamte Arbeitsleben ohne Gesundheitsschädigung des Bedienungspersonals möglich ist. Zumutbarkeit als dritte und Zufriedenheit als vierte Ebene sind über die ergonomischen Mindestanforderungen hinausgehende Kriterien, die mit klassischen ergonomischen Werkzeugen nur unzureichend

bewertbar sind und mit sozialwissenschaftlichen, psychologischen oder soziologischen Methoden betrachtet werden müssen.

Zur Beantwortung der Fragestellungen im Rahmen dieses Berichtes wird nur auf die „Ausführbarkeit“ von Handhabungen an Maschinen und Maschinenteilen eingegangen. Dies wird vor dem Hintergrund als ausreichend angesehen, dass davon ausgegangen werden kann, dass die hier betrachteten Stellteile nur einmal bis wenige Male am Tag betätigt werden und dies zudem noch saisonabhängig. Um auch die Erträglichkeit dieser Handhabungen an Maschinen und Maschinenteilen bewerten zu können, wären Langzeitbetrachtungen erforderlich. Dies ist vom Aufwand her nur dort sinnvoll, wo vergleichbare Betätigungsfälle häufiger und überdauernder vorkommen.

### 2.2 Körperkräfte

Eines der wesentlichen Felder der Ergonomie ist die Beschäftigung mit den menschlichen Körperkräften. Körperkräfte werden neben anthropometrischen Daten in vielen Normen, welche Aussagen zum Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstelle enthalten, vor allem deshalb benötigt, um die hiernach zu konstruierenden Produkte sicher und gesundheitsgerecht gestalten zu können. Abhängig von der Art der Krafteinwirkung und Kraftausübung und der Erscheinungsform der Kraft werden im Zusammenhang mit Körperkräften auch Begriffe wie Stellungskraft, Betätigungskraft, Bewegungskraft und Haltekraft verwendet [8]. Bei der Messung von Körperkräften sowie

# Begriffe, Definitionen und Hintergründe

beim Umgang und der Deutung von Erhebungen verschiedener Autoren zum Thema sind einheitliche Begriffsdefinitionen sowie festgelegte und gut kontrollierte Versuchsbedingungen unabdingbar. Nur so kann sichergestellt werden, dass Ergebnisse richtig interpretiert werden, bzw. kann festgestellt werden, ob die Ergebnisse unterschiedlicher Erhebungen vergleichbar sind. KROEMER [9] fasste bereits im Jahr 1977 hierzu folgende Unzulänglichkeiten bei Veröffentlichungen zum Thema „Körperkräfte des Menschen“ zusammen:

- unklare, missverständliche oder irreführende Terminologie,
- ungenügende Berücksichtigung von physiologischen und / oder biomechanischen und / oder psychologischen Aspekten,
- unzulängliche Messeinrichtungen und Messmethoden sowie
- unvollständiges oder unverständliches Berichten über die Versuchsdurchführung und über die statistischen Analysen der Ergebnisse.

Unterschiedliche Definitionen von Begriffen und unterschiedliche Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen führen zu verschiedenen Messabläufen und Messverfahren, wodurch die Ergebnisse scheinbar vergleichbarer Erhebungen auf unterschiedlichen Niveaus liegen können. Weitere wichtige Faktoren zur Vergleichbarkeit von Erhebungen zur Körperkraft des Menschen sind beispielsweise das untersuchte Kollektiv (z.B. Zusammensetzung hinsichtlich Alter oder Geschlecht) sowie die bei der Messung vorherrschenden Umgebungsbedingungen [3, 9, 13, 18, 20].

In der DIN 33411 Teil 1 [8] werden Körperkräfte als Kräfte definiert, welche im Zusammenhang mit dem menschlichen Körper entstehen. Eine Festlegung kann an Hand folgender Bestimmungsgrößen erfolgen:

- Betrag der Kraft ( $F$ ) in Newton (N),
- Lage des Kraftangriffspunktes im Bezug zum Körper,
- Richtung / Wirkungslinie der Kraft (relativ zum Körper) sowie
- Kraftrichtungssinn.

Körperkräfte lassen sich grob in Muskel-, Massen- und Aktionskräfte untergliedern. Ähnliche Aussagen lassen sich auch für Körpermomente treffen, wobei hier zusätzlich noch der wirksame Hebelarm zu berücksichtigen ist. Die Angabe bei Momenten erfolgt in Newton x Meter (Nm) [8, 13]. Das Zusammenwirken von Muskel-, Massen- und Aktionskraft ist in Abb. 1 beschrieben. Hierbei ist zu beachten, dass Aktionskräfte aus Massenkraften und erzeugten Muskelkräften resultieren, jedoch die menschliche Biomechanik ausschlaggebend für die Umsetzung der Muskelkraft in eine Aktionskraft ist.

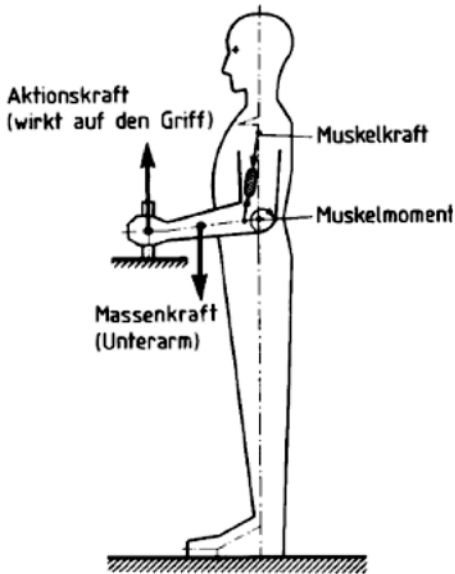


Abb. 1: Beispiel des Zusammenwirkens von Aktionskraft mit Muskel- und Massenkraften (entnommen aus DIN 33411 Teil 1 [8]).

Die durch isometrische, willkürliche maximale Anspannung bestimmter Muskeln bzw. Muskelgruppen hervorgerufenen Aktionskräfte, welche für einen kurzen Zeitraum von zwei bis sechs Sekunden aufrecht erhalten werden können – in einem spezifischen Fall der Kraftausübung –, werden als isometrische Maximalkraft oder individuelle maximale Aktionskraft bezeichnet [9, 10, 13, 14, 15]. Die isometrische Maximalkraft lässt sich experimentell recht einfach bestimmen, während dies bei der dynamischen Maximalkraft i.d.R. mit deutlich höherem Aufwand verbunden ist. Unter anderem deshalb liegen die meisten

Daten zum Thema „Körperkräfte des Menschen“ als isometrische Maximalkräfte vor [15]. Erfasst werden diese mit Hilfe von so genannten Dynamometern in Form der nach außen abgegebenen Aktionskräfte. Diese setzen sich aus dem Zusammenspiel von Massenkraft der beteiligten Körperteile, der durch Kontraktion des/r beteiligten Muskels/n erzeugten Kräften und der menschlichen Biomechanik zusammen. Die Fähigkeit, mit einer maximalen dynamischen willkürlichen Muskelkontraktion Arbeit zu erzeugen, wird als dynamische Maximalkraft bezeichnet [9 - 11, 13]. Die Messung maximaler dynamischer willkürlicher Muskelkontraktionen ist jedoch bedeutend schwieriger und vielfältiger, so dass sie in der Praxis nur selten durchgeführt wird.

In dieser Studie wurden im Rahmen der Maximalkraftmessungen (Kapitel 6) isometrische Maximalkräfte bestimmt.

# Begriffe, Definitionen und Hintergründe

## 2.3 Messtechnik zur Bestimmung von Kräften

### 2.3.1 Mechanische Kraftmessgeräte

Mechanische Kraftmessgeräte bzw. Druckmessgeräte sind eindimensionale Messvorrichtungen und basieren in der Regel auf dem Prinzip der elastischen Materialverformung durch Krafteinwirkung z.B. durch Längenänderung einer Spiralfeder (Federwaage) nach dem Hookschen Gesetz (Federkraft = Federkonstante x Wegdifferenz nach Krafteinwirkung), siehe z.B. Abb. 2, oder elastische Formänderung einer Röhren- oder Plattenfeder (Mano-/Barometer), siehe z.B. Abb. 3.

Die Vorteile von rein mechanischen Messgeräten sind neben einem in der Regel niedrigen Preisniveau (unter 100 Euro) auch die sehr leichte und flexible Handhabbarkeit. Nachteil ist allerdings, dass der Wert unmittelbar während der Messung abgelesen werden muss bzw. dass sich, sofern die Geräte über einen Schleppzeiger verfügen, im Nachgang der Messung ausschließlich der (innerhalb eines Kraftmessfalls möglicherweise auch nur für wenige hundertstel Sekunden aufgebrachte) Maximalwert bestimmen lässt.



Abb. 2: Beispiel für ein mechanisches Kraftmessgerät: Federwaage.



Abb. 3: Beispiel für ein mechanisches Kraftmessgerät: Jamar-Dynamometer (Manometerprinzip).

## 2.3.2 Handgehaltene elektronische Kraftmessgeräte

Es existiert eine Reihe von handgehaltenen elektronischen Kraftmessgeräten (siehe z.B. Abb. 4 und Abb. 5), welche die einwirkende Kraft in der Regel durch die Änderungen des elektrischen Widerstandes über Dehnungsmessstreifen (DMS) oder durch die Änderungen einer Ladungsverteilung über piezoelektrische Sensoren berechnen. Auch hierbei handelt es sich in der Regel um eindimensionale Messvorrichtungen. Je nach Ausführung des Gerätes lassen sich neben der Maximalkraft auch Kraft-Zeit-Verläufe ermitteln, abbilden und aufzeichnen. Die überwiegende Anzahl dieser Kraftmessgeräte bietet auch Schnittstellen und Software zu Rechnern, so dass die Daten hier weiter bearbeitet werden können. Handgehaltene elektronische Kraftmessgeräte liegen in der Regel im mittleren Preisniveau (500 – 1.500 Euro) und können in der Regel Kräfte bis 500 N messen.



Abb. 4: Beispiel für ein handgehaltenes elektronisches Kraftmessgerät: Sauter FH 10. Speicherung von Kraft-Zeit-Verläufen nicht möglich.



Abb. 5: Beispiel für ein handgehaltenes elektronisches Kraftmessgerät: PCE-FG 500. Speicherung von Kraft-Zeit-Verläufen möglich.

## 2.3.3 Komplexe rechnerbasierte Kraftmesssysteme

### 2.3.3.1 Individuell modulierbare (Kraft-)Messsysteme

Für komplexe Messungen können umfangreichere Messsysteme erforderlich sein. Hierzu gibt es verschiedene Softwareprodukte für Messdatenerfassung und -analyse, mit denen sich in Verbindung mit beliebigen Sensoren (z.B. Kraftsensoren, Neigungssensoren, usw.) ebenfalls Kraftverläufe ein- und mehrdimensional ermitteln, abbilden und aufzeichnen lassen (siehe z.B. Abb. 6, Abb. 7).



# Begriffe, Definitionen und Hintergründe



Abb. 6: Kraftmesssystem auf Basis der NextView Software mit bmcM Messverstärker, Zug-/Drucksensor von ME-Systeme und Neigungsensor von Kübler.



Abb. 7: Montage des in Abb. 6 beschriebenen Kraftmesssystems am Messstand mit zusätzlicher automatischer Geschwindigkeitsregelung durch eine Winde.

## 2.3.3.2 Spezifische Kraftmesssysteme

Einige wenige spezifische Produkte für Kraftmessungen sind auf dem Markt erhältlich, beispielsweise das 3-D-Handkraftmesssystem (Abb. 8), welches die einwirkende Kraft in 3 Komponenten (Achsen bzw. Richtungen) gleichzeitig erfassen kann oder ein Messsystem mit Sensormatte, welches z.B. zur Innenhand-Kraftmessung verwendet werden kann (Abb. 9). Hiermit ist es möglich, sehr genaue Belastungsanalysen zu erstellen. Mit Anschaffungspreisen von rund 40.000 Euro (3-D-Handkraftmesssystem) bzw. 30.000 Euro (Sensormatten) sind diese Verfahren allerdings eher für wissenschaftliche Studien nutzbar und für den breiten Einsatz in der Praxis nur bedingt geeignet.

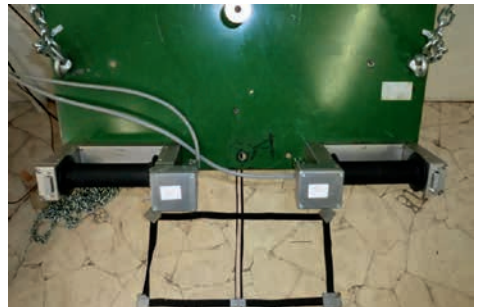


Abb. 8: 3-D-Handkraftmesssystem (IFA/Kistler).

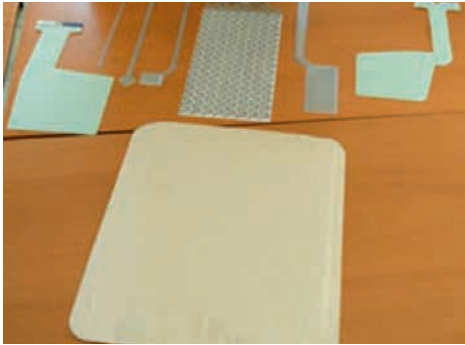


Abb. 9: Sensormatten (IFA/Novel).

## 2.4 Vor- und Nachteile verschiedener Messtechniken

Bei der Bewertung von Kräften sind zwei Perspektiven zu betrachten:

- 1) Messung der realen Betätigungskraft im Einzelfall und
- 2) Interpretation dieses Kraftwertes hinsichtlich seiner Bedeutung in Bezug auf menschengerechte Gestaltung, z.B. hinsichtlich der o.g. vier Ebenen „Ausführbarkeit“, „Erträglichkeit“, „Zumutbarkeit“ und „Zufriedenheit“.

Idealerweise würden bei 1) „Messung der realen Betätigungskraft im Einzelfall“ dreidimensionale dynamische Kraftmessungen unter realen Bedingungen durchgeführt. Dem würde für 2) „die Interpretation dieses Kraftwertes hinsichtlich seiner Bedeutung“ eine Kraftdatenbank mit repräsentativ ermittelten maximalen dynamischen Kraftverläufen gegenübergestellt, mit denen diese ermittelten Werte verglichen werden können.

### 2.4.1 Dynamische vs. isometrische Maximalkraft

Wie bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben, ist die Messung maximaler dynamischer willkürlicher Muskelkontraktionen bedeutend schwieriger und vielfältiger als die Messung isometrischer Maximalkräfte. Eine Datenbank mit repräsentativ ermittelten maximalen dynamischen Kraftverläufen wäre zwar erstrebenswert, ist aber nur mit einem sehr hohen Aufwand leistbar.

Daher wird häufig, und so auch in dieser Studie, die isometrische Maximalkraft bestimmt. Der Nachteil hierbei ergibt sich dadurch, dass diese Werte nur eingeschränkt auf dynamische Kraftverläufe übertragbar sind.

### 2.4.2 Eindimensionale vs. dreidimensionale Kraftmessung

Wie bereits oben beschrieben, bieten dreidimensionale Kraftmessungen Vorteile: Eine Kraft stellt bekanntermaßen eine vektorielle Größe dar, die durch ihren Betrag – ihrer Größe bzw. Stärke – sowie durch ihre Richtung, Wirklinie bzw. einen Angriffspunkt beschreibbar ist. Mit dreidimensionalen Kraftmessungen sind Kraftangriffspunkt, Kraftkomponenten und Kraftrichtungen quantifizierbar.

Für 1) „Messung der realen Betätigungskraft im Einzelfall“ lassen sich dreidimensionale Kraftmessungen jedoch häufig nur eingeschränkt unter realen Bedingungen durchführen. Bei der Verwendung der 3-D-Handkraftmessgriffe besteht die Problematik, dass diese am zu messenden Bauteil angebracht werden müssen. Durch die Größe und Form

# Begriffe, Definitionen und Hintergründe

der Griffe kann es zu Abweichungen von den realen Krafrichtungen kommen, was jedoch häufig im Nachhinein wieder rechnerisch korrigiert werden kann. Problematisch sind jedoch der erhöhte Aufwand sowie der hohe Anschaffungspreis, so dass dies z.B. für kleinere Landmaschinenhersteller oder Marktüberwachungsbehörden als nicht praktikabel angesehen werden kann (siehe hierzu auch Abschnitt 2.6).

Um für 2) „die Interpretation dieses Kraftwertes hinsichtlich seiner Bedeutung“ eine Kraftdatenbank mit isometrischen Maximalkräften zu erstellen, sind die 3-D-Handkraftmessgriffe wiederum sehr gut geeignet.

Eindimensionale Kraftmessungen haben den Nachteil, dass sie, wie der Name schon sagt, nur eine Dimension der Krafrichtungen erfassen und somit nur eine Teilmenge der tatsächlich aufzubringenden Kraft darstellen können. Somit ist auch nur eine sehr eingeschränkte Abschätzung interner Belastungen möglich.

Da es in der vorliegenden Studie jedoch um Betätigungsfälle geht, die nur einmal bis wenige Male am Tag ausgeführt werden und dies zudem noch stark saisonabhängig ist, wird es als ausreichend betrachtet, nur die „Ausführbarkeit“ der Betätigungsfälle zu ermitteln. Hierbei wird dann die Betätigungskraft als die senkrecht auf der Längsachse des Stellteils in Bewegungsrichtung stehende Kraft definiert, welche erforderlich ist, um die jeweilige Stellbewegung vollständig auszuführen, d.h. es wird von einem optimalen Kraftangriffspunkt ausgegangen. Hierdurch lassen sich nun 1) „Messungen der realen Betätigungskraft im

Einzelfall“ mit eindimensionalen statischen Kraftmessungen unter realen Bedingungen (Messung der senkrecht auf der Längsachse des Stellteils in Bewegungsrichtung stehenden Kraft) durchführen und 2) „die Interpretation dieses Kraftwertes hinsichtlich seiner Bedeutung“ anhand einer Kraftdatenbank (mit Kraftwerten der senkrecht auf der Längsachse des Stellteils in Bewegungsrichtung stehenden Kraft) vergleichen und eine Abschätzung der „Ausführbarkeit“ durchführen.

Die Limitation dieses Verfahrens liegt darin, dass diese Kraftwerte nicht bzw. nur eingeschränkt für die Abschätzung interner Belastungen verwendet werden können und somit auch keine bzw. nur eingeschränkte Aussagen zur „Erträglichkeit“ und zu Belastungen des Muskel-Skelett-Systems möglich sind (siehe hierzu auch Abschnitt 2.1).

## 2.5 Methoden zur Ermittlung der isometrischen Maximalkraft

Die Dynamometrie (Kraftmessung der äußeren Kräfte) ist die am häufigsten angewandte Messmethode, um in einem Betätigungsfall die isometrische Maximalkraft zu bestimmen [9, 10, 13]. Insbesondere über die Frage des Kraftaufbaus und der Dauer, über welche eine isometrische Maximalkraft bei Messungen zu halten ist, gibt es hierbei jedoch in der Literatur unterschiedliche Auffassungen. Dies führte in der Vergangenheit dazu, dass sich parallel drei Methoden bei der dynamometrischen Messung der isometrischen Maximalkraft verbreiteten: die „Rechteckmethode“, die „Rampenmethode“ und die „Ruckmethode“ [9, 13,

18, 20]. Bei der „Rechteckmethode“ wird die Maximalkraft stetig innerhalb einer Sekunde aufgebaut und dann konstant gehalten. Bei der „Rampenmethode“ erfolgt eine stetige Steigerung der Kraft bis zur Maximalkraft und bei der „Ruckmethode“ wird ein mehrmaliger impulsartiger Kraftaufbau gefordert, in dem die Maximalkraft so schnell wie möglich erbracht wird (Abb. 10).

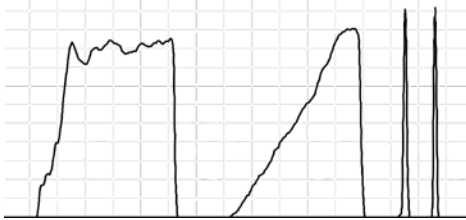


Abb. 10: Rechteckmethode (links), Rampenmethode (Mitte) und Ruckmethode (rechts).

Heute wird überwiegend die „Rechteckmethode“ angewendet. Leider ist es in der Literatur häufig so, dass von den Autoren nicht angegeben wurde oder wird, welche der o.g. Methoden verwendet wurde. Somit ist bei Vergleichen von Kraftwerten aus unterschiedlichen Literaturquellen hier besondere Vorsicht geboten, da die Rampenmethode in der Regel deutlich höhere Werte liefert [21].

## 2.6 Anforderungen an das zu entwickelnde Messverfahren

In der Ausschreibung zu dieser Studie sowie in den im Projektverlauf stattfindenden Sitzungen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurden Anforderungen an das zu entwickelnde Messverfahren definiert.

Demnach sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Das Messverfahren sollte eine hohe Reproduzierbarkeit aufweisen.
- Die Messung muss zerstörungsfrei und lackschonend durchführbar sein.
- Die Messung sollte mit möglichst einfachen Maßnahmen durchführbar sein.

Dies schließt insbesondere ein, dass auch Maschinenhersteller aus kleinen und mittelständischen Unternehmen in die Lage versetzt werden sollen, diese Messungen durchzuführen. Auch Aufsichtsbeamte der Marktüberwachungsbehörden und Aufsichtspersonen der gesetzlichen Unfallversicherungsträger sollten in die Lage versetzt werden können, bei Vor-Ort-Terminen bei Herstellern diese Messungen durchzuführen, um z.B. die in Normen oder vom Hersteller angegebenen Werte zu überprüfen.

Für die Erprobung von Messverfahren (siehe Kapitel 5) wurden sowohl ein handgehaltenes elektronisches Kraftmessgerät als auch ein rechnerbasiertes Kraftmesssystem verwendet, jeweils mit eindimensionaler Kraftmessung. Vor dem Hintergrund, dass die Messungen mit möglichst einfachen Maßnahmen durchführbar sein sollen und andererseits auch nur die „Ausführbarkeit“ betrachtet wird, wird dies als ausreichend angesehen. Hierbei wird dann die Betätigungskraft als die senkrecht auf der Längsachse des Stellteils in Bewegungsrichtung stehende Kraft definiert, welche erforderlich ist, um die jeweilige Stellbewegung vollständig auszuführen, d.h. es wird

# Begriffe, Definitionen und Hintergründe

von einem optimalen Kraftangriffspunkt ausgegangen. In Laborstudien wurden darüber hinaus in ausgewählten Fällen auch Messungen mit einem 3-D-Handkraftmesssystem durchgeführt.

Zur Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte (siehe Kapitel 6) wurden isometrische Maximalkräfte mit der Rechteckmethode bestimmt. Hierbei wurden den Probanden eine Kraftsteigerung innerhalb 1 Sekunde bis zum Maximum und dann ein Halten der Kraft für 3 Sekunden abverlangt. Als isometrische Maximalkraft wird der Mittelwert in einem 2-Sekunden-Intervall um den absoluten Höchstwert innerhalb dieses 3-Sekunden-Zeitraums definiert. Sofern innerhalb dieser 2 Sekunden mehr als 20 % vom absoluten Höchstwert abgewichen wurde, wurde diese Messung verworfen. Damit diese Orientierungswerte mit den ermittelten Betätigungskräften vergleichbar sind, wird die senkrecht auf der Längsachse des Stellteils in Bewegungsrichtung stehende Kraft gemessen.

Die Vorteile der hier beschriebenen Methodik liegen darin, dass sowohl die Bestimmung der Betätigungskraft als auch der Vergleich dieser Werte mit den Orientierungswerten relativ einfach und schnell durchführbar sind.

Die Limitation dieses Verfahrens liegt darin, dass diese Kraftwerte nicht bzw. nur eingeschränkt für die Abschätzung interner Belastungen verwendet werden können und somit auch keine bzw. nur eingeschränkte Aussagen zur „Erträglichkeit“ und zu Belas-

tungen des Muskel-Skelett-Systems getroffen werden können. Vor dem Hintergrund, dass die Betätigungsfälle nur einmal bis wenige Male am Tag ausgeführt werden und dies zudem saisonabhängig ist, wird es für den betrachteten Zweck als ausreichend angesehen.

## 3 Betätigungsfälle an Landmaschinen

In diesem Kapitel sind typische Betätigungsfälle an Landmaschinen beschrieben.

### 3.1 Betätigen von Hebeln

Manuell zu betätigende Hebel finden sich sehr häufig an Landmaschinen. In Abb. 11 bis Abb. 16 sind einige typische Betätigungsfälle dargestellt.



Abb. 11: Korntank-Öffnung an einem Mähdrescher (Claas Avero), die Öffnung des Tanks erfolgt über eine ganze Drehung.



Abb. 12: Korntank-Öffnung an einem Mähdrescher (Claas Mega 350), die Öffnung des Tanks erfolgt über eine halbe Drehung.



Abb. 13: Öffnungsschieber an einem Anhänger (Hilken Fahrzeugbau).



Abb. 14: Häcksler-Verstellung an einem Mähdrescher (John Deere T560).



Abb. 15: Häcksler-Verstellung an einem Mähdrescher (Claas Mega 350).



# Betätigungsfälle an Landmaschinen



Abb. 16: Häcksler-Verstellung an einem Mäh-drescher (John Deere T560).



Abb. 18: Seitenklappe an einem Mähdrescher (Claas Mega 350).

## 3.2 Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen

Manuell zu betätigende Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteile (wie z.B. Häcksler an Mähdreschern) finden sich ebenfalls sehr häufig an Landmaschinen. In Abb. 17 bis Abb. 26 sind einige typische Betätigungsfälle dargestellt.



Abb. 19: Abdeckung einer Drillmaschine (Sulky Tramline SE).



Abb. 17: Seitenklappe eines Feldhäckslers (John Deere).



Abb. 20: Abdeckung einer Sämaschine (Sfoggia K4 sf).

# Betätigungsfälle an Landmaschinen



Abb. 21: Seitenklappe an einer Großpackenpresse (Kuhn LSB 1270).



Abb. 24: Seitenklappe einer Rundballenpresse (Claas Rollant 455).



Abb. 22: Seitenklappe einer Großpackenpresse (John Deere 1424).



Abb. 25: Manuelle Häcksler-Verstellung an einem Mähdrescher (Claas Mega 350). Bei kleineren Mähdreschern ist diese manuelle Häcksler-Verstellung öfter anzutreffen.



Abb. 23: Seitenklappe einer Großpackenpresse (Krone).



# Betätigungsfälle an Landmaschinen



Abb. 26: Manuelle Häcksler-Verstellung an einem Mähdrescher (Claas Mega 350). Der Häcksler wird mit einer Hand gehoben und mit der anderen arretiert.

Insbesondere bei den hier beschriebenen Betätigungsfällen „Betätigen von Hebeln“ und „Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen“ fällt auf, dass teilweise sehr unergonomische Körperhaltungen eingenommen werden müssen. Manche Klappen sind kaum zu erreichen. Die Klappen und Garnvorräte bei Großpackenpressen sowie die Häcksler an Mähdreschern bei den hier betrachteten Betätigungsfällen erfordern aufgrund ihres hohen Gewichtes teilweise hohe Kräfte.

## 3.3 Betätigen von Aufstiegen / Leitern

Die Abb. 27 bis Abb. 30 zeigen einige typische Aufstiege und Leitern an landwirtschaftlichen Maschinen.



Abb. 27: Schwenkbarer Aufstieg an einem Mähdrescher (Claas Mega 350).

# Betätigungsfälle an Landmaschinen



Abb. 28: Einrastbare Leiter am Aufstieg zum Korntank eines Mähdreschers (Claas Mega 350).



Abb. 29: Hochklappbarer Aufstieg an einem Mähdrescher (Claas).



Abb. 30: Schwenkbarer Aufstieg an einem Mäh-drescher (New Holland CX 5090).

## 3.4 Sonstige Betätigungsfälle

Die Abb. 31 und Abb. 36 zeigen weitere ausgewählte Betätigungsfälle an landwirtschaftlichen Maschinen.



Abb. 31: Sternschraube an der Häckslverstellung eines Mäh-dreschers (Claas Mega 350).



Abb. 32: Sternschraube an der Häckslverstellung eines Mäh-dreschers (Claas Avero).

# Betätigungsfälle an Landmaschinen



Abb. 33: Anschluss eines Güllewagens.



Abb. 35: Winkelverstellung mit Arretierschraube an einem Düngestreuer (Rabe Adler DSX 36).



Abb. 34: Schwenkverriegelung am Aufstieg eines Mähdeschers (Claas Mega 350).



Abb. 36: Winkelverstellung mit Arretierschraube.

## **4 Stand von Wissenschaft und Technik zur Messung von Betätigungskräften (an Landmaschinen)**

In diesem Kapitel werden der Stand von Wissenschaft und Technik zur Messung von Betätigungskräften an Maschinen in der Landwirtschaft und in vergleichbaren Zusammenhängen beschrieben, Erkenntnisse aus drei, durch die KAN beauftragte Gutachten zur Thematik zusammengefasst und weiterhin betrachtet, wie Landmaschinenhersteller bisher mit diesem Thema umgegangen sind.

### **4.1 Existierende Prüfverfahren zur Messung von Betätigungskräften**

#### **4.1.1 Normen zur Messung von Betätigungskräften an Landmaschinen**

Es wurde eine umfangreiche Normenrecherche unter Einsatz des Instrumentes NoRA (Normen-Recherche Arbeitsschutz) und angepassten Stichwörtern durchgeführt. Hierbei wurden keine spezifischen Normen zur Messung von Betätigungskräften an Landmaschinen gefunden.

#### **4.1.2 Normen zur Messung von Betätigungskräften in anderen Produktbereichen**

Auf Vorschlag der KAN wurden zunächst zwei Normen betrachtet, die im Vorfeld dieser Studie als potenziell nützlich angesehen wurden. Hierzu gehören die „NPR 2739 Menselijke fysieke belasting - Kenmerken en meetmethoden“ (Niederländische Norm: Menschliche physische Belastung – Kennwerte und Messmethoden) [23] und die „NF X

35-109 Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer - méthodologie d'analyse et valeurs seuils“ (Französische Norm: Ergonomie - Manuelle Lastbeförderung zum Heben, Versetzen und Schieben/Ziehen - Analysenmethodik und Schwellenwerte) [24].

Der Schwerpunkt der NPR 2739 [23] liegt auf der Messung und Erfassung der menschlichen körperlichen Konstitution, der Belastung sowie von Körperbewegungen und -haltungen. Berücksichtigt werden Lastkenngrößen und Aspekte der Arbeitsumwelt bzw. Arbeitsumgebung. Insgesamt beschränkt sich diese Norm auf die Beschreibung der allgemeinen Möglichkeiten zur Messung sowie geeigneter Messmittel und Begriffsdefinitionen. Zum Messaufbau sowie zur konkreten Durchführung von Messungen bei Bedien-, Betätigungs- oder Stellkräften werden keine Aussagen getroffen.

Die NF X 35-109 [24] fokussiert auf die Bewertung von Lastenhandhabungen, liefert Lastengrenzwerte und ist prinzipiell vergleichbar mit den so genannten Leitmerkmalmethoden [25, 26] oder der ISO 11228, Teile 1 – 2 [27, 28]. Zum Messaufbau sowie zur konkreten Durchführung von Messungen bei Bedien-, Betätigungs- oder Stellkräften werden ebenfalls keine Aussagen getroffen.

Auf Grundlage des KAN-Berichts 46 [4] und einer Recherche bei NoRA wurden jedoch Normen und Richtlinien identifiziert, in denen Messaufbauten zu Kraftmessungen beschrieben wurden (vgl. Tab. 1). Zusammengefasst finden folgende Aspekte Berücksichtigung:

1. Messausrüstung (Messprinzip, z.B. Gewichte oder Messung, Messmittel, Auflösung und Genauigkeit des Messmittels),
2. Versuchsaufbau, -bedingungen und -durchführung [örtliche Bedingungen (z.B. Labor, Feld, Beschaffenheit), Temperatur, Luftfeuchte, Aufbau, Ablauf und Versuchswiederholungen, Stellweg / Messweg],
3. Definition der Betätigungskraft (Kraftangriffspunkt und Kraftrichtung),
4. Art und Kontrolle der Bewegungserzeugung (manuell, Schwerkraft oder automatisiert),
5. Auswahl und Vorbereitung des Prüfobjekts (Auswahl, Vorbereitung bzw. Behandlung des Prüfobjektes),
6. Art und Weise der Ergebnisdarstellung [Ermittlung des Endergebnisses, Betrachtung von Spitzenwert (Einzelmessung), Dynamogramm (Kraft-Weg bzw. Kraft-Zeit-Verlauf)] sowie
7. Messprotokoll und Prüfbericht.

Mit der Unterscheidung von Maximalkräften und durchschnittlichen Kräften während einer Kraftausübung beschäftigt sich beispielsweise die DIN prEN 13561 „Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen“. Hierin wird geregelt, dass die Bedienkraft  $F_c$  durch zwei Werte festgelegt wird:  $F_{CP}$  ist die maximale Spitzenkraft, die für die Entriegelung der Arme bei der ersten Umdrehung der Tuchwelle in Einfahrrichtung erforderlich ist, wenn die Gelenkarmmarkise vollständig ausgefahren ist. Weiterhin erfasst wird  $F_{CN}$  die maximale Bedienkraft, die während der restlichen Ver-

schiebung (Einfahr- oder Ausfahrvorgang) erforderlich ist (vgl. Abb. 37).

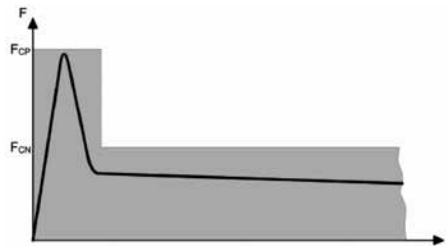
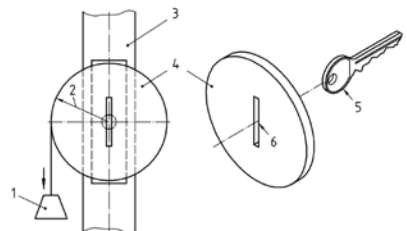


Abb. 37: Unterscheidung von Maximalkräften und durchschnittlichen Kräften getrennt voneinander. Beispiel aus der DIN prEN 13561 „Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen“.

Bei Drehmomenten wird beispielsweise in der DIN EN 12046-1 „Bedienkräfte - Prüfverfahren - Teil 1: Fenster“ die Bedienkraft über Umlenkrollen ermittelt (vgl. Abb. 38 und Abb. 39).

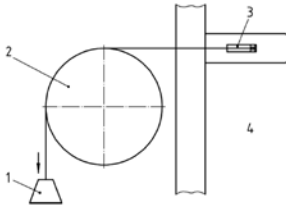


- Legende**
- 1 Gewicht
  - 2 Radius
  - 3 Seitenteil des Rahmens
  - 4 Umlenkrolle
  - 5 Schlüsselreihe
  - 6 Spalt, durch den die Schlüsselreihe passt

Abb. 38: Mechanismus mit Gewicht und Umlenkrolle, wie er an einem Schlüssel angewendet wird (aus DIN EN 12046-1).



# Stand von Wissenschaft und Technik



- Legende**  
 1 Gewicht  
 2 Umlenkrolle  
 3 Riegel  
 4 Fensterausschnitt

Abb. 39: Mechanismus mit Gewicht und Umlenkrolle, wie er an einem Riegel angewendet wird (aus DIN EN 12046-1).

Tab. 1: Normen mit Aussagen zu Messaufbauten und/oder zur konkreten Durchführung von Messungen bei Betätigungskräften.

Dokument	Normtitel	Aussagen zu*
DIN EN 125: 2010	Flammenüberwachungseinrichtungen für Gasgeräte - Thermoelektrische Zündsicherungen	1, 2, 3, 6
DIN EN 709: 2011	Maschinen für die Land- und Forstwirtschaft – Einachs- traktoren mit angebauter Fräse, Motorhacken, Trieb- radhacken – Sicherheit	1, 2, 3, 5, 6
DIN EN 816: 1997	Sanitärarmaturen – Selbstschlussarmaturen PN 10	1, 2, 5
DIN EN 1106: 2010	Handbetätigte Einstellgeräte für Gasgeräte	1, 2, 3, 6
DIN EN 1493: 2010	Fahrzeug-Hebeebühnen	2, 3, 6
DIN EN ISO 3691-5: 2009**	Flurförderzeuge – Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung – Teil 5: Mitgängerbetriebene Flurför- derzeuge	1, 2, 3, 5, 6
DIN EN 3841-502: 2004	Luft- und Raumfahrt – Schutzschalter – Prüfverfahren - Teil 502: Betätigungskräfte	2, 3, 6

<b>Dokument</b>	<b>Normtitel</b>	<b>Aussagen zu*</b>
prEN ISO 11681-1: 2009	Forstmaschinen – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung für tragbare Kettensägen – Teil 1: Kettensägen für die Waldarbeit	2, 6
DIN EN 12046-1: 2003	Bedienungskräfte - Prüfverfahren - Teil 1: Fenster	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
DIN EN 12046-2: 2000	Bedienungskräfte - Prüfverfahren - Teil 2: Türen	1, 2, 4, 5, 6, 7
DIN prEN 12183: 2011	Rollstühle mit Muskelkraftantrieb – Anforderungen und Prüfverfahren	1, 2, 3, 5, 6, 7
DIN EN 12541: 2002	Sanitärarmaturen – WC- und Urinaldruckspüler mit selbsttätigem Abschluss PN 10	1, 2
DIN prEN 12605: 2005	Tore – Mechanische Aspekte – Prüfverfahren	2, 5, 6, 7
DIN EN 13527: 1999	Abschlüsse: Messung der Bedienkraft - Prüfverfahren	1, 2, 3, 5, 6, 7
prEN 13561: 2011	Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen	6
DIN 18267: 2005	Fenstergriffe – Rastbare, verriegelbare und verschließbare Fenstergriffe	2, 3, 5, 6, 7
DIN 45679: 2005	Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Greif- und Andruckkräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems	1, 2, 3, 4, 6, 7
DIN EN 60512-13-1&2: 2006	Steckverbinder für elektronische Einrichtungen – Mess- und Prüfverfahren – Teil 13-1: Prüfungen der mechanischen Bedienbarkeit – Prüfung 13a: Kupplungs- und Trennkraft & Teil 13-2: Prüfungen der mechanischen Bedienbarkeit – Prüfung 13b: Gesamtsteck- und -ziehkraft	2, 5, 6, 7

\* 1. Messausrüstung, 2. Versuchsaufbau, -bedingungen und -durchführung, 3. Definition der Beteiligungskraft, 4. Art der Bewegungserzeugung, 5. Auswahl und Vorbereitung des Prüfbjektivs, 6. Art und Weise der Ergebnisdarstellung, 7. Messprotokoll und Prüfbericht

\*\* Ähnliche Formulierungen wie hier finden sich auch in weiteren Normen zu Flurförderfahrzeugen wie z.B. in DIN EN 1570: 1998 +A2: 2009; DIN EN 1494: 2000 + A1: 2008; EN 1757-1: 2001; EN 1757-2: 2001 und EN 1757-3: 2002



# Stand von Wissenschaft und Technik

Darüber hinaus wurden weitere Normen bzw. Richtlinien mit Hinweisen zur Auslegung von Betätigungskräften und zur Justierung und Kalibrierung von Messgeräten identifiziert (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Ausgewählte Normen mit Hinweisen zur Auslegung und zur Messung von Betätigungskräften.

<b>Dokument</b>	<b>Normtitel</b>
DIN EN 12570: 2000:	Industriearmaturen Verfahren für die Auslegung des Betätigungselementes
VDI/VDE 2624 Blatt 2.1	Messen mechanischer Größen - Anweisung zum Kalibrieren von Handkraftmessgeräten
VDI/VDE 2624 Blatt 4.1	Messen mechanischer Größen - Anweisungen zur Kalibrierung von Leistungsprüfständen - Messgröße Drehmoment

Die analysierten Messverfahren für Betätigungskräfte haben insbesondere Lücken bei der Beschreibung der Bewegungserzeugung, der Bewegungsgeschwindigkeit und der Kontrolle der Messbewegung sowie bei der Festlegung und Kontrolle der Krafrichtung. Verfahren zur automatisierten Messung von Betätigungskräften oder Lösungen zur Kontrolle von Messbewegung und Krafrichtung werden in den untersuchten Normen nicht beschrieben. Die Beschreibungen zu Anforderungen an die zu verwendenden Messgeräte sind häufig ebenfalls lückenhaft.

Im Bereich landwirtschaftlicher Maschinen sind die o.g. Verfahren einerseits aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Betätigungskräfte sowie andererseits aufgrund der Vielzahl von Einflussgrößen wie Krafrichtung, Kraftangriffspunkt, Bewegungsablauf usw. nicht 1 zu 1 zu übernehmen. Insbesondere zu den Fragen Messgerät, Bewegungserzeugung und Bewegungsgeschwindigkeit werden häufig nur unzureichende Aussagen getroffen. Die beiden zu dieser Untersuchung entwickelten und erprobten Messverfahren (siehe Kapitel 5) beruhen auf einer Zusammenfassung und Weiterentwicklung der in den analysierten Normen beschriebenen Kraftmessverfahren.

## 4.2 Werte/Kraftgrenzen in Normen zu Betätigungskräften für mobile Maschinen in der Landwirtschaft

Es wurde eine umfangreiche Übersichtsrecherche über die aktuellen Normen zu Landmaschinen bezüglich darin erwähnter Kraftgrenzen durchgeführt. Eine Recherche in NoRA (Normen-Recherche Arbeitsschutz, [www.NoRA.kan.de](http://www.NoRA.kan.de)) mit dem Suchwort „Landmaschinen“ ergab 38 Treffer. In 10 Dokumenten werden konkrete Aussagen über maximal zulässige Spitzen- oder Mittelwerte von Betätigungskräften aufgeführt. Die vollständige Übersicht zu den bisherigen Regelungen über Betätigungskräfte ist in Anhang 1 sowie eine Übersicht mit Textpassagen über Betätigungskräfte in den analysierten Normen in Anhang 2 abgebildet. Grob lassen sich die Aussagen zu Betätigungskräften an Landmaschinen in folgende Kategorien zusammenfassen (siehe auch Abb. 40):

### 4.2.1 Betätigen von Stellteilen

Die für bewegliche Teile der Aufstiege erforderliche Betätigungskraft darf an dem entsprechend der Auslegung und Festlegung des Herstellers für die Bedienperson vorgesehenen Handhabungspunkt der beweglichen Teile nicht mehr als **200 N** betragen (pr DIN EN 16246).

### 4.2.2 Korntankgestaltung

Falls Teile manuell ausgefahren oder abgesenkt werden, darf die erforderliche Kraft **400 N** nicht überschreiten (DIN EN ISO 4254-7).

### 4.2.3 Schwenkbare und bewegliche Bauteile

Sinngemäß findet sich u.a. in den Normen DIN EN ISO 4254-6, DIN EN ISO 4254-10, DIN EN 707, DIN EN 745, DIN EN 907 folgende Aussage wieder:

Die Bewegung der schwenkbaren Bauteile muss kraftunterstützt sein, wenn die manuelle Betätigungskraft **250 N** überschreitet.

### 4.2.4 Anforderungen an den Aufstieg zum Bedienerplatz

Hierzu finden sich im Wesentlichen die folgenden drei Aussagen wieder:

1. Wenn Teile des Aufstiegs beweglich sind, darf die Betätigungskraft **200 N** als Durchschnittswert während der Bewegung von der Anfangs- zur Endposition nicht überschreiten. Der Höchstwert darf **400 N** nicht überschreiten (DIN EN ISO 4254-1).
2. Die erforderliche Kraft zum manuellen Schwenken von der Ausgangs- zur Endstellung darf im Mittel **250 N** nicht überschreiten. Der (Die) Spitzenwert(e) darf (dürfen) **400 N** nicht überschreiten (DIN EN ISO 4254-7)
3. Die Betätigungskraft [bei beweglichen Teilen des Aufstiegs] darf **200 N** nicht überschreiten (DIN EN 632).

# Stand von Wissenschaft und Technik

## 4.2.5 Freiräume von Stellteilen

Sinngemäß findet sich in den Normen DIN EN ISO 4254-1, DIN EN ISO 4254-7, DIN EN 632 u.a.m. folgende Aussage wieder:

Handbetätigte Stellteile mit einer Betätigungskraft  $\geq 100\text{ N}$  müssen einen Mindestfreiraum von 50 mm zwischen den Außenkanten oder zu benachbarten Teilen der Maschine haben. Stellteile mit einer Betätigungskraft  $< 100\text{ N}$  müssen einen Mindestfreiraum von 25 mm ha-

ben. Fingertippschalter, z.B. Druckknöpfe, elektrische Schalter sind von dieser Anforderung ausgenommen, vorausgesetzt, es besteht kein Risiko, angrenzende Stellteile unbeabsichtigt zu betätigen.

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Auswahl der oben beschriebenen Aufstiege, Leitern, Bauteile und Stellteile betrachtet.

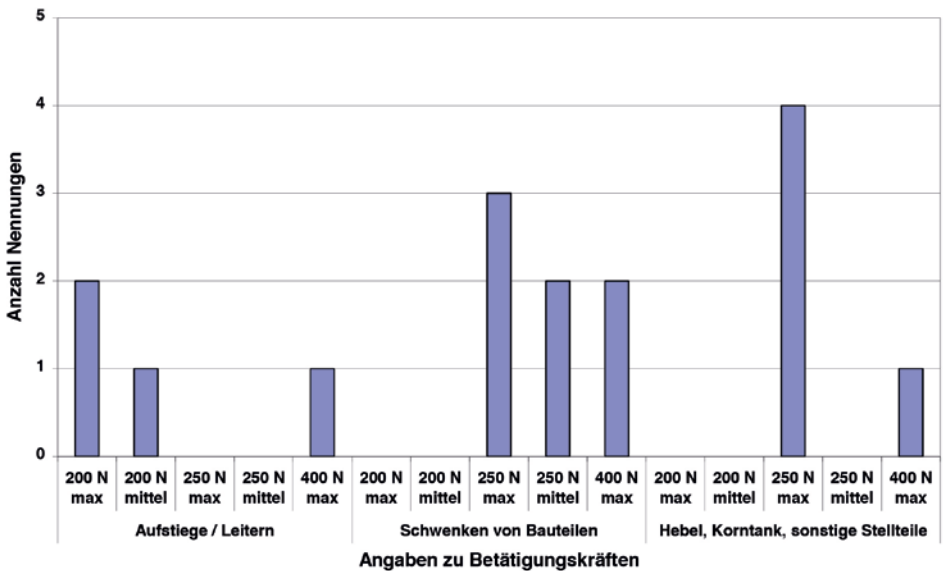


Abb. 40: Häufigkeit von Aussagen über maximal zulässige Spitzen- oder Mittelwerte von Betätigungskräften in Landmaschinen-normen zu Aufstiegen und Leitern, zu Schwenken von Bauteilen sowie zu Hebeln, Korntank und sonstigen Stellteilen.

## 4.3 Vergleich der Kraftgrenzen in Normen mit empirisch ermittelten isometrischen maximalen Betätigungskräften

Zu isometrischen maximalen Betätigungskräften liegen aktuelle Werte vor. Im Rahmen einer Querschnittstudie wurden die Maximalkräfte einer Bevölkerungsstichprobe in ausgewählten Kraftfällen erhoben [22]. In Abb. 41 sind Mittelwerte von Männern und Frauen in verschiedenen Altersgruppen dargestellt. Bei den Kraftfällen handelt es sich um das Ziehen (mit Gegendrücken) eines Griiffs und das Zusammendrücken eines Handdynamometers unter jeweils ergonomisch optimalen Bedingungen. Dabei ist festzustellen, dass Männer in den Altersgruppen von 15 bis 69 Jahren etwa **400 N** im Mittel aufbringen können. Frauen in den vergleichbaren Altersgruppen bringen nur knapp 2/3 der Kräfte der Männer auf und liegen im Mittel bei etwa **300 N**. Der überwiegende Anteil der Frauen aus dieser Bevölkerungsstichprobe könnte also die in den oben beschriebenen Normen genannten Kräfte von **400 N** nicht aufbringen. Selbst unter den bei diesen Kraftversuchen individuell eingerichteten optimalen ergonomischen Bedingungen (optimale Greifhöhe) könnte etwa 1/4 der Frauen auch die ebenfalls oben genannten **250 N** nicht erreichen. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Maximalwerte bei unergonomischen Bedingungen weiter reduzieren.

## 4.4 Sichtung und Bewertung vorliegender Gutachten

Die KAN hat im Vorfeld dieser Studie drei Gutachten beauftragt. Hierbei wurden Messungen von Betätigungskräften an verschiedenen Landmaschinen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Gutachten werden in Form einer vergleichenden Darstellung im Folgenden zusammengefasst.

### 4.4.1 Welche Kraftfälle wurden berücksichtigt?

Es wurden Betätigungsfälle an zwei Mähdrechern unterschiedlicher Hersteller betrachtet. Berücksichtigt wurden hierbei

- das Öffnen und Schließen von Seitenklappen (in allen 3 Gutachten),
- die Betätigung von mechanischen Hebeln (in allen 3 Gutachten),
- das Schwenken des Aufstiegs zum Bedienerplatz (in allen 3 Gutachten),
- das Entriegeln des Aufstiegs zum Bedienerplatz (in 1 von 3 Gutachten),
- das Ausklappen der Heckleiter (in 1 von 3 Gutachten) sowie
- das Abnehmen und Anbringen von Teilen der Verkleidung (in 1 von 3 Gutachten).

# Stand von Wissenschaft und Technik

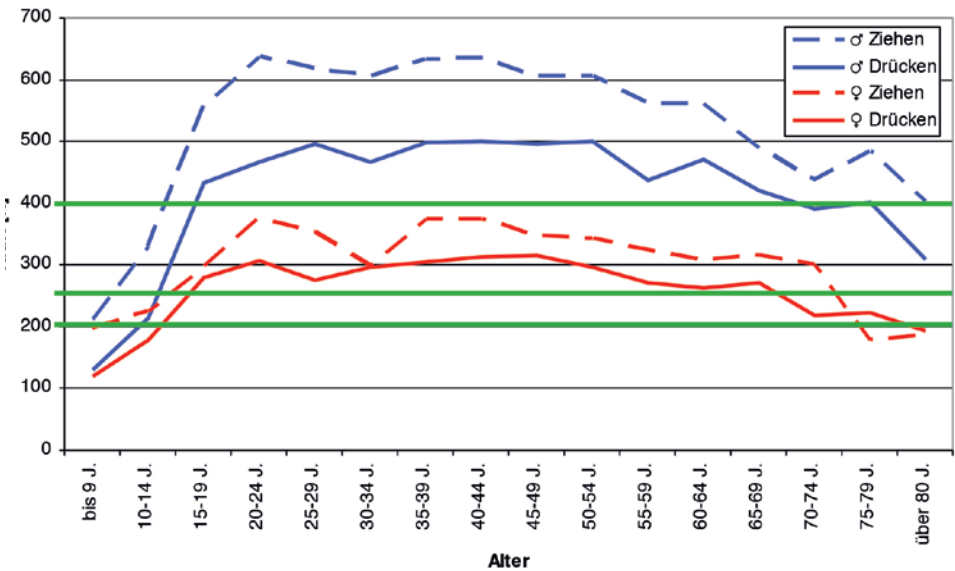


Abb. 41: Normenwerte für Betätigungskräfte (Linien bei 200 N, 250 N und 400 N) im Vergleich zu Maximalkräften in einem Bevölkerungsquerschnitt (782 Männer, 432 Frauen) [22].

## 4.4.2 Welche Form der Datenerhebung wurde durchgeführt?

Es wurden von allen drei Gutachtern sowohl mechanische Kraftmessgeräte (vgl. Abschnitt 2.3.1), handgehaltene elektronische Kraftmessgeräte (vgl. Abschnitt 2.3.2) sowie komplexe rechnerbasierte Kraftmesssysteme (vgl. Abschnitt 2.3.3) verwendet. Teilweise – dort wo Messungen nicht durchführbar waren – erfolgte auch eine Abschätzung der Krafthöhe durch die Gutachter (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Überblick über die Methoden der Kraftmessung in den Gutachten.

<b>Kraftfall</b>	<b>Messverfahren*</b>	<b>Gutachten 1</b>	<b>Gutachten 2</b>	<b>Gutachten 3</b>
Öffnen und Schließen von Seitenklappen	0		Fragebogen	
	1		Maximalkraft	
	2	Maximalkraft (Zug)	Maximalkraft (Z & D)	Maximalkraft (Zug)
	3		Kraft-Zeit-Messung (Z & D)	Kraft-Zeit-Messung
Betätigung von mechanischen Hebeln	0		Fragebogen	
	1		Maximalkraft	
	2		Maximalkraft (Z & D)	Maximalkraft (Zug)
	3	Kraft-Zeit-Messung	Kraft-Zeit-Messung (Z & D)	Kraft-Zeit-Messung
Schwenken des Aufstiegs zum Bedienerplatz	0	Expertenurteil	Fragebogen	
	1		Maximalkraft	
	2		Maximalkraft (Z & D)	Maximalkraft (Zug)
	3		Kraft-Zeit-Messung (Z & D)	Kraft-Zeit-Messung
Entriegeln des Aufstiegs zum Bedienerplatz	0			
	1			
	2			Maximalkraft (Zug)
	3			Kraft-Zeit-Messung
Ausklappen der Heckleiter	0			
	1			
	2			
	3	Kraft-Zeit-Messung		
Abnehmen und Anbringen von Teilen der Verkleidung	0	Expertenurteil		
	1	Messung Gewicht		
	2			
	3			
* Messverfahren: 0 = Abschätzung durch Fragebogen/Expertenurteil, 1 = mechanisches Kraftmessgerät, 2 = handgehaltenes elektronisches Kraftmessgerät, 3 = komplexes rechnerbasiertes Kraftmesssystem				

# Stand von Wissenschaft und Technik

## 4.4.3 Konnten reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden?

Die Gutachten wurden nicht nach einem einheitlichen Schema erstellt und somit auch die Messwerte unterschiedlich dargestellt. Aus den drei Gutachten lässt sich jedoch grob ableiten, dass die Messergebnisse mit den meisten Methoden und durchgeführten Messungen einigermaßen reproduzierbar sind. Je nach verwendeter Messtechnik, Krafthöhe und Komplexität der Messung variieren die Abweichungen bei Messwiederholung durchschnittlich etwa um bis zu 10 %.

Als ein wesentlicher Faktor für eine schlechte Reproduzierbarkeit hat sich die Bewegungsgeschwindigkeit herausgestellt. Dies wurde besonders deutlich beim langsamen und schnellen Ein- und Ausklappen einer Heckleiter. Hierbei ergaben sich Abweichungen von bis zu 30 % (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Messwerte beim Ein- und Ausklappen der Heckleiter eines Mähdreschers (Quelle: Auszug aus einem Gutachten für die KAN zu Betätigungskräften an Landmaschinen).

	Ausklappen		Einklappen	
	langsam	schnell	langsam	schnell
<b>Max</b>	538 N	613 N	540 N	701 N
<b>Mittelwert</b>	132 N	91 N	165 N	161 N

## 4.4.4 Welche Empfehlungen resultieren aus den Gutachten?

Zwei Gutachten kommen zu dem Schluss, dass die Bewegungsgeschwindigkeit Einfluss auf Kraftspitzen hat. Ein Gutachten beurteilt den Einfluss der Bewegungsgeschwindigkeit als eher gering. Keine Aussagen liefern die drei Gutachten zur Kontrolle von Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung.

In einem Gutachten wurde bemängelt, dass die Stellteile teilweise in ergonomisch sehr ungünstigen Positionen betätigt werden müssen und einige Kraftangriffspunkte am Rande der Erreichbarkeit liegen. Dies sollte zukünftig Beachtung finden.

Alle Gutachten stimmen überein, dass es häufig ausreichend sei, die Spitzenkraft bei den Stellvorgängen zu ermitteln. Bei variablen Kraftverläufen (z.B. konstant ansteigend oder mit mehreren Kraftspitzen) empfiehlt sich die Erfassung des Kraft-Zeit-Verlaufes. Ein Gutachten empfiehlt den psychophysischen Ansatz als ausreichend, um kritische Bedingungen der Kraftausübung aufzuspüren. Dies ist allerdings wenig objektiv. Bei nicht konstantem Kraftverlauf ergibt sich ein Vorteil für elektronische Messverfahren. Bei gleichmäßigem Kraftverlauf und zur reinen Identifizierung von Kraftspitzen sind mechanische Messverfahren auch ausreichend. Es besteht kein genereller Konsens, wann welche Messtechnik zu verwenden ist.

## 4.5 Herstellerbefragung zu bisher eingesetzten Messverfahren

Im Rahmen dieser Studie wurden Landmaschinenhersteller kontaktiert und zu ihren bisherigen Erfahrungen und Vorgehensweisen zum Thema Betätigungskräfte an Landmaschinen befragt. Teilweise – sofern herstellerseitig hierzu Interesse bestand – wurden die Landmaschinenhersteller auch aufgesucht und einige Kraftfälle gemeinsam vor Ort betrachtet und gemessen. Die eingesetzten Messgeräte und Methoden wurden von den besuchten Landmaschinenherstellern als gut einsetzbar eingeschätzt.

Bei allen befragten Herstellern werden die Betätigungsfälle - in der Regel an Baumustern oder Prototypen - gemessen. Hierbei kommen einfache mechanische Messgeräte (Federwaagen) und handgehaltene elektronische Messgeräte und in besonderen Fällen auch rechnergestützte Messsysteme mit Dehnungsmessstreifen (DMS) zum Einsatz. Häufig wird je nach Anwendung und Kraftart nach Bedarf entschieden, welches Messverfahren verwendet wird.

Ein Hersteller berichtete, dass es auch vorkommen könne, dass die Betätigungskräfte etwas höher als die Grenzwerte sind, weil eine Klappe oder ein Stellteil eine bestimmte Selbsthaltungsfestigkeit im Betrieb haben müsse. Dies sei aber die Ausnahme.

Ein anderer Hersteller berichtete, dass die Betätigungskräfte zwar grundsätzlich immer mit beachtet würden, allerdings erst einmal die Erreichbarkeit, die Bedienbarkeit und die Rahmenbedingungen (wo und wie wird das Ge-



# Stand von Wissenschaft und Technik

rät bzw. das Teilgerät eingesetzt) im Vordergrund stünden. Bei der Konstruktion würden Gasdruckdämpfer berechnet, Gewichte an Hebeln befestigt, Griffpunkte definiert und mit Hebelgesetz und sonstiger Theorie im Vorfeld Berechnungen durchgeführt, die dann mit der Bedienbarkeit in der Praxis gekoppelt werden. Für Versuche werden die unterschiedlichsten Messgeräte verwendet von der Federwaage bis zur Testperson. Die Testpersonen sind besonders für die Praxistauglichkeit notwendig. Da es keine vereinheitlichten Messmethoden und Messverfahren gibt, wird nach Erfordernissen des jeweiligen Einzelfalls verfahren. Wenn die Kräfte zu groß werden, werden hydraulische Lösungen entwickelt und eingesetzt.

Auch andere Hersteller berichten, dass Betätigungskräfte durch Mitarbeiter und Messgeräte bei den Prototypen erprobt würden. Hierzu werden häufig im Vorfeld Berechnungen der anstehenden Kräfte durchgeführt und dann auch in Praxisversuchen gemessen.

## 5 Erprobung von Messverfahren

In diesem Kapitel werden zwei Messinstrumente und -verfahren beschrieben (Abschnitt 5.1) sowie verschiedene Betätigungsfälle mit diesen Messinstrumenten und -verfahren erprobt. Hierbei wurde in den Praxiserprobungen (Abschnitt 5.2) der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Anwendbarkeit und im Labor (Abschnitt 5.3) der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Daten gelegt, um hieraus eine Bewertung der Messinstrumente und -verfahren hinsichtlich der Praxistauglichkeit und Genauigkeit zur Messung von Betätigungskräften im Bereich mobiler (Land-)Maschinen abzuleiten.

### 5.1 Beschreibung der eingesetzten Messverfahren

In diesem Abschnitt werden die eingesetzten Messverfahren beschrieben, wie sie im Rahmen dieser Studie erprobt wurden. Die Gliederung orientiert sich an den in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Aspekten aus anderen Normen zur Messung von Betätigungskräften:

1. Messausrüstung (Messprinzip, z.B. Gewichtete oder Messung, Messmittel, Auflösung und Genauigkeit des Messmittels),
2. Versuchsaufbau, -bedingungen und -durchführung [örtliche Bedingungen (z.B. Labor, Feld, Beschaffenheit), Temperatur, Luftfeuchte, Aufbau, Ablauf und Versuchswiederholungen, Stellweg / Messweg],
3. Definition der Betätigungskraft (Kraftangriffspunkt und Kraftrichtung),

4. Art und Kontrolle der Bewegungserzeugung (manuell, Schwerkraft oder automatisiert),
5. Auswahl und Vorbereitung des Prüfobjekts (Auswahl, Vorbereitung bzw. Behandlung des Prüfobjektes),
6. Art und Weise der Ergebnisdarstellung sowie
7. Messprotokoll und Prüfbericht.

#### 5.1.1 Messausrüstung

Für die Erprobung von Messinstrumenten und -verfahren wurden aus den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Messinstrumenten ein einfaches Verfahren und ein komplexes Verfahren ausgewählt, die im Folgenden näher beschrieben werden.

- 5.1.1.1 Messausrüstung bei Messung mit einfachem Messverfahren mit einem handgehaltenen Kraftmessgerät

Als handgehaltenes Kraftmessgerät wurde das „PCE-FG 500“ ausgewählt (Abb. 42). Dieses Gerät ermöglicht die Aufzeichnung von Messwerten, die Anzeige von Kraft-Zeitverläufen und verfügt über eine Schnittstelle und eine eigene Software (vgl. Abb. 43).

# Erprobung von Messverfahren



Abb. 42: Handgehaltenes Kraftmessgerät PCE-FG 500.



Abb. 43: Oberfläche der Software zum handgehaltenen Kraftmessgerät PCE-FG 500.

Mit diesem handgehaltenen Kraftmessgerät können Kräfte bei Umgebungstemperaturen zwischen  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  in Zug- oder Druckrichtung mit einem Größtfehler von  $\pm 0,05\%$  der Maximalkraft 500 N erfasst und abgespeichert werden. Die Auflösung beträgt 0,1 N. Dynamogramme können mit einer Messrate von bis zu 40 Hz erfasst und gespeichert

werden. Über eine serielle Schnittstelle und die beiliegende Software lassen sich die Dynamogramme auf einem PC abspeichern und beispielsweise in Form von Zeitreihen in übliche Tabellenkalkulationsprogramme (z.B. Microsoft Excel) exportieren. Die Spannungsversorgung erfolgt wahlweise über Akkumulator oder Netzteil.

## 5.1.1.2 Messausrüstung beim Messen mit komplexem Messverfahren mit individuell modulierbarem (Kraft-) Messsystem

Beim zweiten erprobten Verfahren zur Messung von Betätigungskräften an Landmaschinen handelt es sich um ein komplexes – im Vergleich zum vorher vorgestellten – deutlich aufwändigeres Messverfahren. Das modulare Kraftmesssystem wurde auf Basis der Next-View-Software eingerichtet zusammen mit einem bmcM-Messverstärker (Abb. 44), einem Zug-/Drucksensor von ME-Systeme (Abb. 45) und einem Neigungssensor von der Firma Kübler (Abb. 46).



Abb. 44: Kraftmesssystem auf Basis der Next-View-Software mit bmcM-Messverstärker.



Abb. 45: Zug-/Drucksensor von ME-Systeme.



Abb. 46: Neigungssensor von Kübler.

Der eingesetzte Kraftsensor KD40S von ME-Systeme hat eine Nennkraft von 500 N und eine Messunsicherheit von  $\pm 0,1\%$  (vom Maximalwert) in einem Temperaturbereich von 10 °C bis 60 °C. Der eingesetzte Neigungssensor Typ IS40 von Kübler hat einen Messbereich von  $\pm 60^\circ$  bei einer Messunsicherheit von  $\pm 0,5^\circ$  in einem Temperaturbereich: von -30 °C bis 70 °C. Mit der Software NextView lassen sich die Daten aufzeichnen, visualisieren, loggen und auswerten. Unterstützt wurden die Messungen durch einen Messverstärker MA-UNI von bmc mit einer Auflösung  $< 0,1$  N und einer Messrate bis 100 Hz in einem Temperaturbereich von -25 °C bis 50 °C. Die Geräte werden über ein Netzteil betrieben.

## 5.1.2 Versuchsaufbau, -bedingungen und -durchführung

### 5.1.2.1 Örtliche Bedingungen

Die Messungen wurden in unterschiedlichen Umgebungen durchgeführt: in Scheunen von Landwirten, in Ausstellungsräumen und -flächen von Landmaschinenherstellern sowie auf dem Gelände eines Landmaschinenhändlers.

### 5.1.2.2 Versuchswiederholungen / Auswertung / Prüfer

Die Versuche wurden jeweils mit zwei Prüfern mit jeweils zwei Geschwindigkeiten (langsam und schnell) durchgeführt. Jeder Versuch wurde fünf Mal wiederholt. Als Ergebnis der Messung wurde der jeweilige Spitzenwert des Dynamogrammes herangezogen und dieser über alle Versuche gemittelt.

### 5.1.2.3 Einfluss des Klimas

Laut Aussagen von Geräteherstellern und Beschreibungen in Normen sind für Messgeräte, die im Nennbereich bei konstanten klimatischen Bedingungen genutzt werden, keine Abweichungen von der Genauigkeitsklasse zu erwarten. Wie oben beschrieben, liegt der Nenntemperaturbereich der hier ausgewählten Messgeräte zwischen 10 °C und 40 °C. Der Gebrauchstemperaturbereich liegt zwischen -20 °C und 80 °C. Die Gerätehersteller machen leider häufig keine Angaben zur empfohlenen Luftfeuchte. Die hier durchgeführten Messungen wurden alle im Nenntemperaturbereich durchgeführt.

# Erprobung von Messverfahren

## 5.1.2.4 Messbewegung und Messweg

Als „Messweg“ wurde der gesamte Stellweg definiert. Die Bewegung sollte natürlich und gleichmäßig erfolgen. Als Kraftangriffspunkt wurde immer die Mitte eines Handgriffes oder Knaufs definiert, bzw. dort, wo es keine Handgriffe gab (z.B. an einigen Mährescherseitenklappen), wurde der Punkt als Kraftangriffspunkt bestimmt, an dem üblicherweise die Klappe oder das Stellteil betätigt wird.

Sofern das Messgerät nicht exakt in der Mitte eines Handgriffes/Knaufs o.ä. anzubringen war, wurde das Messgerät in unmittelbarer Nähe angebracht und der Abstand zum üblichen Kraftangriffspunkt bestimmt. Die Kräfte wurden dann wie in Abb. 47 und Abb. 48 dargestellt umgerechnet.

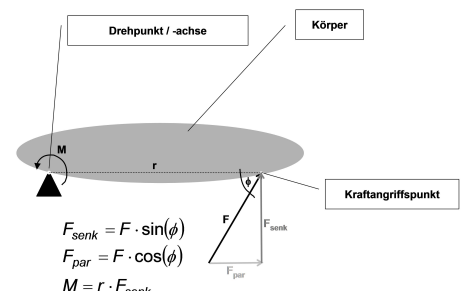


Abb. 47: Definition des Drehmoments und Komponentenzerlegung einer Kraft.

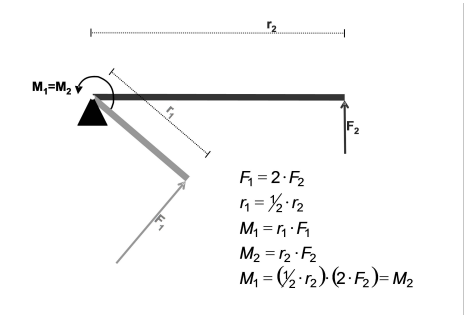


Abb. 48: Beispiel einer Umrechnung bezüglich des Kraftangriffspunktes.

## 5.1.2.5 Justierung der Kraftsensoren

Vor jeder Messreihe zu Beginn jedes Mess-tages und nach längeren Unterbrechungen wurden die Kraftsensoren justiert. Hierzu erfolgte eine Wägung der Gewichtsstücke mit handgehaltenem Kraftmessgerät (kalibriert durch Hersteller) und dann die Justierung des Zugsensors in 8 Stufen von 0 N bis 500 N. Die Justierung wurde danach in zwei Belastungsstufen überprüft.

## 5.1.2.6 Justierung des Neigungssensors

Die Justierung des Neigungssensors erfolgte ebenfalls vor jeder Messreihe zu Beginn jedes Messtages und nach längeren Unterbrechungen. Die Justierung erfolgte ebenfalls in zwei Stufen: Im 0-Grad-Winkel (senkrecht) und im 90-Grad-Winkel (waagrecht) mit einer Wasserwaage.

## 5.1.3 Definition der Betätigungskraft

Sowohl beim hier beschriebenen einfachen wie auch beim komplexen Verfahren steht die gesuchte Betätigungskraft senkrecht auf

dem zu betätigendem Stellteil (permanenter 90-Grad-Winkel). Diese Krafrichtung war beim einfachen Verfahren durch den Prüfer durch sorgfältige Ausübung der Bewegung möglichst konstant zu halten. Beim hier komplexen Verfahren wurde dies rechnerisch korrigiert.

Beim komplexen Verfahren verändert sich der Angriffswinkel der gemessenen Kraft in Abhängigkeit vom Stellweg. Um die gemessene Seilkraft bezüglich ihrer Wirkrichtung auf die gesuchte, in optimaler Richtung auf das Stellteil wirkende Betätigungskraft umrechnen zu können, sind neben der fortlaufenden Erfassung der Winkelstellung des Stellteiles noch einige feste Längenmaße zur Charakterisierung des jeweiligen Messaufbaus zu ermitteln (vgl. Tab. 5). Zur Längenmessung wurde ein Maßband mit einem Skalenteilungswert von 1 mm verwendet.

Das weitere Vorgehen wird am Kraftfall „Schließen einer Seitenklappe“ demonstriert. Das Messsystem zeichnet während der Messung synchron, mit einer Rate von 100 Hz, den Verlauf von Stellteilwinkel und Seilkraft auf. Das heißt, für jede Sekunde Messzeit liegen 100 fortlaufende Wertepaare von Seilkraft und jeweiligem Stellwinkel des Stellteils vor. Das im Weiteren demonstrierte Verfahren zur Winkelkorrektur ist für jedes dieser Wertepaare anzuwenden. Hierzu kommt bei der Auswertung der durchgeführten Versuche das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel zum Einsatz. Abb. 49 zeigt den zugrunde liegenden schematischen Versuchsaufbau. Im Hinblick auf die, in der Abbildung nicht dar-

gestellte, dritte Raumdimension ist vorzustellen, dass die Punkte A bis D in einer Ebene, parallel zu dieser Raumrichtung liegen.

Zur Korrekturberechnung muss der Winkel  $\beta$  zwischen Seil und der Geraden durch Kraftangriffspunkt und Drehpunkt bekannt sein. Ist dies der Fall, kann die gemessene Seilkraft  $F_{\text{Seil}}$  über Gleichung 1 in die gesuchte, senkrechte Betätigungskraft  $F_{\perp}$  umgerechnet werden.

$$F_{\perp} = F_{\text{Seil}} \cdot \sin(\beta) \quad (\text{Gl.1})$$

Zur Berechnung von  $\beta$  müssen der Winkel  $\alpha$  sowie die Länge der Geraden  $a$  und  $c$  bekannt sein. Da es sich bei dem vom Neigungssensor aufgezeichneten Stellwinkel um den Winkel zwischen den Geraden  $a$  und  $e$ , also der Summe aus  $\alpha$  und  $\gamma$  handelt, für die Korrektur jedoch der Winkel  $\alpha$  benötigt wird, ist zuallererst der feste Korrekturwinkel  $\gamma$  zu berechnen. Subtrahiert man diesen Winkel vom jeweils durch den Neigungssensor aufgezeichneten Winkel, erhält man den gesuchten Winkel  $\alpha$ .

# Erprobung von Messverfahren

Die folgenden Gleichungen demonstrieren das Vorgehen:

$$b = \sqrt{d^2 + e^2} \quad (\text{Gl.2})$$

$$\gamma = \arctan\left[\frac{d}{e}\right] \quad (\text{Gl.3})$$

$$\alpha = \text{gemessener Winkel} - \gamma \quad (\text{Gl.4})$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\alpha)} \quad (\text{Gl.5})$$

$$\beta = \arccos\left[\frac{a^2 - b^2 + c^2}{2ac}\right] \quad (\text{Gl.6})$$

Die Gleichungen 2 und 3 zur Bestimmung von  $\gamma$  sind bei jedem Versuchsaufbau nur einmal anzuwenden; der Winkel bleibt während der Messbewegung unverändert. Die Gleichungen 4 bis 6 sind für jedes Messwertepaar aus Seilkraft und dem jeweiligem Stellwinkel anzuwenden.

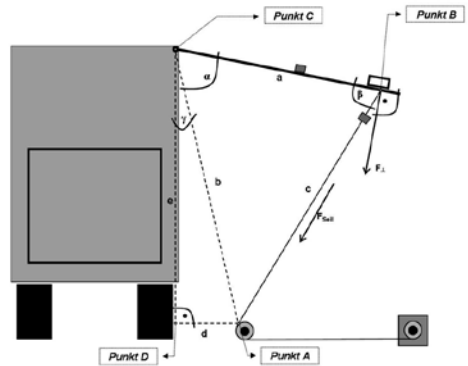


Abb. 49: Schematischer Versuchsaufbau beim komplexen Messverfahren am Beispiel des Kraftfalles „Schließen einer Seitenklappe“ mit Maßen und Winkeln zur Korrektur der Kraftangriffsrichtung (Weitere Beschriftung: vgl. Tab 5 und Abb. 50).

Tab. 5: Erläuterungen zu den Kräften, Längen und Winkeln in Abb. 49.

<b>Symbol</b>	<b>Definition</b>
<b>Punkt A</b>	Punkt an dem sich das Drahtseil in Richtung Stellteil von der festen Umlenkrolle ablöst
<b>Punkt B</b>	Kraftangriffspunkt der Messung
<b>Punkt C</b>	Drehpunkt des Stellteils
<b>Punkt D</b>	Schnittpunkt der horizontalen Geraden durch Punkt A und der vertikalen Geraden durch Punkt C
<b>a</b>	Gerade von Punkt B nach C (mit Maßband zu bestimmen)
<b>b</b>	Gerade von Punkt A nach C (wird berechnet)
<b>c</b>	Gerade von Punkt A nach B (verändert sich über Stellbewegung, wird fortlaufend berechnet)
<b>d</b>	Gerade von Punkt A nach D (mit Maßband zu bestimmen)
<b>e</b>	Gerade von Punkt C nach D (mit Maßband zu bestimmen)
<b><math>\alpha</math></b>	Winkel zwischen a und b (verändert sich über Stellbewegung, wird fortlaufend berechnet)
<b><math>\beta</math></b>	Winkel zwischen a und c (verändert sich über Stellbewegung, wird fortlaufend berechnet)
<b><math>\gamma</math></b>	Winkel zwischen b und e (wird berechnet)
<b>·</b>	Rechter Winkel zwischen d und e bzw. zwischen a und $F_{\perp}$ (bekannt: 90 °)
<b><math>F_{\text{Seil}}</math></b>	gemessene Seilkraft
<b><math>F_{\perp}</math></b>	Korrigierte Kraft gemäß der getroffenen Festlegung der Betätigungskraft



# Erprobung von Messverfahren

## 5.1.4 Art und Kontrolle der Bewegungserzeugung

### 5.1.4.1 Bewegungserzeugung bei Messung mit einfachem Messverfahren mit einem handgehaltenen Kraftmessgerät

Die Bewegungserzeugung erfolgt beim einfachen Verfahren schnell und langsam manuell durch die Prüfer. Die Prüfperson hält das Kraftmessgerät in den Händen und führt die jeweilige Messbewegung hiermit aus, indem sie mit dem Kraftaufnahmestück in Bewegungsrichtung gegen das Stellteil drückt oder daran zieht. Die Prüfperson ist dazu angehalten, die Messbewegung möglichst gleichmäßig durchzuführen und dabei die Messachse des Messgerätes ständig in Bewegungsrichtung, senkrecht zur kürzesten Verbindungslinie zwischen Kraftangriffspunkt und Drehpunkt des Stellteils zu halten.

### 5.1.4.2 Bewegungserzeugung bei Messung mit komplexem Messverfahren mit individuell modulierbarem (Kraft-) Messsystem

Die Erzeugung der Messbewegung erfolgt automatisiert durch ein Drahtseil, welches – angetrieben von einer Seilwinde und über eine feste Umlenkrolle geführt – in Bewegungsrichtung mit dem Stellteil verbunden ist. Die Kraftmessung erfolgt durch einen unmittelbar zwischen Seilende und Kraftangriffspunkt angebrachten Zugkraftsensor. Zusätzlich wird mit einem Neigungssensor die jeweilige Winkelstellung des Stellteils aufgezeichnet. Aufgrund der synchronen Erfassung der beiden Messgrößen ist über trigonometrische Beziehungen und einfacher Mechanik eine fort-

laufende Korrektur der tatsächlich gemessenen Kraft (in Seilangriffsrichtung wirkend) hin zu der in optimaler Richtung (im Bezug auf die Stellaufgabe) auf das Stellteil wirkenden Kraft möglich. Der schematische Messaufbau ist in Abb. 50 am Beispiel des Kraftfalles „Schließen einer Seitenklappe“ dargestellt. Wegen der Bewegungserzeugung durch die Winde ist mit dem komplexen Verfahren nur eine Messung in Zugrichtung möglich.

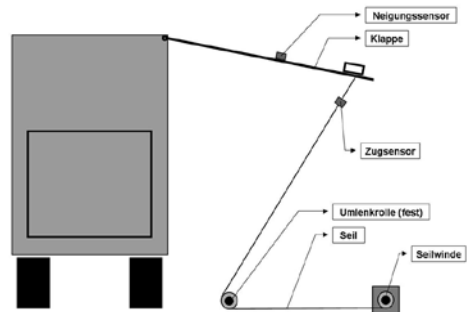


Abb. 50: Schematischer Versuchsaufbau beim komplexen Messverfahren am Beispiel des Kraftfalles „Schließen einer Seitenklappe“.

Beim Versuchsaufbau ist die Positionierung der festen Umlenkrolle so festzulegen, dass ein möglichst großer Stellbereich erfasst werden kann. Ist der Winkel, in dem das Seil an das Stellteil angreift, zu flach, ist die Messbewegung nicht mehr möglich. Außerdem ergibt sich durch die Länge des Zugkraftsensors ein zusätzlicher Totraum von etwa 15 cm Seillänge. Bedingt durch diese Effekte, ist die Messbewegung mit dem komplexen Verfahren in einer Versuchsanordnung auf einen Stellbereich von etwas weniger als  $90^\circ$  beschränkt. Bei der Anbringung des Neigungssensors ist

darauf zu achten, dass dieser so ausgerichtet ist, dass Messachse und der senkrechte Abstand zwischen Kraftangriffspunkt und Drehpunkt parallel zueinander liegen.

## 5.1.5 Auswahl und Vorbereitung des Prüfobjekts

Die Prüfungen wurden an neuen und gebrauchten Maschinen durchgeführt.

### 5.1.5.1 Vorbereitung des Prüfobjektes bei Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät

Bei der Prüfung mit dem manuellen Kraftmessgerät erfolgte die Kraftübertragung zwischen Kraftmessgerät und Prüfobjekt über beiliegende Aufsätze oder – je nach Anwendungsfall – mit individuellen Hilfsmitteln. Um Querkräfte zu vermeiden, darf es jedoch keine starre Verbindung von Messgerät und Prüfobjekt geben. Bei den Messungen war daher darauf zu achten, dass die Kraftübertragung entkoppelt ist (z.B. durch Haken, Seile o.ä. zwischen Messgerät und Bauteil; vgl. Abb. 51). Die Einhaltung des 90-Grad-Winkels ist erforderlich, damit die Messwerte mit den Orientierungswerten (vgl. Anhang 6) verglichen werden können. Um die Maschine und das Stellteil während der Versuchsdurchführung nicht zu beschädigen, wurden teilweise kleine Gummimatten zwischen Messgerät und Prüfkörper angebracht (Abb. 52).

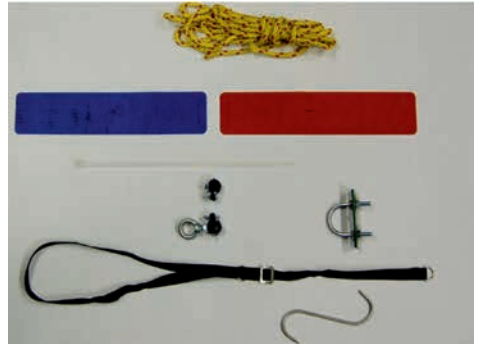


Abb. 51: Während der Kraftmessung ist darauf zu achten, dass die Kraftübertragung zwischen Messgerät und Bauteil entkoppelt ist (z.B. durch Haken, Seile).



Abb. 52: Schutz gegen Lackschäden bei der Messung durch eine Gummimatte.

# Erprobung von Messverfahren

## 5.1.5.2 Vorbereitung des Prüfobjektes bei Messung mit komplexem Messverfahren mit individuell modulierbarem (Kraft-)Messsystem

Die Vorbereitung erfolgt analog zum einfachen Verfahren. Zum Versuchsaufbau siehe Abschnitt 5.1.4.2. Die Durchführung der Messung ist nur in Zugrichtung möglich.

## 5.1.6 Art und Weise der Ergebnisdarstellung

Das Ergebnis der Messungen sind die Kraft-Zeitverlaufskurven der Einzelmessungen, aus denen jeweils die Spitzenwerte betrachtet werden. Das Endergebnis ist der Mittelwert aus den jeweils 10 Einzelmessungen pro Untersuchungsfall und Messverfahren. Grundlage hierfür war insbesondere die DIN prEN 13561 „Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen“, wobei diese für die hier untersuchten Anwendungen modifiziert wurden.

## 5.1.7 Messprotokoll und Prüfbericht

Im Rahmen der durchgeführten Messungen wurden jeweils die hier genannten Punkte 5.1.1 bis 5.1.6 protokolliert. Darüber hinaus wurden Name bzw. Kürzel des jeweiligen Prüfers, Datum, Bezeichnung des Prüfobjektes, sowie alle für die Identifikation des Prüfobjektes und der eingesetzten Prüfeinrichtungen notwendigen Daten dokumentiert. Von den Prüfungen wurden zudem Photos und Videos erstellt. Grundlage der Dokumentation war insbesondere die DIN EN 12046 Teil 1 „Bedienungskräfte - Prüfverfahren - Teil 1: Fenster“.

## 5.2 Erprobung von Betätigungsfällen in der Praxis

Auf verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben, bei Landmaschinenherstellern und Landmaschinenhändlern wurden vor Ort zunächst die beiden oben beschriebenen Messverfahren bei Betätigungsfällen an verschiedenen Landmaschinen erprobt. Betrachtet wurden das Betätigen von Hebeln, das Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen und das Betätigen von Aufstiegen und Leitern. Hierbei stand vor allem die Anwendbarkeit der Messverfahren im Vordergrund. In den Abb. 53 und 54 sind exemplarisch das Betätigen von Hebeln und die Messung mit dem handgehaltenen Kraftmessgerät beim Öffnen eines Korn tanks abgebildet. Die dazugehörigen aufgezeichneten Messwerte (Kraft-Zeit-Diagramme) sind in Abb. 55 zu sehen.



Abb. 53: Korntank-Öffnung an einem Mährescher (Claas Mega 350), die Öffnung des Tanks erfolgt über eine halbe Drehung. Messung mit handgehaltenes Kraftmessgerät. Abb. 53: Versuchsperson 1, Abb. 54: Versuchsperson 2.



Abb. 54: Korntank-Öffnung an einem Mährescher (Claas Mega 350), die Öffnung des Tanks erfolgt über eine halbe Drehung. Messung mit handgehaltenes Kraftmessgerät. Abb. 53: Versuchsperson 1, Abb. 54: Versuchsperson 2.

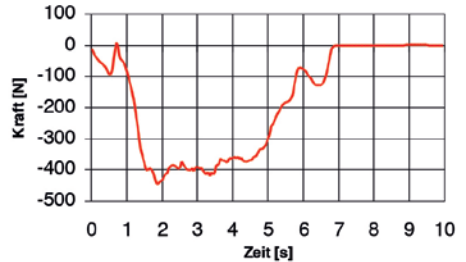
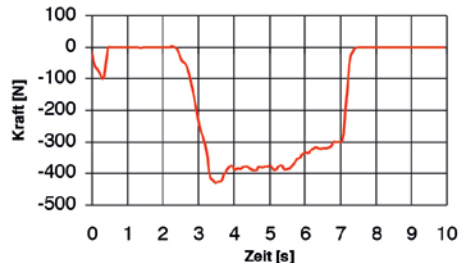
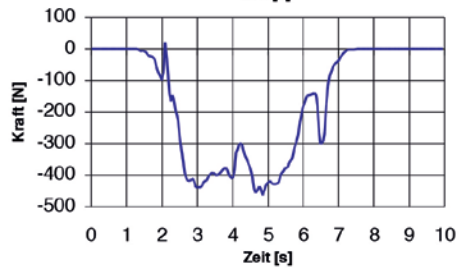
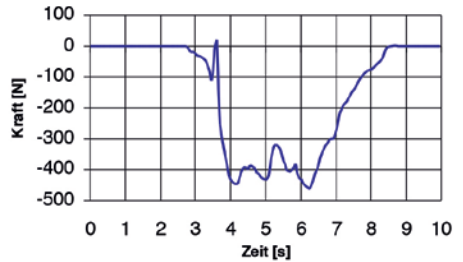


Abb. 55: Kraft-Zeit-Diagramme Korntank-Öffnung. Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Blau: Versuchsperson 1, Rot: Versuchsperson 2.

# Erprobung von Messverfahren

Bei der Öffnung des Korntanks mussten die Versuchspersonen eine Kraft von bis zu 450 N<sup>1</sup> in der Spitze aufbringen und darauf achten, dass das handgehaltene Kraftmessgerät in jeder Hebelstellung möglichst im rechten Winkel an den Hebel angreift. Auch unter diesen schwierigen Verhältnissen liefern die durchgeführten Messungen vergleichbare Kraftverläufe mit nahezu gleichen Maximalwerten (siehe Abb. 55). Der Kraftangriffspunkt konnte hier nicht direkt am Knauf des Hebels angebracht werden, sondern nur etwas unterhalb. Somit ist der Hebelarm verkürzt, und es werden höhere Werte ausgegeben, als im Realfall aufzubringen wären. Hinweise zur Umrechnung siehe Abschnitt 5.1.2.4.

Eine ausführliche Darstellung der Praxismessungen ist in Anhang 3 abgebildet.

## 5.3 Erprobung von Betätigungsfällen im Labor

Ergänzend zu den Untersuchungen in der Praxis (Abschnitt 5.2) wurden einige, häufig in der Praxis anzutreffende Betätigungsfälle im Labor nachgestellt. Dies geschah, um einerseits die Reproduzierbarkeit von Kraftmessungen besser einschätzen zu können und andererseits, weil sich an in der Praxis befindlichen Landmaschinen nicht in allen Fällen ohne Zerstörung oder Beschädigung des Untersuchungsobjektes Kraftmessgeräte sinnvoll anbringen lassen. Die im Folgenden dargestellten Messungen dienen insbesondere

re dem Vergleich verschiedener Messgeräte und Messverfahren sowie der Darstellung des Einflusses verschiedener Versuchspersonen und verschiedener Bewegungsgeschwindigkeiten auf das Messergebnis.

Betrachtet wurden das Betätigen von Hebeln, das Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen und das Betätigen von Aufstiegen und Leitern. Hierbei stand vor allem Reproduzierbarkeit der Daten bei den unterschiedlichen Messverfahren im Vordergrund. Hierzu wurde ein modularer Laborkraftmessstand zur Simulation realtypischer Kraftfälle an Landmaschinen genutzt. Zur Betätigung von Hebeln wurde hierzu am Kraftmessstand ein typischer Hebel verbaut und der Betätigungswiderstand mit drei unterschiedlichen Gasdruckfedern simuliert (zu den ausgewählten Gasdruckfedern: siehe Abschnitt 10.1.5 im Anhang 4). Betätigt wurden die Hebel jeweils 5 Mal, jeweils schnell und langsam mit einer Winde (automatisierte Geschwindigkeit) (Abb. 56) und per Hand mit elektronischem handgehaltenen Kraftmessgerät von zwei Versuchspersonen (Abb. 57).

<sup>1</sup> Da das Messgerät nicht exakt in der Mitte des Knaufs anzubringen war, mussten diese Werte umgerechnet werden (normaler Kraftangriffspunkt in der Mitte des Knaufs = 28 cm Hebellänge, Angriffspunkt in Höhe des Messgerätes (hier mit einer Schlauchschelle befestigt) = 25 cm, dadurch:  $(450 \text{ N} * 0,25 \text{ cm}) / 0,28 \text{ cm} = 402 \text{ N}$ ).

## Erprobung von Messverfahren



Abb. 56: Betätigung eines Hebels. Messstand mit Winde (automatische Geschwindigkeit, Zugsensor und Winkelmessung).



Abb. 57: Betätigung eines Hebels. Versuchsperson 5 mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Das Messgerät wird im 90-Grad-Winkel zum Hebel geführt.

In Abb. 58 sind exemplarisch vier Kraft-Zeit-Verläufe dargestellt. In den beiden oberen Grafiken wird die Bewegung automatisiert mit einer Winde durchgeführt. Hierbei sind kontinuierliche Winkelmessungen erforderlich, weil bei der automatisierten Bewegung durch die Winde ein konstanter 90-Grad-Winkel zum Messobjekt nicht eingehalten werden kann. Daher werden bei der automatisierten Messung der Winkel zwischen Messsensor und Messobjekt permanent erfasst und die Kraftwerte später entsprechend korrigiert. Die in den Abbildungen dargestellten Kraftwerte sind die bereits korrigierten Kraftwerte.

# Erprobung von Messverfahren

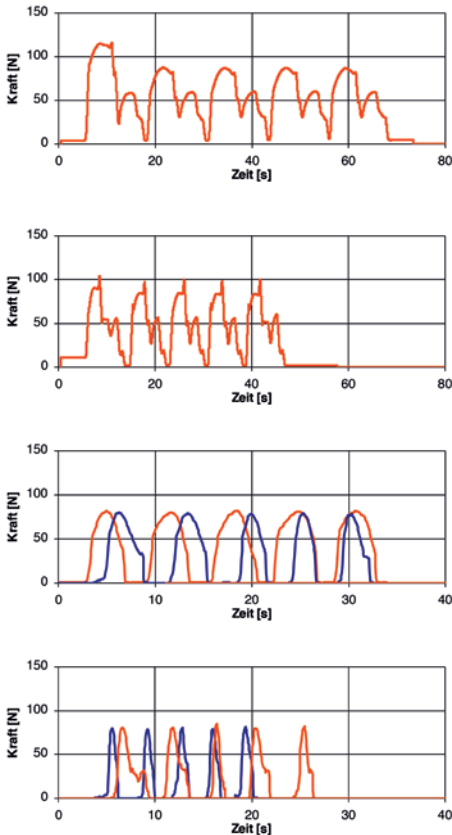


Abb. 58: Betätigung eines Hebels, Widerstand: Gasdruckfeder 2, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abbildung) und schnell (zweite und vierte Abbildung). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, beide oberen Abbildungen) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (beide unteren Abbildungen).

Auffällig ist hier, dass sich die erste Messung in der ersten Grafik (Abb. 58, erste Abb.) deutlich von allen anderen Messungen abhebt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die eingesetzte Gasdruckfeder bei der ersten Betätigung (nach einer längeren Pause) eine höhere Schwergängigkeit aufweist als bei regelmäßiger Betätigung (ca. 20-30 %). Ein ähnliches Phänomen wurde auch bei anderen Versuchen beobachtet (vgl. Anhang 4). Da dies aber immer nur die erste Messung betrifft, ist dies schwierig empirisch zu beschreiben. Hierauf wird in Kapitel 8 näher eingegangen.

Eine ausführliche Darstellung der Labormessungen ist in Anhang 4 abgebildet.

Beide Verfahren lassen sich in der Praxis recht gut anwenden, wobei das komplexe Verfahren definitionsgemäß aufwendiger ist. So müssen beispielsweise vor Ort in der unmittelbaren Umgebung der Maschine Fixierungspunkte für Umlenkrollen, Winde usw. gefunden werden, und es wird ein Stromanschluss benötigt.

In den Laborversuchen wurde die Wiederholbarkeit mit verschiedenen Prüfern und mit verschiedenen Bewegungsgeschwindigkeiten betrachtet. Hierbei ist festzustellen, dass die Abweichungen insbesondere bei der schnellen Versuchsdurchführung höher liegen als bei der langsamen Versuchsdurchführung. Bei der langsamen Versuchsdurchführung nähern sich die Werte deutlich an. Es zeigt sich insgesamt, dass die Ergebnisse des komplexen Verfahrens die beste Reproduzierbarkeit aufweisen. Dieses Verfahren ist jedoch auch wesentlich aufwändiger als das einfache Verfahren. Mit einer möglichst langsamen und gleichmäßigen Bewegungserzeugung durch geübte Prüfer ist jedoch auch hier eine akzeptable Reproduzierbarkeit der Messergebnisse erzielbar.

Die Ergebnisse werden in Kapitel 7 ausführlich beschrieben.



# Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte

## 6 Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte

Drittes Teilziel dieser Studie ist es, den Konstrukteuren von (Land-)Maschinen Orientierungswerte zur Verfügung zu stellen, in denen für typische Kraftfälle Maximalkräfte unterschiedlicher Bedienungspersonen gegenübergestellt werden. Hierzu wurden reale Kraftfälle an Landmaschinen unter Laborbedingungen nachgestellt und in verschiedenen Körperpositionen ausgeübt.

### 6.1 Methoden und Kollektive zur Ermittlung von Maximalkräften

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Körperkräfte mit der Rechteckmethode bestimmt (siehe hierzu Abschnitt 2.5.). Hierbei wurden den Probanden eine Kraftsteigerung innerhalb 1 Sekunde bis zum Maximum und dann ein Halten der Kraft für 3 Sekunden abverlangt. Als isometrische Maximalkraft wird der Mittelwert in einem 2-Sekunden-Intervall um den absoluten Höchstwert innerhalb dieses 3-Sekunden-Zeitraums definiert. Sofern innerhalb dieser 2 Sekunden mehr als 20 % vom absoluten Höchstwert abgewichen wurde, wurde diese Messung verworfen.

An den Untersuchungen nahmen insgesamt 8 Probanden, davon 4 Männer und 4 Frauen teil. Nähere Angaben zu den Probanden, siehe Tab. 6.

Tab. 6: Probandenkollektiv für die Bestimmung von Maximalkräften in landwirtschaftstypischen Betätigungsfällen.

<b>Proband</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Alter</b>	<b>Körpergröße [cm]</b>	<b>Körpergewicht [kg]</b>	<b>generelle Körperkraft*</b>
1	männlich	29	190	100	hoch
2	männlich	35	188	88	mittel
3	männlich	52	191	110	hoch
4	männlich	52	187	107	hoch
5	weiblich	17	170	60	mittel
6	weiblich	17	173	65	mittel
7	weiblich	17	167	50	gering
8	weiblich	17	167	55	mittel

\* Erläuterung zur Ermittlung der generellen Körperkraft: siehe Abschnitt 6.2.

## 6.2 Einordnung der Repräsentativität der ausgewählten Probanden

Bevor die ermittelten Kraftwerte dargestellt werden, soll hier zunächst festgestellt werden, wie repräsentativ die ausgewählten Probanden sind. Hierzu erfolgt ein Vergleich von 3 standardisierten Kraftfällen mit einer Bevölkerungsstichprobe von rund 1.200 Probanden unterschiedlichen Alters und Geschlechts. Die Vergleichsdaten stammen aus einer Erhebung von Klußmann et al., die in den Jahren 2011 und 2012 erhoben wurden [22]. Hierbei wurde auf den mobilen Kraftmessstand des Instituts für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) zurückgegriffen (Abb. 59 bis Abb. 62).



Abb. 59: Mobiler Kraftmessstand des Instituts ASER e.V. für die Feldforschung. Durchführbar sind Messungen von Handdruckkräften, Zugkräften und Torsionskräften. Die Montage auf dem Scherenhubtisch ermöglicht die Messung in standardisierten Körperhaltungen.



Abb. 60: Messung der Handdruckkraft.



Abb. 61: Messung der Zugkraft.

# Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte



Abb. 62: Messung der Torsionskraft.

Die hier beschriebenen Kraftfälle wurden von rund 1.200 Probanden unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die 15 bis 60 jährigen Probanden als Vergleichsgruppe betrachtet. Die erreichten Maximalkräfte für die drei Kraftfälle wurden jeweils nach Geschlecht getrennt in Terzile eingeteilt (geringe, mittlere und hohe Kraft), vgl. Tab. 7.

Tab. 7: Vergleich der Maximalkräfte bei unterschiedlichen Kraftfällen einer Bevölkerungsstichprobe im Alter von 15-60 Jahren.

	<b>Eingruppierung</b>		<b>Ziehen [N]</b>	<b>Drücken [N]</b>	<b>Drehen [Nm]</b>
weiblich (n = 322)	1. Terzil	gering	<271	<247	<3,2
	2. Terzil	mittel	271-352	247-294	3,2-3,9
	3. Terzil	hoch	>352	>294	>3,9
männlich (n = 582)	1. Terzil	gering	<500	<404	<4,7
	2. Terzil	mittel	500-625	404-497	4,7-5,8
	3. Terzil	hoch	>625	>497	>5,8

Ein Vergleich der Maximalwerte der – für die vorliegende Studie rekrutierten – 8 Probanden mit den Maximalwerten der Bevölkerungsstichprobe ist in Tab. 8 abgebildet.

# Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte

Tab. 8: Maximalkräfte der Probanden in der Vergleichsmessung.

		Ziehen		Drücken		Drehen		generelle Körperkraft*
Proband	Geschlecht	[N]	Terzil	[N]	Terzil	[Nm]	Terzil	Gesamtbew.
1	männlich	789	3	619	3	8,1	3	hoch
2	männlich	686	3	400	1	4,8	2	mittel
3	männlich	875	3	606	3	6,7	3	hoch
4	männlich	768	3	549	3	5,8	2	hoch
5	weiblich	465	3	222	1	2,6	1	mittel
6	weiblich	337	2	198	1	3,3	2	mittel
7	weiblich	203	1	214	1	2,9	1	gering
8	weiblich	411	3	261	2	3,6	2	mittel

\* generelle Körperkraft im Vergleich zur Bevölkerungsstichprobe (siehe Tab. 7)

## 6.3 Maximalkräfte für verschiedene Betätigungsfälle

Dieser Abschnitt beschreibt die Ermittlung der in unterschiedlichen Positionen erreichten Maximalkräfte und prozentualen Kraftverteilungen für die beiden in Abschnitt 6.1 beschriebenen Probandenkollektive (4 Männer, 4 Frauen). Hierbei ist der angegebene Maximalkraftwert der Mittelwert aus den durchgeführten Messungen. Die ermittelten Maximalkräfte sowie prozentualen Kraftverteilungen sind in Anhang 5, Tab. 14 bis Tab. 19 abgebildet.

Dabei wurde der Maximalkraftwert wie folgt ermittelt: Für jede Kombination von Position und Krafrichtung liegen für jeden der vier Probanden im Kollektiv drei Einzelmessungen vor. Der Mittelwert für jede Position und Richtung ergibt sich also aus 12 Einzelwerten.

Die prozentuale Kraftverteilung über die einzelnen Positionen wurden wie folgt ermittelt: Für jede Krafrichtung wurde für beide Probandenkollektive die Position mit dem höchsten Kraftmittelwert identifiziert und gleich 100 % gesetzt. Die Kräfte in den anderen Positionen wurden im Bezug zu diesem höchsten Kraftmittelwert ermittelt.

### 6.3.1 Betätigung von Hebeln

Es wurden Maximalkräfte für Betätigungsfälle in 6 Krafrichtungen ermittelt: Ziehen zur Person hin (B+), Drücken von der Person weg in Richtung Maschine (B-), Seitwärtsbewegung nach rechts/links (C- bzw. C+) sowie Heben/Drücken des Hebels nach oben (A+) und nach unten (A-) (Abb. 63). Diese Betätigungen wurden jeweils in 15 verschiedenen Körperpositionen durchgeführt (vgl. Abb. 64 und Abb. 65 sowie im Anhang Abb. 158 und Abb.

# Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte

159): Ausgehend vom „Nullpunkt“ (vom hinteren rechten Fußrücken) wurden 15 Positionen definiert. Die Positionen wurden geschlechtspezifisch nach dem Greifbereich (siehe DIN 33402-2 [29]) festgelegt. Jede Messung wurde von jeder Versuchsperson drei Mal zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Die Messungen erfolgten innerhalb einer Woche unter vergleichbaren Klimabedingungen (Temperatur: 20-22 °C, Luftfeuchtigkeit 46-54 %). Bei der Messeinrichtung handelt es sich um ein Einkomponenten-Messsystem, bei dem die senkrecht auf den Sensor wirkende Kraft gemessen wird.

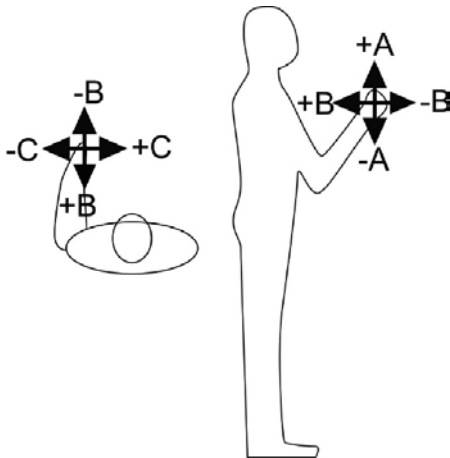


Abb. 63: Darstellung der Krachrichtungen, Körpersymmetrieebene.

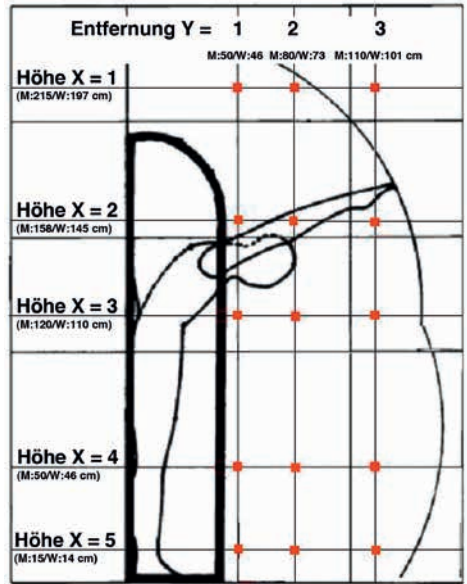


Abb. 64: Darstellung der Koordinaten der Hebelpositionen im Bezug zum Körper des Probanden.

# Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte



Abb. 65: Messaufbau der Hebelmessungen. Hier: Messung in Position  $X=2, Y=2$ .

## 6.3.2 Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und sonstigen Bauteilen sowie Betätigen von Aufstiegen und Leitern

Es wurden Maximalkräfte für das Öffnen und Schließen von Klappen ermittelt. Hierbei wurden 3 unterschiedliche Einbauhöhen berücksichtigt und die Klappen in drei Stellungen gemessen ( $90^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $0^\circ$ ). Jede Messung wurde von jeder Versuchsperson drei Mal durchgeführt. Die Messungen erfolgten innerhalb eines Tages unter vergleichbaren Klimabedingungen (Temperatur:  $20-22^\circ\text{C}$ , Luftfeuchtigkeit  $46-54\%$ ).

Als Messtechnik wurden die 3D-Handkraftmessensoren (IFA/Kistler) eingesetzt. Der Durchmesser des Griffes beträgt ca. 35 mm, die Griffweite etwa 110 mm. Der Griff ist in eine Vorrichtung montiert, deren Innenabstand ca. 125 mm und deren Außenmaße ca. 180 mm betragen. Die Vorrichtung enthält auch die Sensoren, deren Werte über das Anschlusskabel zur Auswerteeinheit übermittelt werden. Abb. 66 zeigt die Montage auf einer Klappe.

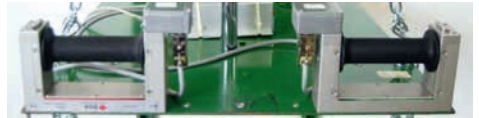


Abb. 66: 3-D-Handkraftmesssystem (IFA/Kistler) – Montagebeispiel.

Die Maximalkräfte beim Betätigen von Aufstiegen und Leitern wurden in gleicher Art und Weise ermittelt wie die Maximalkräfte beim Schwenken von Klappen. Bestimmt wurden die Maximalkräfte der Männer und Frauen beim Andrücken und Abziehen von Leitern. Weiterhin ermittelt wurde zusätzlich ein Stosswert (Peak), da in der Praxis Leitern typischerweise ruckartig gelöst/arretiert werden. Betrachtet wurde jeweils die zusammengesetzte Kraftkomponente in Bewegungsrichtung.

Eine ausführliche Darstellung der ermittelten Maximalkraftwerte ist in Anhang 5 abgebildet.

## Ermittlung von Orientierungswerten für Maximalkräfte

Mit 8 Probanden (4 männlich, 4 weiblich) wurden in 3.192 Messungen in 133 Positionen isometrische Maximalkräfte ermittelt. Das männliche Kollektiv ist im Vergleich zu einer männlichen Bevölkerungsstichprobe (Männer zwischen 15 und 60 Jahren) eher als überdurchschnittlich stark, das weibliche Kollektiv ist im Vergleich zu einer weiblichen Bevölkerungsstichprobe (Frauen zwischen 15 und 60 Jahren) eher als durchschnittlich bis leicht unterdurchschnittlich stark einzugruppieren. Die ermittelten Kraftwerte wurden tabellarisch (Anhang 5) und grafisch (Anhang 6) aufbereitet. Die Ergebnisse werden in Kapitel 7 beschrieben.

## **7 Zusammenfassung der Ergebnisse**

### **7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Praxismessungen zur Anwendbarkeit der Verfahren**

Die Praxismessungen an Landmaschinen dienten in erster Linie der Überprüfung der Anwendbarkeit des komplexen und des einfachen Messverfahrens in der Praxis. Die Messungen hierzu sind in Anhang 3 dokumentiert. Beide Verfahren lassen sich in der Praxis recht gut anwenden, wobei das komplexe Verfahren definitionsgemäß aufwendiger ist. So müssen beispielsweise vor Ort in der unmittelbaren Umgebung der Maschine Fixierungspunkte für Umlenkrollen, Winde usw. gefunden werden, und es wird ein Stromanschluss benötigt. Die manuelle Messung mit dem handgehaltenen Kraftmessgerät wurde stets mit zwei Versuchspersonen durchgeführt, wobei vor Ort auch Landmaschinenhersteller (Konstrukteure) mit einbezogen wurden. Das handgehaltene Verfahren wurde als deutlich praktikabler beurteilt, insbesondere auch deshalb, weil mit dem komplexen Verfahren (neben dem höheren Aufwand) nur selten zerstörungsfrei und lackschonend geprüft werden kann. Dieses Verfahren ist somit zwar im Rahmen der Herstellung geeignet (z.B. Versuche an Prototypen), jedoch nur begrenzt in der Praxis an der verkaufsfertigen oder bereits im Einsatz befindlichen Maschine. In den Versuchen wurde aufgrund schwieriger Rahmenbedingungen (die Landmaschinen standen immer nur begrenzte Zeit zur Verfügung) nicht konsequent auf eine Mindestversuchszahl und

eine genaue Versuchsdurchführung geachtet. Daher sind die im Anhang 3 abgebildeten Messergebnisse nicht als repräsentativ anzusehen. Dennoch sind die Ergebnisse im Großen und Ganzen vergleichbar (siehe Tab. 11 bis Tab. 13 im Anhang 3).

### **7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Labormessungen zur Reproduzierbarkeit der Verfahren**

Aufgrund der oben geschilderten schwierigen Rahmenbedingungen in der Praxis wurden ausgewählte Anwendungsfälle im Labor nachgestellt und hierbei die Aspekte Bewegungsgeschwindigkeit bei der Kraftausübung, Durchführung der Untersuchung durch unterschiedliche Prüfer und Unterschiede bei Zug- und Druckmessungen betrachtet. Die Messungen hierzu sind in Anhang 4 dokumentiert.

Es wird zunächst betrachtet, ob die Bewegungsgeschwindigkeit bei der Kraftausübung und die Durchführung der Untersuchung durch unterschiedliche Prüfer Einflüsse auf die gemessenen Krafthöhen haben. Hierzu wurden alle Versuche (Dokumentation, siehe Anhang 4) in zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und (beim manuellen Verfahren) durch zwei Versuchspersonen durchgeführt. Hierbei zeigten sich bei den Messungen mit dem komplexen Verfahren (automatisierte Geschwindigkeit durch Winde) keine nennenswerten Unterschiede (vgl. Abb. 67, in der eine Auswahl der Messungen mit dem komplexen Verfahren dargestellt ist).



# Zusammenfassung der Ergebnisse

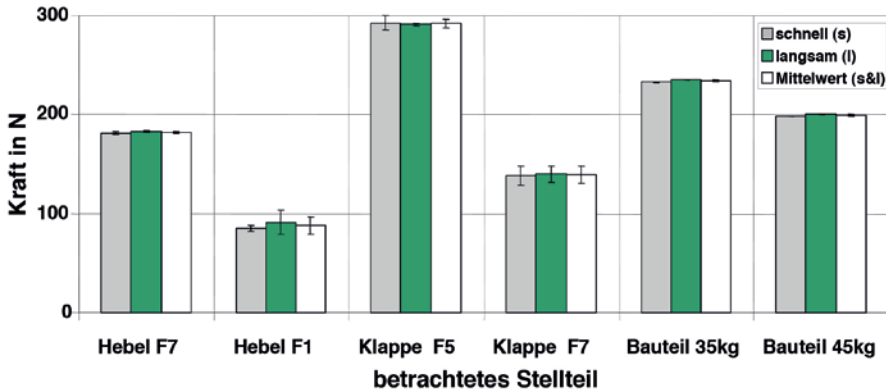


Abb. 67: Messung mit dem komplexen Verfahren: Kräftehöhe und einfache Standardabweichung in unterschiedlichen Kräftefällen, gemittelt über jeweils 5 Versuche für schnelle und langsame Versuchsdurchführung. Die Kürzel „F7“, „F1“ usw. hinter den Stellteilbezeichnungen stehen für die eingesetzten Widerstände (unterschiedliche Gasdruckfedern, vgl. Anhang 4, Abschnitt 10.1.5).

Da sich hier nur sehr geringe Unterschiede ergeben, wurde für die weitere Betrachtung des Geschwindigkeitseinflusses der gemittelte Wert über schnelle und langsame Versuchsdurchführung als Referenzwert gesetzt. Mit diesem Referenzwert werden in Abb. 68 nun die Messungen für schnelle und in Abb. 69 für langsame Versuchsdurchführung mit dem einfachen Verfahren (handgehaltenes Kraftmessgerät mit zwei Versuchspersonen) verglichen. Die dargestellten Messungen bilden eine Auswahl aller untersuchten Betätigungsfälle ab.

# Zusammenfassung der Ergebnisse

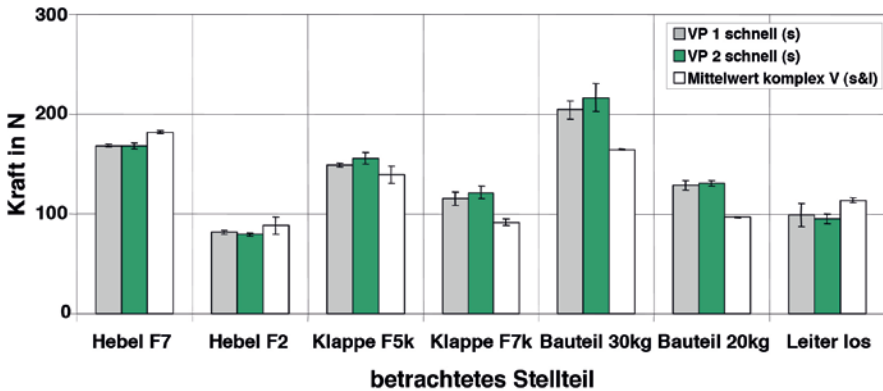


Abb. 68: Messung mit dem einfachen Verfahren: Krafthöhe und einfache Standardabweichung in unterschiedlichen Kraftfällen, gemittelt über jeweils 5 Versuche für Versuchsperson 1 und Versuchsperson 2 bei schneller Versuchsdurchführung sowie Vergleich zur gemittelten Kraft über schnelle und langsame Versuchsdurchführung beim komplexen Verfahren. Die Kürzel „F7“, „F2“ usw. hinter den Stelleilbezeichnungen stehen für die eingesetzten Widerstände (unterschiedliche Gasdruckfedern, vgl. Anhang 4, Abschnitt 10.1.5). Das „k“ hinter „F5“ und „F7“ bedeutet eine verkürzte Einbaustellung.

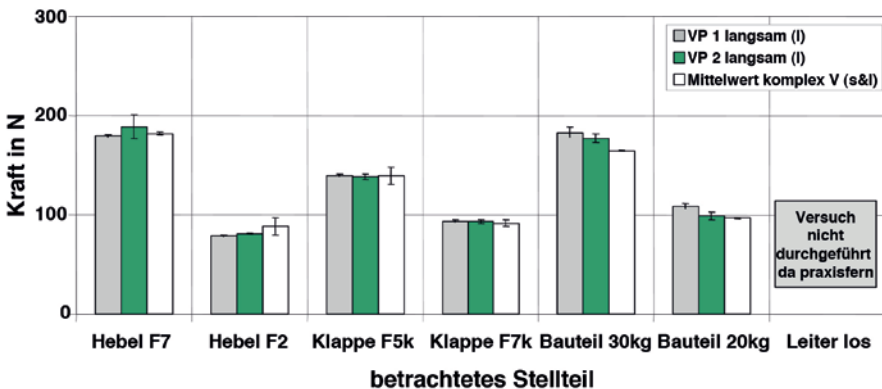


Abb. 69: Messung mit dem einfachen Verfahren: Krafthöhe und einfache Standardabweichung in unterschiedlichen Kraftfällen, gemittelt über jeweils 5 Versuche für Versuchsperson 1 und Versuchsperson 2 bei langsamer Versuchsdurchführung sowie Vergleich zur gemittelten Kraft über schnelle und langsame Versuchsdurchführung beim komplexen Verfahren.

# Zusammenfassung der Ergebnisse

Tab. 9: Wiederholstandardabweichung  $S_f$  und die Vergleichsstandardabweichung  $S_R$  der Verfahren gemittelt über einzelne Kraftfälle sowie gemittelt über alle Kraftfälle. Hinweis: Für die grau hinterlegten Felder wurden keine Kraftmessungen durchgeführt, da diese technisch nicht durchführbar oder nicht sinnvoll waren.

Messart	Hebel		Klappe zu		Leiter lösen		Leiter Arretieren		schweres Bauteil (Zug)		schweres Bauteil (Druck)		Gesamt-mittel	
	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]	$S_f$ [%]	$S_R$ [%]
manuell schnell	3,4	3,6	4,6	12,5	9,2	9,2	11,9	15,0	4,1	11,3	3,4	4,0	6,1	9,3
manuell langsam	2,3	3,1	3,5	4,2					1,8	2,9	3,0	5,2	2,6	3,9
komplex	3,8	4,0	4,9	5,0	2,2	2,2			0,2	0,6			2,8	2,9

Zur Quantifizierung der Reproduzierbarkeit der beiden Verfahren werden zudem die Wiederholstandardabweichung  $S_f$  und die Vergleichsstandardabweichung  $S_R$  als Präzisionsmaße in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 [31] herangezogen.

Es ist festzustellen, dass die Abweichungen insbesondere bei der schnellen Versuchsdurchführung höher liegen als bei der langsamen Versuchsdurchführung (vgl. Abb. 68 und Abb. 69 sowie Tab. 9). Bei der langsamen Versuchsdurchführung nähern sich die Werte deutlich an. Es zeigt sich insgesamt, dass die Ergebnisse des komplexen Verfahrens die bessere Reproduzierbarkeit aufweisen. Dieses Verfahren ist jedoch auch wesentlich aufwändiger als das einfache Verfahren. Mit einer möglichst langsamen und gleichmäßigen

Bewegungserzeugung durch geübte Prüfer ist jedoch auch hier eine akzeptable Reproduzierbarkeit der Messergebnisse erzielbar (siehe Tab. 9). Beim einfachen Verfahren in den betrachteten Versuchen wurden überwiegend gleiche oder höhere Werte als beim komplexen Verfahren ermittelt, was sich dadurch begründen lässt, dass sich beim einfachen Verfahren der geforderte 90-Grad-Winkel zwischen handgehaltenem Kraftmessgerät und Bauteil während der Stellbewegung nicht immer sauber einhalten lässt, und somit durch die Winkelverschiebung höhere Werte zustande kommen. Bei jeweils 5 Messwiederholungen und geübten Prüfern lassen sich jedoch gut reproduzierbare Ergebnisse erzielen. In einigen Fällen (vgl. z.B. Abb. 68 „Hebel F7“ und „Hebel F2“) waren die mit dem einfachen

# Zusammenfassung der Ergebnisse

Verfahren ermittelten Maximalwerte geringer als mit dem komplexen Verfahren, was daran liegen könnte, dass die Messungen zuerst mit dem komplexen Verfahren durchgeführt wurden und dann mit dem einfachen Verfahren, so dass die Feder mit zunehmender Bewegungshäufigkeit leicht an Widerstandskraft eingebüßt hat. Bei der Betrachtung der Leiter (vgl. Abb. 68, „Leiter los“) wurde bei der Messung mit dem komplexen Verfahren keine Winkelkorrektur durchgeführt, was hier die un-

terschiedlichen Maximalwerte zwischen den beiden Verfahren erklärt.

In den Erhebungen weiterhin betrachtet wurde der Unterschied zwischen Zug- und Druckmessungen am Bauteil bei gleicher Bewegungsrichtung. In den folgenden Abb. 70 und Abb. 71 ist dies am Beispiel von Häckslern dargestellt.

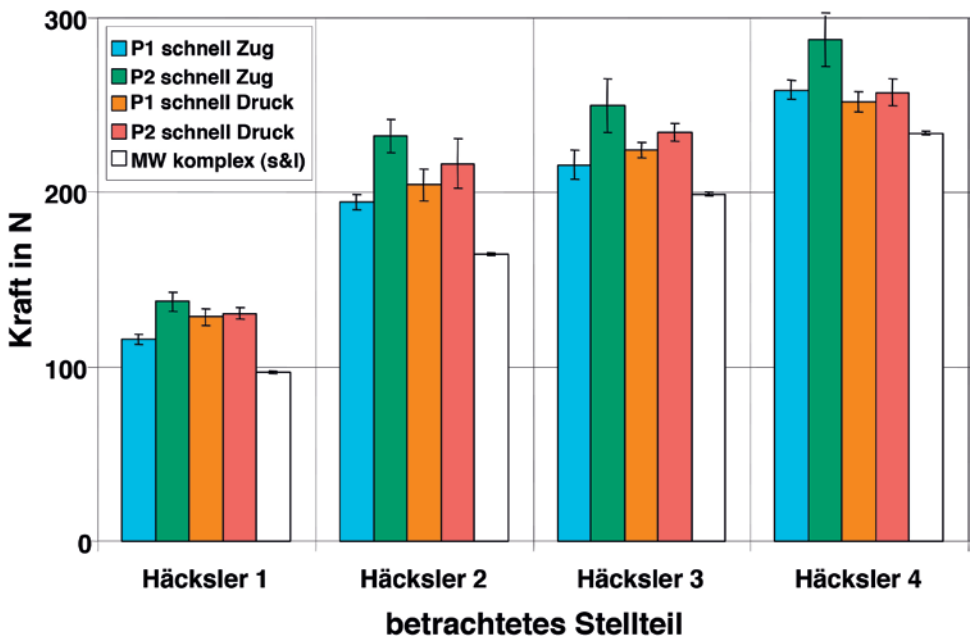


Abb. 70: Durchführung von Zug- und Druckkraftmessungen am Bauteil „Häcksler“ in 4 Gewichtsklassen, jeweils zwei Versuchspersonen mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils ziehend und drückend in schneller Stellbewegung im Vergleich zur Messung mit dem komplexen Verfahren.

# Zusammenfassung der Ergebnisse

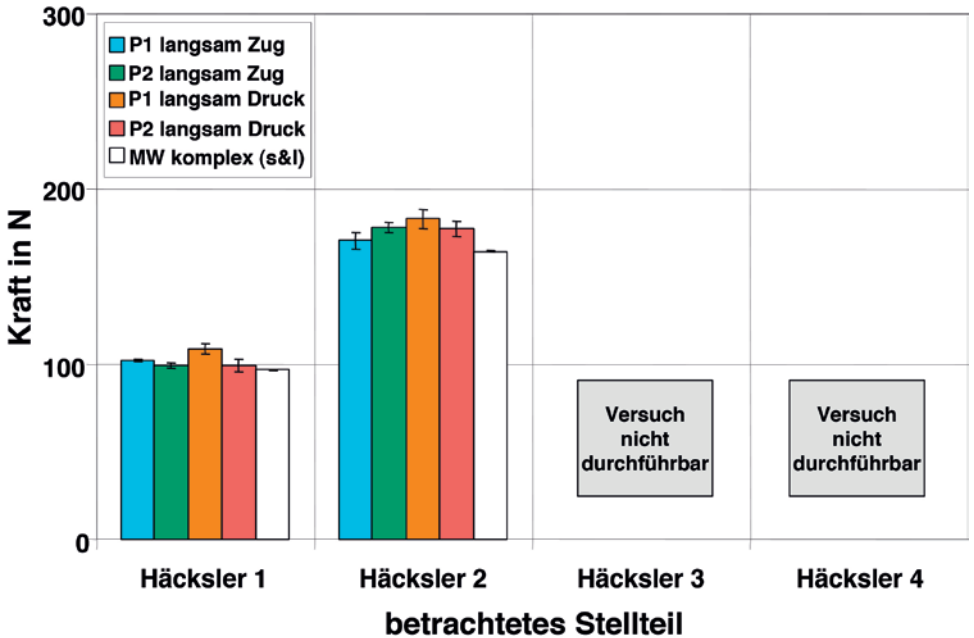


Abb. 71: Durchführung von Zug- und Druckkraftmessungen am Bauteil „Häcksler“ in 4 Gewichtsklassen, jeweils zwei Versuchspersonen mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils ziehend und drückend in langsamer Stellbewegung im Vergleich zur Messung mit dem komplexen Verfahren. Hinweis: Bei den schweren Häckslern (Häcksler 3 und 4) waren die langsamen Stellbewegungen nicht durchführbar.

Die Unterschiede sind bei langsamer Versuchsdurchführung am geringsten, allerdings ist dies insbesondere bei schweren Bauteilen äußerst anstrengend, so dass die schweren Häcksler nicht langsam von den Versuchspersonen bewegt werden können. Die Abweichungen lassen sich im Wesentlichen dadurch begründen, dass, wie bereits oben beschrieben, sich beim einfachen Verfahren der geforderte 90-Grad-Winkel zwischen handgehaltenem Kraftmessgerät und Bauteil

während der Stellbewegung nicht immer sauber einhalten lässt, und somit durch die Winkelverschiebung höhere Werte zustande kommen. Dies ist beim schnellen Bewegungen schwieriger zu kontrollieren als beim langsamen Verfahren. Grundsätzlich ist aber der Unterschied zwischen Druckkraft- oder Zugkraftmessung vernachlässigbar.

## **7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Ermittlungen von Orientierungswerten für Maximalkräfte**

Für die Durchführung von Maximalkraftmessungen standen 8 Probanden (4 männlich, 4 weiblich) für einen Zeitraum von jeweils 5 Tagen pro Gruppe zur Verfügung. Hierbei wurden isometrische Maximalkräfte für verschiedene Körperpositionen ermittelt. Insgesamt wurden 3.192 Messungen in 133 Positionen durchgeführt. Das männliche Kollektiv ist im Vergleich zu einer männlichen Bevölkerungsstichprobe eher als überdurchschnittlich stark, das weibliche Kollektiv ist im Vergleich zu einer weiblichen Bevölkerungsstichprobe eher als durchschnittlich bis leicht unterdurchschnittlich stark einzugruppieren. Die in den Messungen ermittelten Kraftwerte sind in Anhang 5 abgebildet. Hieraus wurden vereinfachte Abbildungen abgeleitet, die in 6 verschiedenen Kategorien die jeweils erreichten Krafthöhen wiedergeben. Abb. 72 zeigt beispielhaft, welche maximalen Krafthöhen bei dem Betätigen von Stellteilen in Abhängigkeit von ihrer Lage erreicht werden können. Alle so ermittelten Grafiken sind in Anhang 6 abgebildet.

# Zusammenfassung der Ergebnisse

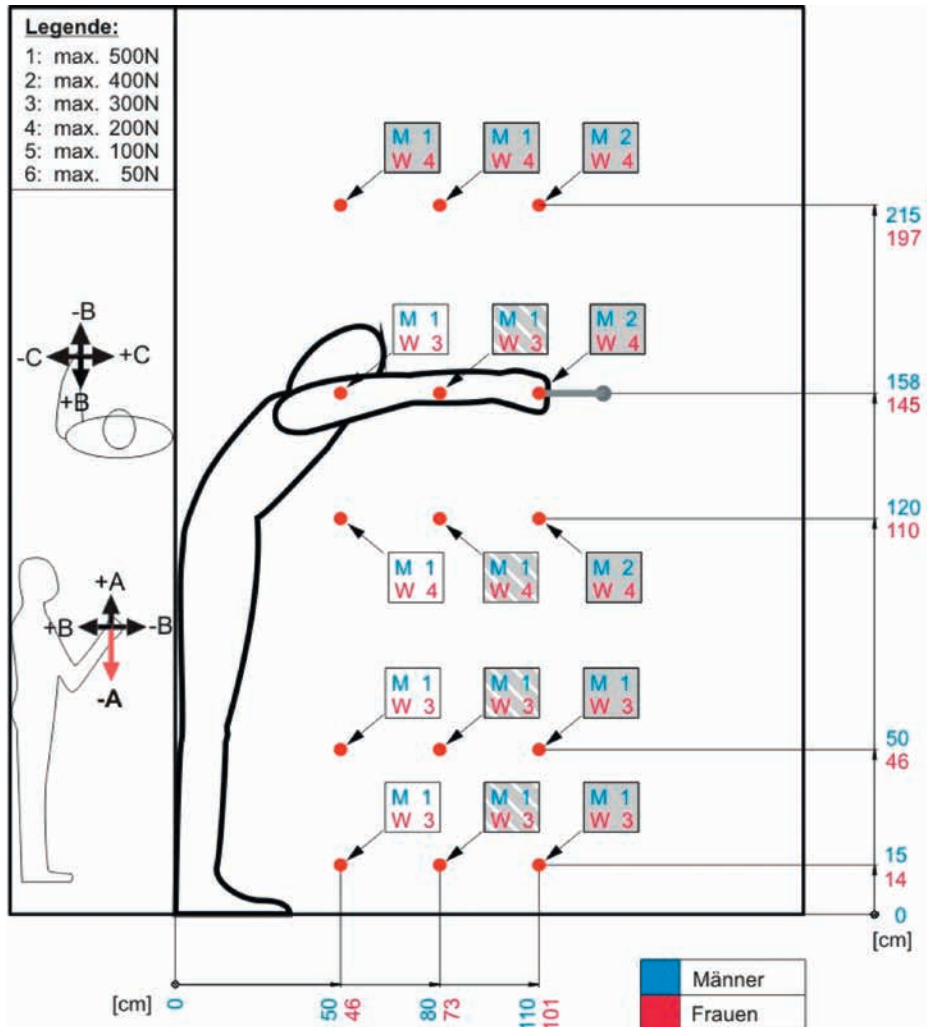


Abb. 72: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil nach oben drücken/ziehen (Kraftrichtung A-), einhändige Bedienung. Grau hinterlegte Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

## 8 Erkenntnisse und Empfehlungen

### 8.1 Erkenntnisse

#### 8.1.1 Erkenntnisse aus den Messungen von Betätigungskräften in Labor und Praxis

Die beiden erprobten Messverfahren sind grundsätzlich einsetzbar, um an mobilen Landmaschinen Betätigungskräfte zu messen. Wie sich in den Labormessungen (siehe z.B. im Anhang 4, Abb. 142 bis Abb. 147) gut erkennen lässt, sind die Kraftfälle relativ gut reproduzierbar, und die fünf Messwiederholungen ähneln sich stark. Lediglich bei sehr niedrigen zu messenden Kräften treten größere Unregelmäßigkeiten auf (vgl. z.B. Anhang 4, Abb. 146). Die Krafthöchstwerte bei langsamer automatisierter Bewegung, schneller automatisierter Bewegung und langsamer manueller Bewegung sind gut vergleichbar. Lediglich bei schneller manueller Bewegung sind die Werte ca. 20-30 % höher als bei den anderen drei Messungen.

Wesentlich für die Durchführung von Kraftmessungen ist, dass die Kraftmesseinrichtungen (Sensor, Kraftmessgerät, o.ä.) immer vom Messobjekt entkoppelt sind und möglichst genau im 90-Grad-Winkel zum Messobjekt geführt werden. Bei automatisierter Kraftmessung mit Winde ist das permanente einhalten der 90-Grad-Winkel in der Regel nicht möglich. Daher ist es notwendig, einen Winkelmesser zu integrieren und die gemessenen Kraftwerte anschließend entsprechend zu korrigieren, was die Durchführung der Messungen deutlich aufwändiger werden lässt. Bei manuel-

len Messungen mit einem handgehaltenen elektronischen Kraftmessgerät ist diese aufwändige Winkelkorrektur nicht erforderlich, da der 90-Grad-Winkel in der Bewegung durch geschicktes Bewegen des Messgerätes eingehalten werden kann, allerdings können sich hierbei auch Ungenauigkeiten ergeben. Es werden hierbei überwiegend gleiche oder höhere Messwerte als bei der automatisierten Messung produziert. Bei geübten Versuchspersonen können die Unterschiede zum komplexen Verfahren als vernachlässigbar angesehen werden. Für die meisten Messfälle scheint die Nutzung eines handgehaltenen elektronischen Kraftmessgeräts ausreichend zu sein. Durch die hier beschriebene eindimensionale Messung im 90-Grad-Winkel werden bei der Betätigung des Stellteils geringere Kräfte gemessen, als von der Bedienungsperson tatsächlich aufgebracht werden, sofern der Winkel, den der Arm der Bedienungsperson und der Hebel bei der Betätigung bilden, nicht 90 ° beträgt. Das ist jedoch vernachlässigbar, wenn diese Kräfte mit den Vergleichswerten in den Orientierungstabellen (Anhang 6) verglichen werden, da diese auf gleiche Weise ermittelt wurden.

#### 8.1.2 Erkenntnisse aus den Messungen zu Orientierungswerten für Maximalkräfte

Bei der Ermittlung von Maximalkräften in den unterschiedlichen Positionen und Kraftrichtungen wurde sehr deutlich, dass die erreichbaren Maximalkraftwerte je nach einzunehmender Körperhaltung sehr stark schwanken. Hohe Kräfte können besonders dort erreicht werden, wo das Körpergewicht eingesetzt



# Erkenntnisse und Empfehlungen

werden kann (z.B. beim Drücken) oder wo z.B. beim Hochziehen die Kraft der Beinmuskulatur genutzt werden kann. Erhebliche Unterschiede ergeben sich zudem - nicht nur, aber auch wegen des deutlichen Gewichtsunterschieds - zwischen den beiden Probandenkollektiven. Die Frauen erreichen dabei im Schnitt etwa 1/2 bis 2/3 der Maximalkräfte der Männer. Dieses Verhältnis ist allerdings nicht zufällig und wurde bereits in einer Vielzahl von Studien bestätigt. Grund hierfür ist der bei Frauen neben der - im Durchschnitt - geringeren Körpermasse der generell geringere Muskelanteil als bei Männern.

## 8.2 Empfehlungen

### 8.2.1 Empfehlungen zu Messverfahren für Betätigungskräfte

#### 8.2.1.1 Messausrüstung

Es wird empfohlen, die Kraftmessungen in der Praxis mit handgehaltenen elektronischen Kraftmessgeräten durchzuführen (vgl. Abschnitt 2.3.2), da es sich hierbei um ein sehr praktikables Verfahren handelt. Mechanische Federwaagen, wie in Abschnitt 2.3.1 beschrieben, sind u.a. deshalb weniger geeignet, weil sie nur den Maximalwert anzeigen und Artefakte nicht identifiziert werden können.

Bei der Messung mit dem komplexen Verfahren (vgl. Abschnitt 2.3.3) können durch die automatisierte Stellbewegung (durch eine Winde) Schwingungen auftreten (wie z.B. bei den Messungen in der Praxis am Häcksler beschrieben), welche den Messwert verfälschen. Ein komplexes Messverfahren - so wie es hier

getestet wurde - bietet jedoch auch Vorteile. So lassen sich hiermit auch Kraft-Winkel-Verläufe darstellen (vgl. Abb. 73). Die Anwendung wird für detailliertere Analysen z.B. während der Maschinenentwicklung empfohlen.

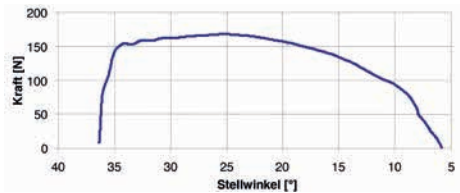


Abb. 73: Kraft-Winkel-Verlauf am Beispiel Schließen der Seitenklappe eines Mähdeschers.

Bei der Auswahl des Messgerätes (unabhängig, ob einfach oder komplex) ist darauf zu achten, dass

- eine Aufzeichnung des Kraft-/Zeitverlaufs möglich ist,
- der Messbereich bis mindestens 500 N reicht,
- der Größtfehler  $< 0,5\%$  vom Maximalwert ist,
- die Messrate mindestens 20 Hz beträgt, um kurzzeitige Kraftspitzen darstellen zu können, und
- das Messgerät für den zu erwartenden Temperaturbereich (i.d.R. 0 bis 40 °C) einsetzbar ist.

Vor jeder Messreihe und nach längeren Unterbrechungen müssen die Kraftsensoren justiert werden. Hierzu ist die Kraftmesseinrichtung mit mindesten 2 Gewichten zu prüfen. Um eine Signalstabilisierung zu erreichen und einen Temperatureinfluss bei den Messungen zu ver-

meiden, ist eine Vorlaufzeit der eingesetzten Messtechnik von ca. 15 Minuten erforderlich. So kann sich die Elektronik an vorherrschende Umgebungsbedingungen anpassen.

## 8.2.1.2 Versuchsaufbau, -bedingungen und -durchführung

Der Versuchsaufbau ist analog zu Abschnitt 5.1 vorzunehmen.

Die räumlichen Bedingungen sollten Realbedingungen widerspiegeln. Jeder Versuch sollte jeweils fünf Mal von zwei geübten Versuchspersonen wiederholt werden. Vor der ersten Messung sollte jeder Prüfer das Bauteil einige Male bewegen, um sich den Bewegungsablauf gut einzuprägen. Dies ist zum einen wichtig, damit während der Bewegung das Messgerät permanent möglichst senkrecht zu dem zu betätigenden Stellteil steht, und zum anderen, um die Schwergängigkeit von Bauteilen bei der erstmaligen Betätigung nach längeren Pausen zunächst auszuklammern.

Als Kraftangriffspunkt wird immer die Mitte eines Handgriffes oder Knaufs definiert, bzw. dort, wo es keine Handgriffe gibt (z.B. an einigen großen Mähdrescherseitenklappen), wird der Punkt als Kraftangriffspunkt definiert, an dem üblicherweise die Klappe oder das Stellteil betätigt wird.

Die Messungen sollten bei Temperaturen zwischen 10 °C und 40 °C durchgeführt werden. Die Gerätehersteller machen leider i.d.R. keine Angaben zur empfohlenen Luftfeuchte. Insgesamt betrachtet ist der Klimaeinfluss auf das Messergebnis eher als vernachlässigbar anzusehen.

## 8.2.1.3 Definition der Betätigungskraft

Die gesuchte Betätigungskraft steht senkrecht auf dem zu betätigenden Stellteil (permanenter 90-Grad-Winkel). Diese Krafrichtung ist möglichst konstant zu halten (manuell) oder per Korrektur zu beseitigen. Es ist darauf zu achten, dass die Kraftübertragung entkoppelt ist (z.B. durch Haken, Seile o.ä. zwischen Messgerät und Bauteil). Die Einhaltung des 90 -Grad-Winkels ist erforderlich, damit die Messwerte mit den Orientierungswerten (vgl. Anhang 6) verglichen werden können.

Sofern das Messgerät nicht exakt in der Mitte eines Handgriffes/Knaufs o.ä. anzubringen ist, ist die Messung versetzt durchzuführen. Die Ergebnisse sind dann nach dem Hebelgesetz umzurechnen (siehe hierzu auch Abschnitt 5.1.2.4).

## 8.2.1.4 Art und Kontrolle der Bewegungserzeugung

Die Bewegung sollte natürlich und gleichmäßig erfolgen. Ausnahmen bilden Bauteile, die mit einem sehr kurzen Ruck eingerastet oder gelöst werden (wie z.B. Leitern). Bei manueller Bewegungserzeugung obliegt die Kontrolle der subjektiven Einschätzung der Prüfperson. Bei automatisierter Bewegungserzeugung wird dieser Faktor durch den Einsatz einer Seilwinde kontrolliert. Als „Messweg“ wird der gesamte Stellweg definiert.

# Erkenntnisse und Empfehlungen

## 8.2.1.5 Auswahl und Vorbereitung des Prüfobjektes

Entscheidend für Auswahl und Vorbereitung (z.B. Wartung) des Prüfobjektes ist die Frage, ob die Messergebnisse Idealbedingungen, Realbedingungen oder erschwerte Bedingungen (z.B. Verschmutzung) widerspiegeln sollen. Die DIN EN 12046 Teil 2 „Bedienungskräfte - Prüfverfahren - Teil 2: Türen“ empfiehlt, die Messungen an neuwertigen Baumustern in gebrauchsfertigem Zustand durchzuführen. Hierbei wird allerdings eine möglicherweise zunehmende Schwergängigkeit von Bauteilen an Landmaschinen durch Verschmutzung oder Verrostung nicht berücksichtigt. Dies lässt sich jedoch auch empirisch kaum erfassen und mit belastbaren Zahlen beschreiben. Das Problem der höheren Schwergängigkeit von Bauteilen bei der erstmaligen Betätigung nach längeren Pausen wurde bereits in einem der im Vorfeld dieser Studie angefertigten Gutachten (vgl. Abschnitt 4.4) diskutiert. Hier war die Empfehlung, den Hebel vor der Versuchsdurchführung einige Male zu bewegen. Unter anderem in der DIN EN 13527 und in der DIN EN 12046-1 wird ebenfalls empfohlen, dass Prüfobjekt vor der Prüfung ein- oder mehrmals zu bewegen.

Um die zunehmende Schwergängigkeit möglichst gering zu halten, wird empfohlen, dass Hersteller (sofern dies nicht ohnehin schon geschieht) in den Wartungsempfehlungen zu ihrer Maschine Hinweise geben sollten, wie eine Zunahme der Schwergängigkeit durch Wartungsarbeiten verhindert werden kann. Sofern herstellerseitig nicht garantiert werden kann,

dass für das betrachtete Bauteil eine Zunahme der Schwergängigkeit nicht zu erwarten ist, wird empfohlen, den ermittelten Betätigungskräften einen zusätzlichen Aufschlag von 20 bis 30 % des Messwertes, mindestens jedoch 50 Newton zuzurechnen. Diese Empfehlung beruht allerdings nur auf den Beobachtungen in den Labor- und Feldstudien und lässt sich empirisch nicht herleiten.

## 8.2.1.6 Art und Weise der Ergebnisdarstellung

Als Gesamtergebnis der Messung wird von jeder Einzelmessung der Spitzenwert des Dynamogrammes herangezogen und dieser dann über alle 10 Versuche gemittelt.

Es ist zu diskutieren, wie groß die maximale Streuung innerhalb eines Messdurchganges (zu je 10 Versuchen) sein darf bzw. wie mit möglichen Ausreißern umzugehen ist. Es wird empfohlen, Messwerte, die mehr als 20 % vom Mittelwert abweichen, zu verwerfen.

## 8.2.1.7 Messprotokoll und Prüfbericht

Im Prüfbericht sollten mindestens die in den Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.6 behandelten Aspekte dokumentiert werden. Darüber hinaus sollten Name bzw. Kürzel des jeweiligen Prüfers, Datum, Bezeichnung des Prüfobjektes, sowie alle für die Identifikation des Prüfobjektes und der eingesetzten Prüfeinrichtungen dokumentiert werden. Von den Prüfungen sollten zudem Photos und Videos erstellt werden. Eine gute Grundlage für die Dokumentation von Prüfungen findet sich beispielsweise in der DIN EN 12046 Teil 1 „Bedienungskräfte - Prüfverfahren - Teil 1: Fenster“.

## 8.2.2 Empfehlungen zu maximalen Kraftgrenzen

Die in den Landmaschinennormen enthaltenen pauschalen Kraftwerte sind nicht haltbar. Hierbei werden Unterschiede in Abhängigkeit von der räumlichen Lage des Stellteils nicht berücksichtigt. Weiterhin überschreiten die pauschal genannten 400 N in nahezu allen Betätigungsfällen bei weitem die körperliche Leistungsfähigkeit der Mehrheit der Frauen. Die Empfehlungen zu Kraftgrenzen müssen im Zusammenhang mit der Lage des jeweiligen Stellteils, der Art der Kraftausübung und der Krafrichtung betrachtet werden. Als Hilfestellung für Hersteller von mobilen Landmaschinen wird vorgeschlagen, Orientierungswerte für maximale Krafthöhen bereitzustellen. Auf Grundlage der bisher durchgeführten Kraftmessungen wurden hierzu die im Anhang 6 dargestellten Tabellen erarbeitet. Es wird empfohlen, diese Tabellen Maschinenherstellern zusammen mit den hier erarbeiteten Empfehlungen zu Kraftmessverfahren zur Praxiserprobung zur Verfügung zu stellen, um sie auf ihre Praktikabilität zu testen. Bei der Gestaltung der Maschinen sollten die Werte der schwächeren Nutzergruppe herangezogen werden. Sofern diese Tabellen für hilfreich befunden werden, sollten zusätzliche Messungen erfolgen, um die Aussagekraft der Messwerte zu erhöhen. Bei sonstigen Kraftfällen, für die hier keine Werte ermittelt wurden, wird empfohlen, diese sinngemäß an den hier abgebildeten Werten zu orientieren. Gleiches gilt für Kombinationen von Kraftfällen. Ist also ein gleichzeitiges Ziehen und Drücken erforderlich, wie z.B. in Abb. 34 beim Schwenken einer Leiter

dargestellt, so sollte der in den Tabellen angegebene Maximalwert angemessen reduziert werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass diese Orientierungstabellen nur Hinweise auf die „Ausführbarkeit“ der Tätigkeit geben können und für die Bewertung der „Erträglichkeit“ nur begrenzt anwendbar sind (siehe hierzu auch Abschnitt 2.1). Daher sollten sie nur für Betätigungsfälle angewendet werden, die üblicherweise nur einige Male pro Tag vorkommen. Für häufig wiederkehrende Tätigkeiten müssten die in den Tabellen angegebenen Werte reduziert werden. Die Norm DIN EN 1005-3 [2] schlägt hierzu drei Kategorien vor: Multiplikation des Wertes mit einem Faktor  $\leq 0,5$  (empfohlene Zone), mit einem Faktor  $\geq 0,5$  bis  $0,7$  (nicht empfohlene Zone) und mit einem Faktor  $> 0,7$  (zu vermeidende Zone). Woraus diese Abschlagsfaktoren abgeleitet wurden, wird in der Norm nicht benannt. Um die Belastung für das Muskel-Skelett-System einschätzen zu können, sind aus empirischen Studien abgeleitete Dosis-Wirkungs-Modelle und detailliertere Analysen der konkreten Betätigungsfälle erforderlich, z.B. durch dreidimensionale Kraftmessungen.

## 8.2.3 Empfehlungen zur räumlichen Lage von Stellteilen

Wie die Untersuchungen in der Praxis und insbesondere auch die Besichtigungen verschiedener moderner Landmaschinen gezeigt haben, finden anthropometrische Maße bei der Gestaltung von Landmaschinen keine ausreichende Berücksichtigung.

# Erkenntnisse und Empfehlungen

Um eine ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel zu ermöglichen, muss auf die Erreichbarkeit der Stellteile stärker geachtet werden. Für eine breite Bedienbarkeit von Landmaschinen sollten Stellteile nicht außerhalb der Reichweite des 5. Perzentils der Frauen liegen. Es wird empfohlen, in den Landmaschinennormen einen Verweis auf entsprechende Normen einzufügen. Exemplarisch sei an dieser Stelle auf die DIN 33402-2 [29] (national) bzw. DIN CEN ISO/TR 7250-2 [30] (international) verwiesen. In den im Anhang 6 dargestellten Orientierungstabellen sind die Bereiche außerhalb der Reichweite grau hinterlegt.

## 8.2.4 Empfehlungen für Konstrukteure von Landmaschinen

Grundsätzlich wird empfohlen, die Betätigungskräfte an Stellteilen möglichst gering zu halten (z.B. durch günstige Hebelgestaltung, den Einsatz von geeigneten Gasdruckfedern und Hydraulikzylindern oder sonstigen elektrischen Antrieben) und auf eine gute Erreichbarkeit der Stellteile zu achten. Dabei sollten unterschiedliche Körpergrößen berücksichtigt werden. Problematisch ist beispielsweise häufig die Höhe von nach oben öffnenden Seitenklappen an Mähdreschern. Diese sind im ausgeklappten Zustand häufig so hoch, dass kleine Bedienpersonen diese kaum erreichen können. Andererseits ist es vielfach auch erwünscht, dass sich diese Klappen so weit öffnen, damit Einstellungen/Wartungen des Maschinenbereiches gut durchgeführt werden können. Zudem ist eine gewisse Schwergängigkeit der Klappen auch gewünscht, damit

sie sich nicht bei stärkerem Wind schließen. Eine niedrigere Klappenhöhe hat den Nachteil, dass die Klappenkante bei aufstehender Klappe für größere Bedienpersonen eine Unfallgefahr darstellt, wenn sie sich in Kopfhöhe der Bedienperson befindet. Dieser Widerspruch könnte zum Beispiel dadurch gelöst werden, dass weit nach oben öffnende Klappen mit Bändern oder Seilen mit Handgriffen ausgestattet werden, die aus niedrigeren Höhen erreichbar sind. Bei Stellteilen wie z.B. Hebeln kann durch einen längeren Hebelarm oder durch eine günstigere Übersetzung (dann mit längerem Stellweg) die notwendige Betätigungskraft reduziert werden. In der Handlungsanleitung zur Leitmerkmalmethode „Manuelle Arbeitsprozesse“ werden hierzu einige Gestaltungshinweise gegeben. Für eine optimale Kraftübertragung und Krafteinleitung ist es wichtig, dass die Stellteile gut greifbar sind (ergonomische Griffe). Umfassungsgriffe der ganzen Hand erlauben die Einleitung hoher Aktionskräfte. Formschlüssige Krafteinleitung ist besser als kraftschlüssige [32]. Ungestaltete Griffe (zu dünne oder kurze Griffel) sollten generell vermieden werden (vgl. z.B. Abb. 74 und Abb. 75).



Abb. 74: Hebel mit zu dünnem Griff und somit eingeschränkter Kraftübertragung.



Abb. 75: Hebel mit zu kurzem Griff und somit eingeschränkter Kraftübertragung.

## 8.2.5 Empfehlungen für den Normenausschuss Ergonomie

In dieser Studie wurden zwei Messverfahren erprobt, wobei das einfache Verfahren für die Praxisnutzung empfohlen wird. Dem Normenausschuss Ergonomie wird vorgeschlagen, dieses Verfahren in einer Norm zu standardisieren.

Als Hilfestellung bei der Formulierung von Prüfanforderungen wird empfohlen, sich hierbei an den in Abschnitt 5.1 beschriebenen Punkten sowie den Empfehlungen in diesem Kapitel zu orientieren. Alternativ könnte auch die parallel durch die KAN entwickelte Checkliste „Hilfe zur Formulierung von Prüfanforderungen, die Messungen beinhalten“ [33] als Grundlage genommen werden. In Tab. 10 sind in Anlehnung an diese Checkliste die wichtigsten Einflussfaktoren auf ein Messverfahren sowie deren Parameter zusammengefasst. Zudem enthält diese Tabelle Verweise ob und an welchen Stellen diese Parameter im vorliegenden Bericht behandelt bzw. diskutiert wurden.

Weiterhin sollte generell die Messung von isometrischen Maximalkräften standardisiert werden. Dies könnte gekoppelt werden mit einer Erweiterung der bereits existierenden Norm DIN EN 1005-3 [2] um den Aspekt der Bestimmung von isometrischen Maximalkräften unter Einbeziehung der räumlichen der Lage des Stellteils (Kraftangriffspunkt) und den dabei einzunehmenden Körperhaltungen.

# Erkenntnisse und Empfehlungen

Tab. 10: Einflussfaktoren und deren Parameter bei der Formulierung von Prüfanforderungen, welche Messungen beinhalten [33].

Einflussfaktor	Festzulegende Parameter	Verweis auf Abschnitt
<b>1. Prüfobjekt</b>	<b>Zustand des Prüfobjektes</b> Objekte neu oder gebraucht? Festlegung Vorbehandlung, Konditionierung und Wartungszustand des Prüfobjektes.	5.1.5 8.2.1
<b>2. Prüfaufbau</b>	<b>Messmittel</b> Eigenschaften des Messmittels und ggf. Validierungsverfahren sind festzulegen. Außerdem sind Messstelle sowie Position und Befestigung der Sensoren festzulegen.	5.1.1 8.1.1 8.2.1
	<b>Weitere Komponenten des Prüfaufbaus</b> Weitere für die Durchführung der Prüfung erforderliche Komponenten sowie deren Eigenschaften.	5.1.2 5.1.4 5.1.5 7.1
	<b>Zustand des Prüfmittels</b> Vorbehandlung und Konditionierung des Prüfmittels.	5.1.2 8.2.1
	<b>Umgebungsbedingungen</b> Festlegung von Klima sowie Ort und räumliche Bedingungen bei der Prüfung	5.1.2 8.2.1
	<b>Anordnung des Prüfobjektes / Versuchsanordnung</b> Beschreibung und Maße des Versuchsaufbaus sowie Position/Körperhaltung der Prüfperson.	5.1.2 5.1.3 5.1.4 8.2.1
<b>3. Prüfdurchführung</b>	<b>Prüfablauf</b> Festlegung von Prüfreihefolge, Zeitabständen und Anzahl der Wiederholungen	5.1.2 8.2.1
	<b>Nutzungs-/Betriebsbedingungen für das Prüfobjekt</b> Festlegung, ob Prüfung unter Praxisbedingungen oder Ersatzbedingungen durchzuführen ist.	8.2.1
	<b>Anzahl der zu prüfenden Objekte</b>	nicht festgelegt

Einflussfaktor	Festzulegende Parameter	Verweis auf Abschnitt
<b>4. Testperson/ Proband</b>	<b>Erfahrung, Anthropometrie</b> Vertrautheit mit der Prüfverfahrensweise sowie Mindest- bzw. Höchstanforderungen bzgl. der Anthropometrie der Prüfperson(en)	8.1.1 8.2.1
<b>5. Auswertung</b>	<b>Berechnungsverfahren</b> Festlegung von Berechnungsverfahren zur Korrektur oder Auswertung von Prüfergebnissen. Außerdem Festlegung des Ergebnisses	5.1.2 5.1.3 5.1.6 5.1.7 8.2.1

## 8.2.6 Empfehlungen für den Normenausschuss Landmaschinen und den VDMA

Die pauschalen Kraftgrenzen, welche in den Landmaschinennormen genannt werden (400 N, 250 N, 200 N), sind nicht haltbar. Bei der Festlegung von maximalen Betätigungskräften ist es erforderlich, auf die räumliche Lage des Stellteils einzugehen. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass auch Frauen Landmaschinen nutzen, müssen – in Abhängigkeit von der Lage des Stellteils – deutlich geringere Maximalkraftwerte in die Normung eingebracht werden. Landmaschinennormen sollten neben Aussagen zu maximalen Betätigungskräften auch Aussagen zur Erreichbarkeit von Stellteilen treffen. Stellteile sollten nicht außerhalb der Reichweite des 5. Perzentils der Frauen liegen. Ein Verweis auf die DIN 33402-2 [29] (national) bzw. DIN CEN ISO/TR 7250-2 [30] (international) wäre sinnvoll.

Es wird empfohlen, dass z.B. der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.

(VDMA) die hier vorgeschlagene Methodik, die Messung von Betätigungskräften mit dem vorgeschlagenen Verfahren und den Vergleich dieser Werte mit den Orientierungswerte zu Maximalkräften in den Tabellen, über seine Mitgliedsbetriebe (Landmaschinenhersteller) erproben lässt. Hierbei könnten auch andere Maschinenhersteller angesprochen werden, um die Übertragbarkeit z.B. auf Baumaschinen zu erproben. Sofern diese Tabellen als praktikabel empfunden werden, sollten diese durch weitere Messungen weiter abgesichert und könnten dann in eine eigene Norm überführt werden, auf die dann z.B. in den Landmaschinennormen verwiesen werden kann.

## 8.2.7 Empfehlungen für das BMBF und das BMAS

Die bisher durchgeführten Messungen von Betätigungskräften an Landmaschinen sollten durch weitere Betätigungsfälle von erfahrenen Landmaschinennutzern unter praxistypischen



# Erkenntnisse und Empfehlungen

Bedingungen ausgeweitet werden. Zudem werden weitere Messungen von Betätigungskräften an weiteren Maschinentypen (z.B. Baumaschinen, Forstfahrzeugen etc.), ebenfalls unter Einbeziehung erfahrener Maschinennutzer empfohlen.

Die Orientierungstabellen für Maximalkräfte sollten mit einem größeren Kollektiv weiter abgesichert und um weitere Kraftfälle (Lage von Stellteilen, unterschiedliche Anthropometrien) erweitert werden. Für sich häufig wiederholende Kraftfälle müssen Abschlagsfaktoren einberechnet werden. Für die hierzu existierenden Kraftbewertungsverfahren, wie z.B. in der DIN EN 1005-3 oder z.B. für das Siemens-Burandt-Verfahren und seine Derivate, liegen keine ausreichend belastbaren Aussagen zur Validität vor. Die Validierung eines solchen Verfahrens könnte gemeinsam in einer größeren Erhebung durchgeführt werden, welche im Rahmen eines Grundlagenforschungsvorhabens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) oder des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) durchgeführt werden sollte.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Gramatte, W.: Sicherheit von Landmaschinen, KAN-Bericht 41, Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (Hrsg.), 2008.
- [2] DIN EN 1005, Teil 3: Sicherheit von Maschinen – Menschliche Körperliche Leistung. Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung, Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [3] Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R.; Glitsch, U.; Ellegast, R.: Der montagespezifische Kraftatlas, BGIA-Report 3/2009, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.), 2009.
- [4] Riedel, S.; Adler, S.; Gillmeister, F.; Köckritz, S.; Mussgnug, J.; Mutschler, H.; Pencz, E.; Schenk, T.: Messanforderungen in Produktnormen, KAN-Bericht 46, Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (Hrsg.), 2010.
- [5] Kirchner, J.H.: Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung – Analyse und Synthese von Arbeitssystemen. Schriftenreihe Arbeitswissenschaft und Praxis. Beuth, Berlin, 1972.
- [6] Rohmert, W.: Formen menschlicher Arbeit. In: Rohmert, W., Rutenfranz J. (Hrsg), Praktische Arbeitsphysiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1983.
- [7] Laurig, W.: Grundzüge der Ergonomie. REFA Fachbuchreihe Betriebsorganisation. 3. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 1990.
- [8] DIN 33411, Teil 1: Körperkräfte des Menschen; Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen. Beuth Verlag, Berlin, 1982.
- [9] Kroemer, K.H.E.: Die Messung der Muskelstärke des Menschen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Forschungsbericht Nr. 161. Dortmund, 1977.
- [10] Hettinger, Th.: Isometrisches Muskeltraining. 5. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart / New York 1983.
- [11] Hollmann, W.; Hettinger, Th.: Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen. 3. Auflage. Schattauer, Stuttgart / New York 1990.
- [12] Rohmert, W.; Hettinger, Th.: Körperkräfte im Bewegungsraum. RKW Reihe Arbeitsphysiologie - Arbeitspsychologie. Beuth; Berlin, Köln, 1963.
- [13] Mainzer, J.: Ermittlung und Normung von Körperkräften - dargestellt am Beispiel der statischen Betätigung von Handrädern. VDI-Verlag, Düsseldorf 1982.
- [14] Kroemer, K.H.E.: Assessment of human muscle strength for engineering purposes: a review of the basics. Ergonomics, 1999, Vol. 42, No. 1, pp. 74 – 93.
- [15] Kroemer, K.H.E.; Kroemer, H.J.; Kroemer-Elbert, K.E.: Engineering Physiology. 4th Edition. Springer, Heidelberg - New York - London, 2010.

# Literaturverzeichnis

- [16] Rohmert, W.; Jenik, P.: Maximalkräfte von Frauen im Bewegungsraum der Arme und Beine. Beuth, Berlin / Köln / Frankfurt a.M. 1972.
- [17] Rohmert, W.; Rückert, A.; Schaub, K.: Körperkräfte des Menschen. Selbstverlag des Institutes für Arbeitswissenschaft an der Technischen Hochschule Darmstadt (Hrsg.), 1992.
- [18] Rohmert, W.; Berg, K.; Bruder, R.; Schaub, K.: Kräfteatlas, Teil 1: Datenauswertung statischer Aktionskräfte. 1. Auflage. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht, Fb 09.004. Berlin, 1994.
- [19] Rohmert, W.; Berg, K.; Bruder, R.; Schaub, K.: Kräfteatlas, Teil 2: Literaturzusammenstellung. 1. Auflage. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Fb 09.004. Berlin 1994.
- [20] Rühmann, H.; Schmidtke, H.: Körperkräfte des Menschen - Perzentilisierung isometrischer Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer Muskelarbeit. O. Schmidt, Köln 1992.
- [21] Caldwell, L.S.; Chaffin, D.B.; Dukes-Dobos, F.N.; Kroemer, K.H.; Laubach, L.L.; Snook, S.H.; Wasserman, D.E.: A proposed standard procedure for static muscle strength testing. Am Ind Hyg Assoc J. 1974 Apr;35(4):201-206.
- [22] Klußmann, A. et al.: ASER Handmaß- und Kraftdatenbank. Schriftenreihe des Institut ASER e.V. Forschungsbericht, in Vorbereitung.
- [23] NPR 2739 Menselijke fysieke belasting - Kenmerken en meetmethoden (Niederländische Norm: Menschliche physische Belastung – Kennwerte und Messmethoden).
- [24] NF X 35-109 Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer - méthodologie d'analyse et valeurs seuils (Französische Norm: Ergonomie - Manuelle Lastbeförderung zum Heben, Versetzen und Schieben/Ziehen - Analysenmethodik und Schwellenwertel).
- [25] Steinberg, U.; Windberg, H.-J.: Heben und Tragen ohne Schaden. 6. Auflage. Quartbroschüre der BAuA. Dortmund, 2011.
- [26] Steinberg, U.; Caffier, G.; Liebers, F.; Behrendt, S.: Ziehen und Schieben ohne Schaden. Quartbroschüre der BAuA. 4. Auflage. Dortmund, 2008.
- [27] ISO 11228, Teil 1: Ergonomie - Manuelles Handhaben von Lasten - Teil 1: Heben und Tragen. 2003.
- [28] ISO 11228, Teil 2: Ergonomie - Manuelle Handhabung - Teil 2: Ziehen und Schieben. 2007.
- [29] DIN 33402, Teil 2: Ergonomie. Körpermaße des Menschen. Teil 2: Werte. Beuth Verlag, Berlin, 2005.

- [30] DIN CEN ISO/TR 7250, Teil 2: Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner Bevölkerungen von ISO-Mitgliedsländern, Beuth, Berlin, 2011.
- [31] DIN ISO 5725, Teil 2: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen- Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens, Beuth, Berlin, 2002.
- [32] Steinberg, U.; Liebers, F.; Klußmann, A.: Manuelle Arbeit ohne Schaden. Überarbeitete Fassung 2013. Quartbroschüre der BAuA. Dortmund, 2013.
- [33] KAN: Hilfe zur Formulierung von Prüfanforderungen, die Messungen beinhalten. Entwurf der Kommission Arbeitsschutz und Normung, Stand 2011-04-19. [www.kan.de/fileadmin/user\\_upload/docs/sonstige/Hilfe\\_Messanforderungen.pdf](http://www.kan.de/fileadmin/user_upload/docs/sonstige/Hilfe_Messanforderungen.pdf)

## 10 Anhänge

### Anhang 1: Übersicht der analysierten Normen

Dokumentnummer	Titel-Stichwort	Titel
DIN EN 81-3 2011-06	Aufzüge	Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Teil 3: Elektrisch und hydraulisch betriebene Kleingüteraufzüge
DIN EN 81-31 2010-08	Aufzüge	Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Aufzüge für den Gütertransport – Teil 31: Betretbare Güteraufzüge
DIN EN 12158-1 2011-06	Bauaufzüge	Bauaufzüge für den Materialtransport – Teil 1: Aufzüge mit betretbarer Plattform
ISO 11228-1: 2003	Ergonomie	Ergonomie - Manuelles Handhaben von Lasten - Teil 1: Heben u. Tragen
ISO 11228-2: 2007	Ergonomie	Ergonomie - Manuelle Handhabung - Teil 2: Ziehen und Schieben.
DIN 33402-2: 2005	Ergonomie	Körpermaße des Menschen. Teil 2: Werte.
DIN CEN ISO/ TR 7250-2: 2011	Ergonomie	Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung - Teil 2: Anthropom. Datenbanken
DIN EN 12643 2010-04	Erdbau- maschinen	Erdbaumaschinen – Radfahrzeuge – Lenkvermögen
DIN EN 861 2010-02	Holzbearbei- tungsmaschinen	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Kombinierte Abricht- und Dickenhobelmaschinen
DIN EN 1493 2011-02	Hubgeräte	Fahrzeug-Hebebühnen
DIN EN 1494 2009-05	Hubgeräte	Fahrbare oder ortsveränderliche Hubgeräte und verwandte Einrichtungen
DIN EN 1570 2009-12	Hubgeräte	Sicherheitsanforderungen an Hubtische
DIN EN 1756-1 2008-10	Hubgeräte	Hubladebühnen – Plattformlifte für die Anbringung an Radfahrzeugen – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Hubladebühnen für Güter

Dokumentnummer	Titel-Stichwort	Titel
DIN EN 1756-2 2009-12	Hubgeräte	Hubladebühnen – Plattformlifte für die Anbringung an Radfahrzeugen – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Hubladebühnen für Passagiere
DIN EN 1808 2010-11	Hubgeräte	Sicherheitsanforderungen an hängende Personenaufnahmemittel – Berechnung, Standsicherheit, Bau – Prüfungen
DIN EN 12570 2000-10	Industriearmaturen	Industriearmaturen – Verfahren für die Auslegung des Betätigungselementes
DIN EN 13140 2010-09	Landmaschinen	Landmaschinen – Zuckerrüben- und Futterrüben-Erntemaschinen – Sicherheit
pr DIN EN 16246 2011-3	Landmaschinen	Landmaschinen - Heckbaggerlader - Sicherheit
DIN EN 632 1995-08	Landmaschinen	Landmaschinen – Mähdrescher und Feldhäcksler – Sicherheit
DIN EN 707 2009-12	Landmaschinen	Landmaschinen – Flüssigmisttankwagen – Sicherheit
DIN EN 745 2010-01	Landmaschinen	Landmaschinen – Kreiselmäherwerke und Schlegelmäher – Sicherheit
DIN EN 907 1997-07	Landmaschinen	Land- und Forstmaschinen – Spritz- und Sprühgeräte zum Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln und flüssigen Düngemitteln – Sicherheit
DIN EN ISO 4254-1 2011-05	Landmaschinen	Landmaschinen – Sicherheit – Teil 1: Generelle Anforderungen
DIN EN ISO 4254-6 2011-10	Landmaschinen	Landmaschinen – Sicherheit – Teil 6: Pflanzenschutzgeräte
DIN EN ISO 4254-7 2011-05	Landmaschinen	Landmaschinen – Sicherheit – Teil 7: Mähdrescher, Feldhäcksler und Baumwollerntemaschinen
DIN EN ISO 4254-10 2011-07	Landmaschinen	Landmaschinen – Sicherheit – Teil 10: Kreiselzetter und Schwader
DIN EN 13561 2011-06	Markisen	Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen

## Anhang 1 / Anhang 2

Dokumentnummer	Titel-Stichwort	Titel
DIN 5566-1 2006-09	Schienen- fahrzeuge	Schienenfahrzeuge – Führerräume – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN 1005-2 2009-05	Sicherheit von Maschinen	Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen
DIN EN 1005-3 2009-01	Sicherheit von Maschinen	Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung
DIN EN 614-1 2009-06	Sicherheit von Maschinen	Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze

### Anhang 2:

#### Textpassagen zu Betätigungskräften in Normen

Die folgende Tabelle listet die Normen, ein Stichwort zum Titel, den betreffenden Abschnitt und die entsprechenden Textpassagen auf, in denen Angaben zu Betätigungskräften getroffen werden. Die Sortierung erfolgt nach dem Titel-Stichwort.

Norm	Titel- Stichwort	Ab- schnitt	Text
DIN EN 81-3 : 2011-06	Aufzüge	0.3.9	Als horizontale Kräfte wurden unter Berücksichtigung solcher, die eine Person ausüben kann, in Betracht gezogen: a) <b>Statische Kraft: 300 N</b> b) <b>Stoßförmige Kraft: 1.000 N</b>
DIN EN 81-3 : 2011-06	Aufzüge	12.2.4.1	Der Aufzug muss eine Handdrehvorrichtung haben, die es ermöglicht, den Fahrkorb durch Drehen an einem glatten, nicht durchbrochenen Handrad in eine Halte- stelle zu bewegen, wenn die zum Aufwärtsbewegen des mit Nennlast beladenen Fahrkorbs erforderliche Kraft <b>400 N</b> nicht überschreitet.

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 81-31 : 2010-08	Aufzüge	0.3.9	Als horizontale Kräfte wurden unter Berücksichtigung solcher, die eine Person ausüben kann, in Betracht gezogen: a) <b>Statische Kraft: 300 N</b> b) <b>Stoßförmige Kraft: 1.000 N</b>
DIN EN 81-31 : 2010-08	Aufzüge	5.2.11.2.3.1	Wenn die zur Betätigung dieser mechanischen Einrichtung erforderliche Kraft <b>200 N oder die niedriger anwendbare Kraft nach EN 1005-3 übersteigt</b> , muss diese kraftbetrieben sein;
DIN EN 81-31 : 2010-08	Aufzüge	G.1.5	Werden Einrichtungen zur manuellen Betätigung des Aufzugs verwendet, um den Lastträger in eine Haltestelle zu bewegen, müssen die folgenden Anforderungen erfüllt sein: a) die manuelle Kraft, die zur Aufwärtsbewegung des Lastträgers mit dessen Nennlast erforderlich ist, darf <b>400 N nicht überschreiten</b> ; ...
DIN EN 12158-1 : 2011-06	Bauaufzüge	5.5.3.1.6	... Der maximale Abstand zwischen dem geschlossenen Ladestellentor und einem Handgriff an der Plattform [...] darf 0,6 m nicht überschreiten. Die zum Bedienen dieses Handgriffes erforderliche Kraft darf auch unter ungünstigsten betriebsmäßigen Windbedingungen <b>150 N nicht überschreiten</b> .
DIN EN 12643 : 2010-04	Erdbaumaschinen	10.4.3	... die Lenkbetätigungskraft darf 115 N nicht überschreiten. ...
DIN EN 12643 : 2010-04	Erdbaumaschinen	10.4.4	... die Lenkkraft darf <b>350 N nicht überschreiten</b> . ...
DIN EN 861 : 2010-02	Holzbearbeitungsmaschinen	5.4.5	Die Kraft, die zum Hochheben oder Hochklappen des Abrichttisches beim Umrüsten der Maschine zum Dickenhobeln erforderlich ist, <b>darf 300 N nicht übersteigen</b> .



## Anhang 2

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 1493 : 2011-02	Hubgeräte	5.16.5	Auf ebenem Boden dürfen Handkräfte bei einer Umgebungstemperatur von (20 +/- 5) °C <b>400 N zum Starten</b> der Bewegung und <b>300 N zum Aufrechterhalten</b> der Bewegung nicht übersteigen.
DIN EN 1493 : 2011-02	Hubgeräte	5.20	Die Bedienkraft an der vorgesehenen Handhabe, gemessen an deren Ende, darf bei einer Umgebungstemperatur von (20 +/- 5) °C <b>400 N nicht übersteigen</b> , wenn sie entsprechend den Angaben des Herstellers bedient wird.
DIN EN 1494 : 2009-05	Hubgeräte	C.1	Die maximalen manuellen Kräfte zum Bedienen des Hubgerätes (beladen bzw. mit Nennlast beladen) dürfen folgende Werte nicht überschreiten: ...
DIN EN 1570 : 2009-12	Hubgeräte	5.6.11	Die von einer Person benötigte Handkraft zum Bewegen eines unbeladenen fahrbaren Hubtisches darf <b>300 N zum Starten</b> der Bewegung und <b>200 N zum Aufrechterhalten</b> der Bewegung nicht überschreiten. (Siehe Anhang F für die Methoden der Kraftmessung).
DIN EN 1570 : 2009-12	Hubgeräte	5.8.11	Sofern eine Handpumpe für die Steuerung des Hubtisches benutzt wird, darf die Bedienkraft an der vorgesehenen Handhabe, gemessen am Ende der Handhabe, beim Heben der Nennlast <b>200 N nicht überschreiten</b> , wenn die Handhabe gemäß der Anleitung des Herstellers bedient wird. Dieser Wert (200 N) darf bei Fußpumpen auf 300 N vergrößert werden. (Siehe Anhang F für die Methoden der Kraftmessung).
DIN EN 1570 : 2009-12	Hubgeräte	F.1	Die maximal erforderlichen Handkräfte für das Bedienen fahrbarer Hubtische dürfen folgende Werte nicht überschreiten: ...
DIN EN 1756-1 : 2008-10	Hubgeräte	5.3	Erforderliche Handkräfte dürfen entsprechend den Anforderungen nach EN 1005-3 <b>250 N nicht überschreiten</b> . Zur Einleitung von Bewegungen notwendige Handkräfte dürfen 350 N nicht überschreiten. ...

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 1756-2 : 2009-12	Hubgeräte	5.3	Im Falle von mitfahrerbetriebenen Hubladebühnen darf die zum Betrieb erforderliche <b>Handkraft 50 N</b> nicht überschreiten und die Kraft von fingerbetätigten Stellteilen darf <b>5 N nicht überschreiten</b> (siehe Abschnitt 6). In anderen Fällen darf die zum Betrieb der Hubladebühne erforderliche <b>Handkraft 200 N nicht überschreiten</b> . Jedoch darf die Handkraft für die Einleitung von Bewegungen <b>250 N nicht überschreiten. ...</b>
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	8.2.2.2	Die zum Anheben der maximalen Betriebslast WLL des Hubwerks am Ende der Kurbel aufgebrauchte Kraft darf <b>nicht höher als 250 N</b> sein.
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	8.2.3.2	Die zum Anheben der maximalen Betriebslast WLL des Hubwerks am Ende des Hebels aufgebrauchte Kraft darf <b>nicht höher als 400 N</b> sein.
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	9.1.3	Im Betrieb darf die höchste auf das Kurbelende ausübende Kraft <b>250 N nicht übersteigen</b> .
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	9.2.3.4	Drehbare verankerte Ausleger müssen so konstruiert sein, dass sie von Hand mit einer <b>maximalen Kraft von 250 N gedreht werden</b> können.
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	9.2.3.5.1	Es muss sichergestellt sein, dass die maximale Kraft, die der Benutzer zum Aufbau und Transport des Auslegerarms aufwenden muss, <b>250 N nicht übersteigt</b> . Das Eigengewicht und die Größe der einzelnen Komponenten des verankerten Auslegersystems müssen dabei berücksichtigt werden.
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	9.2.3.5.2	Verankerte Ausleger, bei denen zum Umsetzen eine Kraft von mehr als <b>250 N</b> erforderlich ist, müssen auf Räder gesetzt werden, damit der erforderliche Kraftaufwand wieder <b>höchstens bei 250 N</b> liegt.

## Anhang 2

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 1808 : 2010-11	Hubgeräte	B.2.1	Die bei einem handbetriebenen Hubwerk zum Heben oder Senken der maximalen Betriebslast (WLL) am Ende der Kurbel oder des Hebels aufgebraachte Kraft darf <b>250 N bzw. 400 N</b> nicht übersteigen. ...
DIN EN 12570 : 2000-10	Industrie-armaturen	5.1	Die Größe der manuellen Betätigungskraft F und der maximalen Handkraft F <sub>s</sub> , die zur Berechnung der Größe des Betätigungselementes entsprechend 5.2 verwendet werden, müssen Tabelle 1 entsprechen. ...
DIN EN 13140 : 2010-09	Landma-schinen	4.4.3.2	... Das Umstellen von Arbeits- in Transportstellung und umgekehrt muss ohne Gefährdung durch Quetschen oder Scheren erfolgen können. Die Bewegung der klappbaren Bauteile muss kraftbetrieben sein, wenn die für diese Bewegung erforderliche manuelle Kraft <b>250 N überschreitet</b> .
pr DIN EN 16246 : 2011-3	Landma-schinen		Die für bewegliche Teile der Aufstiege erforderliche Betätigungskraft darf an dem entsprechend der Auslegung und Festlegung des Herstellers für die Bedienperson vorgesehenen Handhabungspunkt der beweglichen Teile nicht mehr als <b>200 N</b> betragen.
DIN EN 632 : 1995-08	Landma-schinen	5.2	Stellteile mit einer Betätigungskraft $\geq 100 \text{ N}$ , gemessen am Griff, müssen einen <b>Mindestfreiraum, <math>\alpha</math></b> , von <b>50 mm</b> zwischen ihren Außenkanten und angrenzenden Teilen haben. Stellteile mit einer Betätigungskraft $< 100 \text{ N}$ müssen einen <b>Mindestfreiraum, <math>\alpha</math></b> , von <b>25 mm</b> haben ...
DIN EN 632 : 1995-08	Landma-schinen	5.3.4	... Die Betätigungskraft darf <b>200 N nicht überschreiten</b> ...
DIN EN 707 : 2009-12	Landma-schinen	4.2.3.1	... Die für das Ein-/Ausklappen erforderliche manuelle Kraft darf <b>nicht größer als 250 N</b> sein. ...
DIN EN 707 : 2009-12	Landma-schinen	4.2.3.2	Die für die Einstellung der Höhe der Verteileinrichtung erforderliche manuelle Kraft darf <b>250 N nicht überschreiten</b> . ...

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 745 : 2010-01	Landmaschinen	4.4	... Das Umstellen von Arbeits- in Transportstellung und umgekehrt muss ohne Gefährdung durch Quetschen oder Scheren erfolgen können. Die Bewegung der klappbaren Teile muss kraftbetrieben sein, wenn die für diese Bewegung erforderliche manuelle <b>Kraft 250 N überschreitet</b> . ...
DIN EN 907 : 1997-07	Landmaschinen	4.4.4	Die für die Einstellung der Gestängehöhe erforderliche manuelle Kraft darf <b>250 N nicht überschreiten</b> . ...
DIN EN ISO 4254-1 : 2011-05	Landmaschinen	4.4.3	Handbetätigte Stellteile mit einer Betätigungskraft $\geq$ <b>100 N</b> müssen einen <b>Mindestfreiraum</b> , $a$ , von <b>50 mm</b> zwischen den Außenkanten oder zu benachbarten Teilen der Maschinen haben (siehe Bild 2). Stellteile mit einer Betätigungskraft $<$ <b>100 N</b> müssen einen <b>Mindestfreiraum von 25 mm</b> haben. Fingertipp-schalter, z. B. Druckknöpfe, elektrische Schalter sind von dieser Anforderung ausgenommen.
DIN EN ISO 4254-1 : 2011-05	Landmaschinen	4.4.5	Für das manuelle Schwenken von Bauteilen müssen Handgriffe vorgesehen sein, die in einem <b>Mindestabstand von 300 mm</b> zum nächstgelegenen Gelenk angeordnet sind. Diese Handgriffe können auch Teile der Maschine sein, wenn sie geeignet gestaltet und deutlich gekennzeichnet sind. Die für das manuelle Schwenken erforderliche Kraft darf <b>250 N als Durchschnittswert</b> bei der Bewegung von der Anfangs- bis zur Endposition nicht überschreiten. Der <b>Maximalwert darf 400 N</b> nicht überschreiten. Wenn das Bauteil geschwenkt wird, dürfen keine Gefahren durch Quetschen, Scheren oder unkontrollierte Bewegungen für die Bedienungsperson entstehen.
DIN EN ISO 4254-1 : 2011-05	Landmaschinen	4.5.1.2.4	Wenn Teile des Aufstiegs beweglich sind, darf die Betätigungskraft <b>200 N als Durchschnittswert</b> während der Bewegung von der Anfangs- zur Endposition nicht überschreiten. Der <b>Höchstwert darf 400 N</b> nicht überschreiten.

## Anhang 2

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN ISO 4254-10 :2011-07	Landmaschinen	5.6	... Die Bewegung der schwenkbaren Bauteile muss kraftunterstützt sein, wenn die manuelle Betätigungskraft <b>250 N überschreitet</b> .
DIN EN ISO 4254-6 :2010-11	Landmaschinen	5.3.3	Die für die Einstellung der Gestängehöhe erforderliche manuelle Kraft darf <b>250 N nicht überschreiten</b> . ...
DIN EN ISO 4254-7 :2011-05	Landmaschinen	5.2.2	Stellteile mit einer <b>Betätigungskraft <math>\geq 100\text{ N}</math></b> , gemessen am Griff, müssen einen <b>Mindestfreiraum</b> , $\alpha$ , von <b>50 mm</b> zwischen ihren Außenkanten und angrenzenden Teilen haben. Stellteile mit einer Betätigungskraft <b><math>&lt; 100\text{ N}</math></b> müssen einen <b>Mindestfreiraum</b> , $\alpha$ , von <b>25 mm</b> haben. ...
DIN EN ISO 4254-7 :2011-05	Landmaschinen	5.5.3	Für manuell schwenkbare Bauteile muss (müssen) ein Handgriff(e) vorgesehen sein, der (die) in einem Abstand von mindestens 300 mm vom nächsten Gelenk angeordnet ist (sind). Die erforderliche Kraft zum manuellen Schwenken von der Ausgangs- zur Endstellung darf im <b>Mittel 250 N</b> nicht überschreiten. Der (Die) <b>Spitzenwert(e)</b> darf (dürfen) <b>400 N</b> nicht überschreiten. ...
DIN EN ISO 4254-7 :2011-05	Landmaschinen	6.4.1.3	Der Korntank muss so gestaltet sein, dass die Notwendigkeit, in den Korntank einzusteigen (z. B. zum Ausfahren der Aufsätze, Öffnen der Abdeckungen, Ausfahren der Korntankbefüllschnecke) minimiert ist. Wo möglich, müssen diese Tätigkeiten von außerhalb des Korntanks durchgeführt werden können. Falls Teile manuell ausgefahren oder abgesenkt werden, darf die erforderliche Kraft <b>400 N nicht überschreiten</b> .
DIN EN 13561 : 2011-06	Markisen	7.3.1	Die Bedienkraft $F_c$ darf die in Tabelle 3 angegebenen Werte nicht überschreiten.

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 13561 : 2011-06	Markisen	7.3.2	Die Höchstwerte für $F_c$ sind in Tabelle 4 angegeben.
DIN 5566-1 : 2006-09	Schienenfahrzeuge	5.6	Für öffnungsfähige Seitenfenster gelten folgende weitere Bedingungen: - Die Seitenfenster müssen leicht zu öffnen sein. Die maximale Bedienkraft darf <b>50 N auch nach längerem Einsatz</b> nicht überschreiten.
DIN EN 1005-2 : 2009-05	Sicherheit von Maschinen	A.1	Tabelle A.1 „Prozentsätze der Bevölkerung in Bezug auf Messungskriterien und die Masse des Gegenstandes“. (die hier dargestellte Tabelle A.1 gilt für die allgemeine Arbeitsbevölkerung. Die Angaben beruhen auf Messungen des maximalen Energieumsatzes, der subjektiven Einschätzung von Zumutbarkeitsgrenzen und objektiven Messungen von Maximalkräften.)
DIN EN 1005-3 : 2009-01	Sicherheit von Maschinen	4.2.1	Tabelle 1 „Isometrische Maximalkraft“. (die vorberechneten Werte stellen isometrische Maximalkräfte bei einigen üblichen Tätigkeiten in Gewerbe und Haushalt dar. Diese Werte gelten nur bei optimalen Arbeitsbedingungen)
DIN EN 614-1 : 2009-06	Sicherheit von Maschinen	4.3.5	Körperkraft: Tätigkeiten während der Benutzung von Maschinen, die einen hohen Kraftaufwand erfordern, können zu Belastungen des Muskel- und Skelettsystems führen. Ungünstige Belastungen erhöhen das Risiko von Ermüdung, Beschwerden und Schäden am Muskel- und Skelettsystem. Bei der Gestaltung von Maschinen müssen die folgenden Grundsätze beachtet werden:  a) mechanische Hilfsmittel sind bereitzustellen, wenn die erforderlichen Körperkräfte so hoch sind, dass eine sichere Benutzung der Maschine nicht sichergestellt ist;

## Anhang 2

Norm	Titel-Stichwort	Ab-schnitt	Text
DIN EN 614-1 : 2009-06	Sicherheit von Maschinen	4.3.5	<p>...</p> <p>b) länger andauernde statische Muskelanspannung (wie beispielsweise bei Halte- oder Hebetätigkeiten der Arme und Hände) muss vermieden werden. Das Gewicht handgeführter Maschinen kann bei längerem Einsatz eine wesentliche Ursache für Muskelermüdung sein. Diese Auswirkungen sollten, z. B. durch Abstützung der Maschinen mittels einer Aufhängevorrichtung vermindert werden;</p> <p>c) der Einsatz von Körperkräften ist, wo auch immer möglich, durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise Ausgleichgewichte auf ein Minimum zu reduzieren.</p> <p>d) Stellteile, Griffe, Griffstangen und Pedale an Maschinen sind so zu gestalten, auszuwählen und anzuordnen, dass diese den Anforderungen der EN 894-3 entsprechen;</p> <p>e) je nach Kraftaufwand, Größe, Form und Lage der Stellteile ist eine ungleichmäßige Belastung des Körpers und der Gliedmaße zu vermeiden;</p> <p>f) die Gewichtsverteilung von handgeführten Maschinen und tragbaren Arbeitsmitteln muss im angemessenen Verhältnis zu den angebrachten Griffen und Stützvorrichtungen stehen.</p> <p>ANMERKUNG In EN 1005-2 und EN 1005-3 wird beschrieben, wie der Konstrukteur von Maschinen die benötigten Kräfte auf ein annehmbares Maß beschränken kann. ...</p>

### Anhang 3: Erprobung von Betätigungsfällen in der Praxis

Darstellungen der Praxiserprobungen an Landmaschinen in Ergänzung zu Abschnitt 5.2.

#### 10.1.1 Betätigen von Hebeln

##### 10.1.1.1 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Öffnung eines Korntanks



Abb. 76 und Abb. 77:  
Korntank-Öffnung an einem Mähdre-  
scher (Claas Mega 350), die Öffnung  
des Tanks erfolgt über eine halbe Dre-  
hung. Messung mit handgehaltenem  
Kraftmessgerät. Oben: Versuchsperson  
1, unten: Versuchsperson 2.

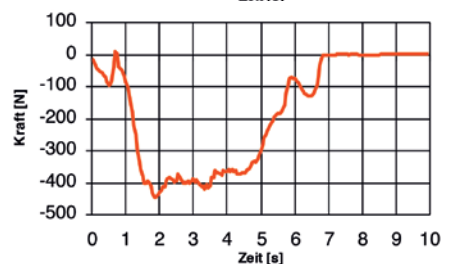
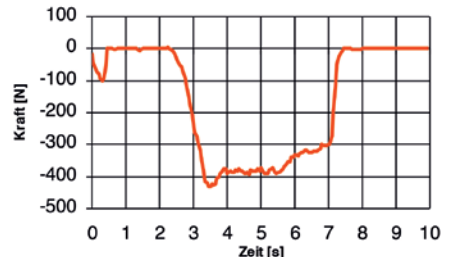
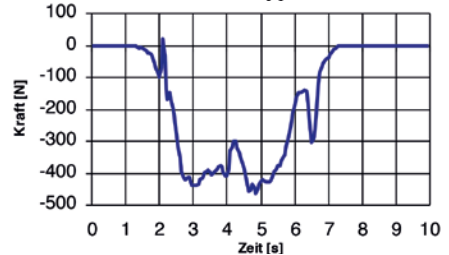
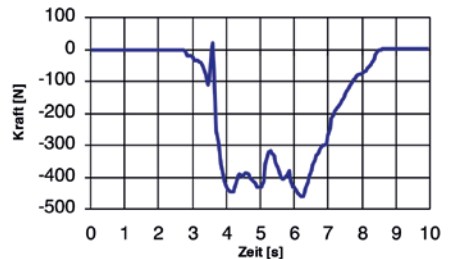


Abb. 78: Kraft-Zeit-Diagramme Korntank-Öffnung.  
Messung mit handgehaltenem Kraftmess-  
gerät. Oben (blau): Versuchsperson 1,  
unten (rot): Versuchsperson 2.



# Anhang 3

## 10.1.1.2 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät:

Betätigung eines Hebels zur Häckslerverstellung eines Mähdreschers



Abb. 79 und Abb. 80: Hebel zur Häckslverstellung an einem Mähdrescher (John Deere T560). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 2.

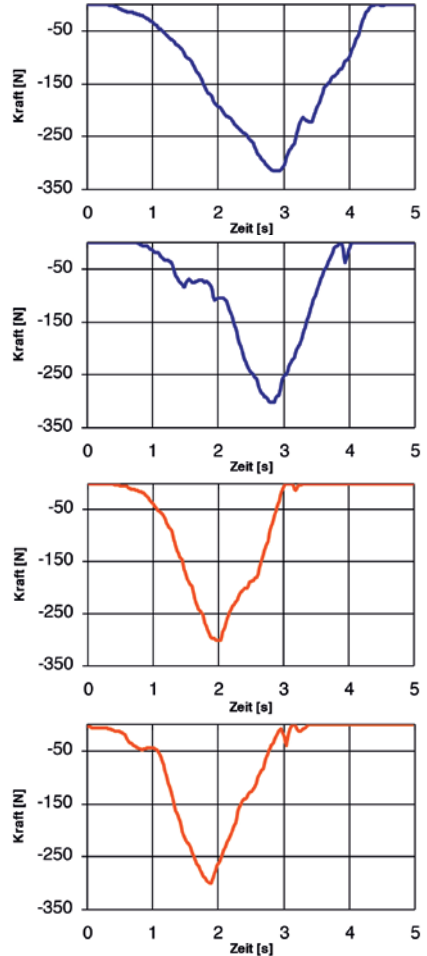


Abb. 81: Kraft-Zeit-Diagramme vom Betätigen des Hebels zur Häckslverstellung, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Hierbei waren Kräfte von 300 N in der Spitze aufzubringen. Bilder oben (blau): Versuchsperson 3, Bilder unten (rot): Versuchsperson 2.

## 10.1.1.3 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät:

Betätigung eines Hebels am Schrägförderer eines Mähdreschers



Abb. 82 und Abb. 83: Hebel am Schrägförderer an einem Mähdrescher (John Deere T560). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 2.

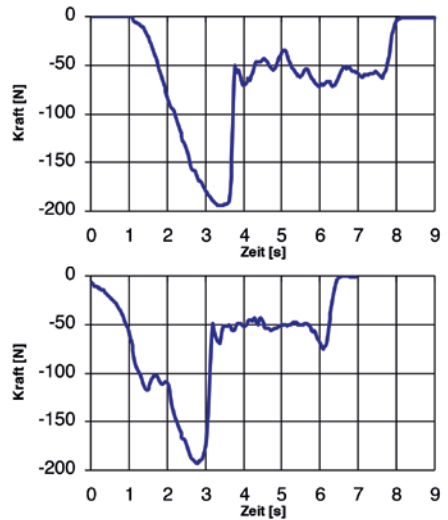


Abb. 84: Kraft-Zeit-Diagramme vom Betätigen eines Hebels am Schrägförderer, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 2. Die durchgeführten Messungen liefern gleichartige Ergebnisse.

Die Ergebnisse der hier betrachteten Messungen bei Betätigung von Hebeln an Landmaschinen sind in Tab. 11 zusammengefasst.

# Anhang 3

Tab. 11: Übersicht über die Kraftmessungen an Hebeln

Gegenstand	Messtechnik	Wiederholungen	$F_{max}$ [N] (mittel)	$F_{max}$ [N] (min)	$F_{max}$ [N] (max)
Korntanköffnung VP1	handgeh. Kraftmessg.	4	<b>468</b>	450	500
Korntanköffnung VP2	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>440</b>	430	450
Häckslerverstell. VP2	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>305</b>	300	310
Häckslerverstell. VP3	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>308</b>	300	320
Hebel am Schrägförderer VP2	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>194</b>	193	194

\* Hinweis: Die Tabelle zeigt nur Orientierungsmessungen. Das Ziel dieser Erhebungen war die Prüfung der Anwendbarkeit des Messverfahrens. Unterschiede zwischen verschiedenen Messungen am gleichen Gegenstand/Messobjekt können z.B. daran liegen, dass es keine definierte Endstellung der Bewegung gab. Die Prüfung der Wiederholbarkeit von Messungen erfolgte im Labor und ist im Abschnitt 5.3 beschrieben.

## 10.1.2 Schwenken von Klappen / Abdeckungen / Hauben / Bauteilen

### 10.1.2.1 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Öffnen einer Heckklappe



Abb. 85 und Abb. 86: Öffnen der Heckklappe an einem Mähdrescher (Claas Mega 350), Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 2.

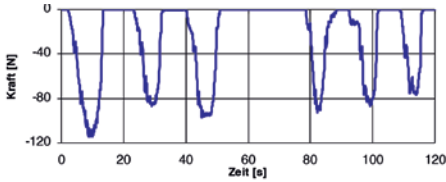


Abb. 87: Kraft-Zeit-Diagramm vom Öffnen der Heckklappe an einem Mährescher, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 2. Das jeweils erreichte Kraftmaximum hängt vom Öffnungswinkel der Heckklappe ab, nicht immer erreicht die Versuchsperson die gleiche Höhe beim Öffnen der Klappe.

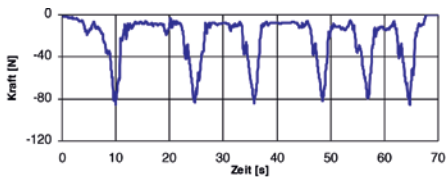


Abb. 88: Kraft-Zeit-Diagramm vom Öffnen der Heckklappe an einem Mährescher, Messung mit Handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 3. Der erreichbare Maximalwert der Kraft hängt vom Öffnungswinkel der Heckklappe und somit auch von der Körpergröße der Versuchsperson ab.

## 10.1.2.2 Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Seitenklappe einer Rundballenpresse



Abb. 89 und Abb. 90: Schließen der Seitenklappe an einer Rundballenpresse (Kuhn VB 2190), Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss über Zughaken an einer Metallverstrebung, Versuchsperson 3. Ab einem Ausstellwinkel von ca.  $30^\circ$  ist die Kraft der Gasdruckdämpfer überwunden und die Klappe fällt selbstständig in die Arretierung.

# Anhang 3

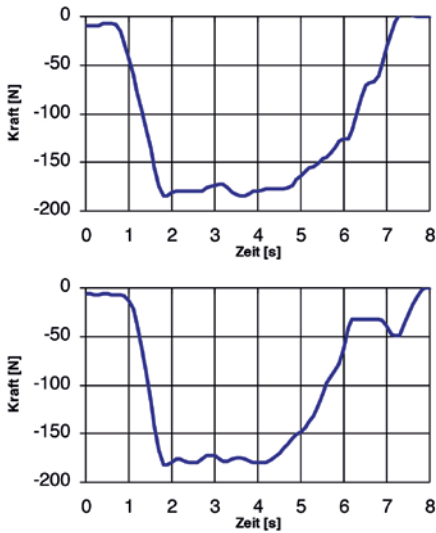


Abb. 91: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der Seitenklappe, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Versuchsperson 3. Die durchgeführten Messungen liefern bei den Wiederholungen gleichartige Ergebnisse.

## 10.1.2.3 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Seitenklappe (links) eines Mähdreschers



Abb. 92 und Abb. 93: Schließen der linken Seitenklappe an einem Mähdrescher (John Deere T560), Druckmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss über oberflächenschonende Kunststoffmatte, Versuchsperson 2.

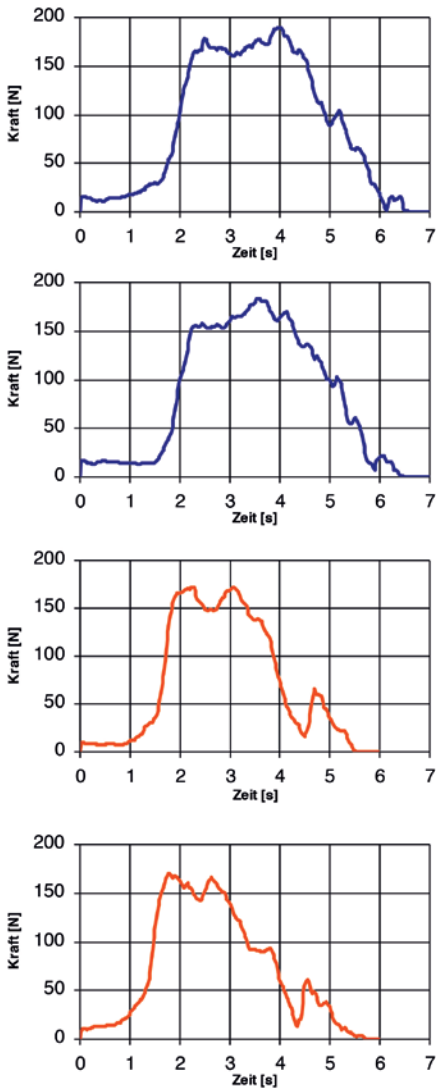


Abb. 94: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der linken Seitenklappe, Druckmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Die durchgeführten Messungen liefern auch bei unterschiedlichen Versuchspersonen gleichartige Ergebnisse. Bilder oben (blau): Versuchsperson 4, Bilder unten (rot): Versuchsperson 2.

# Anhang 3

## 10.1.2.4 Messung mit komplexem Verfahren: Schließen der Seitenklappe (links) eines Mähreschers



Abb. 95: Schließen der linken Seitenklappe an einem Mährescher (John Deere T560), Zugmessung mit komplexem Verfahren.

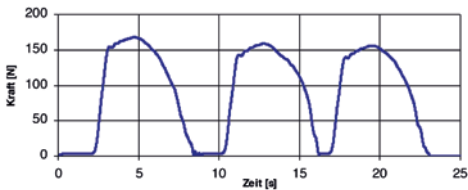


Abb. 96: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der linken Seitenklappe, Zugmessung mit komplexem Verfahren.

## 10.1.2.5 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Seitenklappe (rechts) eines Mähreschers



Abb. 97 und Abb. 98: Schließen der rechten Seitenklappe an einem Mährescher (John Deere T560), Druckmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss über oberflächenschonende Kunststoffmatte, Versuchsperson 4.

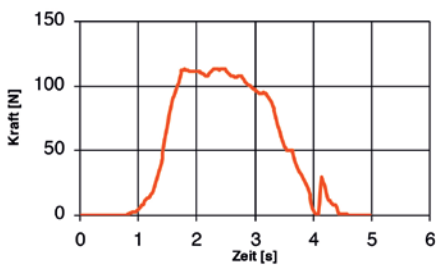
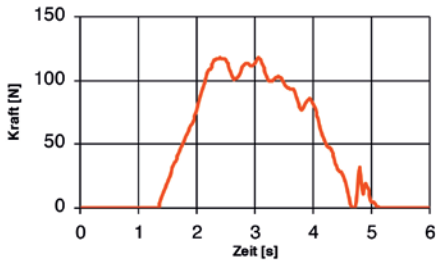
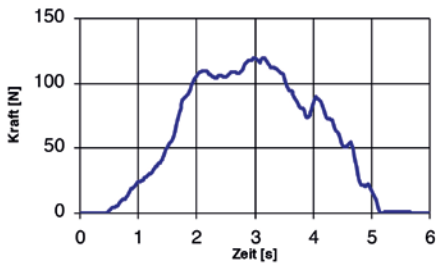
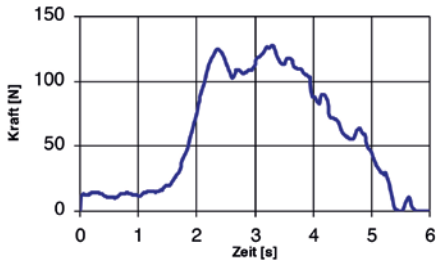


Abb. 99: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der rechten Seitenklappe, Druckmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Die durchgeführten Messungen liefern auch bei unterschiedlichen Versuchspersonen gleichartige Ergebnisse. (blau): Versuchsperson 4, (rot): Versuchsperson 2.



# Anhang 3

## 10.1.2.6 Messung mit komplexem Verfahren: Schließen der Seitenklappe (rechts) eines Mähdreschers



Abb. 100: Schließen der linken Seitenklappe an einem Mähdrescher (John Deere T560), Zugmessung mit komplexem Verfahren.

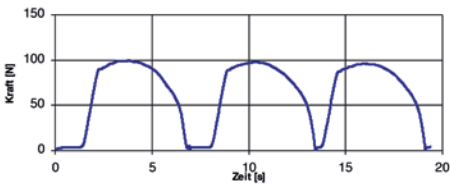


Abb. 101: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der rechten Seitenklappe, Zugmessung mit komplexem Verfahren.

## 10.1.2.7 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Anheben des Häckslers eines Mähdreschers per Hand



Abb. 102: Anheben des Häckslers an einem Mähdrescher (John Deere T560). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 2.



Abb. 103: Anheben des Häckslers an einem Mähdrescher (John Deere T560). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 2.

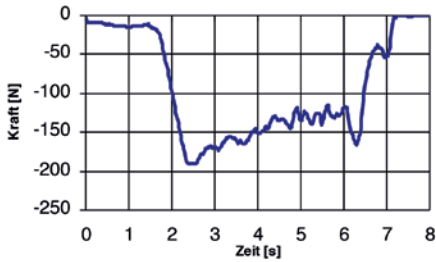
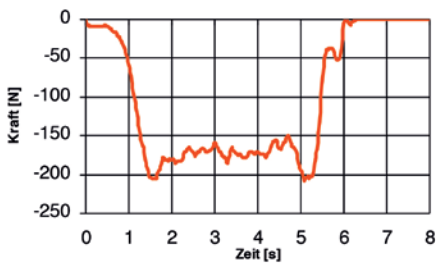
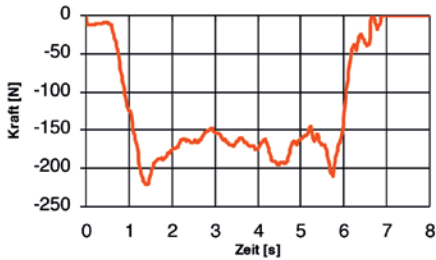
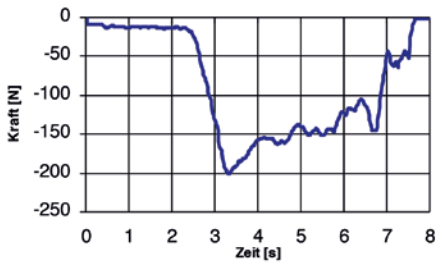


Abb. 104: Kraft-Zeit-Diagramme vom Anheben des Häckslers, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Blau: Versuchsperson 4, Rot: Versuchsperson 2.



# Anhang 3

## 10.1.2.8 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Abdeckung an einem Scheibenmäher



Abb. 105 und Abb. 106: Anheben und Schließen der Abdeckung an einem Scheibenmäher (Kuhn GMD 600 GII), Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 3. Die Abdeckplane ist zu Anschauungszwecken transparent ausgeführt.

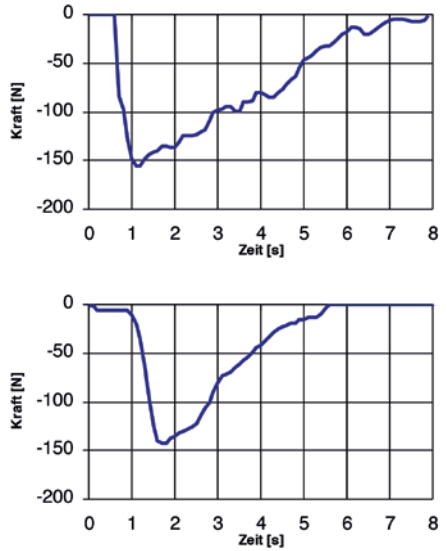


Abb. 107: Kraft-Zeit-Diagramme vom Anheben und Schließen der Abdeckung an einem Scheibenmäher, Versuchsperson 3. Die Maximalwerte der aufgewendeten Kräfte liegen bei 155 N und 143 N.

## 10.1.2.9 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine



Abb. 108 und Abb. 109: Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine (Lemken Saphir 7). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 3 (oben) und Versuchsperson 4 (unten).

# Anhang 3

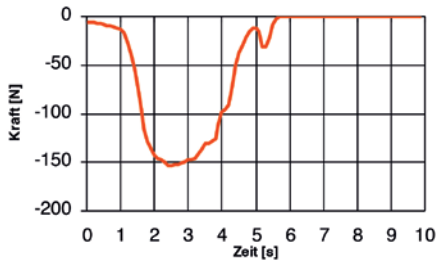
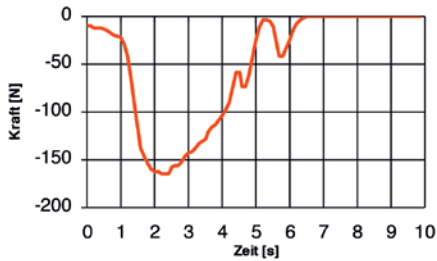
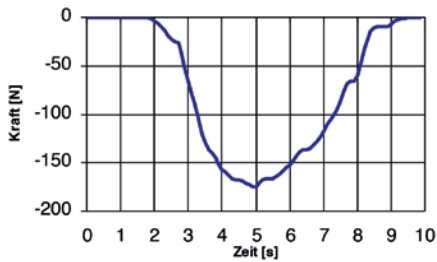
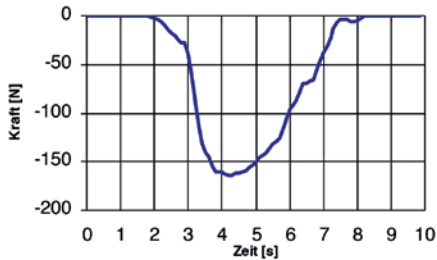


Abb. 110: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Bilder blau: Versuchsperson 3, Bilder rot: Versuchsperson 4. Versuchsperson 4 hat die Bewegung etwas schneller ausgeführt als Versuchsperson 3, der Maximalwert der Messungen liegt zwischen 155 N und 175 N.

10.1.2.10 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine (Kuhn)



Abb. 111: Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine (Kuhn Integra). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 5 (links) und Versuchsperson 3 (rechts).



Abb. 112: Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine (Kuhn Integra). Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraftschluss mit Schlauchschelle, Versuchsperson 5 (links) und Versuchsperson 3 (rechts).

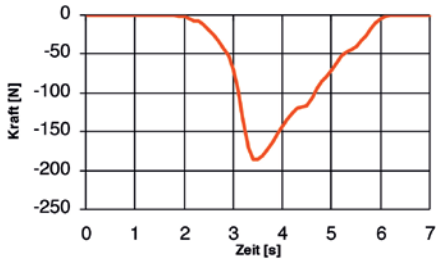
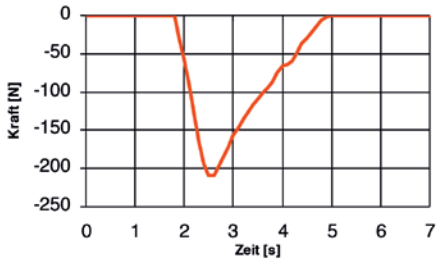
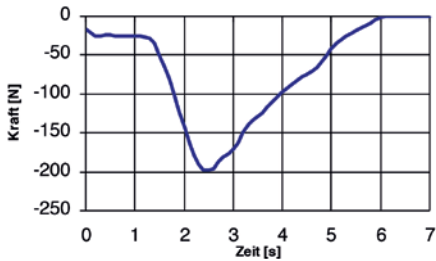
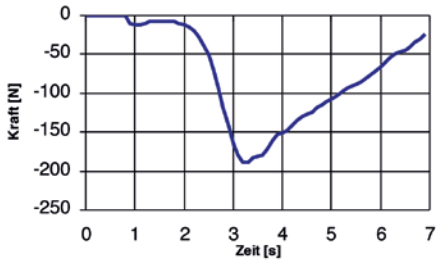


Abb. 113: Kraft-Zeit-Diagramme vom Schließen der Saatgutklappe an einer Drillmaschine, Zugmessung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Bilder blau: Versuchsperson 5, Bilder rot: Versuchsperson 3.

Die Ergebnisse der hier betrachteten Messungen zum Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen sind in Tab. 12 zusammengefasst.

Tab. 12: Übersicht über die Kraftmessungen an Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen\*.

<b>Gegenstand*</b>	<b>Mess- technik</b>	<b>Wieder- holungen</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (mittel)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (min)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (max)</b>
Heckklappe öffnen Mähdrescher VP2	handgeh. Kraftmessg.	12	<b>78</b>	67	85
Heckklappe öffnen Mähdrescher VP3	handgeh. Kraftmessg.	12	<b>103</b>	77	122
Seitenklappe schlie- ßen Rundballenpresse VP 3	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>183</b>	182	184
Seitenklappe Mähr. links schließen VP2	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>176</b>	170	185
Seitenklappe Mähr. links schließen VP4	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>187</b>	185	190
Seitenklappe Mähr. links schließen	Komplexes Verfahren	3	<b>161</b>	155	168
Seitenklappe Mähr. rechts schließen VP2	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>122</b>	113	138
Seitenklappe Mähr. rechts schließen VP4	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>120</b>	118	125
Seitenklappe Mähr. rechts schließen	Komplexes Verfahren	3	<b>97</b>	96	99
Häcksler anheben (John Deere T560) VP2	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>210</b>	200	220
Häcksler anheben (John Deere T560) VP4	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>202</b>	195	205
Abdeckung Scheiben- mäher schließen VP3	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>149</b>	143	155
Saatgutklappe schließen (Lemken) VP3	handgeh. Kraftmessg.	3	<b>170</b>	165	175



## Anhang 3

<b>Gegenstand*</b>	<b>Mess- technik</b>	<b>Wieder- holungen</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (mittel)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (min)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (max)</b>
Saatgutklappe schließen (Lemken) VP4	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>159</b>	153	165
Saatgutklappe schließen (Kuhn) VP3	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>193</b>	188	197
Saatgutklappe schließen (Kuhn) VP5	handgeh. Kraftmessg.	2	<b>197</b>	185	209

\* Hinweis: Die Tabelle zeigt nur Orientierungsmessungen. Das Ziel dieser Erhebungen war die Prüfung der Anwendbarkeit des Messverfahrens. Unterschiede zwischen verschiedenen Messungen am gleichen Gegenstand/Messobjekt können z.B. daran liegen, dass es keine definierte Endstellung der Bewegung gab. Die Prüfung der Wiederholbarkeit von Messungen erfolgte im Labor und ist im Abschnitt 5.3 beschrieben.

### 10.1.3 Betätigen von Aufstiegen / Leitern

#### 10.1.3.1 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Andrücken der Aufstiegsleiter eines Mähreschers



Abb. 114: Andrücken der Aufstiegsleiter zum Korntank in die Arretierung, Mährescher (Claas Mega 350), Versuchsperson 3.



Abb. 115: Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Fixierung des Kraft-Ansatzpunktes mit Magnet, Versuchsperson 2.

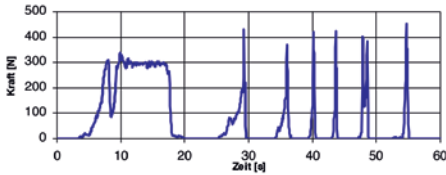


Abb. 116: Kraft-Zeit-Diagramm vom Andrücken der Aufstiegsleiter, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 3. Der erste Kurvenverlauf zeigt den Versuch, die Kraft langsam aufzubauen, erst mit ruckartiger Kraftausübung konnte die Leiter eingerastet werden.

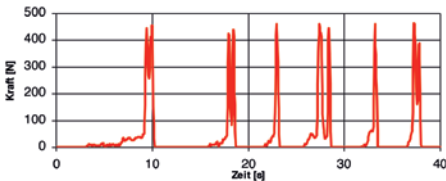


Abb. 117: Kraft-Zeit-Diagramm vom Andrücken der Aufstiegsleiter, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Versuchsperson 2. Deutlich erkennbar sind jeweils zwei Kraftspitzen, die erste Spitze zeigt die Überwindung des Einrastpunktes, die zweite Kraftspitze wird durch den Endanschlag der Leiter in der Arretierung verursacht.

## 10.1.3.2 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Abziehen der Aufstiegsleiter eines Mähdreschers



Abb. 118 und Abb. 119: Ziehen der Aufstiegsleiter zum Korntank aus der Arretierung, Mähdrescher (Claas Mega 350). Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Fixierung des Kraft-Ansetzpunktes mit Schlauchschelle, Versuchsperson 3.

# Anhang 3

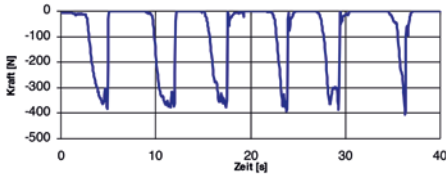


Abb. 120: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ziehen der Aufstiegsleiter aus der Arretierung, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, langsamer Kraftaufbau, Versuchsperson 2.

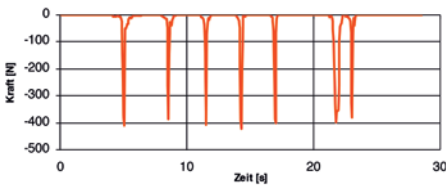


Abb. 121: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ziehen der Aufstiegsleiter aus der Arretierung. Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, ruckartiger Kraftaufbau, Versuchsperson 2.

10.1.3.3 Messung mit Messwertaufnehmer:  
Ziehen der Aufstiegsleiter zum Korn-  
tank aus der Arretierung, Mäh-  
drescher (Claas Mega 350).

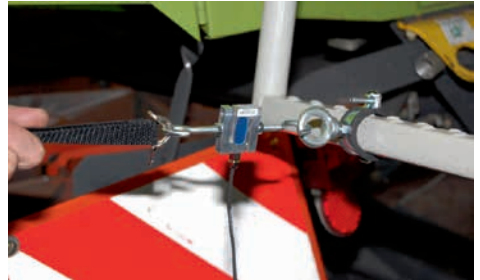


Abb. 122 und Abb. 123: Ziehen der Aufstiegsleiter zum Korntank aus der Arretierung, Mähdrescher (Claas Mega 350). Messung mit Messwertaufnehmer, Fixierung des Kraft-Ansetzpunktes mit Schlauchschelle, Versuchsperson 2 (links) Versuchsperson 3 (rechts).

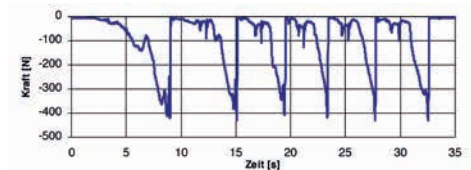


Abb. 124: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ziehen der Aufstiegsleiter aus der Arretierung, Messung mit Messwertaufnehmer, langsamer Kraftaufbau, Versuchsperson 3.

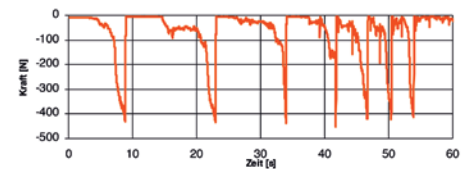


Abb. 125: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ziehen der Aufstiegsleiter aus der Arretierung, Messung mit Messwertaufnehmer, langsamer Kraftaufbau, Versuchsperson 2.

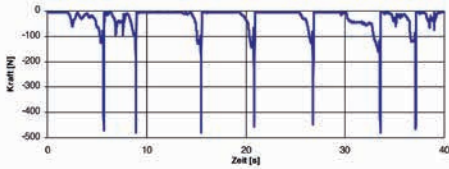


Abb. 126: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ziehen der Aufstiegsleiter aus der Arretierung, Messung mit Messwertaufnehmer, schneller Kraftaufbau, Versuchsperson 3.

10.1.3.4 Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät: Schwenken einer Aufstiegsleiter zum Führerstand



Abb. 127 und Abb. 128: Aufstieg zum Führerhaus aus- und eindreihen, Mähdrescher (Claas Mega 350). Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, Kraft-Ansatzpunkt mit Seil, Versuchsperson 2.

# Anhang 3

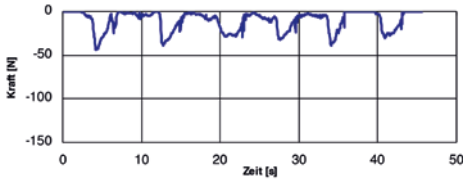


Abb. 129: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ausdrehen des Aufstiegs zum Führerhaus, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, langsame Bewegung, Versuchsperson 2. Kraftverlauf und Maximalwert sind stark von der Geschwindigkeit (Beschleunigung) der Bewegung abhängig, eine gleichartige langsame Bewegung ist für die Versuchsperson schwer einzuhalten.

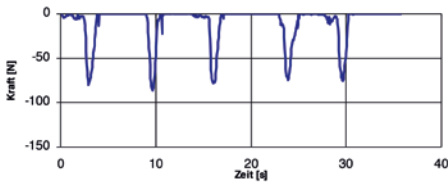


Abb. 130: Kraft-Zeit-Diagramm vom Ausdrehen des Aufstiegs zum Führerhaus, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, schnelle Bewegung, Versuchsperson 2. Im Vergleich zur langsamen Bewegung ist die aufgewendete Maximalkraft wegen der höheren Beschleunigung ca. doppelt so hoch.

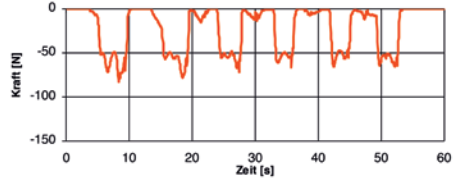


Abb. 131: Kraft-Zeit-Diagramm vom Eindrehen des Aufstiegs zum Führerhaus, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, langsame Bewegung, Versuchsperson 2. Kraftverlauf und Maximalwert sind stark von der Geschwindigkeit (Beschleunigung) der Bewegung abhängig, eine gleichartige langsame Bewegung ist für die Versuchsperson schwer einzuhalten.

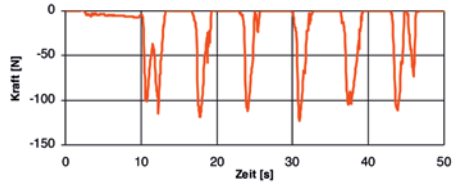


Abb. 132: Kraft-Zeit-Diagramm vom Eindrehen des Aufstiegs zum Führerhaus, Messung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, schnelle Bewegung, Versuchsperson 2. Im Vergleich zur langsamen Bewegung ist die aufgewendete Maximalkraft wegen der höheren Beschleunigung deutlich höher.

Die Ergebnisse der hier betrachteten Messungen beim Betätigen von Aufstiegen und Leitern sind in Tab. 13 zusammengefasst.

Tab. 13: Übersicht über die Kraftmessungen an Aufstiegen und Leitern\*.

<b>Gegenstand</b>	<b>Mess- technik</b>	<b>Wieder- holungen</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (mittel)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (min)</b>	<b>F<sub>max</sub> [N] (max)</b>
Andrücken Aufstiegsleiter VP3	handgeh. Kraftmessg.	6	413	370	450
Andrücken Aufstiegsleiter VP2	handgeh. Kraftmessg.	6	450	425	455
Ausziehen (langsam) Aufstiegsleiter VP2	handgeh. Kraftmessg.	6	384	375	400
Ausziehen (schnell) Aufstiegsleiter VP2	handgeh. Kraftmessg.	7	401	388	420
Ausziehen (langsam) Aufstiegsleiter VP3	handgeh. Kraftmessg.	6	415	400	430
Ausziehen (schnell) Aufstiegsleiter VP3	handgeh. Kraftmessg.	6	418	380	440
Ausziehen (langsam) Aufstiegsleiter VP2	Zugsensor (manuell)	7	429	415	450
Ausziehen (langsam) Aufstiegsleiter VP3	Zugsensor (manuell)	6	425	410	430
Ausziehen (schnell) Aufstiegsleiter VP2	Zugsensor (manuell)	6	467	420	500
Ausziehen (schnell) Aufstiegsleiter VP3	Zugsensor (manuell)	7	470	450	480
Aufstiegsleiter (langsam) ausdrehen	handgeh. Kraftmessg.	6	35	29	45
Aufstiegsleiter (schnell) ausdrehen	handgeh. Kraftmessg.	5	78	75	80
Aufstiegsleiter (langsam) eindrehen	handgeh. Kraftmessg.	6	71	65	82
Aufstiegsleiter (schnell) eindrehen	handgeh. Kraftmessg.	6	113	105	122

\* Hinweis: Die Tabelle zeigt nur Orientierungsmessungen. Das Ziel dieser Erhebungen war die Prüfung der Anwendbarkeit des Messverfahrens. Unterschiede zwischen verschiedenen Messungen am gleichen Gegenstand/Messobjekt können z.B. daran liegen, dass es keine definierte Endstellung der Bewegung gab. Die Prüfung der Wiederholbarkeit von Messungen erfolgte im Labor und ist im Abschnitt 5.3 beschrieben.

## Anhang 4: Erprobung von Betätigungsfällen im Labor

Darstellungen der Laborversuche an landmaschinenähnlichen Krafftällen in Ergänzung zu Abschnitt 5.3.

### 10.1.4 Betätigen von Hebeln

Zur Betätigung von Hebeln wurde am Kraftmessstand ein typischer Hebel verbaut und der Betätigungswiderstand mit drei unterschiedlichen Gasdruckfedern simuliert. Betätigt wurden die Hebel jeweils 5 Mal, jeweils schnell und langsam mit einer Winde (Abb. 133) und per Hand (Abb. 134).



Abb. 133: Betätigung eines Hebels. Messstand mit Winde (automatische Geschwindigkeit, Zugsensor und Winkelmessung).



Abb. 134: Betätigung eines Hebels. Versuchsperson 5 mit handgehaltenem Kraftmessgerät. Das Messgerät wird im 90 ° Winkel zum Hebel geführt.



In den folgenden Abbildungen (Abb. 135 bis Abb. 137) sind jeweils Kraft-Zeit-Verläufe dargestellt. In den oberen Grafiken wird die Bewegung automatisiert, in den unteren Grafiken manuell durch 2 Versuchspersonen durchgeführt.

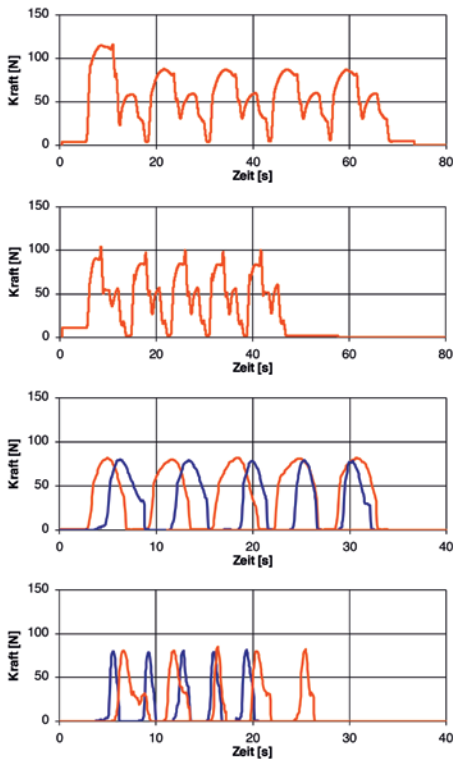


Abb. 135: Betätigung eines Hebels, Widerstand: Gasdruckfeder 2, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abbildungen) und schnell (zweite und vierte Abbildungen). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abbildungen) und manuelle Betäti-

gung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abbildungen).

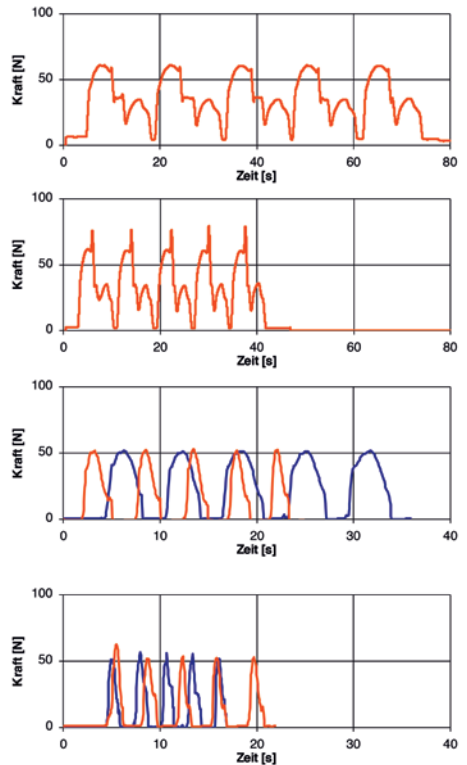


Abb. 136: Betätigung eines Hebels, Widerstand: Gasdruckfeder 1, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abbildungen) und schnell (zweite und vierte Abbildungen). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abbildungen) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abbildungen).



# Anhang 4

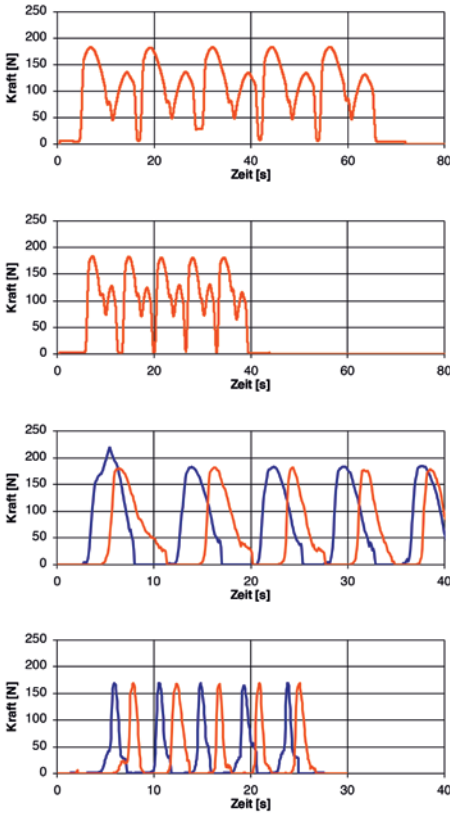


Abb. 137: Betätigung eines Hebels, Widerstand: Gasdruckfeder 7, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abbildungen) und schnell (zweite und vierte Abbildungen). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abbildungen) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abbildungen).

Hinweis: Die nach unten und nach oben einfallenden „Peaks“ in den Kraft-Zeit-Diagrammen mit automatisierter Bewegung können vernachlässigt werden. Diese sind technisch bedingt durch das Anhalten/Anfahren der Winde und haben keine Bedeutung für den erforderlichen Kraftaufwand.

## 10.1.5 Schwenken von Klappen / Abdeckungen / Hauben / Bauteilen

Zum Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und Bauteilen wurde am Kraftmessstand eine Klappe montiert, mit der sich sowohl typische Seitenklappen von beispielsweise Mähdreschern wie auch Häckslern simulieren lassen.

### 10.1.5.1 Schließen einer Klappe

Gegen den Widerstand von 7 verschiedenen Gasdruckfedern (Abb. 138) wurde die Klappe jeweils 5 Mal, jeweils schnell und langsam geschlossen

- mit einer Winde (automatisierte Geschwindigkeit) (Abb. 139) und
- per Hand mit elektron. handgehaltenem Kraftmessgerät von zwei Versuchspersonen (Abb. 140 und Abb. 141)

Die eingesetzten Gasdruckfedern (vgl. Abb. 138) wurden herstellereitig mit folgenden Kennwerten angegeben (Gegenkraft in aufgefahrener Stellung):

- Gasdruckfeder 1: 150 N, Federlänge: 460 mm
- Gasdruckfeder 2: 250 N, Federlänge: 460 mm

- Gasdruckfeder 3: 350 N, Federlänge: 560 mm
- Gasdruckfeder 4: 650 N, Federlänge: 560 mm
- Gasdruckfeder 5: 850 N, Federlänge: 560 mm
- Gasdruckfeder 6: 350 N, Federlänge: 860 mm
- Gasdruckfeder 7: 650 N, Federlänge: 860 mm



Abb. 138: Für die Laborversuche eingesetzte Gasdruckfedern mit unterschiedlichen Längen und Drücken.



Abb. 139: Schließen einer Klappe. Messstand mit Winde (autom. Geschwindigkeit, Zugsensor und Winkelmessung sowie eingebauter Gasdruckfeder).

## Anhang 4



Abb. 140: Schließen einer Klappe. Versuchsperson 2 mit handgehaltenem Kraftmessgerät.



Abb. 141: Schließen einer Klappe. Versuchsperson 5 mit handgehaltenem Kraftmessgerät.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 142 bis Abb. 147) sind jeweils bis zu vier Kraft-Zeit-Verläufe dargestellt. In den jeweils oberen Grafiken wird die Bewegung mit einer Winde durchgeführt. Hierbei wurden parallel zur Kraftmessung auch Winkelmessungen durchgeführt, weil bei der automatisierten Bewegung durch die Winde ein konstanter 90-Grad-Winkel zum Messobjekt nicht eingehalten werden kann. Daher wurde bei der automatisierten Messung der Winkel zwischen Messsensor und Messobjekt berechnet und später korrigiert. Die in den Abbildungen dargestellten Kraftwerte sind die bereits korrigierten Kraftwerte. Die jeweils unteren Kraft-Zeit-Verläufe zeigen die manuelle Betätigung mit einem handgehaltenen Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen. Teilweise waren die Schließbewegungen hierbei nur in einer mittleren Geschwindigkeit ausführbar. Dies liegt daran, dass hier – obwohl die Kraft in der Spitze „nur“ rund 300 N sind – die Klappe nicht direkt gehalten wird, sondern die Kraftübertragung auf das Stellteil über das handgehaltene Kraftmessgerät erfolgt und sehr unergonomische Hand-Arm-Stellungen erforderlich waren.

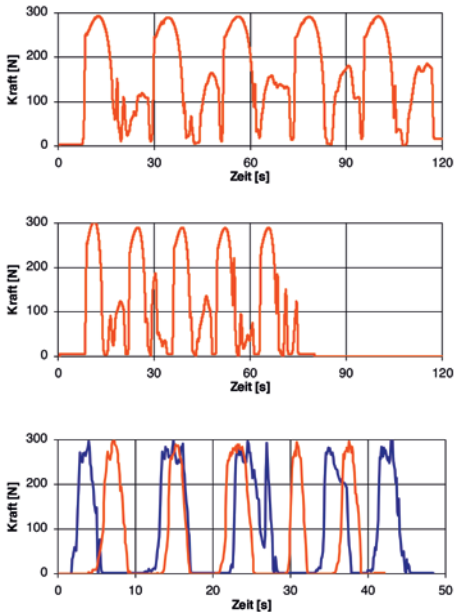


Abb. 142: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 7, langer Hebel, jeweils 5 Mal, langsam (erste Abb.) und schnell (zweite Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.). Manuell waren die Schließbewegungen nur in einer mittleren Geschwindigkeit ausführbar.

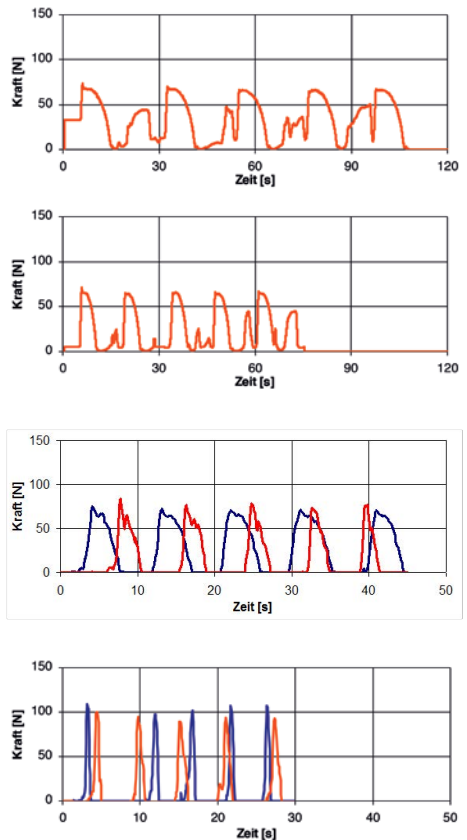


Abb. 143: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 7, kurzer Hebel, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.).

# Anhang 4

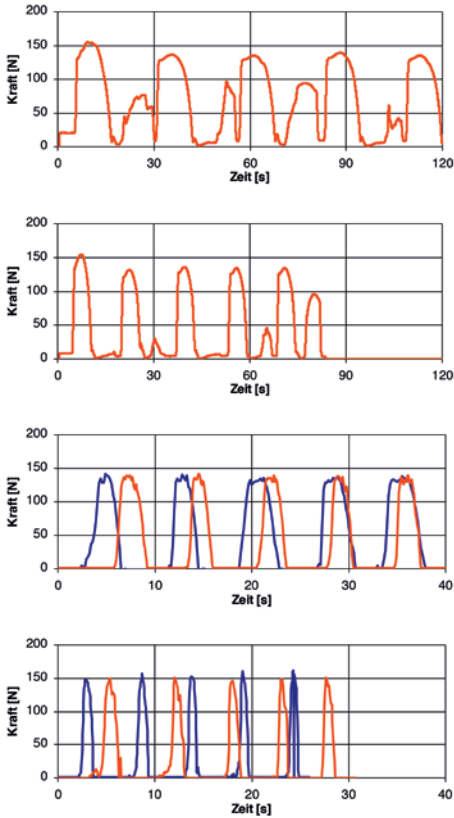


Abb. 144: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 5, kurzer Hebel, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.).

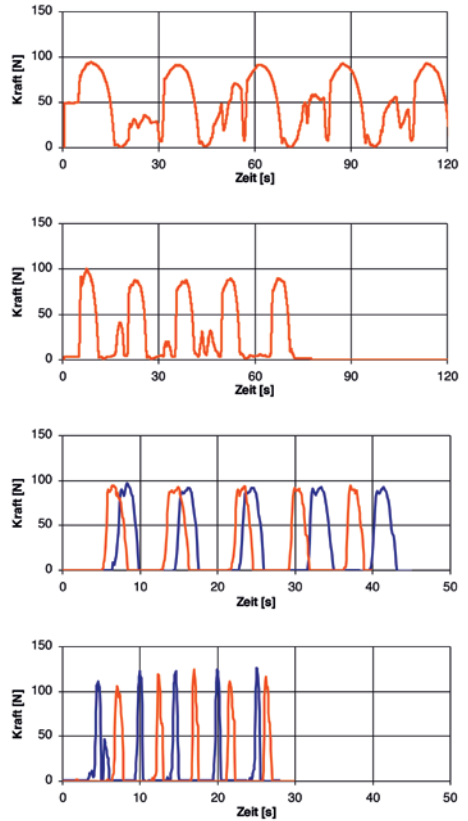


Abb. 145: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 4, kurzer Hebel, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.).

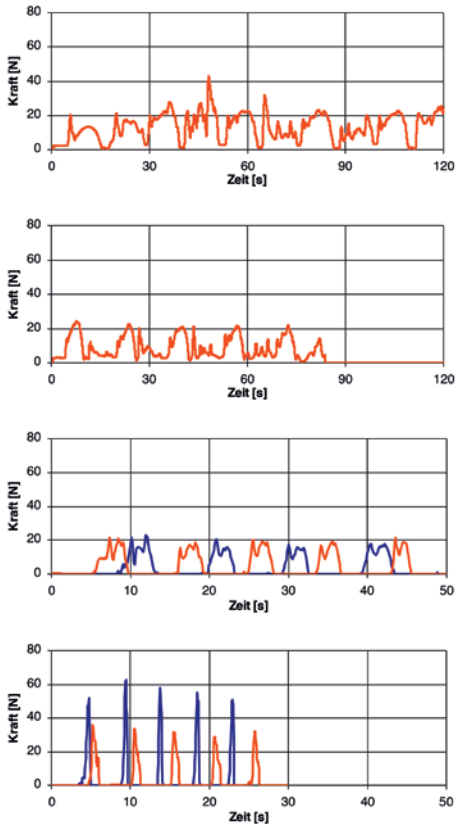


Abb. 146: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 3, kurzer Hebel, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.).

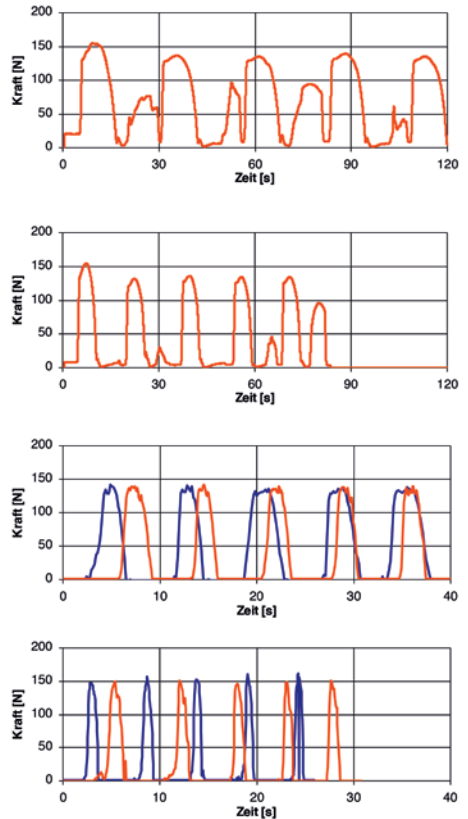


Abb. 147: Schließen einer Klappe, Widerstand: Gasdruckfeder 6, kurzer Hebel, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen (untere Abb.).

## Anhang 4

### 10.1.52 Anheben und Absenken eines Häckslers

Am Kraftmessstand wurde der Häcksler eines Mähreschers simuliert. Hierzu wurde die Klappe aus den oben beschriebenen Versuchen in tieferer Einbaustellung verbaut und mit Gewichten beladen, so dass das anzuhebende Gesamtgewicht bei 20 kg, 30 kg, 35 kg bzw. 45 kg lag.

Angehoben wurde der Häcksler aus einer Position von 70 ° auf bis zu 160 ° Neigung, jeweils 5 Mal, jeweils schnell und langsam

- mit einer Winde (automatisierte Geschwindigkeit) (vgl. Abb. 148) und
- per Hand mit elektron. handgehaltenem Kraftmessgerät von zwei Versuchspersonen (vgl. Abb. 149).



Abb. 148: Anheben und Absenken eines Häckslers.  
Messstand mit Winde.



Abb. 149: Anheben und Absenken eines Häckslers.  
Versuchsperson 5 mit handgehaltenem Kraftmessgerät.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 150 bis Abb. 153) sind jeweils bis zu vier Kraft-Zeit-Verläufe dargestellt. In den jeweils oberen Grafiken wird die Bewegung mit einer Winde durchgeführt. Abgebildet sind die Kraftverläufe und die Winkelmessungen. Die Winkelmessungen sind erforderlich, weil bei der automatisierten Bewegung durch die Winde ein konstanter  $90^\circ$  Winkel zum Messobjekt nicht eingehalten werden kann. Daher wird bei der automatisierten Messung der Winkel zwischen Messsensor und Messobjekt berechnet und später korrigiert. Die in den Abbildungen dargestellten Kraftwerte sind die bereits korrigierten Kraftwerte.

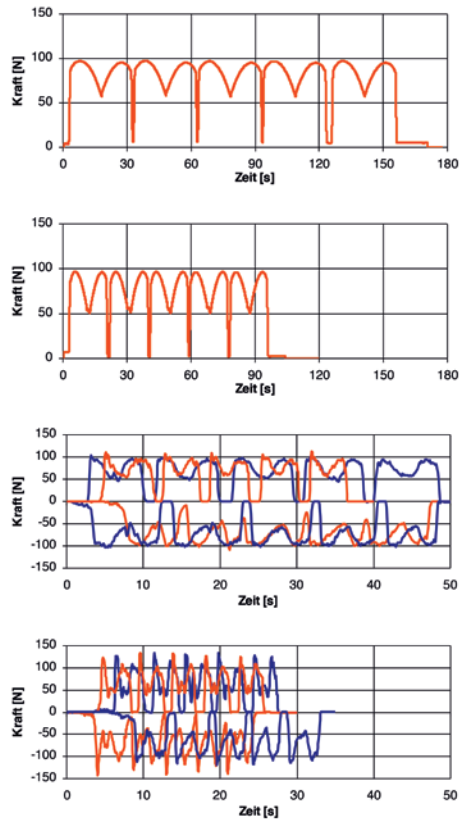


Abb. 150: Anheben und Absenken des Häckslers, Gewicht: 20 kg, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste und dritte Abb.) und schnell (zweite und vierte Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen, jeweils mit Messgerät drückend und ziehend (untere Abb.).



# Anhang 4

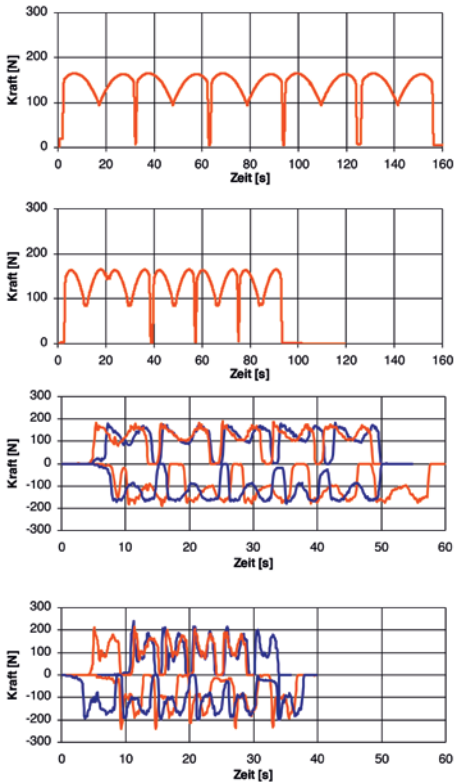


Abb. 151: Anheben und Absenken des Häckslers, Gewicht: 30 kg, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste Abb.) und schnell (zweite Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen, jeweils mit Messgerät drückend und ziehend (untere Abb.).

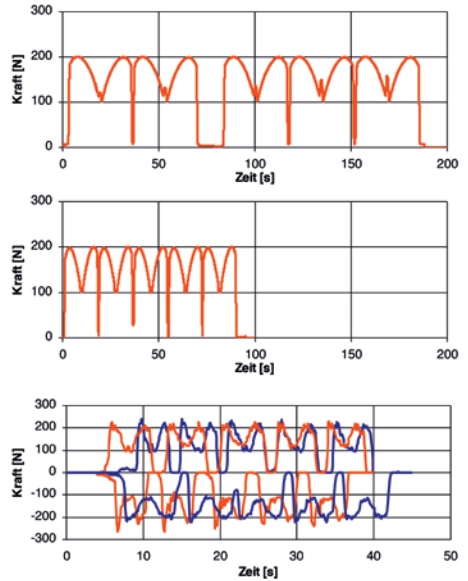


Abb. 152: Anheben und Absenken des Häckslers, Gewicht: 35 kg, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste Abb.) und schnell (zweite Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen, jeweils mit Messgerät drückend und ziehend (untere Abb.). Die Bewegungen waren nur in einer Geschwindigkeit ausführbar.

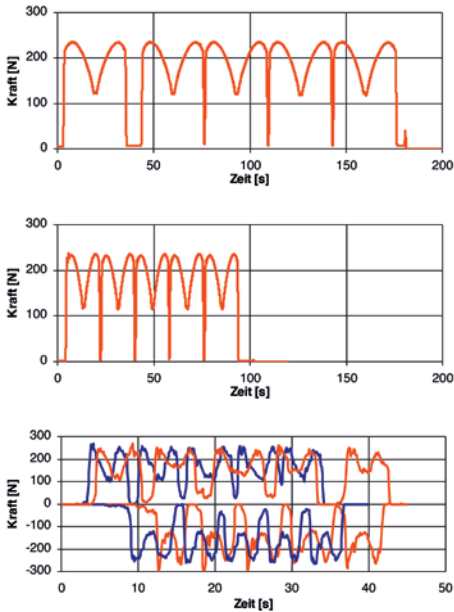


Abb. 153: Anheben und Absenken des Häckslers, Gewicht: 45 kg, jeweils 5 Mal, jeweils langsam (erste Abb.) und schnell (zweite Abb.). Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit mit Winkelmessungen, obere Abb.) und manuelle Betätigung mit handgehaltenem Kraftmessgerät, jeweils mit 2 Versuchspersonen, jeweils mit Messgerät drückend und ziehend (untere Abb.). Die Bewegungen waren nur mit einer Geschwindigkeit ausführbar.

### 10.1.6 Betätigen von Aufstiegen / Leitern

In diesem Abschnitt wird das Arretieren und Lösen von Klappleitern betrachtet. Klappleitern finden sich sehr häufig an Mähdreschern als Aufstieg zum Korntank und Dach des Mähdreschers. Die Versuche wurden mit zwei Versuchspersonen mit handgehaltenem Kraftmessgerät (Abb. 155) sowie mit einer Winde (nur Lösen der Leiter) durchgeführt (Abb. 154). Da in der Praxis derartige Bewegungen üblicherweise ruckartig erfolgen, wurde auf eine langsame Versuchsdurchführung verzichtet.



Abb. 154: Lösen einer arretierten Leiter. Messstand mit Winde.

## Anhang 4



Abb. 155: Lösen einer arretierten Leiter. Versuchsperson 5 mit handgehaltenem Kraftmessgerät.

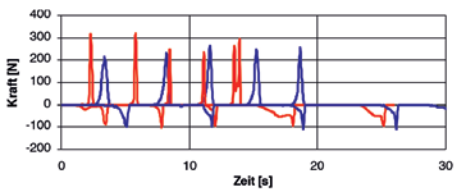


Abb. 156: Arretieren (positive Werte) und Lösen (negative Werte) einer Leiter. Jeweils 5 Wiederholungen durch 2 Versuchspersonen mit handgeh. Kraftmessgerät.

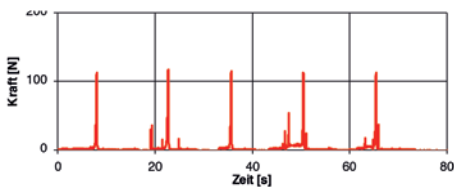


Abb. 157: Lösen einer arretierten Leiter. Durchführung von 5 Wiederholungen. Bewegung mit einer Winde (automat. Geschwindigkeit).

**Anhang 5:  
Ergebnisse der Kraftmessungen**

<p>Pos: X=1 Y=1</p>		<p>Pos: X=1 Y=2</p>	
<p>Pos: X=2 Y=1</p>		<p>Pos: X=2 Y=2</p>	<p>Pos: X=2 Y=3</p>
<p>Pos: X=3 Y=1</p>		<p>Pos: X=3 Y=2</p>	<p>Pos: X=3 Y=3</p>

# Anhang 5

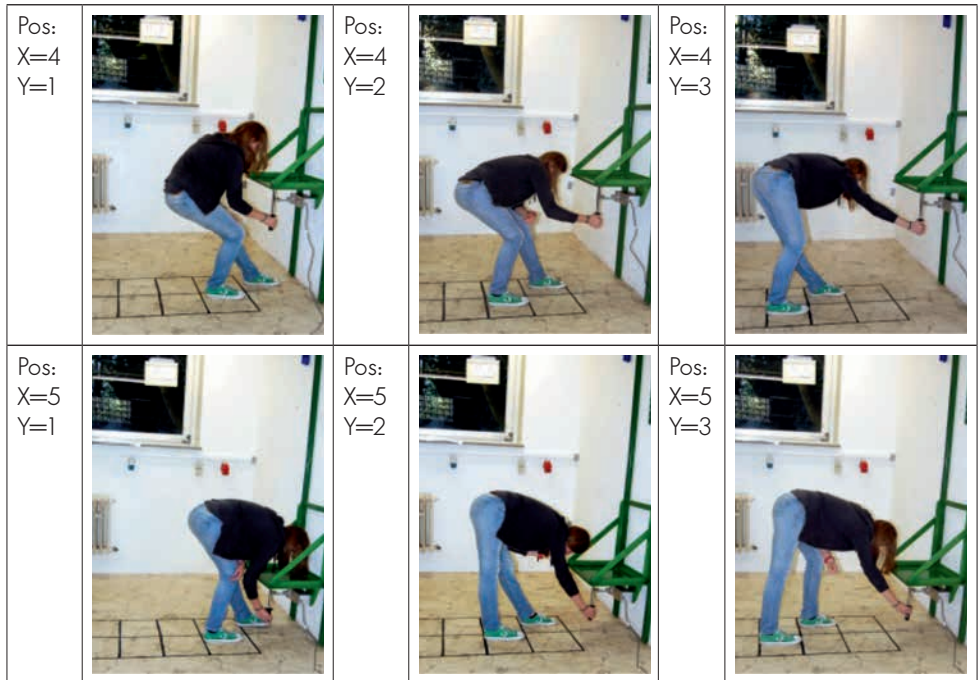



Abb. 158: Darstellung der 15 Körperpositionen am Beispiel Hebel zum Körper hin ziehen (Kraftrichtung B+).

<p>Pos: X=1 Y=1</p>		<p>Pos: X=1 Y=2</p>		<p>Pos: X=1 Y=3</p>	
<p>Pos: X=2 Y=1</p>		<p>Pos: X=2 Y=2</p>		<p>Pos: X=2 Y=3</p>	
<p>Pos: X=3 Y=1</p>		<p>Pos: X=3 Y=2</p>		<p>Pos: X=3 Y=3</p>	

# Anhang 5

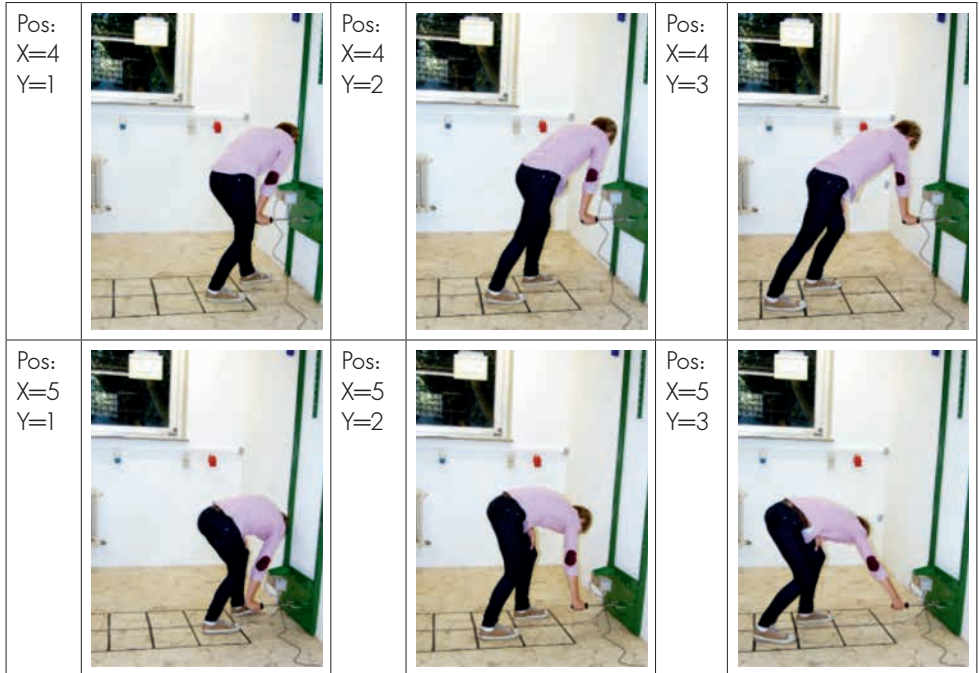


Abb. 159: Darstellung der 15 Körperpositionen am Beispiel Hebel nach oben/unten ziehen/drücken (Kraftrichtung A+ bzw. A-).



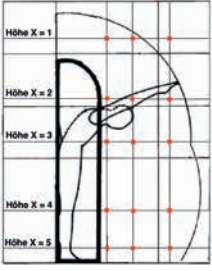
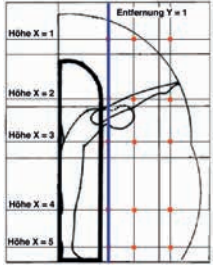
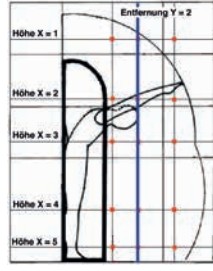
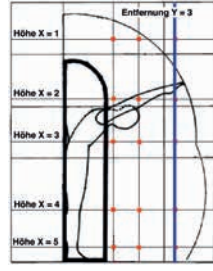
## 10.1.6.1 Hebel zum Körper hin ziehen (Krafrichtung B+)

Tab. 14: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Krafftfall: Hebel zum Körper hin ziehen (Krafrichtung B+), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%). Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Krafftfall.

Männer		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
		Entfernung Y = 1			Entfernung Y = 2			Entfernung Y = 3		
F <sub>max</sub> = 520 N		Y = 1: 50 cm			Y = 2: 80 cm			Y = 3: 110 cm		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	215	234	44	45	231	36	44	184	38	35
2	158	353	80	68	328	67	63	296	51	57
3	120	409	103	79	405	85	78	348	74	67
4	50	506	85	97	520	64	100	441	84	85
5	15	428	71	82	470	63	90	349	74	67



# Anhang 5

Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
										
<b>F<sub>max</sub> = 303 N</b>		<b>Y = 1: 46 cm</b>			<b>Y = 2: 73 cm</b>			<b>Y = 3: 101 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	99	21	33	95	19	31	66	17,5	22
2	145	168	41	55	159	26	52	137	37	45
3	110	209	37	69	213	32	70	170	37	56
4	46	294	67	97	303	77	100	223	50	73
5	14	220	50	72	220	66	72	196	59	65

## 10.1.6.2 Hebel vom Körper weg Richtung Maschine drücken (Kraftrichtung B-)

Tab. 15: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Kraftfall:  
 Hebel vom Körper weg Richtung Maschine drücken (Kraftrichtung B-), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Kraftrichtung (%).  
 Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Kraftfall.

<b>Männer</b>		<b>Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel</b>								
<b>F<sub>max</sub> = 415 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Höhe X [cm]</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>	<b>%</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>	<b>%</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>215</b>	194	43	47	225	39	54	239	40	58
<b>2</b>	<b>158</b>	268	27	64	330	73	80	410	70	99
<b>3</b>	<b>120</b>	415	61	100	404	71	97	413	109	100
<b>4</b>	<b>50</b>	358	78	86	378	117	91	330	62	79
<b>5</b>	<b>15</b>	220	30	53	294	50	71	300	98	72

# Anhang 5

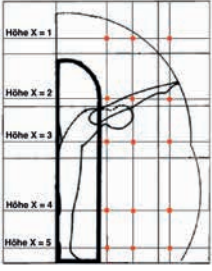
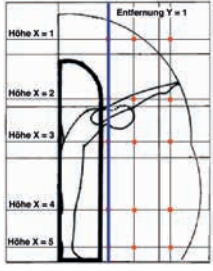
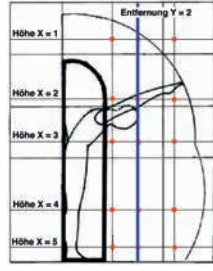
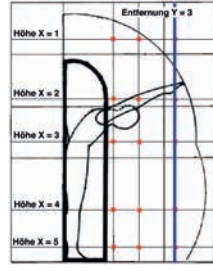
Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
<b>F<sub>max</sub> = 249 N</b>		<b>Y = 1: 46 cm</b>			<b>Y = 2: 73 cm</b>			<b>Y = 3: 101 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	89	25	36	109	20	44	126	36	51
2	145	123	33	49	167	47	67	223	57	89
3	110	219	72	88	220	64	88	216	33	87
4	46	249	81	100	204	92	82	205	91	82
5	14	128	47	51	153	57	61	154	45	62

### 10.1.6.3 Hebel zur Seite Richtung Handinnenfläche drücken (Krafrichtung C+)

Tab. 16: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Krafftall: Hebel zur Seite Richtung Handinnenfläche drücken (Krafrichtung C+), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%). Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Krafftall.

Männer		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
		Entfernung Y = 1			Entfernung Y = 2			Entfernung Y = 3		
$F_{max} = 287 \text{ N}$		Y = 1: 50 cm			Y = 2: 80 cm			Y = 3: 110 cm		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	215	125	18	44	117	21	41	89	13	31
2	158	231	31	80	197	29	69	144	23	50
3	120	287	48	100	241	45	84	170	25	59
4	50	167	27	93	208	61	73	165	27	57
5	15	174	34	61	174	27	61	115	23	40

# Anhang 5

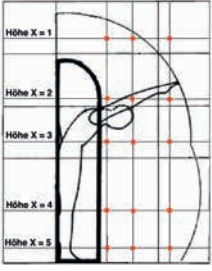
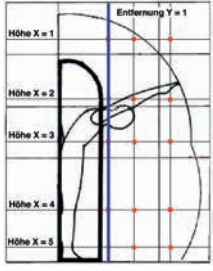
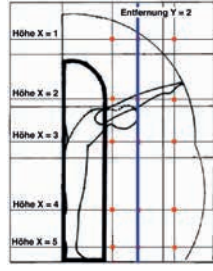
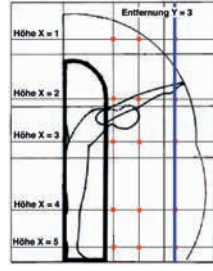
Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
										
<b>F<sub>max</sub> = 179 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	67	18	37	63	17	35	42	9	23
2	145	105	24	59	86	21	48	65	15	36
3	110	162	43	90	125	34	70	76	13	42
4	46	179	89	100	124	30	69	95	35	53
5	14	136	52	76	109	58	61	85	41	47

### 10.1.6.4 Hebel zur Seite Richtung Handaußenfläche ziehen (Krafrichtung C-)

Tab. 17: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Kraftfall:  
Hebel zur Seite Richtung Handaußenfläche ziehen (Krafrichtung C-), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%).  
Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Kraftfall.

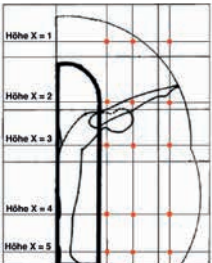
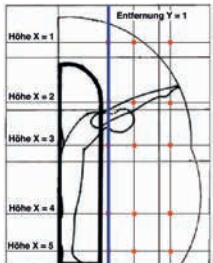
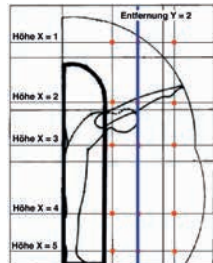
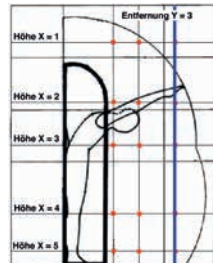
Männer		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
		Entfernung Y = 1			Entfernung Y = 2			Entfernung Y = 3		
$F_{max} = 283 \text{ N}$		Y = 1: 50 cm			Y = 2: 80 cm			Y = 3: 110 cm		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	215	142	25	50	126	26	44	85	12	30
2	158	266	35	94	217	23	77	157	23	56
3	120	283	63	100	231	52	82	152	35	54
4	50	275	37	97	218	30	77	144	29	51
5	15	257	73	91	171	45	61	118	40	42

# Anhang 5

Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
										
<b>F<sub>max</sub> = 192 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	60	16	31	56	13	29	39	7	20
2	145	134	31	69	107	22	55	70	11	36
3	110	193	38	100	135	26	70	77	13	40
4	46	185	74	96	171	55	89	119	27	62
5	14	163	81	85	138	79	71	109	54	57

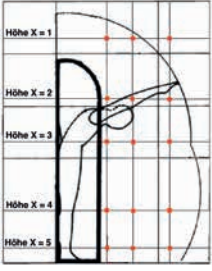
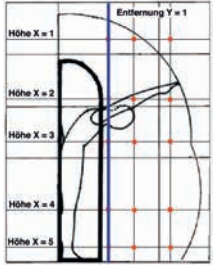
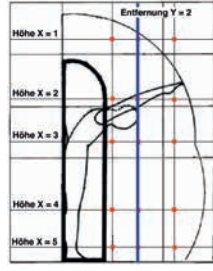
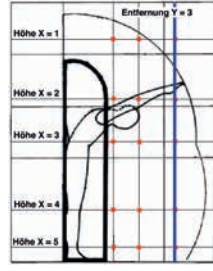
10.1.6.5 Hebel nach oben drücken/ziehen  
(Krafrichtung A+)

Tab. 18: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Krafftfall:  
Hebel nach oben drücken/ziehen (Krafrichtung A+), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%).  
Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Krafftfall.

<b>Männer</b>		<b>Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel</b>								
										
<b>F<sub>max</sub> = 736 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
<b>1</b>	<b>215</b>	728	228	99	679	191	92	628	203	85
<b>2</b>	<b>158</b>	655	156	89	575	143	78	262	30	36
<b>3</b>	<b>120</b>	590	147	80	494	109	67	298	104	40
<b>4</b>	<b>50</b>	589	147	94	410	60	56	258	49	35
<b>5</b>	<b>15</b>	736	98	100	511	117	69	238	39	32



# Anhang 5

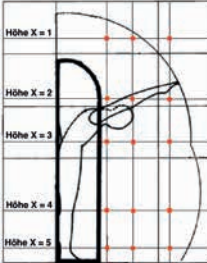
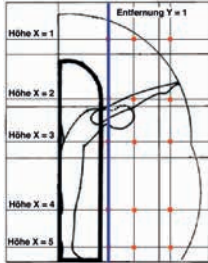
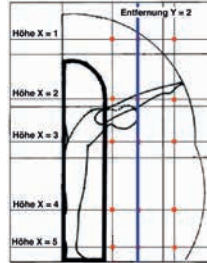
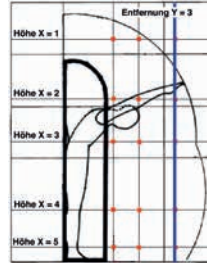
Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
										
<b>F<sub>max</sub> = 363 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	359	146	99	363	151	100	321	104	88
2	145	281	70	77	291	100	80	124	59	34
3	110	222	63	61	220	87	60	123	75	34
4	46	334	92	92	255	45	70	119	23	33
5	14	346	96	95	310	85	85	268	102	74

10.1.6.6 Hebel nach unten drücken/ziehen  
(Krafrichtung A-)

Tab. 19: Maximalkraftwerte der Männer und Frauen für den Krafftfall:  
Hebel nach unten drücken/ziehen (Krafrichtung A-), einhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%).  
Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Krafftfall.




Männer		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
		Entfernung Y = 1			Entfernung Y = 2			Entfernung Y = 3		
		Y = 1: 50 cm			Y = 2: 80 cm			Y = 3: 110 cm		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	215	586	83	88	531	112	79	480	106	72
2	158	525	92	79	532	80	80	455	83	68
3	120	573	172	86	533	158	80	475	138	71
4	50	669	97	100	589	82	88	505	66	76
5	15	607	115	91	599	109	90	584	105	87

# Anhang 5

Frauen		Horizontale Entfernung Y vom hinteren Fußrücken zum Hebel								
										
<b>F<sub>max</sub> = 387 N</b>		<b>Y = 1: 50 cm</b>			<b>Y = 2: 80 cm</b>			<b>Y = 3: 110 cm</b>		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%	Kraft [N]	SD [N]	%
1	197	291	48	75	280	54	72	260	49	67
2	145	300	44	77	301	33	78	269	74	69
3	110	269	49	69	238	61	61	218	65	56
4	46	388	76	100	382	90	98	374	68	97
5	14	363	80	94	349	78	90	343	54	89

10.1.7 Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und sonstigen Bauteilen

Tab. 20: Maximalkräfte der Männer und Frauen an schwenkbaren Bauteilen in unterschiedlichen Einbaustellungen, beidhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%). Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Kraftfall.




		<b>Klappenstellung und -höhe</b>								
<b>F<sub>max</sub> = 1.241 N Männer</b>										
<b>F<sub>max</sub> = 585 N Frauen</b>										
<b>Männer</b>		<b>Winkel: 90°</b>			<b>Winkel: 45°</b>			<b>Winkel: 0°</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Richtung</b>	<b>Höhe [cm]</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>	<b>Höhe [cm]</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>	<b>Höhe [cm]</b>	<b>Kraft [N]</b>	<b>SD [N]</b>
<b>1</b>	<b>öffnen</b>	215	1.007	191	161	648	271	158	362	315
	<b>schließen</b>		887	70		380	272		569	331
<b>2</b>	<b>öffnen</b>	192	646	95	138	468	124	120	499	176
	<b>schließen</b>		858	129		341	141		600	104
<b>3</b>	<b>öffnen</b>	122	691	73	79	1.241	177	50	714	188
	<b>schließen</b>		703	54		561	117		500	167

# Anhang 5

Frauen		Winkel: 90°			Winkel: 45°			Winkel: 0°		
Nr.	Richtung	Höhe [cm]	Kraft [N]	SD [N]	Höhe [cm]	Kraft [N]	SD [N]	Höhe [cm]	Kraft [N]	SD [N]
1	öffnen	196	585	73	142	374	58	145	173	9
	schließen		504	13		246	24		248	29
2	öffnen	175	350	26	121	295	55	110	234	11
	schließen		444	15		163	15		281	16
3	öffnen	111	288	35	68	572	57	46	308	31
	schließen		330	31		314	13		243	21

## 10.1.8 Betätigen von Aufstiegen und Leitern

Tab. 21: Maximalkräfte der Männer und Frauen beim Andrücken und Abziehen von Leitern, Maximalkräfte der Männer, beidhändige Bedienung. Angegeben sind die gemittelte Maximalkraft (Kraft) über jeweils 12 Messungen, die Standardabweichung (SD) und die prozentuale Abweichung zum höchsten gemessenen Wert in dieser Krafrichtung (%). Weiterhin angegeben ist zusätzlich ein Stosswert (Peak), da in der Praxis Leitern typischerweise ruckartig gelöst/arretiert werden. Grau hinterlegte Felder = maximal erreichte Werte für diesen Kraftfall.

<b>Männer</b> $F_{\max} = 687 \text{ N}$  $F_{\max\text{Peak}} = 1.226 \text{ N}$																
<b>Frauen</b> $F_{\max} = 373 \text{ N}$  $F_{\max\text{Peak}} = 416 \text{ N}$																
Männer		Ziehen					Drücken					Heben				
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Peak [N]	SD [N]	Kraft [N]	SD [N]	%	Peak [N]	SD [N]	Kraft [N]	SD [N]	%		
1	215	246	32	36	819	32	311	20	49	578	33	479	44	96		
2	158	378	19	55	1.370	49	565	28	88	934	38	498	50	100		
3	120	468	16	68	1.266	40	638	25	100	845	49	404	58	81		
4	50	687	51	100	1.097	68	510	24	80	618	31	431	35	86		
5	15	595	69	87	781	53	432	32	68	456	20	408	46	82		

# Anhang 5

Männer		Ziehen					Drücken					Heben		
Nr.	Höhe X [cm]	Kraft [N]	SD [N]	%	Peak [N]	SD [N]	Kraft [N]	SD [N]	%	Peak [N]	SD [N]	Kraft [N]	SD [N]	%
<b>1</b>	<b>197</b>	120	42	32	185	47	140	46	42	136	46	255	63	96
<b>2</b>	<b>145</b>	178	52	48	357	77	241	56	72	278	61	266	68	100
<b>3</b>	<b>110</b>	253	48	68	391	112	338	67	100	356	55	259	82	97
<b>4</b>	<b>46</b>	372	34	100	416	98	245	51	73	249	26	177	79	66
<b>5</b>	<b>14</b>	270	60	72	289	98	160	89	47	186	56	195	89	73

### Anhang 6: Orientierungswerte für Maximalkräfte

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

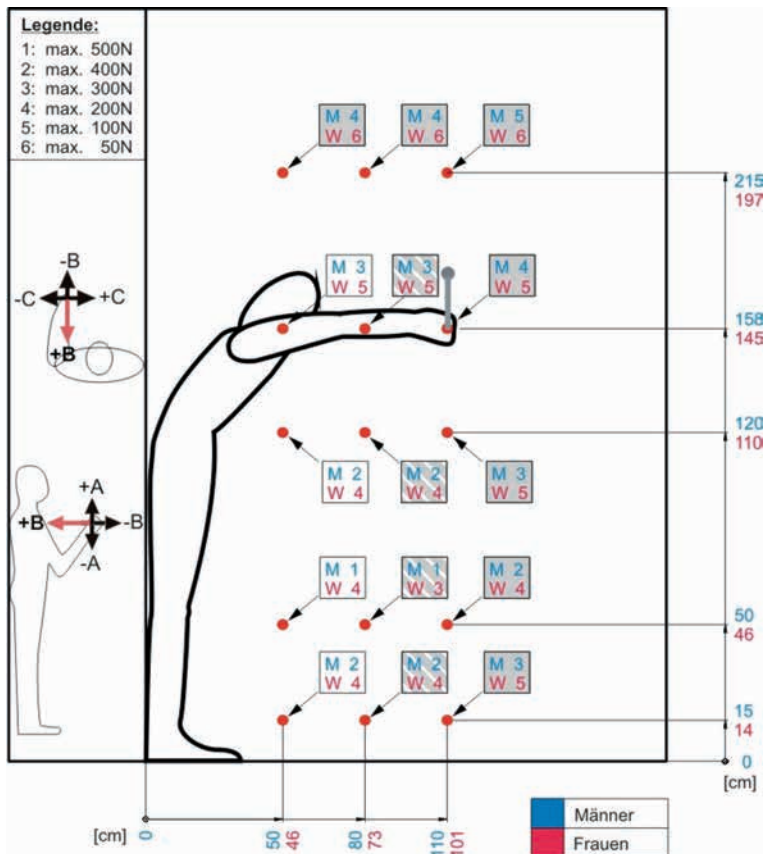


Abb. 160: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil zum Körper hin ziehen (Kraftrichtung B+), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.



# Anhang 6

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

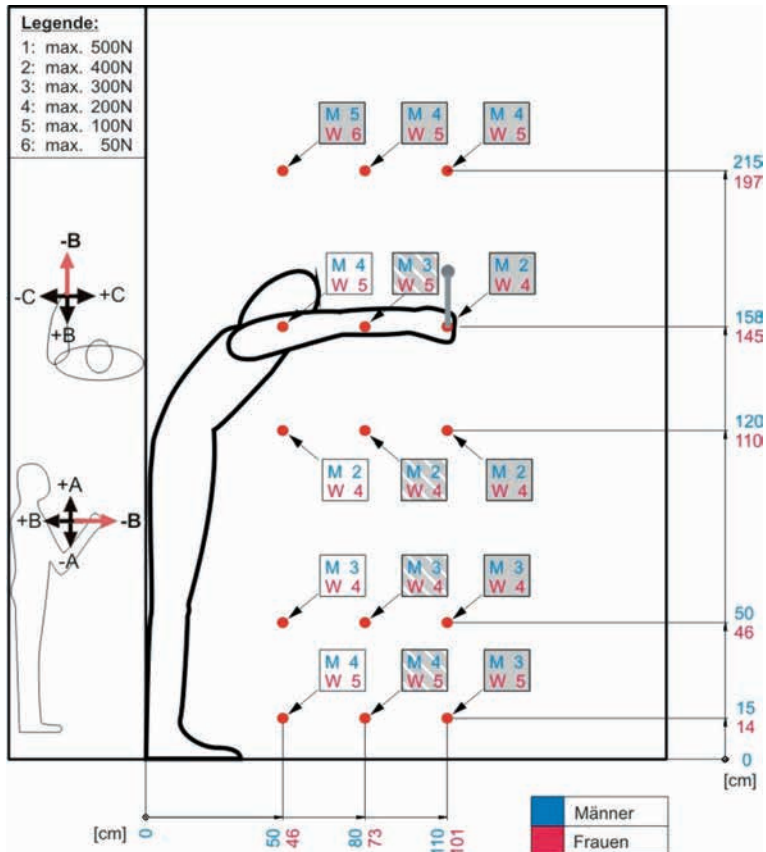


Abb. 161: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil vom Körper weg (Richtung Maschine) drücken (Kraftrichtung B-), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

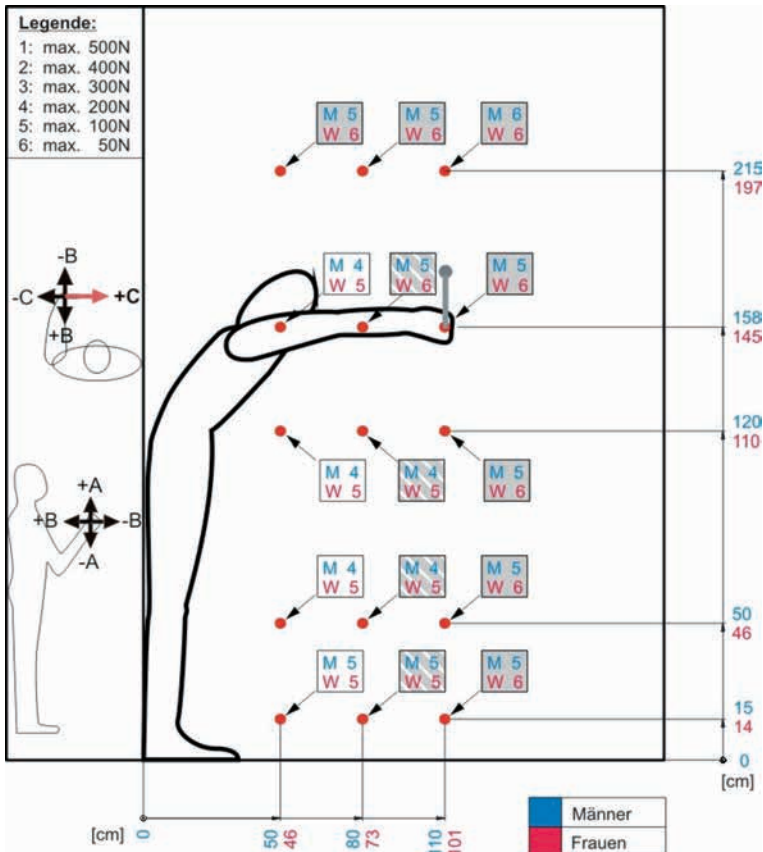


Abb. 162: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil zur Seite Richtung Handaußenfläche ziehen/drücken (Krafrichtung C+), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

# Anhang 6

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

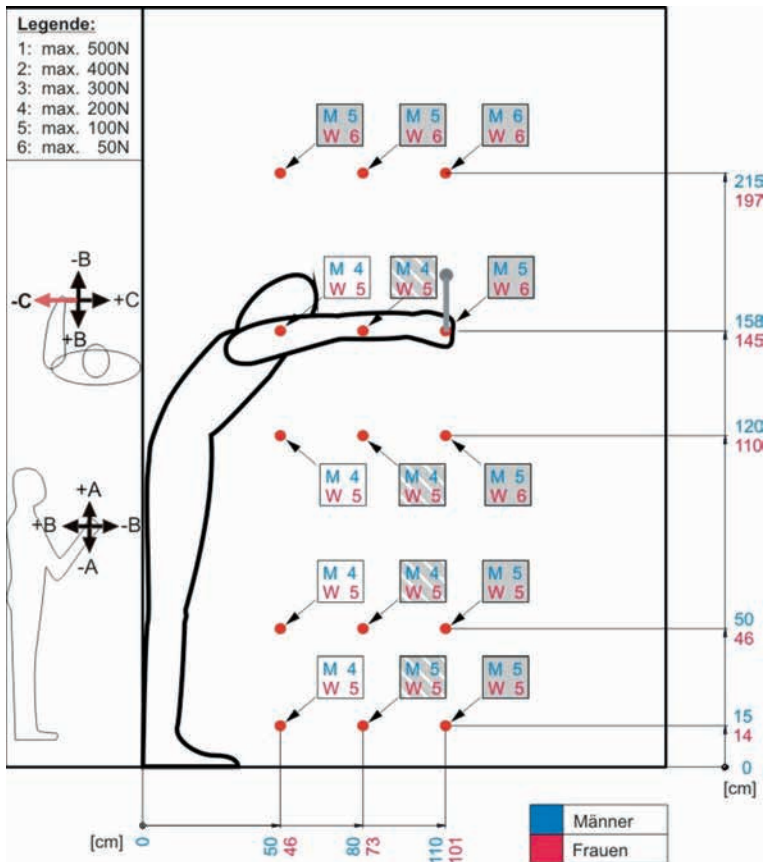


Abb. 163: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil zur Seite Richtung Handinnenfläche ziehen/drücken (Kraftrichtung C-), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

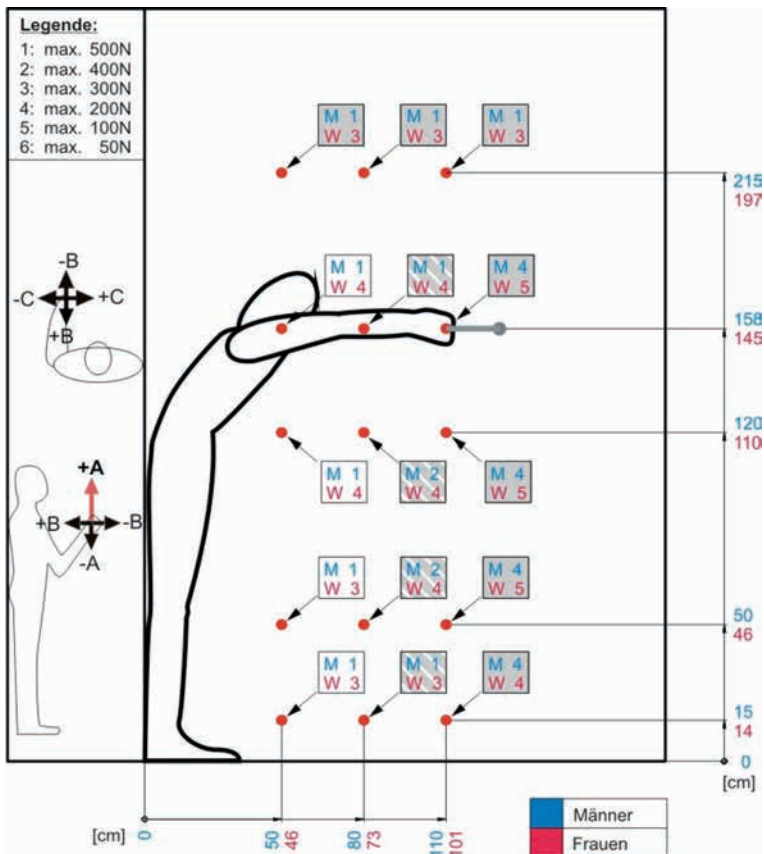


Abb. 164: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Stellteil nach oben drücken/ziehen (Kraftrichtung A+), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

# Anhang 6

Orientierungswerte für das Betätigen von Hebeln oder vergleichbaren Stellteilen.

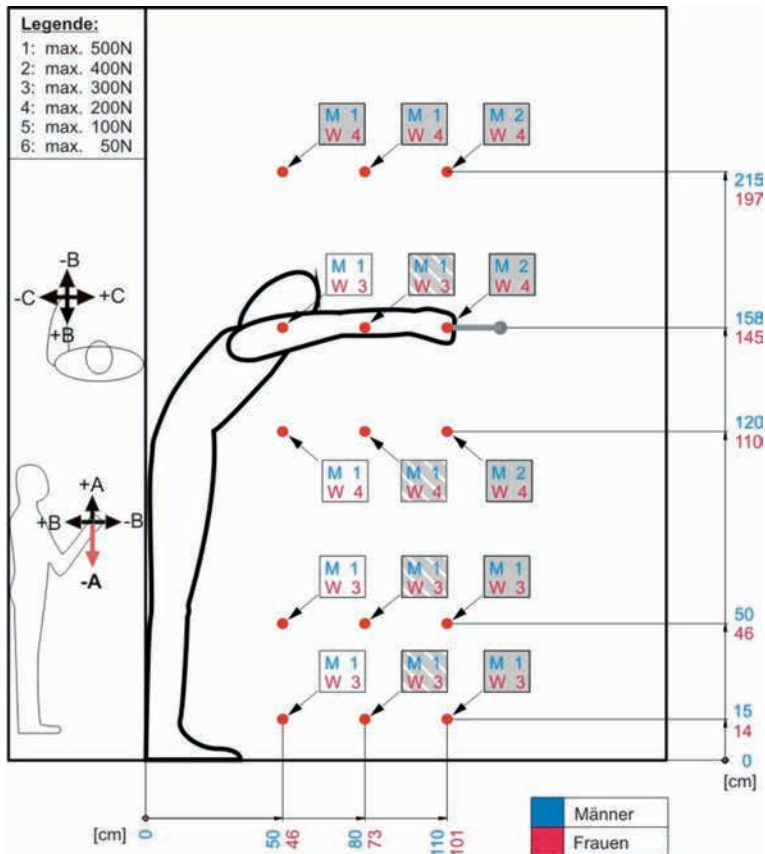


Abb. 165: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer (M) und Frauen (F)) für den Kraftfall: Stellteil nach unten drücken/ziehen (Kraftrichtung A-), einhändige Bedienung in verschiedenen Positionen (Maßangaben = Entfernung von der Ferse zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

Orientierungswerte für das Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und sonstigen Bauteilen.

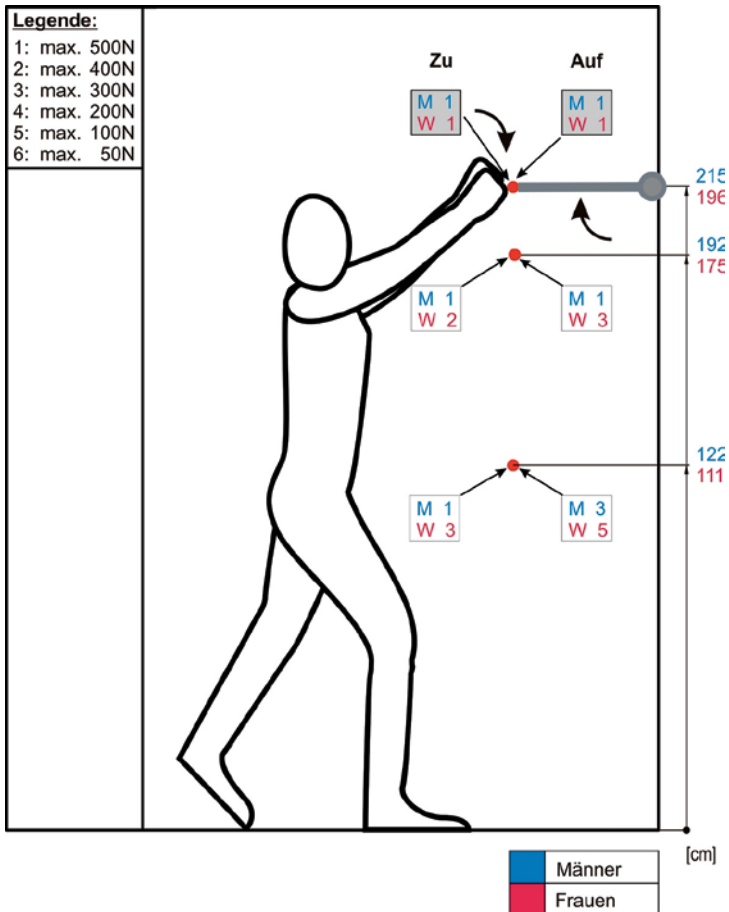


Abb. 166: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Schwenken von Bauteilen, waagerechte Stellung, beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm). Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

# Anhang 6

Orientierungswerte für das Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und sonstigen Bauteilen.

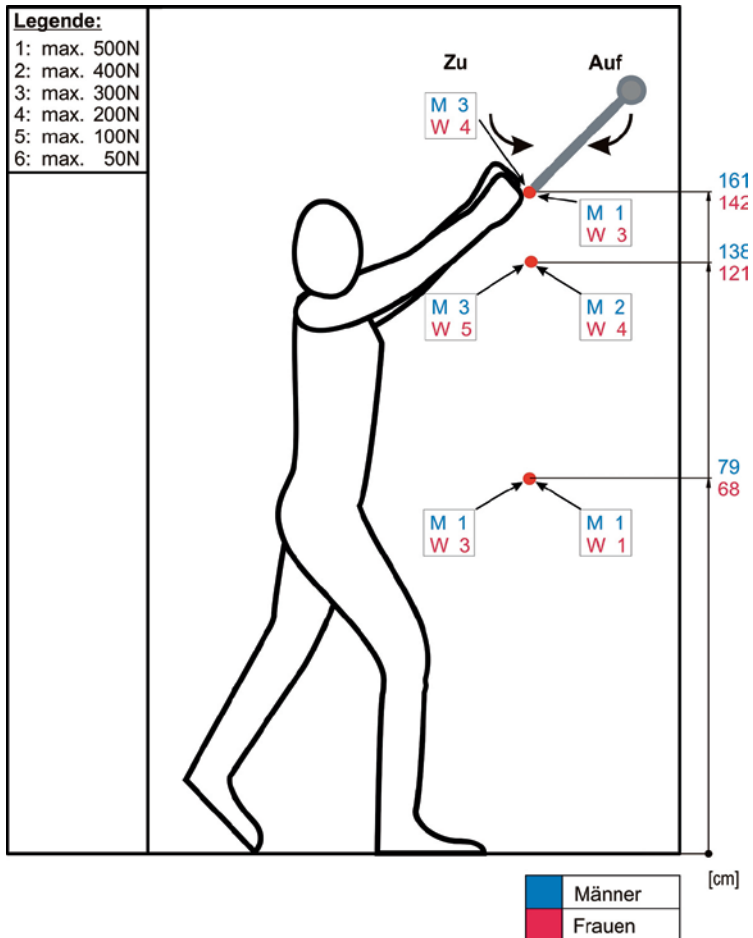


Abb. 167: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Schwenken von Bauteilen, Bauteil im 45° Winkel, beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm).

Orientierungswerte für das Schwenken von Klappen, Abdeckungen, Hauben und sonstigen Bauteilen.

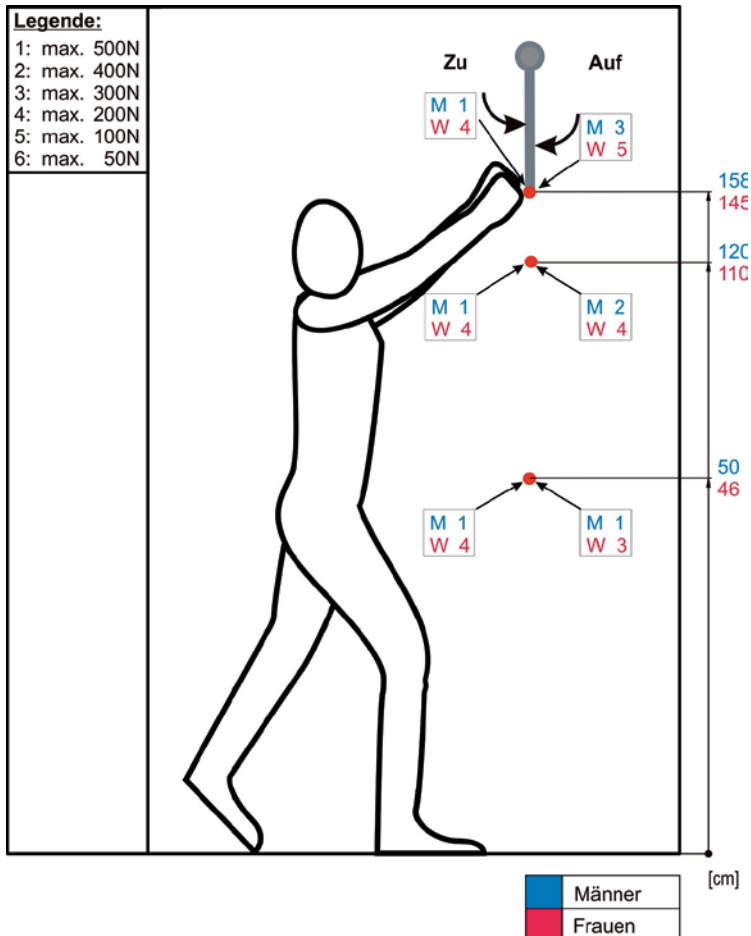


Abb. 168: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Schwenken von Bauteilen, senkrechte Stellung, beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm).



# Anhang 6

Orientierungswerte für das Betätigen von Aufstiegen und Leitern.

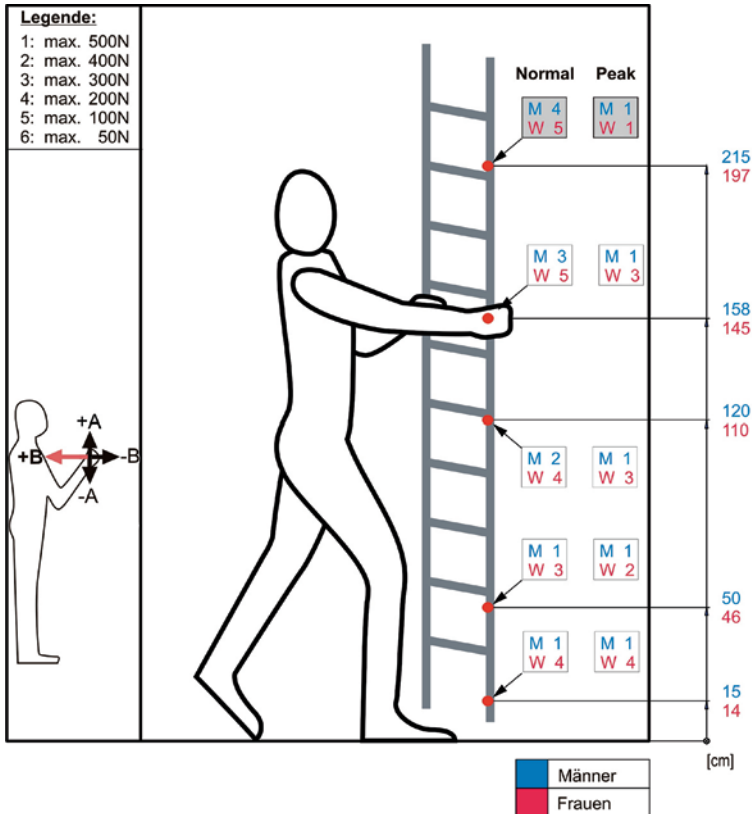


Abb. 169: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Ziehen eines Aufstieges oder einer Leiter zum Körper hin (Kraftrichtung B+), beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm). Neben den „normalen“ Maximalwerten sind hier auch Peak-Werte angegeben. Diese Peak-Werte können verwendet werden wenn das Bauteil mit einem Ruck zu lösen ist. Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

Orientierungswerte für das Betätigen von  
Aufstiegen und Leitern.

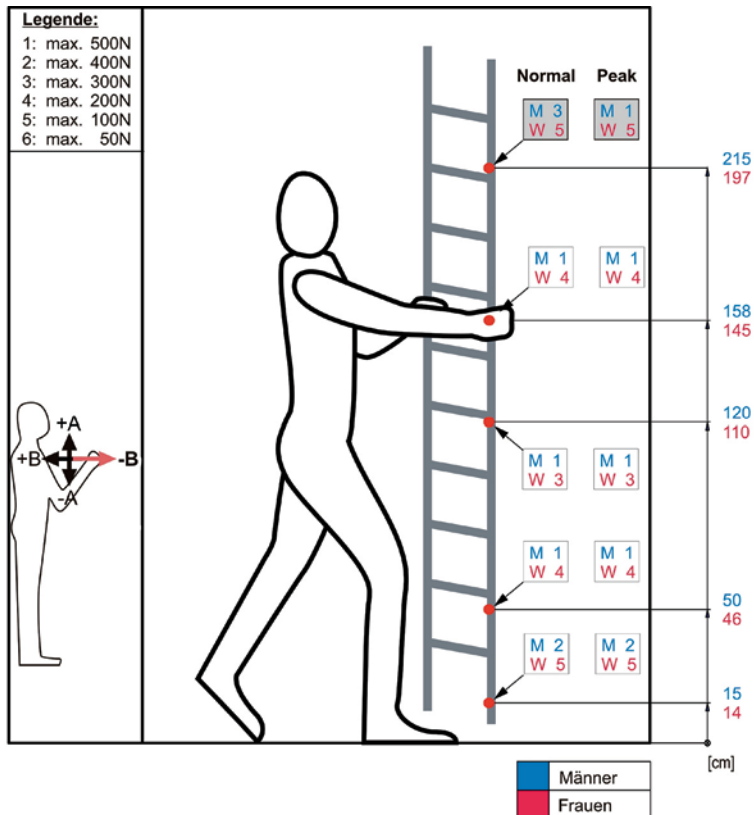


Abb. 170: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Drücken eines Aufstieges oder einer Leiter vom Körper weg (Kraftrichtung B-), beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm). Neben den „normalen“ Maximalwerten sind hier auch Peak-Werte angegeben. Diese Peak-Werte können verwendet werden wenn das Bauteil mit einem Ruck anzudrücken ist. Die grau hinterlegten Bereiche liegen für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und werden nicht empfohlen.

# Anhang 6

Orientierungswerte für das Betätigen von Aufstiegen und Leitern.

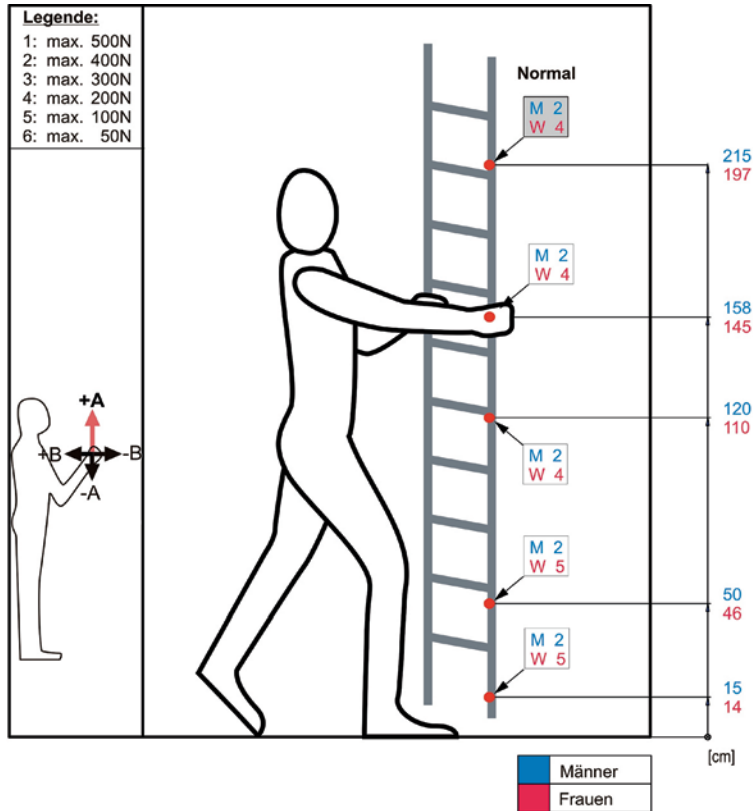


Abb. 171: Orientierungswerte für maximale Kräfte (Männer und Frauen) für den Kraftfall: Drücken eines Aufstieges oder einer Leiter nach oben (Krafttrichtung A+), beidhändige Bedienung in verschiedenen Höhen (Maßangaben = Entfernung vom Boden zum Stellteil in cm). Der grau hinterlegte Bereich liegt für viele Menschen außerhalb bzw. am Rand der Erreichbarkeit und wird nicht empfohlen.





