

# 05.14

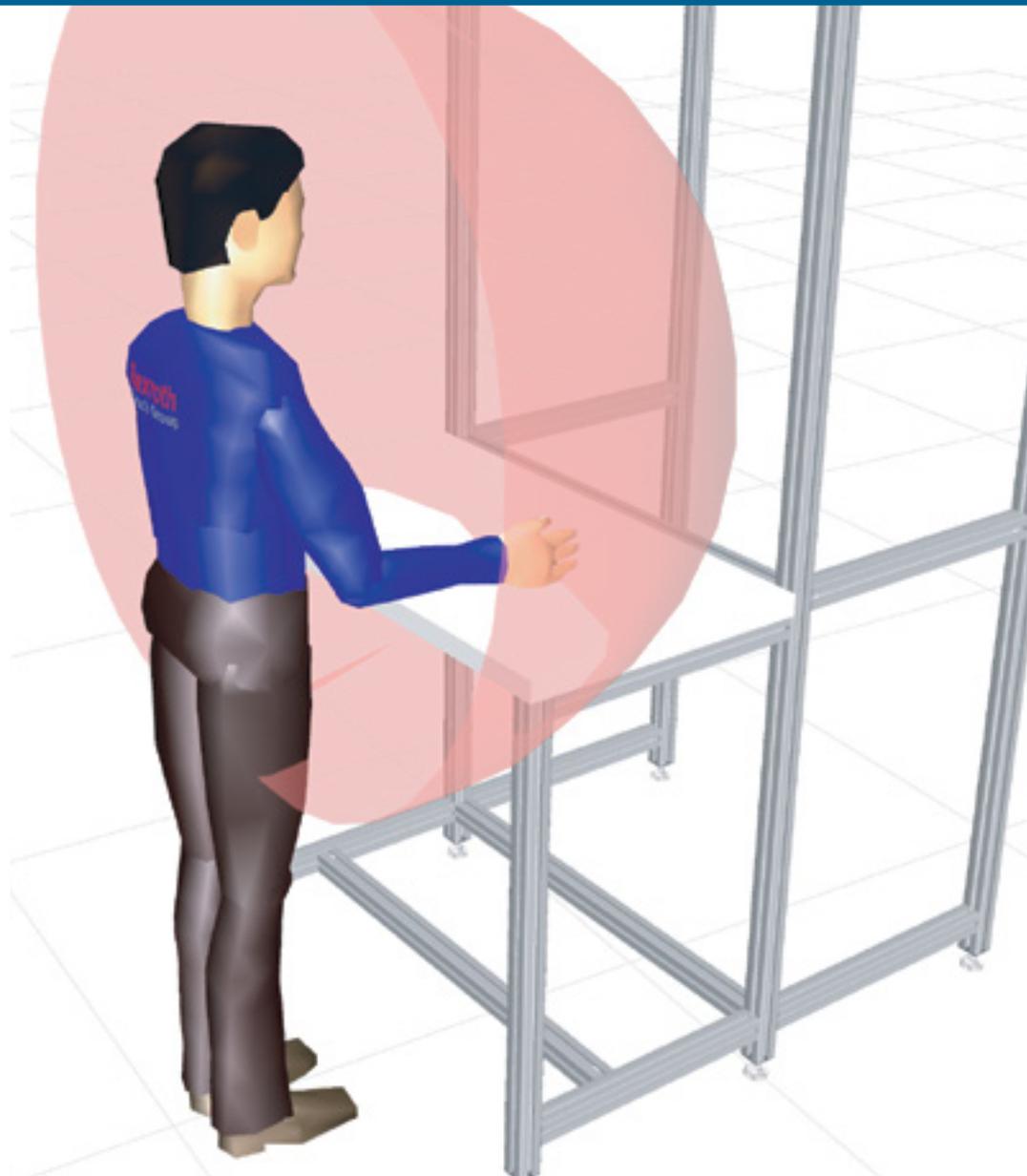
Lizenziert für Katharina von Rymon Lipinski, André Klussmann.  
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.

# BPUVZ

## Zeitschrift für betriebliche Prävention und Unfallversicherung

126. Jahrgang  
Mai 2014  
Seiten 209–264  
A 8833

[www.BPUVZdigital.de](http://www.BPUVZdigital.de)



Schwerpunkt  
**Neue  
Technologien**

**ESV** ERICH  
SCHMIDT  
VERLAG

© Copyright Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin 2014 - (<http://www.bpuvzdigital.de>) 24.10.2014 07:44  
587013053879



Foto: fotolia.com/© mahoe

Katharina von Rymon Lipinski und André Klussmann

## Muskeln gefragt trotz vieler Pferdestärken? Betätigungs-kräfte an Landmaschinen

Im Frühling geht es wieder los. Große Maschinen befahren die Felder und bearbeiten das Land. Diese Maschinen sind häufig hoch technisiert. Man könnte meinen, dass nur noch wenig mit Muskelkraft gearbeitet werden muss. Die vormals schweren Arbeiten werden nun per Knopfdruck aus der klimatisierten Kabine gesteuert. Aber nicht alle Funktionen einer Maschine lassen sich kraftunterstützt (elektrisch, hydraulisch, pneumatisch, ...) ausführen. Je nach Maschine sind wenige bis viele Funktionen weiterhin manuell auszuführen.

So gibt es zum Beispiel Mähdrescher, deren Strohhäcksler per Hand so eingestellt werden kann, dass er entweder das Stroh breit streut oder in Schwaden auf dem Feld ablegt. Auch der Korntank eines Mähdreschers, in dem das Getreide nach dem eigentlichen Erntevorgang zwischengelagert wird, kann bei manchen Maschinen nur per Hand und unter deutlichem Kraftaufwand geöffnet werden. Selbst beim Einsteigen in eine der selbstfahrenden Maschinen kann Muskelkraft gefragt sein: Aufstiegsleitern müssen geklappt oder geschwenkt werden.

Für Wartungs- und/oder Servicearbeiten müssen Seitenklappen von Maschinen geöffnet und geschlossen werden.

Auch aus Sicht der Maschinensicherheit und Produktergonomie sind Betätigungs-kräfte ein wichtiges Thema, da bei der Konstruktion und dem Bau von Maschinen die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG umzusetzen sind. Denn hohe erforderliche Betätigungs-kräfte bei der Verwendung von Maschinen können hohe Risiken für Fehlbelastungen und Fehlbeanspruchungen der Landwirte bedeuten. Um hier Entscheidungsgrundlagen für die Normung zu schaffen, hat die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) eine Studie in Auftrag gegeben, in der Betätigungs-kräfte an Landmaschinen analysiert wurden.

### Wer ist die KAN?

Die Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN) ist ein politisches Gremium, dessen Arbeit von einer Geschäftsstelle unterstützt wird. Sie hat die Aufgabe, die Normungsarbeit aus Sicht des Arbeitsschutzes zu begleiten, dessen Interessen in die Normung einfließen zu lassen und die Beteiligung der Sozialpartner an der Normung zu gewährleisten. In der KAN sind die Sozialpartner, der Staat, die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) und das

DIN vertreten. Die Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) nimmt als Gast an den Sitzungen der KAN teil.

Die KAN „bündelt“ die Meinung der verschiedenen Arbeitsschutzkreise – gestützt auf einen breiten Konsens aller Beteiligten – und bringt diese Position über das DIN als Stellungnahmen in laufende und geplante Normungsvorhaben oder zu bereits bestehenden Normen ein. Auch in normungspolitischen Diskussionen vertritt die KAN die deutsche Arbeitsschutzmeinung. Sie selbst ist jedoch kein Normungsgremium.

Die KAN besteht seit 1994, wird vom Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (VFA) getragen und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) gefördert. Mitglieder im VFA sind Berufsgenossenschaften und Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand.

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

### Sicherheit von Landmaschinen betrifft Betätigungskräfte

Im Jahr 2008 erschien die KAN-Studie „Sicherheit von Landmaschinen“ [3], in der die KAN Normen für Landmaschinen darauf hin untersuchen ließ, ob und in wieweit diese Normen den grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Europäischen Maschinenrichtlinie entsprechen.

Diese KAN-Studie bildete für die Arbeitsschutzexperten eine gemeinsame Basis für die Diskussionen in den Normungsgremien für Landmaschinen. Aus Sicht des Arbeitsschutzes wiesen damals sämtliche Normen für landwirtschaftliche Maschinen Verbesserungsbedarf auf. Die Überarbeitung der Normen war erforderlich. Es wurde ein nationaler Überprüfungsprozess in allen betroffenen Normungsgremien gestartet, bei dem alle interessierten Kreise (Hersteller, Anwender, Prüfinstitute, Arbeitsschützer etc.) intensiv zusammenarbeiteten und im Konsens Lösungen fanden.

Ein Thema, das nicht abschließend während dieses Prozesses geklärt werden konnte, war das Thema Betätigungskräfte. In vielen Normen wird auf DIN EN 1005 Teil 3 „Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung“ verwiesen. Die in dieser Norm aufgeführten Werte beziehen sich aller-

dings auf ergonomisch optimale Arbeitsbedingungen, die in der Landwirtschaft nicht immer gegeben sind. In Normen zu Landmaschinen werden zudem verschiedene Maximalwerte für Betätigungskräfte vorgegeben. In vielen Normen werden 250 N bis 400 N als aufzubringende Maximalkraft und 200 N bis 250 N als im Mittel zu erbringende Kraft genannt. Das erschien den Arbeitsschutzexperten zunächst als zu hoch. Im Normungsgremium wurde festgestellt, dass es keine wissenschaftliche Begründung für die Höhe dieser Werte gibt. Es handelt sich um Erfahrungswerte, die bei der Erstellung der Normen als geeignet angesehen wurden. Es stellte sich folgendes Problem: Die bestehenden Werte sollten nicht durch andere, wenn auch niedrigere, ersetzt werden. Die wissenschaftliche Begründung würde auch in diesem Fall fehlen und die Werte beruhten weiter auf subjektiven Einschätzungen. Zusätzlich wurde festgestellt, dass auch keine Messmethode für Betätigungskräfte in Normen beschrieben wird. Um in den Normen ergonomiekonforme Werte anzugeben, ist es notwendig, die wissenschaftlichen Grundlagen anzugehen.

### Vom Gefühl zur Wissenschaft

Zur Klärung der aufgeworfenen Fragen wurde zunächst das Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD) um eine erste Einschätzung gebeten. Diese Einschätzung basierte auf einer beispielhaften, direkten Berechnung der Kraftwerte nach DIN EN 1005-3. Schon nach dieser ersten Einschätzung erschienen die in den Normen angegebenen Werte als zu hoch. Als Argumentationshilfe in der Normung reichte diese Ersteinschätzung natürlich nicht aus.

Die KAN gab in einem zweiten Schritt drei Gutachten in Auftrag. Die Gutachter bekamen die Gelegenheit an verschiedenen in Betrieb befindlichen Landmaschinen Messungen durchzuführen. Ziel der Gutachten war es, verschiedene Ansätze zur Kraftmessung prinzipiell auf ihre Eignung zu überprüfen. Zudem sollte festgestellt werden, ob die in den Normen festgelegten Maximalwerte an Maschinen überhaupt vorkommen und somit ein Problem darstellen. Die Gutachter untersuchten verschieden typische Kraftfälle an selbstfahrenden Landmaschinen wie das Schwenken einer Aufstiegsleiter, das Öffnen und Schließen von Seitenklappen oder das Betätigen von verschiedenen Hebeln. Hierbei wurde besonders darauf geachtet, dass die verwendeten Messmethoden lackschonend, einfach anwendbar und die Ergebnisse reproduzierbar sind. Die Ergebnisse der Gutachten reichten immer noch nicht aus, um zu normtauglichen Schlüssen zu kommen. Daher beschloss die KAN eine eigene Studie zu Betätigungskräften in Auftrag zu geben. Die Gutachten wurden dem Projektnehmer als Basis für die Studie zur Verfügung gestellt.

### KAN-Studie „Betätigungskräfte an Landmaschinen“

Die KAN-Studie 50 führte das Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) aus Wuppertal durch.

Erstes Ziel der Studie war zunächst, den Stand von Wissenschaft und Technik zu Betätigungskräften zu ermitteln. Dann sollte ein einfaches Messverfahren skizziert werden, mit dem Betätigungskräfte möglichst simpel, aber dennoch



### Die Autoren

*Katharina von Rymon Lipinski ist Agraringenieurin und arbeitet als Referentin in der Geschäftsstelle der Kommission Arbeitsschutz und Normung.*

*Dr.-Ing., Euro-Ergonom André Klussmann ist ausgebildeter Dipl.-Ing. und Master of Science der Sicherheitstechnik. Er leitet den Bereich Arbeit und Gesundheit beim arbeitswissenschaftlichen Institut ASER e.V. in Wuppertal und berät Unternehmen zur Produkt- und Produktionsergonomie*

reproduzierbar, wie auch zerstörungsfrei und lackschonend gemessen werden können. Als drittes Ziel sollten – falls möglich – erste Orientierungswerte als Hilfe für Konstrukteure bereitgestellt werden.

Um zu beurteilen, ob eine Tätigkeit aus ergonomischer Sicht optimal gestaltet ist, können die vier Grundprinzipien der Ergonomie Ausführbarkeit, Erträglichkeit, Zumutbarkeit und Zufriedenheit herangezogen werden. Dass eine Tätigkeit überhaupt ausführbar ist, ist die Grundvoraussetzung. Die KAN-Studie beschäftigt sich nur mit diesem Aspekt. Das bedeutet konkret, dass die aufbringbare Kraft eines Menschen größer sein muss, als die beispielsweise an einem Hebel zur Öffnung des Korntanks erforderliche Kraft. Ein weiterer Aspekt, der auch zur Ausführbarkeit gehört, ist die Erreichbarkeit eines Stellteiles ohne Hilfsmittel: Wer nicht an einen Hebel drankommt, kann ihn auch nicht betätigen. Die Studie beschränkt sich auf die Ausführbarkeit, da die untersuchten Kraftfälle nur wenige Male pro Tag auftreten und somit eine Schädigung des Körpers durch häufige Wiederholungen vergleichbarer Kraftfälle nicht sehr wahrscheinlich ist.

Die in der Studie gemessenen Körperkräfte sind isometrische Maximalkräfte. Das bedeutet, dass es sich um Kräfte handelt, die durch bewusstes maximales Anspannen der Muskeln entstehen, ohne dass sich die Länge des Muskels ändert. Es wird also die Kraft gemessen, bis der Widerstand eines Hebels sich löst.

Zur Messung der realen Kräfte sollten idealerweise dreidimensionale dynamische Kraftmessungen unter echten Bedingungen durchgeführt werden. Dieses Idealbild wurde aufgrund der Anforderungen an eine kostengünstige und einfach durchführbare Lösung zum Messen von Betätigungs Kräften zurückgestellt. Zu beachten ist, dass die Messung von isometrischen Maximalkräften nur eingeschränkt auf dynamische Kraftverläufe übertragbar ist [1; Punkt 2.1.4].

Die Messungen der KAN-Studie wurden mit zwei verschiedenen Messaufbauten durchgeführt. Zum einen wurde ein handgehaltenes Messgerät mit einer Computerschnittstelle gewählt. Zum anderen ein im Vergleich dazu komplexerer Messaufbau mit einer Winde, einem Kraftaufnehmer und einem Winkelmesser. Beide Messsysteme messen eindimensional. Die Betätigungskraft wird als die Kraft definiert, die senkrecht auf der Längsachse des Stellteiles in Bewegungsrichtung steht und erforderlich ist, die vollständige Betätigung auszuführen.

### Durchführung: Normenrecherche und Erprobung von Messmethoden

Um den Stand von Wissenschaft und Technik festzustellen, hat der Projektnehmer eine Normenrecherche und -analyse durchgeführt. Es sollte herausgefunden werden, ob eventuell Normen auch in anderen Fachgebieten vorhanden sind, die z. B. eine Messmethode zum Messen von Betätigungs Kräften beschreiben. Außerdem war die Suche auf Angaben zur Höhe von Betätigungs Kräften ausgelegt. Die Normenrecherche ergab, dass kein eigenes Messverfahren zu Betätigungs Kräften an Landmaschinen oder vergleich-

baren Maschinen beschrieben wird. In einigen Normen z. B. aus dem Bereich „Fenster und Türen“ werden aber Messaufbauten für Kraftmessungen beschrieben. Das Ergebnis der Recherche war nicht unerwartet. Die KAN hatte bereits zuvor in einer Studie Messanforderungen in Produktnormen untersuchen lassen [2]. In dieser Studie wurde

## Es existiert kein eigenes Messverfahren zu Betätigungs Kräften an Landmaschinen, obwohl Produktnormen häufig Angaben zu Kräften machen.

festgestellt, dass häufig Angaben zu Kräften gemacht werden, eine Messmethode zu deren Überprüfung nicht selten fehlt.

Die in den Normen beschriebenen Messaufbauten ließen sich nicht ohne Abwandlungen auf die Messung von Betätigungs Kräften an Landmaschinen übertragen.

Die in den Normen für Landmaschinen angegebenen Maximalwerte wurden mit bereits vorhandenen Maximalkräften einer Bevölkerungsstichprobe [4] verglichen. Bei Betrachtung von Maximalkräften ist zu beachten, dass hierbei immer eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen ist. Hierzu gehören insbesondere die Art der Kraftausübung (z. B. Drücken, Greifen, Ziehen, Drehen), die Krafrichtung (z. B. vom Körper weg oder zum Körper hin) und auch die Lage des Kraftangriffspunktes (z. B. körpernah in Höhe der Ellenbogen oder körperfern, so dass man nur vorgebeugt mit weit ausgestreckten Armen heran kommt). In



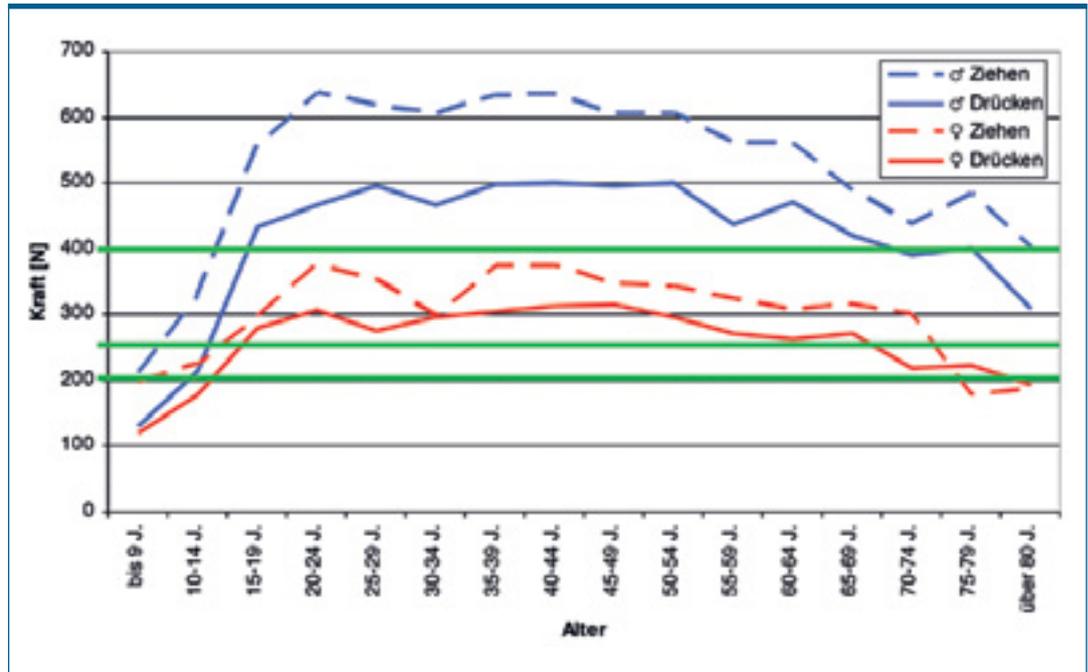


Abb. 1:###

einer Stichprobe wurde z.B. der Kraftfall Greifdruckkraft unter ergonomisch günstigen Bedingungen betrachtet. Hierbei sind Männer dazu in der Lage, 400 N im Mittel aufzubringen, Frauen hingegen können im Mittel etwa 300 N aufbringen und könnten demnach Stellteile, die nach Norm 400 N Kraft erfordern, nicht betätigen.

Im zweiten Teil der Studie wurden die zwei Messmethoden gegenübergestellt. Ein einfaches Verfahren und ein komplexeres, mehr standardisiertes Verfahren.

Bei der einfachen Methode wurden die Messungen mit einem handgehaltenen Kraftmessgerät durchgeführt. Zwei Versuchspersonen führten mehrere Messungen durch, so dass die Wissenschaftler sehen konnten, wie groß der Einfluss des Menschen auf das Messergebnis ist. Die Prüfer mussten die Messungen außerdem mit zwei Geschwindigkeiten durchführen. Bei der komplexeren Methode wurde standardisierter vorgegangen, indem die manuelle Bewegung durch den Mensch hier durch eine Winde mit konstanter Geschwindigkeit ersetzt wurde. Die Winde war mit einem Kraftaufnehmer verbunden, der seine Daten an einen angeschlossenen Computer sendete. Da sich beim Ziehen an Klappen der Winkel des Seiles immer verändert, wurden die Messungen zusätzlich durch einen Winkelmesser unterstützt, mit dessen Hilfe die Daten bereinigt werden konnten.

Die beiden gewählten Messmethoden wurden mit verschiedenen Kraftfällen erprobt. Die Messungen wurden einerseits bei Landwirten an Gebrauchtmaschinen durchgeführt. Andererseits wurden neue Landmaschinen direkt beim Hersteller oder in Ausstellungsräumen Messungen unterzogen. Ergänzend zu den Praxismessungen wurden ein paar häufig vorkommende Betätigungsfälle zusätzlich im Labor nachgestellt. Dies unter anderem deshalb, weil nicht an allen Landmaschinen zerstörungsfreie Messungen vorgenommen werden konnten.

Um das dritte Ziel der Studie, Maschinenkonstruktoren Orientierungswerte als Hilfestellung zu geben, zu erfüllen, wurden mit einem kleinen Probandenkollektiv Messungen durchgeführt. Das Kollektiv bestand aus 8 Personen, davon vier weibliche und vier männliche. Die Messungen wurden durchgeführt, um herauszufinden, wie viel Kraft die Probanden in welchen Körperpositionen maximal aufbringen können. Insgesamt wurden bei diesem Teil der Studie über 3.100 Einzelmessungen durchgeführt.

### Ergebnisse

Beide Verfahren zur Messung von Betätigungs Kräften lassen sich gut anwenden, um Betätigungs Kräfte an Landmaschinen zu messen. Das einfache Verfahren ist naturgemäß einfacher anzuwenden. Das komplexe Verfahren erfordert z.B. mehr Vorbereitungszeit, da die Winde einen Stromanschluss erfordert und an bestimmten Punkten Umlenkrollen fixiert werden müssen.

Der Vergleich der beiden Messmethoden ergab, dass die einfachere Methode sich gut dafür eignet, die Ausführbarkeit von Betätigungen zu messen. Das einfachere Verfahren wurde auch von den beteiligten Herstellern und Experten der projektbegleitenden Arbeitsgruppe zur KAN-Studie 50

als deutlich praktikabler beurteilt. Es ist außerdem kostengünstig und die Wissenschaftler stufen die Ergebnisse als hinreichend genau ein. Die vor Beginn der Studie formulierten Anforderungen an das Messverfahren, dass es möglichst flächendeckend eingesetzt werden soll und in der Praxis sowohl von Herstellern wie auch von Vertretern der Marktaufsicht und der Berufsgenossenschaften verwendet werden kann, werden erfüllt.

Nebenergebnis der Studie ist, dass bewegliche Maschinenteile von Landmaschinen häufig schwer erreichbar sind, so dass es teils sehr ungünstige Kraftangriffspunkte gibt. Zum Beispiel sind die Seitenklappen einiger großer Landmaschinen im aufgeklappten Zustand so hoch, dass kleine Personen ohne Hilfsmittel nicht an die Oberkante der Klappe greifen konnten, um diese zu schließen.

Die Messungen mit Probanden haben zu Orientierungswerten für Maximalkräfte geführt. Diese werden für bestimmte Körperpositionen und Krafrichtungen angegeben. Besonders hohe Kräfte konnten dort erreicht werden, wo die eingenommene Körperposition den Einsatz des Körpergewichtes voll zuließ. Diese Maximalwerte sind zunächst nicht dazu geeignet, in die Normung einzufließen.

### Empfehlungen und Fazit

Aus Sicht der Wissenschaftler sind die in den Normen angegebenen Werte für Betätigungskräfte zu hoch. Ein großer Anteil der Bevölkerung, und hierunter überwiegend Frauen bestimmter Altersgruppen, sind im Durchschnitt nicht

dazu in der Lage, eine Kraft von 400 N aufzubringen. Wenn also das Schwenken eines beweglichen Maschinenteils diese Kraft erfordert, werden ein erheblicher Anteil potenzieller Anwender dieses Schwenken im Durchschnitt nicht ausführen können. Für tiefere Aussagen über den Einfluss der ausgeübten Kraft auf den menschlichen Körper müssen komplexere Messmethoden herangezogen werden, bei denen weitere Parameter, wie die Körperhaltung oder die Krafrichtung erfasst werden.

Das bedeutet, dass in der Normung gemeinsam diskutiert werden muss, wie man Anforderungen an die Höhe von Betätigungskräften formulieren kann. Bei Anforderungen an Stellteile in der Norm muss deren Erreichbarkeit berücksichtigt werden.

Die in der Studie gefundenen Werte für Maximalkräfte können nur als Orientierung dienen. Sie sollten von Herstellern mobiler Maschinen erprobt werden. Um belastbare Werte zu erhalten, müssen zusätzlich größer angelegte Studien mit einem umfangreicheren Probandenkollektiv durchgeführt werden.

Das einfache Messverfahren zur Messung von Betätigungskräften kann in die Normung eingebracht werden. Die KAN wird mit der Unterstützung der Arbeitsschutzexperten insbesondere aus dem Bereich Ergonomie einen entsprechenden Vorschlag erarbeiten.

Kommission Arbeitsschutz und Normung –  
Geschäftsstelle  
Alte Heerstraße 111  
53757 Sankt Augustin

Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)  
Corneliusstraße 31  
42329 Wuppertal

### Literaturverzeichnis

- [1] A. Klußmann; P. Serafin; A. Schäfer; M. Keuchel; B. Neumann; K.-H. Lang: KAN Studie „Betätigungskräfte an Landmaschinen – Analyse und Messung von Handbetätigungskräften und abgeleitete Empfehlungen“, 11/2013
- [2] S. Riedel; S. Adler; F. Gillmeister; S. Köckritz; J. Mussnug; H. Mutschler; E. Pencz; T. Schenk: KAN-Studie „Messanforderungen in Produktnormen“, 9/2010
- [3] W. Gramatte: KAN-Studie „Sicherheit von Landmaschinen“, 6/2008
- [4] A. Klußmann et al.: Handmaß- und Kraftdatenbank. Schriftenreihe des Institut ASER e.V. Forschungsbericht, in Vorbereitung