

## Ermittlung von Aktionskräften durch „Nachstellen“ des Kraftaufwandes

Benjamin FRANZKE, Mario WALTHER

*Konzern Produktionsergonomie, Volkswagen AG  
Berliner Ring 2, D-38436 Wolfsburg*

**Kurzfassung:** Die Erfassung und Analyse von Aktionskräften ist ein wesentlicher Bestandteil der ergonomischen Bewertung von Arbeitsplätzen. In Industrieunternehmen gelten derzeit Direktmessungen und Schätzungen als anerkannte Methoden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt eine alternative Methode zur Ermittlung von Aktionskräften: Das „Nachstellen“ des Kraftaufwandes. Dabei wird der Fügevorgang, unmittelbar nach dessen Ausführung, an einem Messgerät ohne Verwendung der Bauteile wiedergegeben. Dadurch können im Vergleich zur Direktmessung Zeit und Kosten gespart sowie im Vergleich zur Schätzung die Genauigkeit erhöht werden. Zur Validierung der Anwendbarkeit wurde ein Versuch mit 38 Probanden durchgeführt, um einen systematischen Vergleich des Nachstellens mit der Direktmessung zu erreichen. Im Ergebnis hat das neue Verfahren großes Potential zur Erzielung einer verbesserten Quantität sowie Qualität bei der Ermittlung von Aktionskräften in der laufenden Produktion.

**Schlüsselwörter:** Nachstellen, Kraftmessung, Aktionskräfte, EAWS, Ergonomie

### 1. Einleitung

Die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen gewinnt als Teil der unternehmerischen Bestrebungen in Industrieunternehmen des 21. Jahrhunderts zunehmend an Bedeutung. Eine in der Industrie anerkannte Ergonomie-Bewertungsmethode ist das „Ergonomic Assessment Worksheet“ (EAWS) (Schaub et al. 2012).

Die Bewertung mit EAWS deckt neben Körperhaltung, Lastenhandhabungen und repetitiven Tätigkeiten auch die Belastung durch Aktionskräfte ab. Als Eingangsgrößen zu deren Bewertung zählen die Dauer oder die Anzahl der Kraftaufwendungen sowie das aufzuwendende Kraftniveau. Um das Kraftniveau zu bestimmen, gelten in Industrieunternehmen derzeit Direktmessungen und Schätzungen als anerkannte Methoden. Während einer Direktmessung wird der Kraftwert zeitlich parallel zur Montage eines Bauteils durch ein Messgerät erfasst. So kann eine hohe Genauigkeit erreicht werden, was aber oft einen komplexen Versuchsaufbau erforderlich macht. Wenn die Messung dagegen aus technischen Gründen nicht möglich oder zu aufwändig ist, schätzt der betriebliche Praktiker auf Basis seiner Erfahrungen einen Kraftwert. Die subjektive Schätzung birgt dabei ein Fehlerpotential für die Ergonomiebewertung. Der vorliegende Beitrag befasst sich daher mit der Entwicklung und Validierung einer alternativen Methode zur Ermittlung von Aktionskräften als Lösungsansatz: Dem „Nachstellen“ des Kraftaufwandes.

## 2. „Nachstellen“ des Kraftaufwandes

Das Basiskonzept des Nachstellens ist die Wiedergabe des Kraftaufwandes zur Montage eines Bauteils zeitlich unmittelbar nach dem Fügevorgang an einem Messgerät (Wiktorin et al. 1996) unter gleichen Kontaktbedingungen. Dadurch ergibt sich eine erhebliche Einsparung des Kosten- und Zeitaufwandes im Vergleich zur Direktmessung sowie eine potentielle Steigerung der Genauigkeit im Vergleich zur Schätzung. Bisher existieren jedoch noch keine Untersuchungen zum Nachstellen von Kraftaufwendungen in der Automobilproduktion. Daher soll die vorliegende Arbeit erste Erkenntnisse zur Genauigkeit und Anwendbarkeit des Nachstellens im Vergleich zur Direktmessung und zur Schätzung generieren.

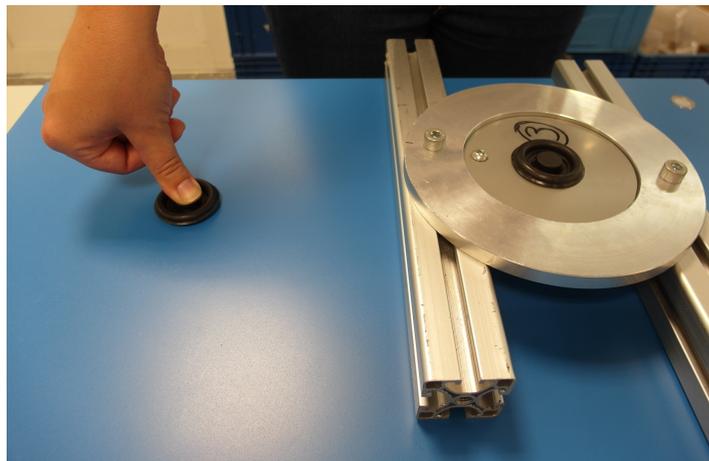
### 2.1 Probanden

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Versuch mit 38 Probanden durchgeführt. Darunter waren 29 männliche und 9 weibliche Versuchsteilnehmer, die alle innerhalb eines Automobilunternehmens akquiriert wurden.

### 2.2 Untersuchungsobjekte

Die Untersuchungsobjekte wurden auf Grundlage einer vorangegangenen Untersuchung zur Bestimmung der Art und Anzahl von Kraftfällen in der Automobilproduktion festgelegt (Walther 2014). Es wurden insgesamt 5 Bauteile ausgewählt: zwei Clips, zwei Stopfen und eine Klammer. Diese werden im Fahrzeug zu hohen Anteilen verbaut und sind gleichzeitig hinreichend einfach und zuverlässig zu messen. Als Greifart wurde der Daumenkontaktgriff für die Untersuchung festgelegt, da dieser in den Montagetätigkeiten der Automobilproduktion am häufigsten vorzufinden ist (Walther 2014). Zuletzt wurde im Sinne der Überprüfung kraftabhängiger Tendenzen für jedes Bauteil auf 2 Lochgrößen zurückgegriffen, die sich an den bauteilspezifischen Toleranzgrenzen orientieren.

### 2.3 Messmittel und -aufbau



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau (Links: Stopfen zur Ermittlung der Nachstellkraft, Rechts: Gestell mit Lochblech zur Ermittlung der Fügekraft am Stopfen)

Als Messmittel wurde die mobile Kraftmessplattform 9260AA6 der Firma Kistler mit 1000 Hz Messfrequenz verwendet. Als Fügepartner wurden Lochbleche verwendet, die auf der Messplattform platziert wurden. (Abb. 1)

## 2.4 Versuchsablauf

Zu Beginn des Versuchs wurden jeweils die Größe und das Geschlecht der Probanden dokumentiert sowie deren Kenntnisse über die Durchführung von Kraftmessungen erhoben. Anschließend wurden die Probanden über das Ziel und den Ablauf der Untersuchung informiert. Danach wurde die individuelle Maximalkraft für jeden der Probanden bestimmt (Kroemer 1977), um im Anschluss einen Vergleich zwischen Schätzung und Nachstellen zu ermöglichen. Als nächstes sollten die Probanden die Kraftfälle ausführen und nachstellen. Aus der Kombination von 5 Bauteilen mit jeweils 2 Lochgrößen ergeben sich 10 Kraftfälle für diesen Versuch (Tab. 1). Die Reihenfolge dieser Kraftfälle im Versuchsablauf wurde mittels Würfel randomisiert, um Übungs- und Erschöpfungseffekte in der statistischen Auswertung auszugleichen.

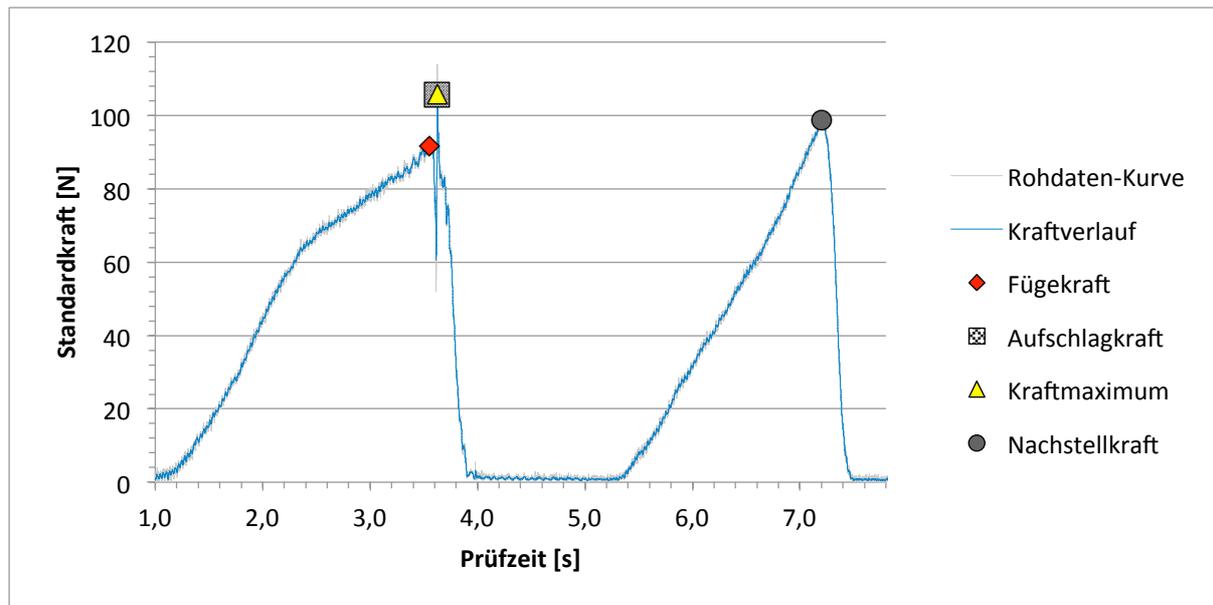
**Tabelle 1:** Übersicht der Kraftfälle nach Bauteilen und Lochgrößen

	Kraftfall									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bauteil	Klammer		Stopfen 1		Stopfen 2		Clip 1		Clip 2	
Lochgröße	klein	groß	klein	groß	klein	groß	klein	groß	klein	groß

Der Proband erhielt je Kraftfall zunächst 5 Minuten Zeit für eine individuelle Übungsphase. Anschließend wurde die Messung gestartet. Dabei montierte der Proband das Bauteil und stellte den Kraftaufwand direkt im Anschluss bei gleichen Kontaktbedingungen direkt auf der Kraftmessplatte nach. Eine Information zu den Messwerten wurde den Probanden vorenthalten, um die Kraftausübung nicht zu beeinflussen. Im Sinne einer statistischen Sicherheit wurden je Kraftfall 10 Messungen durchgeführt, zu deren Abschluss der Proband auf einer Borg-Skala das Kraftniveau im Vergleich zu seiner individuellen Maximalkraft einschätzen sollte. Um die Ergebnisse später besser interpretieren zu können, wurden besondere Fügecharakteristika der Probanden deskriptiv festgehalten.

## 2.5 Auswertung

Aus dem Versuchsaufbau resultierten ca. 4000 Messungen mit 400 Schätzwerten. Mittels eines Algorithmus wurden zunächst die relevanten Messpunkte in den Messkurven automatisch bestimmt und danach entsprechend Abbildung 2 manuell überprüft und korrigiert.



**Abbildung 2:** Linke Kurve: Charakteristischer Kraft-Zeit-Verlauf am Beispiel einer Stopfenmontage, Rechte Kurve: Kraft-Zeit-Verlauf beim unmittelbaren Nachstellen der Stopfenmontage

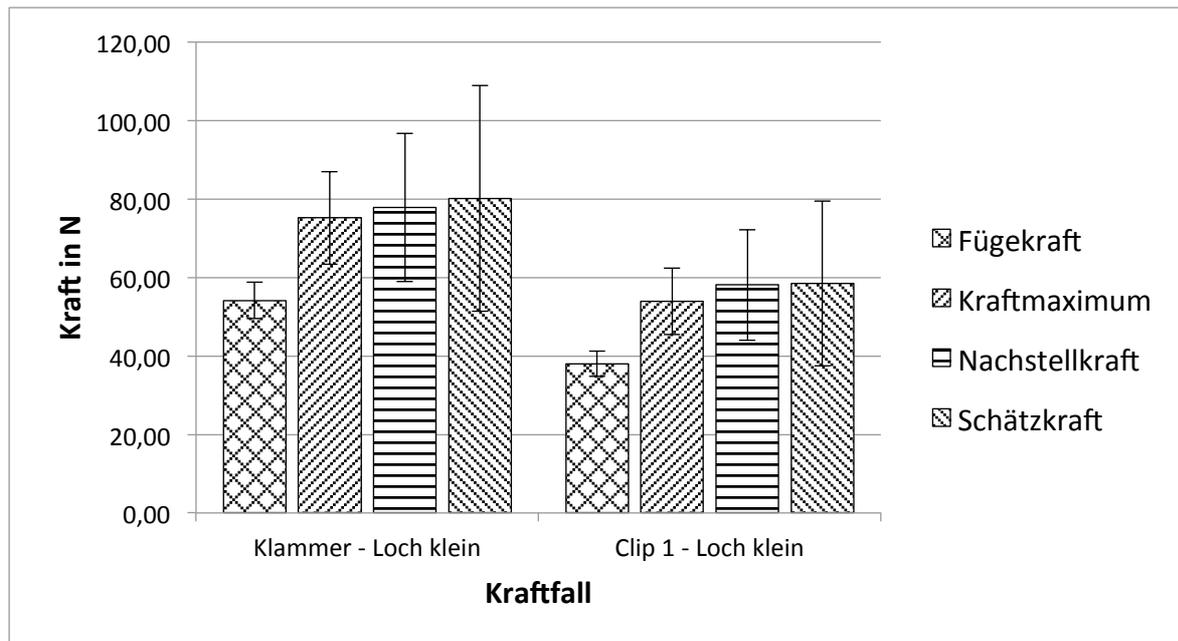
Die eigentliche statistische Auswertung erfolgte dann mit Hilfe von SPSS in Form einer ANOVA mit Messwiederholung auf einem Signifikanzniveau von 5%, um signifikante Unterschiede zwischen den Verfahren Direktmessung, Nachstellen und Schätzung zu identifizieren. Anschließend wurde ein Post-hoc Test nach Bonferroni durchgeführt, um die Höhe der Unterschiede zu beschreiben. Für die Direktmessung wurden dabei die Variablen Fügekraft, Aufschlagkraft und das Kraftmaximum verwendet. Das Kraftmaximum ist in der Regel mit der Aufschlagkraft gleichzusetzen, stellt aber den einfacher mess- und interpretierbaren Vergleichspunkt dar und wurde daher für die Auswertung der folgenden Ergebnisse herangezogen.

### 3. Ergebnisse

Im Ergebnis der ANOVA weisen die Verfahren Direktmessung, Nachstellen und Schätzung bei allen Kraftfällen signifikante Unterschiede auf. Die Höhe der Unterschiede variiert, je nachdem, ob die nachgestellte Kraft mit der Fügekraft oder dem Kraftmaximum verglichen wird (Abb. 3).

Wird für die Direktmessung die Fügekraft als maßgeblicher Wert angenommen, so beträgt die Differenz zwischen Direktmessung und Nachstellen nominal zwischen 12N und 29N. Prozentual ergeben sich daraus Unterschiede zwischen 15% und 95%. Die Nachstellkraft weicht prozentual bei niedrigen Kraftaufwendungen stärker als bei hohen Kraftaufwendungen von der Fügekraft ab.

Wird anstatt der Fügekraft das Kraftmaximum einer Messung als relevanter Vergleichswert angewendet, so sinkt die Differenz auf 7N bis 16N und liegt prozentual im Bereich zwischen 10% und 25%. Die Schätzkraft ist im Mittel mit der Höhe der Nachstellkraft vergleichbar, hat jedoch eine sehr hohe Standardabweichung von 42%. Hier verhalten sich die Fügekraft mit 11% und die Nachstellkraft mit 26% wesentlich stabiler.

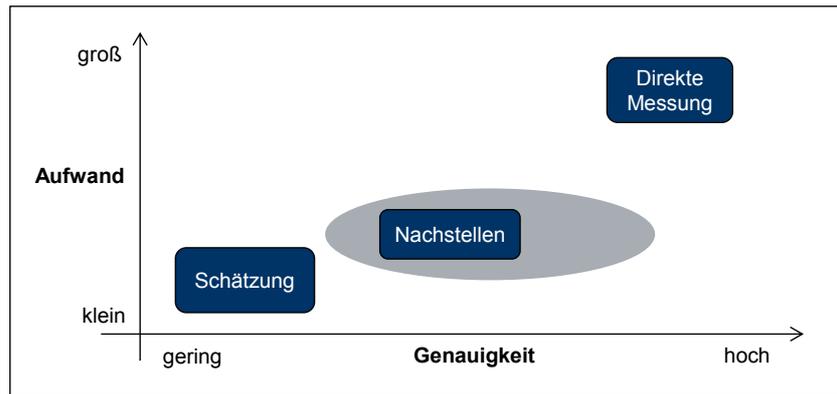


**Abbildung 3:** Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen von Fügekraft, Kraftmaximum, Nachstellkraft und Schätzkraft beispielhaft an 2 Kraftfällen

Im interindividuellen Vergleich schwankt die Fähigkeit der Probanden, die Fügekraft nachzustellen. So ergeben sich durchschnittliche Differenzen von der Fügekraft zur Nachstellkraft zwischen 4N und 40N. Demnach kann über eine gezielte Vorauswahl der Probanden die Abweichung der Nachstellkraft theoretisch reduziert werden. Werden beispielsweise nur die zehn Probanden mit der besten Übereinstimmung zwischen Fügekraft und Nachstellkraft herangezogen, so ergibt sich eine Verringerung der durchschnittlichen Abweichung über alle Bauteile von 45,1% auf 22,9%. Ein Zusammenhang zu vorausgegangenen Erfahrungen mit Kraftmessungen, zum Geschlecht oder zum Alter lässt sich anhand des vorliegenden Datenmaterials jedoch nicht erkennen.

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Methode "Nachstellen" für eine Ermittlung der Fügekraft grundsätzlich geeignet ist. Tendenziell üben jedoch alle Probanden eine höhere Kraft beim Nachstellen aus, als dies erforderlich wäre. Wird das Kraftmaximum als Referenz herangezogen, so offenbart das Nachstellen eine gute Übereinstimmung mit der Direktmessung. Im Vergleich zur Methode des Schätzens bietet das Nachstellen eine höhere Genauigkeit sowie eine geringere Streuung. Daher ist das Nachstellen dem Schätzen vorzuziehen. Abbildung 4 setzt diesen Kenntnisstand und das Entwicklungspotential des Nachstellens in ein Verhältnis zur Schätzung und zur Direktmessung.



**Abbildung 4:** Einordnung des Nachstellens in die Verfahrenssystematik

## 5. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist die Verwendung des Nachstellens als Methode zur Ermittlung von Aktionskräften in der Automobilproduktion möglich. Das Verfahren kommt unter bestimmten Voraussetzungen der Direktmessung sehr nahe und sollte dem Schätzen in jedem Falle vorgezogen werden. Das Nachstellen hat somit Potential für eine verbesserte Quantität sowie Qualität bei der Ermittlung von Aktionskräften in der laufenden Produktion. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse sollen zukünftig komplexere Bauteile zur Erweiterung des Anwendungsbereiches untersucht werden.

## 6. Literatur

- Kroemer K (1977). Die Messung der Muskelstärke des Menschen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2012). The European Assembly Worksheet. Theoretical Issues in Ergonomics Science, S. 1- 23.
- Walther M (o.J.). Entwicklung und Evaluierung eines systematischen Vorgehens zur Erfassung von Aktionskräften in der Automobilproduktion. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft (Unveröffentlicht)
- Walther M, Kunze T, Toledo Munoz B, Büttner B, Kaiser A, Bullinger A (2013). Kraftmessungen an Schnappverbindungen in der Automobilproduktion. Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung – Zukunftsfähigkeit für Produktions- und Dienstleistungsunternehmen (s. 237-240). Dortmund: GfA-Press.
- Wiktorin C, Selin K, Ekenvall L, Kilbom A, Alfredsson L (1996). Evaluation of perceived and self-reported manual forces exerted in occupational materials handling. Applied Ergonomics, 27, S. 231 – 239.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Stefan Wassmann (METOP GmbH, Magdeburg) und Herrn Ulrich Brennecke (Institut für Arbeitswissenschaften der Universität Magdeburg) für die konstruktive Zusammenarbeit.