

Einsatzmöglichkeit eines Werker-Assistenzsystems zur Optimierung der Schraubergonomie

Christian BOEKELS, Annette HOPPE

*Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg,
Fachgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie,
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus*

Kurzfassung: Drucksensorik zur Erfassung von Daten an der Hand-Griff-Schnittstelle sowie Möglichkeiten der echtzeitfähigen Analyse, Auswertung und Rückmeldung ausgewählter Informationen bieten Potenziale für Werker-Assistenzsysteme zur individuellen Belastungsoptimierung bei manuellen Schraubprozessen. Im Rahmen dieses Beitrags werden Teilergebnisse einer Grundlagenstudie zur Erfassung von Kontaktkräften mittels Drucksensorik bei der Montage mit Winkelschrauben vorgestellt. Im Vordergrund stehen gewonnene Erkenntnisse über Belastungszusammenhänge während des Schraubprozesses, um auf dieser Basis ein etwaiges Unterstützen zum ressourcensparenden Kontaktkrafteinsatz des Produktionsmitarbeiters zu erreichen. Abschließend werden zudem Implementierungsvorschläge der Drucksensorik erörtert.

Schlüsselwörter: Winkelschrauber, Ergonomie, Werker-Assistenzsystem, Drucksensorik

1. Einleitung

Die Digitalisierung der Produktionsarbeitsplätze im Zuge der Industrie 4.0 erfolgt unter anderem durch verstärkten Einsatz sog. Werker-Assistenzsysteme. Exemplarisch sind Head-Mounted Displays zur Visualisierung von Montagevorgängen (Hold et al. 2015), Datenhandschuhe mit Scanfunktionen zur Dokumentation und Absicherung von Logistikvorgängen (Müller 2016) oder Smart-Watches als warnender Alarm, die bei seltenen Montagetätigkeiten als Hinweis vibrieren (Klein 2016, S. 45), zu nennen. Im Fokus stehen dabei die Unterstützung des Produktionsmitarbeiters sowie Optimierungen hinsichtlich Kosteneffizienz, Qualitätssteigerung sowie Prozesszeitreduktion. Im Rahmen dieses Beitrags wird das Potenzial für ein Werker-Assistenzsystem zur Optimierung der Ergonomie hinsichtlich der Tätigkeitsausführung bei manuellen Schraubtätigkeiten andiskutiert. Die technische Grundlage stellen kapazitive Drucksensoren an der Hand-Griff-Schnittstelle dar.

2. Ziel

Ziel ist die Erfassung von Belastungen an der Hand-Griff-Schnittstelle mittels Drucksensorik bei der manuellen Montage mit Winkelschrauben. Aufbauend sind Belastungszusammenhänge über den Schraubprozess abzuleiten, um Einsatzmöglichkeiten eines Werker-Assistenzsystems zur Optimierung der Schraubergonomie zu identifizieren.

3. Methode

Für die Grundlagenversuche ist ein Schraub-Versuchsstand konzipiert worden, an dem produktionsstypische Parameter modifiziert werden können (Boekels & Hoppe 2016a, S. 142). Darüber hinaus sind an einem speziell konstruierten Winkelschraubgriff Drucksensoren zur Messung der in DIN 45679 (2013) definierten Kontaktkraft implementiert, wodurch ein objektives Belastungsmaß an der Hand-Griff-Schnittstelle vorliegt. Durch simultane Aufnahme von Kontaktkraft-Zeit-Verläufen sowie Drehmoment-Zeitverläufen können bestimmte Schraubzeitpunkte extrahiert werden. Von besonderem Interesse sind Kontaktkraftwerte im Zeitpunkt des Haltens, also nach dem Positionieren des Winkelschraubers bzw. unmittelbar vor dem Start der Verschraubung. Weiterhin interessieren die Kontaktkraftwerte im Zeitpunkt des Endanzugs, also dem Erreichen des vorbestimmten Anziehdrehmomentes.

Im Rahmen einer Laborstudie sind zur Erfassung dieser relevanten Kontaktkraftwerte 13 Wiederholungsverschraubungen bei 20 Nm, 30 Nm sowie 40 Nm Anziehdrehmoment von 24 männlichen Probanden absolviert worden. Tabelle 1 fasst weitere Informationen des Probandenkollektivs zusammen.

Tabelle 1: Probandenkollektiv

		Mittelwert	Standardabweichung
Alter	[Jahre]	25,8	3,84
Körperhöhe	[cm]	184,1	6,79
Körpergewicht	[kg]	85,4	12,95

Zuvor wurden mit jedem Probanden Probeverschraubungen für eine ausreichende Systemvertrautheit durchgeführt. Die Reihenfolge der Wiederholungsverschraubungen ist randomisiert durchgeführt worden, um eventuelle Ermüdungs- bzw. Lerneffekte zu kompensieren. Abschließend erfolgte eine Verdichtung der Daten durch Mittelwertbildung der Wiederholungsmessung je Proband.

4. Ergebnis

Abbildung 1 fasst die Messergebnisse zu den relevanten Schraubzeitpunkten in Box-Plot-Darstellung zusammen. Zu erkennen ist insgesamt eine Zunahme der Kontaktkraft mit steigendem Anziehdrehmoment trotz Schwankungen der Kontaktkraftwerte. Ferner ist bei Detailbetrachtung der Extrema festzuhalten, dass manche Probanden mehr als doppelt so viel Kontaktkraft benötigen haben wie andere Probanden zum Erreichen derselben Schraubergebnisse hinsichtlich des zu erzielenden Anziehdrehmomentes. Ebenso sind Schwankungen der Kontaktkraft in Bezug auf das Halten des Winkelschraubers zu verzeichnen. Auch hier haben bestimmte Probanden zum Halten des Winkelschraubers mehr als doppelt so viel Kontaktkraft eingesetzt wie andere Probanden.

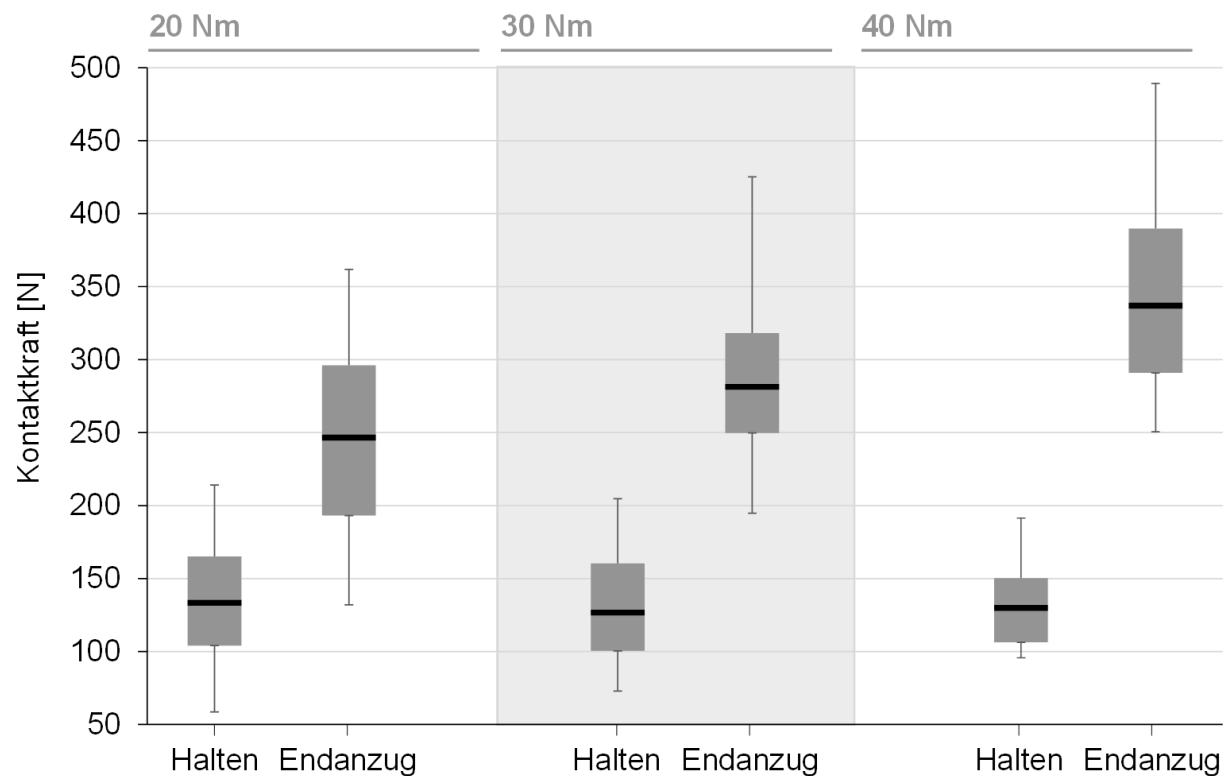


Abbildung 1: Box-Plot Kontaktkraft Halten sowie Endanzug bei unterschiedlichen Anziehdrehmomenten

Somit kann zunächst festgehalten werden, dass auf Basis dieser Technik dem Schraubmitarbeiter retrospektiv der individuelle Ressourceneinsatz vermittelt werden kann. Darauf aufbauend sind Kenntnisse über Belastungszusammenhänge während des Schraubprozesses von gesteigertem Nutzen, weil dadurch präventive Möglichkeiten erschlossen werden, um dem Mitarbeiter bereits vor Schraubbeginn auf eine ergonomische Optimierung hinzuweisen. Deshalb wird nachfolgend die Korrelation zwischen Kontaktkraft im Halten sowie im Endanzug näher analysiert. Dabei sind zwei Konstellationen denkbar. Hohe Kontaktkraftwerte bzw. „festere Halten“ zu Beginn der Verschraubung resultieren in niedrigeren Kontaktkraftwerten im Endanzug auf Grund einer eventuellen besseren Kontrolle (negative Korrelation). Demgegenüber stehen niedrige Kontaktkraftwerte zu Beginn der Verschraubung, die zu niedrigeren Kontaktkraftwerten im Endanzug führen, wonach ein vergleichsweise „lockeres Halten“ ausreichend ist (positive Korrelation). Für eine positive Korrelation sprechen die Schraubversuche von Lin et al. (2003, S. 1271), die jedoch bei niedrigen Anziehdrehmomenten erfolgten.

Abbildung 2 stellt die Kontaktkraftwerte beim Halten sowie im Endanzug in Abhängigkeit des Anziehdrehmomentes in Streudiagrammen dar. Zu erkennen ist ein positiver Trend über alle drei Kombinationen.

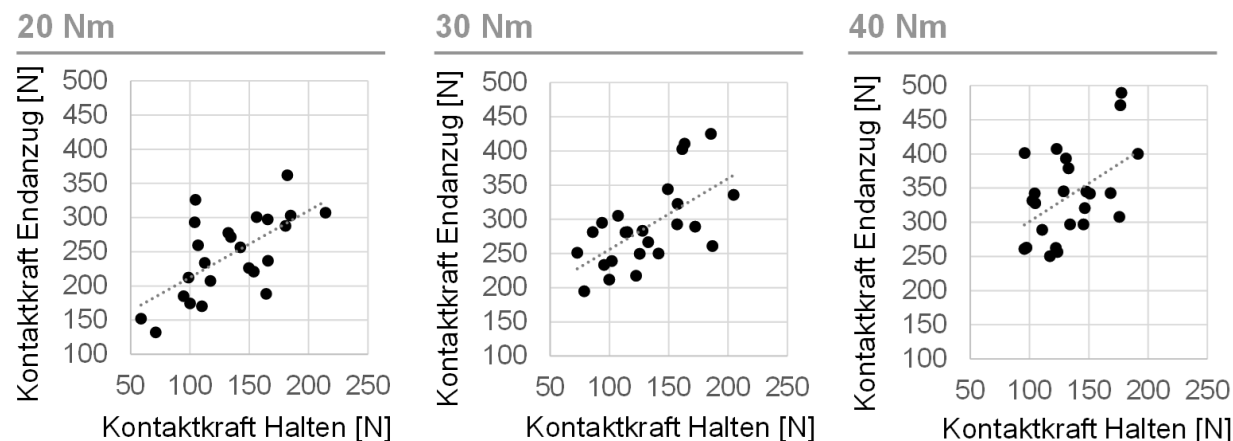


Abbildung 2: Streudiagramm Kontaktkraft Halten vs. Endanzug bei unterschiedlichen Anziehdrehmomenten

Zur statistischen Absicherung ist der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet worden. Auf Grund der teilweisen Verletzung notwendiger Testvoraussetzungen erfolgte zusätzlich eine Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman, welcher weniger Voraussetzungen erfordert. Tabelle 1 fasst die Berechnungsergebnisse zusammen.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizient nach Pearson sowie Rangkorrelationskoeffizient

Anziehdrehmoment	20 Nm		30 Nm		40 Nm	
	r	p2-seitig	r	p2-seitig	r	p2-seitig
Pearson	,64	,01	,63	,01	,49	,05
Spearman	,63	,01	,59	,01	,49	,05

Demnach ist für alle drei Anziehdrehmomente in Bezug auf die gesamte Stichprobe eine signifikante positive Korrelation festzuhalten (Boekels & Hoppe 2016b, S. 38). Entsprechend der Konvention nach Cohen (1988) können somit mittlere bis große Effekte festgehalten werden.

5. Diskussion und Ausblick

In Bezug auf den Einsatz eines Werker-Assistenzsystems zur Optimierung der Schraubergonomie ist auf Grundlage der Ergebnisse denkbar, den Mitarbeiter bei vergleichsweise hohen Kontaktkraftwerten auf ein ausreichend „lockereres Halten“ hinzuweisen. Als Resultat kann dadurch eine verminderte Belastung sowohl im Halten als auch im Endanzug erreicht werden unter der Annahme, dass höhere Kontaktkräfte höhere Belastungen repräsentieren. An dieser Stelle sei angemerkt, dass eine entsprechende Systemevaluierung noch aufbauend durchzuführen ist.

Weiterhin sind unterschiedliche technische Rückmeldungen an den Mitarbeiter denkbar. Neben visuellen oder akustischen Signalen ist auch vorstellbar, dass der Schraubprozess bei zu hohen Kontaktkraftwerten beim Halten erst gar nicht startet.

Abschließend ist die Implementierung der Drucksensortechnik abzuwägen. Dabei steht die Möglichkeit einer direkten Installation im Werkzeuggriff der einer Integration im Schutzhandschuh gegenüber (Komi 2007, S. 1687). Bei kabelgebundenen Winkelschraubern sprechen für eine Installation im Werkzeuggriff u.a. eine vereinfachte Energieversorgung der Drucksensorik sowie die Unabhängigkeit von Funktechnologien. Eine Integration im Schutzhandschuh bietet demgegenüber Potenziale hinsichtlich einer kompakten Bauweise, da ggf. ausgewählte Handregionen bereits ausreichend Rückschlüsse auf die gesamte Kontaktkraft zulassen und dadurch Kosteneinsparungen in Bezug auf die Sensortechnik erreicht werden können. Abbildung 3 stellt eine fingerspezifische Aufschlüsselung der Kontaktkraft im Zeitpunkt des Haltens sowie im Zeitpunkt des Endanzugs bei einem Anziehdrehmoment von 30 Nm in Box-Plot dar. Der Daumen ist mit einem Stern markiert, da die Kontaktkraft auf Grund der Griffkonstruktion nicht vollständig gemessen werden konnte.

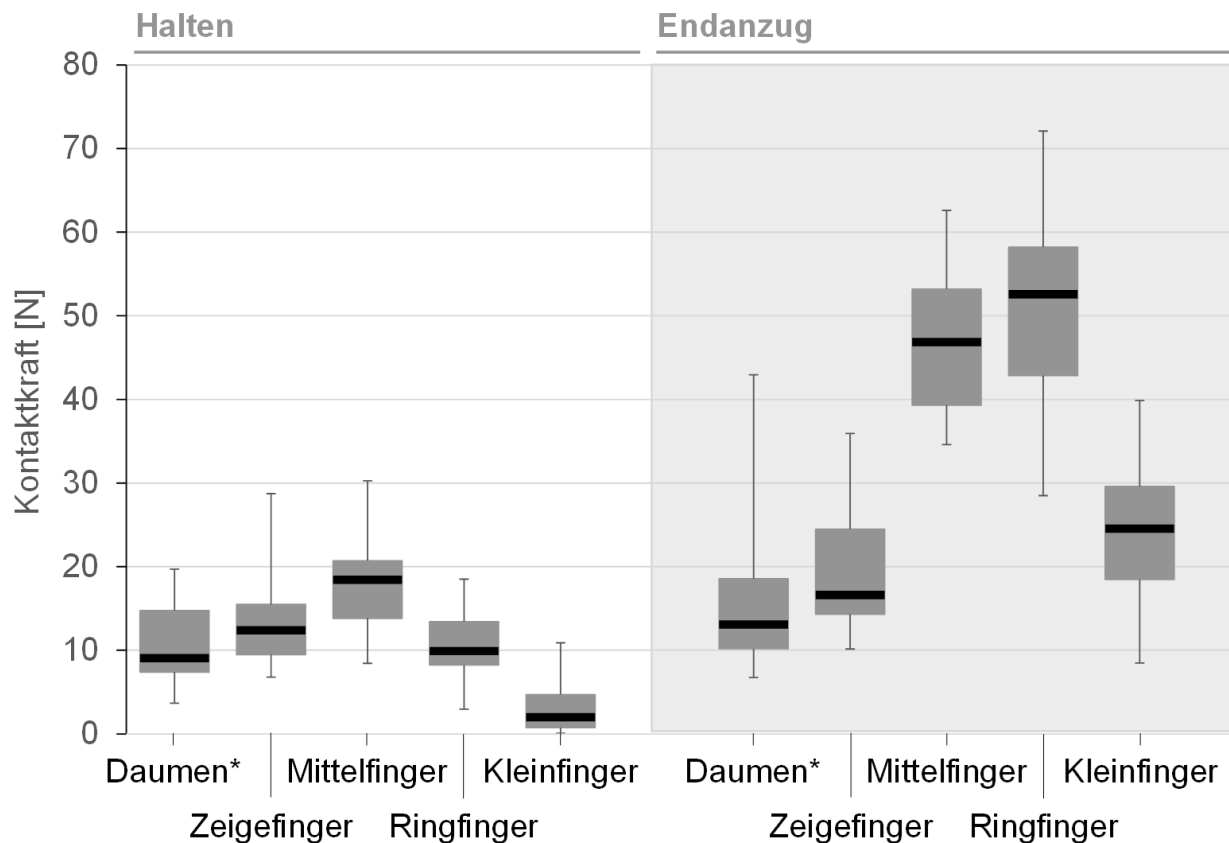


Abbildung 3: Box-Plot fingerspezifische Kontaktkraft Halten sowie Endanzug bei 30 Nm Anziehdrehmoment

Die Kenntnisse entsprechend feingranularer Belastungsmuster bieten damit Potenziale, ausgewählte Handregionen sensortechnisch auszustatten.

6. Literatur

- Cohen J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Boekels C, Hoppe A (2016a) Ergonomische Analyse von Belastungen an industriellen Schraubarbeitsplätzen. In: Abstractband zur 56. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), Stuttgart: Gentner Verlag, 142
- Boekels C, Hoppe A (2016b) Feedbackpotenzial durch Drucksensorik zur Belastungsreduktion. In: Kluth K, Penzkofer M (Hrsg) 20. Symposium Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft für Nachwuchswissenschaftler. Siegen: UniPrint, Universität Siegen, 38-39
- DIN 45679 (2013) *Mechanische Schwingung – Messung und Bewertung der Ankopplungskräfte zur Beurteilung der Schwingbelastung des Hand-Arm-Systems*, Berlin: Beuth.
- Hold P, Ranz F, Hummel V, Sihn W (2015) Durchblick im Variantenschwungel: Visuelle Assistenzsysteme als Flexibilitätshebel auf dem Shop Floor. In: WING-Business 48 (2), 22–27.
- Klein, Christian (2016): Ein Sixpack für die Produktion der vierten Art. In: AUTOMOBIL-Produktion (4), 44–46.
- Komi ER, Roberts JR; Rothberg SJ (2007): Evaluation of thin, flexible sensors for time-resolved grip force measurement. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 221 (12), S. 1687–1699. DOI: 10.1243/09544062JMES700.
- Lin JH, McGorry RW, Chang CC, Dempsey PG (2003): Perspectives in Powered Nutrunner Torque Reaction. Handle Displacement and Grip Force. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 47 (10), S. 1269–1273. DOI: 10.1177/154193120304701036.
- Müller J (2016) Schneller mit der dritten Hand. INTRALOGISTIK: Ein intelligenter Handschuh hilft dem Arbeiter, im Lager seinen Job schneller und sicherer zu machen. In: Verkehr (7), 4



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de