

Analyse maximaler Fingerkräfte bei eingeschränkter Zugänglichkeit

Lukas HAUSMANNINGER¹, Max BIERWIRTH¹,
Christian LERSCH², Wolfgang POTTHAST³

¹ Audi AG, D-85049 Ingolstadt

² Fa. Velamed GmbH

Helmholtzstraße 50, D-50825 Köln

³Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln
Am Sportpark Müngersdorf 6, D-50933 Köln

Kurzfassung: Komplexe Geometrien von Bauteilen in der Automobil-Industrie sorgen häufig für eine für den Werker eingeschränkte Zugänglichkeit zur Fügestelle. Bisherige Untersuchungen geben keinen Aufschluss über eine Variation der maximalen Fingerkraft bei eingeschränkten Zugänglichkeiten. Aus diesem Grund wurde zur Bewertung einer eingeschränkten Zugänglichkeit eine biomechanische Analyse der Fingerkräfte bei unterschiedlichen Kraft- sowie Zugangsrichtungen durchgeführt. Bei 10 männlichen Probanden (Alter = $31,2 \pm 8,3$ Jahre) wurde die maximale Druckkraft des Zeigefingers an einer Kraftmessdose gemessen. Bei eingeschränkter Zugänglichkeit werden signifikant niedrigere Maximalkräfte erreicht. Keine signifikanten Unterschiede in den Maximalkräften zeigt der Vergleich zwischen einer zur Zugangsrichtung senkrechten sowie entgegengesetzten Kraftrichtung.

Schlüsselwörter: Zugänglichkeit, Fügerichtung, Maximale Fingerkräfte, Kraftmessung

1. Einleitung

In der Automobilindustrie haben sich zur Optimierung der Montageprozesse sowie zur Reduzierung der Montagekosten Clipsverbindungen als Befestigungstechnik etabliert (Salmanzadeh, 2011). Dabei verursachen die zur Montage notwendigen Finger-Hand-Kräfte hohe Beanspruchungen des Finger-Hand-Arm-Systems. Bisherige Studien, die sich mit Finger-Hand-Kräften beschäftigt haben, zeigen Anwendungsbeispiele bei verschiedenen Armhaltungen sowie variierenden Griffarten (Burandt, 1978; Schultetus, 1987). Ungeachtet der unterschiedlichen Kraftwerte der einzelnen Studien, die aufgrund verschiedener gemessener Kollektive nicht einfach vergleichbar sind, ist zu erkennen, dass sich die Kraftwerte für verschiedene Kraftwirkungsrichtungen deutlich unterscheiden. Betrachtet man die verschiedenen Fügevorgänge bei der Fahrzeugmontage, so sind hier häufig Kräfte mit den Fingern aufzubringen, die beispielsweise entgegengesetzt zur Zugangsrichtung ausgeübt werden müssen. Ursachen können eingeschränkte Zugänglichkeiten oder komplexe bauteilabhängige Befestigungstechniken sein. Bisherige Untersuchungen geben keinen Aufschluss darüber, ob die Höhe der maximal aufzubringenden Fingerkraft bei eingeschränkten Zugänglichkeiten variiert. Dies ist für die Auslegung der Befestigungselemente in der Fahrzeug-Konstruktion aber von großer Bedeutung.

2. Forschungsgegenstand

Der Gegenstand der biomechanischen Untersuchung bestand darin, mit Hilfe einer Kraftmessdose die vom Zeigefinger übertragenen Kräfte zu ermitteln. Durch den Einsatz von bewegungseinschränkenden Störkonturen am Versuchsstand (der sog. „Montagebox“) lassen sich verschiedene Zugangsrichtungen zur Kraftmessdose realisieren. In dieser Studie wurde der Unterschied zwischen einer freien, einer zur Fügerichtung senkrechten sowie zur Fügerichtung entgegengesetzten Krafrichtung unterschieden (Abbildung 1).

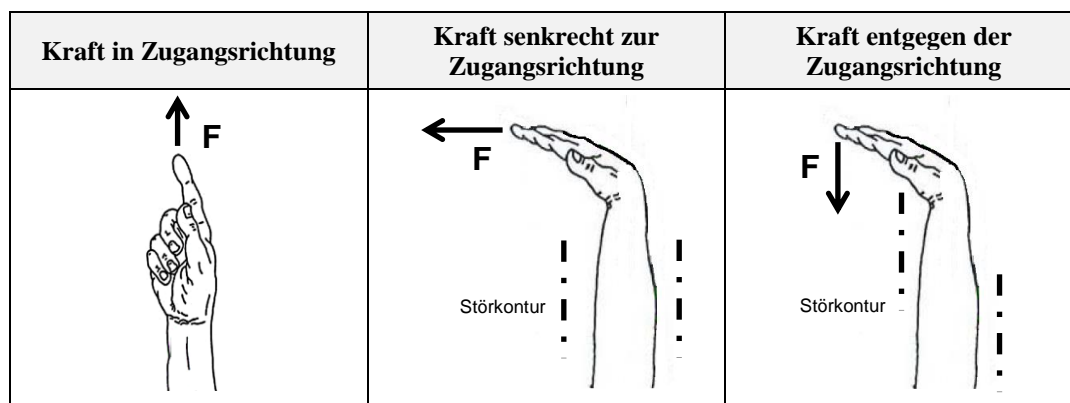


Abbildung 1: Darstellung der drei untersuchten Krafrichtungen (F) im Verhältnis zur Zugangsrichtung

3. Versuchskonzept

Um menschenbezogene Einflussfaktoren auszuschließen, sollte ein möglichst homogenes Kollektiv an gesunden männlichen Personen für die Messungen eingesetzt werden. Es wurde eine Gruppe von 10 Personen (31,2 Jahre; 1,81 m Körpergröße; 82,2 kg Gewicht) untersucht. Die Probanden standen in einer aufrechten Körperhaltung an der Messvorrichtung. Der Oberarm sollte sich in der Neutral-Null-Position, sprich in keiner Extensions- bzw. Flexionsposition der Schulter, befinden, der Unterarm vom Probanden im 90°-Winkel mit einem am Oberkörper angelegten Ellenbogen gehalten werden. Die Position des Handgelenks konnte jeder Proband frei wählen. Immer mit der Absicht, beim Drücken auf die Kraftmessdose die für ihn maximale Kraft erzeugen zu können. Die Höhe und Position der Kraftmessdose konnte aufgrund der hohen Einstellungsmöglichkeit der Montagebox in verschiedenen Freiheitsgraden jedem Probanden individuell angepasst werden. Um durch Randomisierung den Ermüdungseffekt in den statistischen Ergebnissen zu vermeiden, wurde die Messreihenfolge der drei Bedingungen bei jedem Probanden permutiert. Jede Bedingung wurde insgesamt 10-mal gemessen. In Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Maximalkräfte für DIN 33411-5 (1999) wurde die Messzeit auf 4 Sekunden festgelegt. In dieser Zeitspanne sollte der Proband innerhalb von einer Sekunde die Maximalkraft aufbauen und möglichst konstant drei Sekunden lang halten. Bevor mit der neuen Messung begonnen wurde, hatte der Proband eine Pause von 116 Sekunden, sprich bis zum Ablauf der vollen zwei Minuten. Als Maximalkraft sollte dabei der höchste gleitende Mittelwert über einen Erfassungszeitraum von 1,5 Sekunden innerhalb der 4 Sekunden dauernden Kraftausübung gewertet werden.

4. Ergebnisse

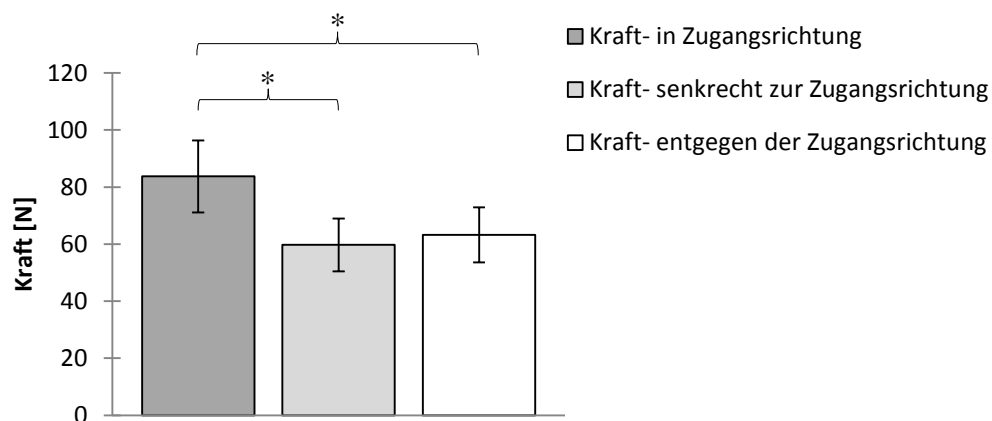


Abbildung 2: Vergleichende Darstellung der maximalen Fingerkräfte in Newton (N)

Die Kraftwerte, die mit dem Zeigefinger über die Kraftmessdose ermittelt wurden, zeigen signifikante Unterschiede zwischen der freien und eingeschränkten Zugänglichkeit (Abbildung 2). Bei der freien Zugänglichkeit ergibt sich für die 10 Probanden ein Mittelwert von maximal 83,74 ($\pm 12,66$) Newton. Für die beiden eingeschränkten Zugänglichkeiten, sprich der zur Zugangsrichtung senkrechten [59,72 ($\pm 9,30$) Newton] sowie entgegengesetzten Krafrichtung [63,23 ($\pm 9,65$) Newton] kann keine signifikante Differenz entnommen werden.

5. Diskussion

Die Ergebnisse aus den Messungen der maximalen isometrischen Fingerkräfte zeigen für die freie Zugänglichkeit die höchsten signifikanten Kraftwerte. Im Vergleich dazu können die Ganzkörperkraftmessungen des Kraftatlas (BGIA-Report, 2009), für den ebenfalls die höchsten Kraftmittelwerte in der Krafrichtung -B (Druckkraft) aufgenommen wurden, herangezogen werden. Dieses Ergebnis wird mit dem Einsatz des Körpergewichtes (Vorwärtsneigung) begründet. Keinen signifikanten Unterschied zeigt der Vergleich der beiden eingeschränkten Zugangsrichtungen. Da sich ebenfalls das Körpergewicht (Rückwärts-/ Seitwärtsneigung) zur Kraftentwicklung einsetzen lässt, ist anzunehmen, dass das Fingergrundgelenk bzw. Handgelenk den Engpass in der Kraftübertragung darstellt.

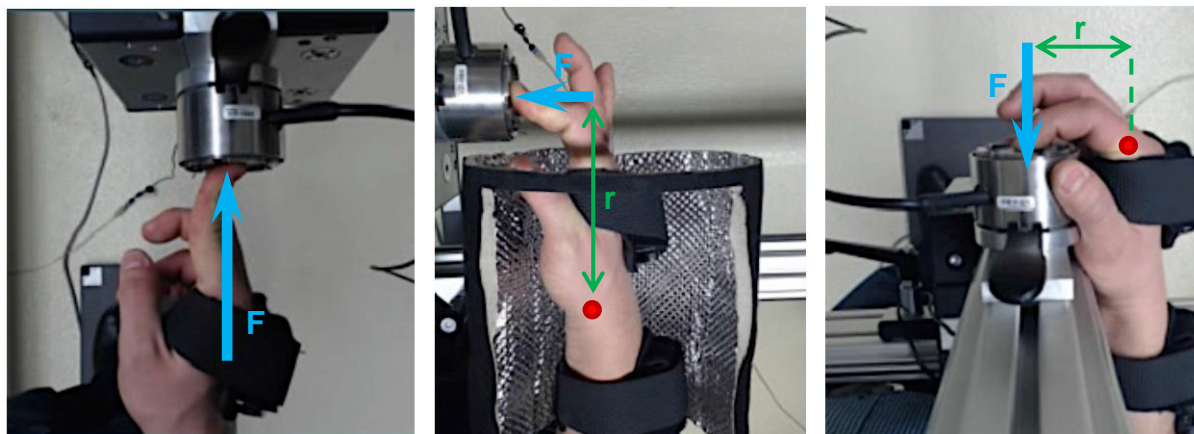


Abbildung 3: Darstellung der Finger-Hand-Position, der Krafrichtung (F) sowie der Hebelarme (r) auf das Hand- sowie Zeigefingergrundgelenk bei den eingeschränkten Zugänglichkeiten.

Bei einer biomechanischen Betrachtung der Fingerstellung ist zu erkennen, dass für eine freie Zugänglichkeit kein Hebelarm zwischen Kraftangriffspunkt am Finger und dem Handgelenk entsteht. Somit kann die Kraft frei vom Rumpf und der Schulter-Arm-Muskulatur über den Finger auf die Kraftmessdose übertragen werden. Bei einem bestehenden Hebelarm zwischen dem Kraftangriffspunkt und dem jeweiligen Gelenk (Abbildung 3) entsteht bei der Kraftübertragung ein externes Drehmoment, welches auf die Gelenkachse wirkt. Da bei einer statischen Kraftausführung die Summe der internen und externen Momente identisch ist, muss die Muskulatur des Fingergrund- und Handgelenks dieses externe Drehmoment kompensieren. Somit stellt bei einer eingeschränkten Zugänglichkeit und einer von der freien Zugänglichkeit abweichenden Finger-Hand-Position das Fingergrund- bzw. Handgelenk den entscheidenden Engpass dar.

6. Fazit

Die Untersuchung verschiedener Zugangsrichtungen beim Fügen von Clipsen oder bauteilseitigen Befestigungspunkten zeigt Unterschiede zwischen einer uneingeschränkten sowie einer durch einen vorgegebenen Bewegungspfad eingeschränkten Zugänglichkeit zur Fügestelle. Die signifikant höheren Maximalkräfte für die freie Zugänglichkeit könnten anhand des Ganzkörpereinsatzes erklärt werden. Folglich sollte durch geeignetes Ausrichten von Fügeobjekten die Zugangs- und Krafrichtung bevorzugt parallel gewählt werden. Damit könnten durch ungezwungene Finger- und Handgelenkstellungen, sprich der Vermeidung äußerer Drehmomente Belastungen und Beanspruchungen im Hand-Arm-Komplex, für den Werker an der Montagelinie beim Einsatz hoher Finger- und Handkräfte vermieden werden.

7. Literatur

- BGIA-Report 3 (2009): Der montagespezifische Kraftatlas. Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt IAD. (Hrsg) Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV Berlin. ISBN 978-3-88383-788-8.
- Burandt, U. (1978): Ergonomie für Design und Entwicklung. O. Schmidt, Köln.
- DIN 33411 Teil 1 (1982): Körperkräfte des Menschen; Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen. [DIN 33411-5] DIN 33411-5, 1999: Körperkräfte des Menschen – Maximale statische Aktionskräfte.
- Salmanzadeh, H. (2011): Einflüsse von Greif- und Kontaktbedingungen auf die Montage von Clipsverbindungen aus der Automobilindustrie. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Fachbereich Maschinenbau.
- Schultetus, W.; Lange, W.; Doerken, W. (Hrsg.) (1987): Montagegestaltung: Daten, Hinweise und Beispiele zur ergonomischen Arbeitsgestaltung. TÜV Rheinland, Köln.

Danksagung: Ein herzlicher Dank geht an Herrn Prof. Wolfgang Potthast der Deutschen Sporthochschule Köln sowie Herrn Christian Lersch der Firma Velamed GmbH in Köln für die intensive Betreuung und Unterstützung der methodischen Arbeit.