

Einfluss der konstruktiven Gestaltung der Fahrzeugkabine eines Elektro-Kleintransporters ohne Seitenschweller auf die muskuläre Beanspruchung beim Ein- und Ausstiegsvorgang

Alexander MERTENS¹, Thomas WELFERS², Christopher BRANDL¹, Sonja MEIER¹,
Lea FINKEN¹, Jennifer BÜTZLER¹, Micha LESEMAN², Lutz ECKSTEIN²,
Christopher SCHLICK¹

¹*Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

²*Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen
Steinbachstraße 7, D-52074 Aachen*

Kurzfassung: Durch die zunehmende Bedeutung des überregionalen Lieferverkehrs steigt aus arbeitswissenschaftlicher Sicht die Relevanz für eine ergonomische Auslegung der zugehörigen Arbeitsplätze für Zulieferer. Daher wurde in der hier beschriebenen Studie der Einfluss der konstruktiven Gestaltung der Fahrerkabine auf die muskuläre Beanspruchung bei Ein-/Ausstiegsvorgängen mittels elektro-physiologischer Messverfahren evaluiert. Hierbei konnte gezeigt werden, dass bei einem innovativen Elektro-Kleintransporter ohne Seitenschweller die muskuläre Aktivität bei den entsprechenden Bewegungsvorgängen signifikant geringer ist im Vergleich zu einem Referenzfahrzeug, welches dem Stand der Technik entspricht. Dieser Effekt konnte zudem für verschiedene Altersgruppen reproduziert werden.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Elektromyografie, Lieferfahrzeug, Kabinenkonzept, Zusteller, Beanspruchung

1. Einleitung

Anwachsende überregionale Warenströme sind Gründe für eine deutliche Steigerung des individuellen Lieferverkehrs durch Zustelldienste und eines generellen Anstiegs in den bewohnten Bereichen. Heutzutage werden hierzu üblicherweise von PKW-Modellen abgeleitete Lieferfahrzeuge eingesetzt, oder klassische Kleintransporter in Kastenbauweise. Dies bedeutet, dass nicht nur die speziellen Anforderungen hinsichtlich des Benutzungsszenarios und Fahrzyklus sondern auch im Hinblick auf die Ergonomie nur teilweise berücksichtigt werden können (Samuel & Badajide, 2012).

Pro Schicht führt ein Zusteller bis zu 400 Lieferungen durch (Altenkirch et al., 2011). Dementsprechend hoch ist die durch Ein- und Ausstiege verursachte Belastung. Diese Ein- und Ausstiegsvorgänge beanspruchen Muskeln teilweise auf ungewohnte Art und Weise, was zu einer Überlastung im Bereich der Schultern, des Nackens und im unteren Rücken führen kann (Ramon & Hostens, 2005). Zur Reduzierung der muskulären Beanspruchung von Zustellern wurde im Rahmen der Neuentwicklung eines Elektro-Kleintransporters (DELIVER Projekt: <http://www.deliver-project.org/>) ein innovatives Kabinenkonzept ohne Seitenschweller entwickelt, das eine geringere Beanspruchung bei der Benutzung ermöglichen soll (Lesemann et al., 2014). In der hier dargestellten arbeitswissenschaftlichen

Untersuchung wird daher die Forschungsfrage evaluiert, in wie weit die Gestaltung der Fahrzeugkabine eines Kleintransporters ohne Seitenschweller in Abhängigkeit des Alters der Arbeitsperson zu einer Reduzierung der muskulären Beanspruchung beim Ein-/Ausstiegsvorgang im Vergleich zu Standardfahrzeugen führt und somit hilft den Arbeitsplatz von Zustellern ergonomischer zu gestalten.

2. Methodik

Die ergonomische Analyse des neuentwickelten Ein- und Ausstiegsbereichs wurde als vergleichende Studie zu einem dem Stand der Technik entsprechenden Fahrzeug mit vergleichbaren Rahmenbedingungen mit Messwiederholung auf allen Innersubjektfaktoren (Within-Design) durchgeführt (Abbildung 1).



Abbildung 1: Ein-/Ausstiegsbereich des Standardfahrzeugs (rechts) sowie beim neuentwickelten Kabinenkonzept ohne Seitenschweller (links)

Hierbei wurde mittels elektromyografischer Messungen die muskuläre Aktivität bei den Probanden während der Ein-/Ausstiegsvorgänge als objektiver, physiologischer Parameter erfasst, um somit etwaige Effekte identifizieren zu können. Die Aufgabe der Probanden bestand in der 15-fachen Wiederholung des folgenden Ablaufs, der die typischen motorischen Abläufe des Arbeitsprozesses eines Zustellers simuliert:

- (1) In die Fahrzeugkabine des jeweilige Fahrzeugs einsteigen
- (2) 20 Sekunden in Fahrposition verweilen
- (3) Aus dem Fahrzeug aussteigen
- (4) Mit Schritttempo eine Runde um das Auto bis zum Einstiegsbereich gehen

Zur Kompensation von Folgeeffekten (z.B. muskuläre Ermüdung) wurde zwischen der Versuchsdurchführung bei den beiden Fahrzeugtypen eine zehnmünütige Pause eingelegt sowie die Reihenfolge per lateinischem Quadrat permutiert. Ausgehend von Vorstudien, wurden vier Muskeln für eine differenzierte Analyse ausgewählt (Beschreibung siehe Tabelle 1):

- Musculus latissimus dorsi (M. lat. dor.)
- Musculus rectus femoris (M. rect. fem.)
- Musculus vastus medialis (M. vast. med.)
- Musculus gastrocnemius medialis (M. gast. med.)

Tabelle 1: Lage der untersuchten Muskelgruppen und Funktion bei den Bewegungsabläufen beim Ein-/Ausstiegsvorgang (Schünke, 2000)

Muskel	Lage	Funktion
M. lat. dor.	Großer Rückenmuskel auf ganzer Länge der Wirbelsäule	Anlegen, Innenrotation und Rotation des Arms im Schultergelenk
M. rect. fem.	Quadriceps Muskelgruppe Mitte Oberschenkel	Drehung des Beins am Hüftgelenk und Strecken/Heben des Beins am Kniegelenk
M. vast. med.	Quadriceps Muskelgruppe Innerer Oberschenkel	Austrecken des Beines und Stabilisation der Patella Sehne
M. gast. med.	Innenseite der Wade	Beugung des Sprung- und Kniegelenks

Die elektromyografischen Signale zur Quantifizierung der Muskelaktivität wurden über ein TeleMyo 2400T DTS mit einer Sampling-Rate von 1500 Hz erfasst. Für jeden Muskel wurden hierzu zwei Elektroden parallel zum Muskelfaserverlauf mit einem Innerelektrodenabstand von 2 cm positioniert (Abbildung 2), wodurch eine valide Ableitung der Potenzialschwankungen der motorischen Einheiten der Muskulatur möglich ist (Hermens et al., 2000).

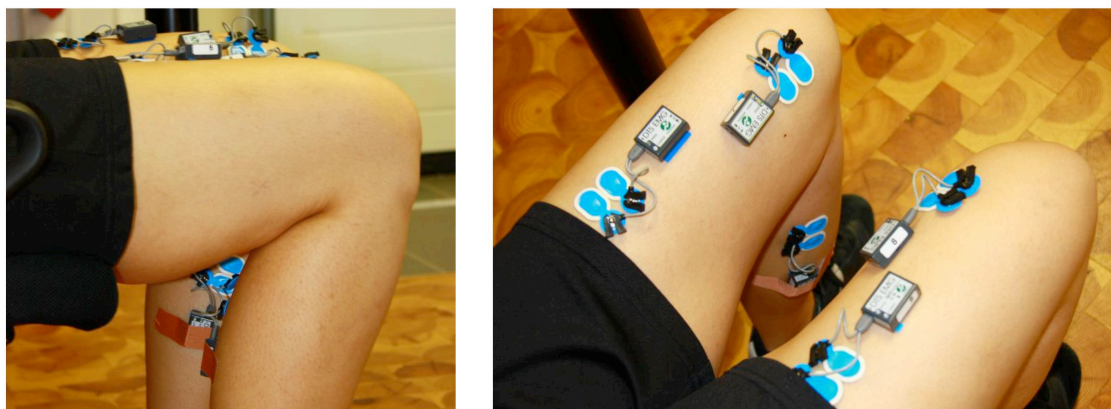


Abbildung 2: Beidseitige Platzierung der EMG-Elektroden an den unteren Extremitäten

Die Messungen wurden einer EKG-Unterdrückung unterzogen und aus den gleichgerichteten Roh-Signalen der Root-Mean-Square (RMS) Wert berechnet. Die durchschnittliche Muskelaktivität (μV) wurde als prozentualer Anteil vom Peak-Wert einer geglätteten MVC-Referenzmessung (10 Sekunden) angegeben. Alle Referenzmessungen wurden mit einem Zeitfenster von 500 Millisekunden (ms) und die Bewegungsmuster mit 100 ms geglättet.

Die Datenerfassung erfolgte kontinuierlich. Nach Abschluss der Untersuchung wurden anhand entsprechender Marker in den Messreihen die Zeitfenster extrahiert und für die Analyse berücksichtigt, die direkt mit dem Ein-/Ausstiegsvorgang in Verbindung standen.

2.1 Stichprobe

Innerhalb der Studie wurde eine Stichprobe mit $N = 18$ Probanden zwischen 18 und 60 Jahren untersucht, die hinsichtlich des Geschlechts ausbalanciert war (♂ : 9; ♀ : 9). Das Durchschnittsalter betrug 37,6 Jahre ($\text{SD} = 3,1$) Jahre. Die Spannweite der Körpergröße lag zwischen 162,1 cm und 198,0 cm. Das durchschnittliche Gewicht betrug 83,9 kg ($\text{SD} = 17,5$), wobei die leichteste Person 54,8 kg und die

schwerste Person 104,8 kg wog. 14 Personen gaben an, täglich ein KFZ zu benutzen, während vier Probanden es lediglich 1-2 Mal pro Woche nutzen. 15 der Probanden waren rechtshändig. Alle Probanden haben freiwillig an der Untersuchung teilgenommen und keine Aufwandsentschädigung erhalten.

2.2 Hypothese und Variablen

Folgende gerichteten Forschungshypothesen wurden im Hinblick auf den Einfluss der konstruktiven Gestaltung des Ein-/Ausstiegsbereichs überprüft:

H_1 : Durch die konstruktive Gestaltung der Fahrzeugkabine ohne Seitenschweller ist die muskuläre Aktivität für die Bewegungsabläufe beim Ein-/Ausstieg geringer im Vergleich zu einem Fahrzeug mit vergleichbaren Rahmenbedingungen das einen Seitenschweller hat.

H_2 : Die muskuläre Aktivität für die Bewegungsabläufe beim Ein- und Ausstiegsvorgang steigt bei Personen mit höherem Alter an.

Die zur empirischen Evaluation der Hypothesen eingesetzten Variablen sind in Tabelle 2 beschrieben.

Tabelle 2: Unabhängige und abhängige Variablen des Versuchsdesigns

Unabhängige Variablen

Alter der Probanden:

- AG₁: 18-39 Jahre
- AG₂: 40-60 Jahre

Kabinenkonzept:

- Fahrzeugkabine ohne Seitenschweller (OSS)
- Fahrzeugkabine mit Seitenschweller (MSS)

Abhängige Variable

Muskuläre Aktivität differenziert anhand der Sagitalebene (l/r):

- M. lat. dor.
- M. rect. fem.
- M. vast. med.
- M. gast. med.

2.2 Statistische Auswertung

Die inferenzstatistische Analyse der Messdaten erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics Version 21. Die Überprüfung der Hypothesen wurde mittels mehrfaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Die Überprüfung erfolgte zweiseitig. Als Innersubjektfaktor wurden die Faktorstufen der Variable "Kabinenkonzept" ausgewertet sowie als Zwischensubjektfaktoren die Altersgruppe berücksichtigt. Zur Ablehnung von Nullhypothesen wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ zugrunde gelegt.

3. Ergebnisse

Die inferenzstatistische Analyse der Messdaten hat ergeben, dass keine Interaktionen zwischen den unabhängigen Variablen bestehen, so dass die Haupteffekte unabhängig voneinander interpretiert werden können.

Die Analyse des Einflusses des Kabinenkonzepts zeigt, dass es bei allen Muskelgruppen außer dem M. vast. med. signifikante Unterschiede hinsichtlich der Muskelaktivität zwischen den Fahrzeugtypen gab. Somit kann die Nullhypothese H_{01} abgelehnt werden. Hierbei traten die Effekte in Abhängigkeit davon, ob es sich bei

Tabelle 3: Differenzierte Ergebnisse der Varianzanalyse hinsichtlich Unterschieden bei der muskulären Aktivität zwischen den zwei Faktorstufen des Kabinenkonzepts (p-Wert).

	Einstieg		Ausstieg	
	Links	Rechts	Links	Rechts
M. lat. dor.	p = 0,039*	p = 0,048*	p = 0,008*	p = 0,503
M. rect. fem.	p = 0,285	p = 0,022*	p = 0,041*	p = 0,538
M. vast. med.	p = 0,301	p = 0,357	p = 0,353	p = 0,079
M. gast. med.	p = 0,347	p = 0,046*	p = 0,021*	p = 0,014*

* signifikant auf dem Niveau von 0,05

den erfassten Bewegungsabläufen um den Ein-/Ausstieg handelte, primär auf der rechten respektive linken Körperseite auf (siehe Tabelle 1).

Eine deskriptive Analyse der mittleren relativen Muskelaktivität aller Probanden (siehe Abbildung 3) zeigt, dass die Aktivität bei den Bewegungsabläufen an der neuentwickelten Fahrzeugkabine ohne Seitenschweller geringer ist. Da eine stärkere Muskelaktivität einer erhöhten Beanspruchungssituation entspricht, kann für das hier fokussierte Arbeitssystem das neuentwickelte Kabinenkonzept im Hinblick auf das Ein- bzw. Aussteigen als weniger belastend im Vergleich zum Stand der Technik bewertet werden. Die Analyse des Einflusses des Alters der Probanden hat keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Muskelaktivität ergeben (es gilt für all $p > 0,12$). Die Nullhypothese H_{02} kann somit nicht verworfen werden.

4. Diskussion

Zur Vermeidung der Gefährdung arbeitender Menschen und zur Ausschaltung/Minimierung gesundheitlicher Risiken/Schäden sind nach dem TOP-Ansatz der Arbeitswissenschaft soweit möglich konstruktive und technische Maßnahmen am Arbeitssystem durchzuführen (Schlick et al., 2010). Die im Rahmen des DELIVER Projekts durchgeführte menschenzentrierte Entwicklung eines neuen Kabinenkonzepts für einen Elektro-Kleintransporter repräsentiert ein solches Vorgehen, das die Beanspruchung durch die pro Schicht von Zustellern durchzuführenden Lieferungen reduziert. Die im Rahmen dieser Neuentwicklung aufgetretenen Forschungsfragen bzgl. des Einflusses der konstruktiven Gestaltung auf die Belastung für die Arbeitsperson wurden in der hier vorgestellten empirischen Studie eruiert. Mittels elektrophysiologischer Messverfahren konnte die Beanspruchung anhand der Muskelaktivität quantifiziert werden und hierdurch der Nachweis gelingen, dass der neugestaltete Ein- und Ausstiegsbereich ohne Seitenschweller eine beanspruchungsärmere Gestaltung des Arbeitssystems für Zulieferer ermöglicht. Besondere Relevanz erfährt das Ergebnis durch die Tatsache, dass dieser Zusammenhang unabhängig vom Alter der Probanden ist und somit im Sinne des „Design-4-All“ (Stephanidis, 2014) eine Gestaltungslösung darstellt, die für die gesamte Zielgruppe die Belastungssituation reduzieren kann.

In Hinblick auf die sehr hohe Belastungssituation in dieser Berufsgruppe, welche sich z.B. in einer stark überdurchschnittlichen Anzahl krankheitsbedingter Arbeitsunfähigkeitstage manifestiert (BKK Bundesverband, 2012) sind im Sinne des TOP-Ansatzes jedoch zusätzlich organisatorische und personenbezogene Maßnahmen wie z.B. Sicherstellung ausreichender Erholungspausen, optimierte Routen sowie Schulungen zur manuellen Handhabung von Lasten erforderlich.

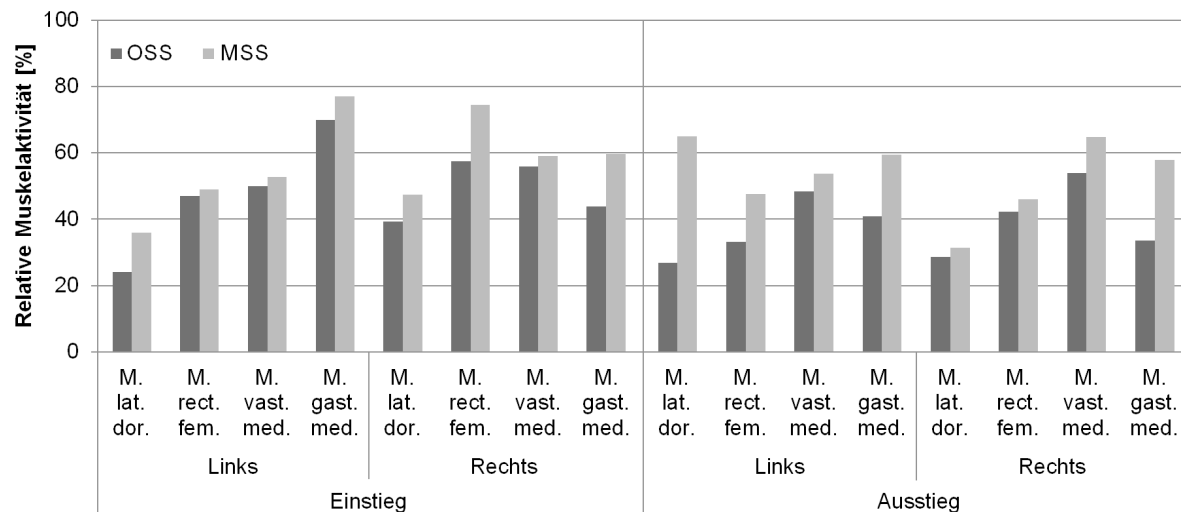


Abbildung 3: Mittlere Muskelaktivität der Probanden differenziert für die linke und rechte Sagitalebene und untersuchten Muskelgruppen beim Ein-/Ausstieg in die neuentwickelte Fahrzeugkabine ohne Seitenschweller (OSS) sowie die Fahrzeugkabine des Standardfahrzeugs mit Seitenschweller (MSS)

Aus versuchsökonomischen Gründen war eine differenzierte Analyse hinsichtlich des Einflusses des Geschlechts nicht möglich, jedoch sind die Ergebnisse dennoch generisch anwendbar, da die Kohorte hinsichtlich dieses Merkmals ausbalanciert war. Zum Nachweis der Validität der hier modellierten Wirkzusammenhänge ist im Anschluss an die Laboruntersuchung eine Feldstudie geplant, bei der die muskuläre Aktivität über einen Arbeitstag unter realen Arbeitsbedingungen evaluiert werden soll. In diesem Zusammenhang soll auch die Frage beantwortet werden, wie hoch die muskuläre Aktivität bei den Ein- und Ausstiegsvorgängen relativ zu anderen Bewegungsvorgängen beim Arbeitsprozesse (z.B. Anheben/Absetzen des Lieferguts) ist und welchen Anteil an der Beanspruchung diese somit ausmachen.

5. Literatur

- Altenkirch C, Barth G, Faul F, Glatzel G, Koch J, Lienhop M, Wiehle, M (2011) Konzipierung und Gestaltung elektromobiler Dienstleistungen im innerstädtischen Raum. Braunschweig: Institut für Transportation Design.
- BKK Bundesverband (2012) BKK Gesundheitsreport 2012: Gesundheit fördern – Krankheit versorgen – mit Krankheit leben
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G (2000) Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. In: Journal of electromyography and kinesiology 10(5), 361-374.
- Lesemann M, Welfers T, Mohrmann B, Eckstein L (2014) Design and Build-Up of an Electric Delivery Vehicle. Automobiltechnische Zeitschrift 116(9), 34-40.
- Ramon H, Hostens I (2005) Assessment of muscle fatigue in low level monotonous task performance during car driving. Journal of Electromyography and Kinesiology 15 (3) 266-274.
- Samuel O, Babajide L (2012) The Prevalence of Work-Related Musculoskeletal Disorder among Occupational Taxicabs Drivers in Nigeria. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences (IJRRAS) 11(3), 561-565.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.
- Schünke M (2000) Funktionelle Anatomie - Topographie und Funktion des Bewegungssystems. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Stephanidis C (2014) Design 4 All. In: Soegaard M, Dam RF (Hrsg.) The Encyclopedia of Human-Computer Interaction (2. Aufl.) Aarhus: The Interaction Design Foundation.