

Ergonomieunterstützung in der Logistik – Industrieller Einsatz von Exoskeletten an Palettier- und Kommissionierarbeitsplätzen zur körperlichen Entlastung von Mitarbeitern

Nicole BEDNORZ, Semhar KINNE, Veronika KRETSCHMER

*Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4, D-44227 Dortmund*

Kurzfassung: In logistischen Prozessen wie dem Palettieren und Kommissionieren treten durch tätigkeitsbedingte Zwangshaltungen, einseitige Belastungen oder falsche Bewegungsmuster vermehrt Muskel-Skelett-Erkrankungen auf. Im Rahmen der Forschungsprojekte ADINA und INNOVATIONSLABOR wird unter realen Arbeitsbedingungen ein Exoskelett des Herstellers LAEVO in einer Feld- sowie einer Laborstudie hinsichtlich des Einsatzpotenziales zur Reduzierung physischer Beanspruchung, der Nutzungsakzeptanz und des Tragekomforts untersucht.

Schlüsselwörter: Exoskelett, Physische Beanspruchung, Assistenzsystem, Muskel-Skelett-Erkrankungen, Ergonomie, Logistik

1. Einleitung

Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) sind die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland (Knieps & Pfaff 2016). Vor allem intralogistische Aktivitäten wie das manuelle Kommissionieren und Palettieren bergen ein hohes Risiko für MSE, da sie durch repetitive, manuelle Lastenhandhabungen, Zwangshaltungen und häufige Hebe- und Senkbewegungen gekennzeichnet sind. 24,1% der erwerbstätigen Männer und 21,8% der Frauen heben und tragen immer noch schwere Lasten bei der Arbeit (BAuA 2018). Im Zusammenhang mit dem demografischen Wandel nimmt die Bedeutung präventiver Maßnahmen am Arbeitsplatz zum langfristigen Erhalt der Arbeitsfähigkeit stetig zu. Der Bedarf an Assistenzsystemen zur mechanischen Unterstützung des Menschen motiviert daher neue technologische Entwicklungen auf dem Gebiet der Exoskelette. Exoskelette sind äußere Stützstrukturen, die über der Kleidung getragen werden und spezifische Körperteile aktiv oder passiv mechanisch unterstützen.

Ein Review von Looze et al. (2016) untersucht die Auswirkungen verschiedener Exoskelette für den industriellen Gebrauch im Hinblick auf die körperliche Entlastung. Passiven Exoskeletten wurde insgesamt ein positiver Unterstützungseffekt für den unteren Rücken bei statischen Haltetätigkeiten und dynamischen Hebe- und Senkvorgängen zugeschrieben. Mit aktiven Exoskeletten seien für Unterkörper, Rumpf und obere Körperregionen noch größere Auswirkungen auf die körperliche Beanspruchung möglich (Looze et al. 2016). Im Bereich der Rehabilitation existieren aktive Exoskelette verschiedener Hersteller, die Querschnittsgelähmten das Gehen ermöglichen oder sie im therapeutischen Einsatz trainieren (Grasmücke et al. 2018). Für den industriellen Einsatz befinden sich aktive Exoskelette noch im Entwicklungsstadium (Looze et al. 2016). Die Risiken, durch unbeabsichtigte Aktivierung oder unnatürliche Bewegungsabläufe Verletzungen des Anwenders hervorzurufen, sind

hingegen bei passiven Exoskeletten geringer. Gewerblich vertrieben werden beispielsweise die tragbare Sitzhilfe Chairless Chair (Noonee AG, Schweiz) oder das Exoskelett Paexo (ottobock, Deutschland), welches die Schultern bei Überkopfarbeit entlastet. Zur Unterstützung des unteren Rückens wurde das Exoskelett LAEVO (Laevo, Niederlande) entwickelt, welchem in einer Feldstudie in der Automobilindustrie ein positiver Effekt auf die wahrgenommene Beanspruchungsreduktion zugeschrieben wurde (Hensel et al. 2018).

In der vorliegenden Studie wird der Einsatz des passiven Exosketts LAEVO in der Modellreihe 2.5 (Größe S bis XL) für logistische Tätigkeiten untersucht. Durch Feldstudien bei verschiedenen Anwendern sowie einer Laborstudie sollen neue Erkenntnisse in Bezug auf den Tragekomfort, die erlebte Wirksamkeit sowie die Technikakzeptanz des Exosketts gewonnen werden.

2. Pilotierung im industriellen Umfeld – Einsatz des Exosketts am Palettierarbeitsplatz

Die Studien werden vom Fraunhofer IML im Rahmen der Forschungsprojekte ADINA und Innovationslabor für Hybride Dienstleitungen in der Logistik betreut und durchgeführt. Das Projekt ADINA befasst sich mit der Analyse bestehender Techniken zur Automatisierung und Ergonomieunterstützung sowie deren Implementierung in spezifischen Anwendungsfeldern der Logistik. Im Innovationslabor werden Lösungen für neue Formen von Dienstleistungen sowie für die Interaktion von Menschen und Technik im Zuge von Industrie 4.0 sowie dem Internet der Dinge entwickelt und erprobt.

2.1 Aufbau der Feldstudie

Im Rahmen des ADINA-Forschungsprojektes werden bei drei beteiligten Industriepartnern jeweils vier Probanden je Unternehmen für einen Zeitraum von 14 Tagen ein LAEVO Exoskelett bei ihrer Arbeitstätigkeit in der Palettierung und Kommissionierung erproben. Getestet werden Probanden unterschiedlicher Altersgruppen und Körpergrößen sowie ohne gesundheitliche Einschränkungen.

Die erste Pilotphase fand beim Industriepartner EJOT am Standort Bad Berleburg statt. Bei EJOT handelt es sich um eine mittelständische Unternehmensgruppe, welche Lösungen für die Verbindungstechnik in den Bereichen Industrie, Bau und Kunststoffe entwickelt und produziert. Betrachtet wurden zwei identische Palettierarbeitsplätze, bei denen die Mitarbeiter durch eine Kombination aus einer gebückten Körperhaltung und dem Tragen schwerer Lasten einer nicht unerheblichen physischen Belastung unterliegen.



Abbildung 1: In der Feldstudie eingesetztes Exoskelett

Die Pilotphase begann mit der Anpassung des Exoskeletts auf die Probanden sowie einer Einweisung in die Nutzung und Handhabung (Abb. 1). Beginnend mit einer einstündigen Nutzungszeit wurde diese im Rahmen der zweiwöchigen Pilotphase sukzessive gesteigert.

Der untersuchte Prozess beginnt mit der Bereitstellung von Kartons oder Behältern an einem Arbeitsplatz über eine Fördertechnik gemäß des Ware-zur-Person Prinzips. Diese werden im Anschluss auf eine Europalette aufgestapelt. Als Rahmenbedingungen gelten dabei eine Entnahmehöhe der Pakete von der Fördertechnik von rund 86 cm. Die Ablagehöhe zur Positionierung des Paketes auf der Palette ähnelt der Entnahmehöhe, da diese durch den Einsatz eines Hubwagens individuell von den Mitarbeitern angepasst werden kann. Die Packstücke unterscheiden sich in ihren Abmessungen, Gewichten und Stapelformen, wobei das durchschnittliche Gewicht pro Packstück acht bis neun Kilogramm beträgt. An einem Arbeitsplatz (Abb. 2) werden durchschnittlich 100 Packstücke pro Stunde palettiert.

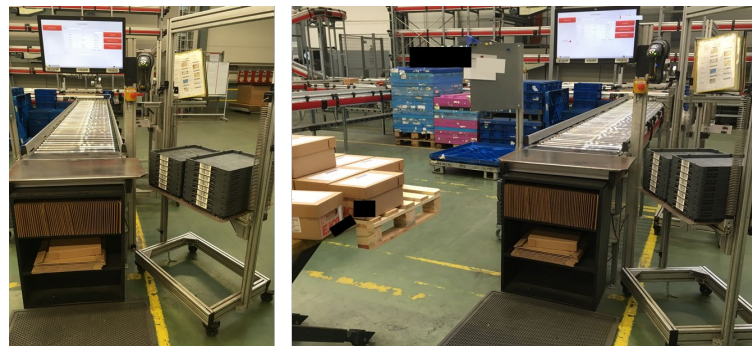


Abbildung 2: Betrachteter Arbeitsplatz

2.2 Methodisches Vorgehen

Im Anschluss an die Testphase wurde eine quantitative Befragung der operativen Lagerarbeiter durchgeführt. Die Teilnehmer/-innen füllten verschiedene papierbasierte Fragebögen aus. Mittels des NASA-Task Load Index (Staveland & Hart 1988) bewerteten die Teilnehmer/-innen die subjektive Arbeitsbeanspruchung (Workload, 0 = gering, 100 = hoch) während des Palettierens mit dem Exoskelett. Des Weiteren wurde während der Palettieraufgabe die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit (0 = sehr einfach, 10 = sehr schwierig), der allgemeine Tragekomfort (0 = sehr bequem, 10 = sehr unbequem) sowie der lokale Tragekomfort folgender verschiedener Körperbereiche mit einer visuellen Analogskala (VAS) abgefragt (0 = ohne Beschwerden, 10 = maximales Unbehagen): Brustbereich, Bauchbereich, Bereiche des oberen und unteren Rückens, Bereiche des vorderen und hinteren Oberschenkels (Baltrusch et al. 2018).

Hinsichtlich der Handhabung des Exoskeletts wurden unter Verwendung von VAS die Dimensionen Einstellmöglichkeiten (An- und Ablegen, Größenverstellbarkeit, 0 = sehr einfach, 10 = sehr schwierig), Bewegungsfreiheit (0 = nicht eingeschränkt, 10 = stark eingeschränkt) und Effizienz (Reduzierung der Rückenbelastung, 0 = starke Verringerung, 10 = keine Verringerung), Aufgabenunterstützung (0 = hohe Unterstützung, 10 = keine Unterstützung) und Aufgabenbeeinträchtigung (0 = keine Beeinträchtigung, 10 = starke Beeinträchtigung) erfasst (Baltrusch et al. 2018). Um eine Gesamteinschätzung des Exoskeletts zu erhalten, vergaben die Probanden Schulnoten.

Im Anschluss wurden soziodemografische Daten sowie technologiebezogene Persönlichkeitsmerkmale wie Technikbereitschaft (Neyer et al. 2016) und Technikeinstellung (Claßen 2012) abgefragt. Nach der schriftlichen Befragung erfolgte ein halbstandardisiertes Interview mit den Teilnehmer/-innen. Es wurde in Erfahrung gebracht, was bei der Nutzung des Exoskeletts besonders gut gefallen hatte sowie welche Schwierigkeiten und Problempunkte bei der Verwendung des Exoskeletts gesehen wurden.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Quantitative Befragung – Soziodemografie und Technikbereitschaft/-einstellung

Die Stichprobe bei EJOT in Bad Berleburg umfasste 4 männliche operative Lagerarbeiter (50 % mit Muttersprache Deutsch) im Alter von 24 bis 51 Jahren ($M = 39,8$; $SD = 13,5$). Die Teilnehmer zeichneten sich durch eine große Technikbereitschaft aus: Die Technikakzeptanz fiel im Durchschnitt sehr hoch aus ($M = 4,1$; $SD = 0,8$). Ebenfalls war die Technikkompetenz- und Technikkontrollüberzeugung der Mitarbeiter überdurchschnittlich hoch (Kompetenzüberzeugung: $M = 3,6$; $SD = 1,0$; Kontrollüberzeugung: $M = 3,5$; $SD = 1,1$). Damit einhergehend wiesen die Probanden eine generell positive Einstellung gegenüber Technik auf: Sie fühlten sich nur wenig bedroht durch neue Technologien ($M = 1,7$; $SD = 1,2$) und sprachen sich überwiegend für den Einsatz von Technik aus ($M = 4,1$; $SD = 0,4$).

3.2 Quantitative Befragung – Arbeitsbeanspruchung

Die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit des Palettierens unter Einsatz eines Exoskeletts wurde als sehr gering bis moderat eingeschätzt ($M = 3,7$; $SD = 2,1$). Die subjektive Beanspruchung beim Palettieren wurde insgesamt als moderat bewertet (Abb. 3) (Grier 2015). Bei den einzelnen Workload-Dimensionen zeigte sich ein unterschiedliches Bild: Die gefühlte Anstrengung und körperliche Beanspruchung während des Palettierens fielen überdurchschnittlich hoch aus, während die geistige Beanspruchung am geringsten bewertet wurde. Im mittleren Feld waren die zeitlichen Anforderungen, Frustration und Leistung einzuordnen, wobei die selbsteingeschätzte Arbeitsleistung die größte Varianz aufwies (Abb. 3).

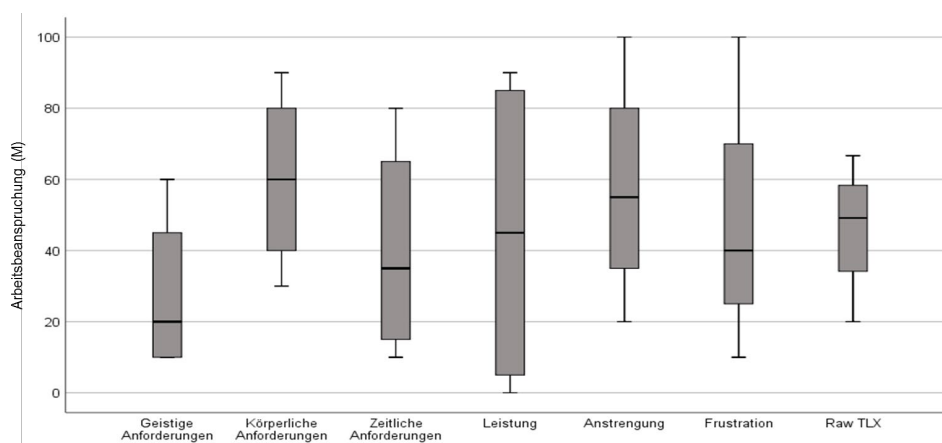


Abbildung 3: Deskriptive Statistik der Arbeitsbeanspruchung: Boxplots des globalen Workloads (Raw TLX) und der einzelnen Subdimensionen des NASA TLX

3.3 Quantitative Befragung – Handhabung und Tragekomfort des Exoskeletts

Das Exoskelett wurde insgesamt mit der Note 4⁺ bewertet ($M = 3,8$; $SD = 1,3$). Hinsichtlich der Handhabung des Exoskeletts machen die Ergebnisse deutlich, dass die Einstellmöglichkeiten des Assistenzsystems wie An- und Ablegen ($M = 2,0$; $SD = 1,5$) und die Größenverstellbarkeit ($M = 2,2$; $SD = 2,5$) als sehr einfach beurteilt wurden. Die Probanden fühlten sich zwar in ihrer Bewegungsfreiheit moderat eingeschränkt ($M = 4,6$; $SD = 2,0$), jedoch führte das Exoskelett mehrheitlich zu einer starken Reduktion der Belastung im Rücken ($M = 2,5$; $SD = 2,6$). Bezüglich der eingeschätzten Effizienz des Exoskeletts zeigt sich, dass das Device bei der Aufgabe des Palettierens wenig Unterstützung leistete ($M = 7,0$; $SD = 2,0$) und die Palettierarbeit selbst moderat beeinträchtigte ($M = 3,8$; $SD = 2,7$). Der allgemeine Tragekomfort des eingesetzten Assistenzsystems lag im mittleren Komfortbereich (Abb. 4). Hinsichtlich des lokalen Tragekomforts zeigte sich, dass das größte Unbehagen im Brustbereich auftrat. Jedoch variierten hier die Antworten auch am meisten. In den Bereichen Bauch, oberer/unterer Rücken und vorderer/hinterer Oberschenkel hingegen traten nur wenige Beschwerden auf bzw. diese Bereiche wurden nahezu als beschwerdefrei bewertet (Abb. 4).

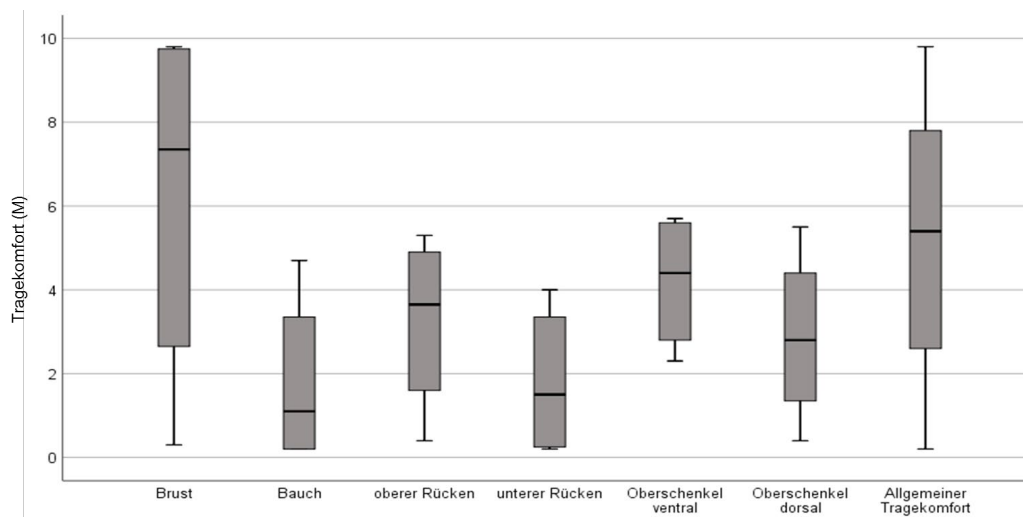


Abbildung 4: Deskriptive Statistik des Tragekomforts des Exoskeletts: Boxplots des allgemeinen und lokalen Tragekomforts

3.4 Qualitative Befragung – Vorteile und Nachteile des Exoskeletts

Die vier Teilnehmer wurden mittels halbstandardisierter Interviews gefragt, was ihnen besonders bei der Nutzung des Exoskeletts gefallen hat und welche Schwierigkeiten und Problempunkte sie gesehen haben bzw. ob es Verbesserungsvorschläge gibt. Die Probanden äußerten häufiger negative als positive Aspekte hinsichtlich des Exoskeletts. Es wird ersichtlich, dass die Probanden vor allem die Rückenunterstützung durch das Exoskelett und auch dessen Einstellmöglichkeiten positiv hervorgehoben haben. Dem gegenüber standen vor allem Probleme hinsichtlich des Tragegurtes, eine allgemeine Behinderung durch das Exoskelett, merkliche Schweißprobleme sowie Hautprobleme. Auftretende Schmerzen und das Verrutschen des Exoskeletts wurden ebenfalls negativ gewertet.

4. Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurde das Exoskelett LAEVO von vier Probanden über einen Zeitraum von 14 Tagen im Realeinsatz getestet. Die Bewertung der erlebten Belastungsreduktion auf den unteren Rücken fiel überwiegend positiv aus, wobei die Unterstützung bei der durchgeführten Palettierung als moderat eingestuft wurde. Es wird vermutet, dass das volle Potential des Devices nur bei Palettierungen mit einem Höhenunterschied zwischen Entnahme und Ablage ausgeschöpft wird, da hier eine aktive Beugung des Oberkörpers erfolgt, die für die Kraftunterstützung notwendig ist. In Bezug auf den Tragekomfort wurde ein Unbehagen im Brustbereich festgestellt. Es ist möglich, dass die individuellen Einstellungen des Exoskeletts nach einem Nutzerwechsel nicht akkurat vorgenommen wurden. Um diese Aspekte zu evaluieren, ist am Fraunhofer IML die Durchführung einer Laborstudie mit rund 30 Probanden vorgesehen. Die zuvor beschriebene Methodik wird um die Messung der Gesamtzeit sowie um für die Einstellung des Exoskeletts relevante, anthropometrische Daten ergänzt. Durch die standardisierte Durchführung des beschriebenen Arbeitsprozesses mit und ohne Exoskelett unter Berücksichtigung von Reihenfolgenaspekten werden umfangreichere Ergebnisse erwartet, die in der Feldstudie u.a. durch die Sprachbarriere erschwert wurden.

5. Literatur

- Baltrusch SJ, van Dieën JH, van Bennekom CAM, Houdijk H (2018): The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Appl Ergon* 2018; 72, 94-106.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2018): *Arbeitswelt im Wandel. Zahlen - Daten - Fakten*. Ausgabe 2018. Dortmund: BAuA.
- Claßen K (2012). *Zur Psychologie von Technikakzeptanz im höheren Lebensalter: Die Rolle von Technikgenerationen*. Dissertation.
- De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW (2016): Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. In: *Ergonomics* 59 (5), 671–681.
- Grasmücke D, Schildhauer TA, Meindl RC, Aach M (2018): Exoskelette in der Behandlung und Versorgung Querschnittgelähmter. In: *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Hg.): DGUV Forum. Fachzeitschrift für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung. Exoskelette am Arbeitsplatz und in der Reha. DGUV Forum 2018 (Ausgabe 1-2)*, Wiesbaden: Universum Verlag GmbH, 14–16.
- Grier RA (2015): How high is high? A Meta-Analysis of NASA-TLX global workload scores. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 59th Annual Meeting*, 1727-1731.
- Hensel, R, Keil, M, Mücke, B, Weiler, S (2018): Chancen und Risiken für den Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. In: *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin (ASU) Zeitschrift für medizinische Prävention* (10-2018), 645-661.
- Knieps F, Pfaff H (2016): *Gesundheit und Arbeit. Zahlen, Daten, Fakten*. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft (BKK Gesundheitsreport, 40), 2016.
- Neyer FJJ, Felber J, Gebhardt C (2016): Kurzsкала Technikbereitschaft (TB, technology commitment) (ZIS - Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen, Hrsg.).
- Staveland LE, Hart SG (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology* 52, 139-183.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de