

Methodische Gestaltung eines ergonomischen Akkupack-Wechselkonzepts

Matthias Sebastian FISCHER, Andrea HEIN, Thomas MAIER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Die vorgestellte Methode erläutert die methodische Gestaltung eines ergonomischen Akkupack-Wechselkonzepts für zukünftige Sharingangebote. Das Vorgehen beinhaltet eine digitale Analyse der aktuellen Akkuergonomie mit technischen Rahmenbedingungen. Auf dieser Basis wird eine erste Auslegung erstellt. Diese wird mittels einer Probandenstudie bestätigt und weiter detailliert. Dabei müssen die Probanden einen Handlingprototypen in relevanten Ein- und Ausbauvorgängen bewerten. Die Ergebnisse der Akkuentwicklung werden vorgestellt.

Schlüsselwörter: Akkupack-Wechselkonzept, Akkuergonomie, Methodische Ergonomieentwicklung

1. Einleitung

Die Standardisierung von modularen Produkten ermöglicht deren flexiblen und nachhaltigen Einsatz in zahlreichen Anwendungen. Ein Beispiel dafür ist ein standardisierter Akkupack, der je nach Bedarf in unterschiedlichen Anwendungen als Energielieferant oder als Energiespeicher integriert werden kann. Damit ist eine ideale Ausnutzung der verfügbaren Ressourcen – ähnlich wie bei Sharingprodukten – erreichbar.

Durch die aktuelle Entwicklung weg von der Bleitechnologie hin zur Lithium-Ionen-Technologie, werden Akkus zwar teurer, aber bei gleichbleibender Kapazität auch leichter und damit handhabbar. Dieser Umstieg und der damit zunehmende Einsatz von handhabbaren Lithium-Ionen-Akkus rückt die Möglichkeit in den Fokus, standardisierte, wechselbare Akkupacks in unterschiedlichen Anwendungen einzusetzen. Dies erfordert jedoch eine neue Gestaltung der Akkus, da Bleiakkus nur im Wartungsfall von elektrischen Fachkräften aus den Anwendungen entfernt werden. Durch den Einsatz von Sharingakkus übernimmt der Anwender diese Aufgabe. Durch ein breites Anwendungsspektrum, wie z. B. Flurförderzeuge, mobile Reinigungsmaschinen und stationäre Speicher, wird die Nutzergruppe für einen Akkuwechsel erheblich erweitert. Neben der fehlenden spezifischen Ausbildung sind die Anwender geschlechterübergreifend in jedem arbeitsfähigen Alter zu finden. Zusätzlich kommen bei einem flexibel einsetzbaren Produkt vielfältige Ein- und Ausbaulagen in Frage. Die ergonomische Gestaltung der Akkupacks, unter besonderer Berücksichtigung der Gesundheit der Anwender, wird immer wichtiger. Die Entwicklung dieses technischen Produktes wird damit vor eine neue Herausforderung gestellt. Diese Arbeit wurde im Rahmen des geförderten Forschungsprojekts „BaSyMo“ (Batteriesystem für Modularität) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie durchgeführt.

2. Stand der Technik

Aktuelle handhabbare Akkus lassen sich in zwei Kategorien einteilen. Fest verbauten Akkus werden im Allgemeinen mit Werkzeugen fest in die Anwendung eingebaut. Ein Wechsel außerhalb von Defekten und Wartungen ist nicht geplant. Daher haben diese Akkus in der Regel leichte Kunststoffgriffe mit geringem Durchmesser und schlechtem Tragekomfort. Teilweise werden diese Griffe mit Schnüren an dem Akku angebracht. Durch das Gewicht der Akkus von bis zu 20 kg ist die Ergonomie hier schlecht und es kann zu Verletzungen der Anwender beim Akkuwechsel führen. Während die fest verbauten Akkus teilweise schon seit langer Zeit genormt sind, existiert bei wechselbaren Akkus kein genormter Standard. Zahlreiche Konzepte befinden sich noch in der Entwicklung oder Erprobung. Die Ergonomie steht dabei nur selten im Fokus.

Akkupacks mit Lithium-Ionen-Technologie bestehen aus einer Verschaltung geeigneter Einzelzellen zu einem Verbund. Dabei sind zylindrische, (Bsp. 18650, 21700), prismatische (PHEV2, BEV2) und Pouch Zellformate durch den Einsatz in der Automobilindustrie populär. (Hettesheimer et al. 2017)

3. Gesundheitliche Faktoren bei Akku-Wechselsystemen

Der händische Wechsel von Akkus besteht vereinfacht aus zwei Arbeitsschritten:

- Lösen / Einsetzen des Akkus in der Anwendung (Heben, Schieben, Ziehen)
- Transport des Akkus von und zu den Anwendungen (Halten, Tragen)

Nach der DGUV (2016) Information 208-033 werden die genannten Vorgänge (Heben, Schieben, Ziehen, Halten, Tragen) als Tätigkeiten mit manueller Handhabung mit einem Gefährdungspotenzial für Rücken und Gelenke beschrieben. Für eine Gefährdungsabschätzung wird von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin eine Leitmerkmalmethode (LMM) zur Gefährdungsabschätzung empfohlen (Steinberg & Windberg 2011). Dabei werden Zeitdauer / Häufigkeit, Körperhaltung, Ausführungsbedingungen und Lastgewicht für die Berechnung einer dimensionslosen Kennzahl verwendet (Skala 2 – 80; hohe Belastung bei 80) (BAuA 2001).

In DIN 33411-5 (1999) werden für die Tätigkeiten maximale statische Aktionskräfte beschrieben, welche allerdings keine Aussagen über Zumutbarkeit und Erträglichkeit darstellen. Von Seiten der Maschinensicherheit kann nach DIN 1005-2 (2009) zudem eine empfohlene Massegrenze für die Maschinenbetätigung berechnet werden.

4. Methodisches Vorgehen zur ergonomischen Beschreibung

Das Vorgehen der ergonomischen Gestaltung des Akkupack-Wechselkonzepts lässt sich in zwei Phasen aufteilen. In der ersten Phase wird der aktuelle Stand analysiert und die Anforderungen an das Akku-Wechselkonzept festgelegt. Dabei werden aktuelle Batterieabmessungen, Bauräume und Lithium-Ionen-Zellen für eine spätere Aufbaugestalt des Akkus betrachtet. Von besonderer Bedeutung sind aktuelle und zukünftige Einbausituationen für das Akkupack-Wechselkonzept. Neben der Ermittlung der typischen Einbausituationen wird eine erste digitale Analyse der Ergonomie mit dem RAMSIS-Menschmodell von HUMAN SOLUTIONS durchgeführt. Ergänzend werden ergonomische und gesundheitliche Empfehlungen und Grenzwerte hinzugezogen (Kapitel 3). Das Ergebnis ist ein ergonomisches Konzept des Akku-

packs. Die zweite Phase beinhaltet den Aufbau und die Erprobung des Konzepts. Dabei wird ein Ergonomie-Prototyp aufgebaut und von Probanden in einem Parcours in die relevanten Lagen ein- und ausgebaut. Mit den Ergebnissen kann die ergonomische Gestalt des Akkupacks detailliert ausgearbeitet werden.

5. Theoretische Auslegung des Akkus (Phase 1)

Für die Analyse der aktuellen und zukünftigen Einbausituationen für ein ergonomisches Akkuwechselkonzept werden Flurförderzeuge, Reinigungsmaschinen und stationäre Speicher betrachtet. Die genannten Anwendungen werden mittels einer Gebrauchsanalyse nach Schmid & Maier (2017) analysiert. Besonderer Fokus liegt dabei auf Gewicht, Griffgestaltung, Bewegungsabläufen und Körperhaltung.

In der Regel werden dort mehrere fest verbaute Energiespeicher mit 10 – 20 kg Einzelgewicht und formelastischen Griffen für eine Zweihandbedienung eingesetzt. Die Griffe müssen zudem über die Akkuoberseite zu umfassen sein. Ein- und Ausbau, sowie Positionieraufgaben, sind damit nur schwer möglich. Drei Einbaurichtungen kommen in absteigender Häufigkeit vor:


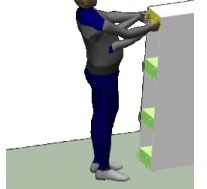
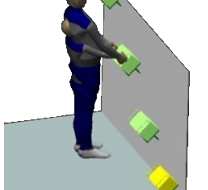
1. Vertikale Ein- und Ausbaurichtung (Heben, Halten, Tragen)
2. Horizontale Ein- und Ausbaurichtung (Schieben, Ziehen, Halten, Tragen)
3. Geneigte Ein- und Ausbaurichtung um 45° (Heben, Halten, Tragen)

Der Fokus liegt damit vor allem bei den Tätigkeiten Heben, Halten und Tragen. Schieben und Ziehen macht nur einen geringen Anteil der Bewegungen aus. Diese Anwendungsfälle werden mit dem RAMSIS-Menschmodell hinsichtlich der körperlichen Belastung für den Menschen (5-Perzentil-Frau & 95-Perzentil-Mann) analysiert. Dabei können bereits die Körperhaltung bei Ein- und Ausbau des Akkus betrachtet werden. Zudem werden die Gefährdungsabschätzung und empfohlene Gewichtsgrenzen nach Kapitel 3 berechnet. Die Einbaurichtungen im RAMSIS-Menschmodell sind zusammen mit den Ergebnissen der Gefährdungsabschätzung (LMM) (Skala 2 - 80) für ein Akkugewicht von 5 – 15 kg bei Frauen in Tabelle 1 dargestellt.

Die RAMSIS-Analyse ergibt, dass vor allem die hohen und tiefen Einbaulagen einen hohen Diskomfort bei Schulter- und Hüftgelenken verursachen.

Nach der Gefährdungsbeurteilung kann nicht von einer geringen Belastung (LMM < 10) ausgegangen werden. Die meisten Anwendungen befinden sich damit im Bereich der erhöhten Belastung (LMM 10 - 25) und Gestaltungsmaßnahmen werden als sinnvoll erachtet. (BAuA 2001)

Tabelle 1: Darstellung der Einbaurichtungen mit RAMSIS und Ergebnisse der Leitmerkalmethode

Ein- und Ausbaurichtung		vertikal	horizontal	geneigt
Darstellung in RAMSIS				
Gefährdungsabschätzung (LMM)	5 – 10 kg Akkugewicht	14 (Frau)	22 (Frau)	14 (Frau)
	10 – 15 kg Akkugewicht	18 (Frau)	26 (Frau)	18 (Frau)

Aufgrund der Einsetzbarkeit des Akkupack-Wechselsystems ist ein Gewichtsbe-
reich von 5 – 10 kg als sinnvoll zu erachten. Dies lässt sich mit den Grenzwerten der
maximalen Kraft nach DIN 33411-5 bestätigen. Die untere Kraftgrenze am Stapel-
kasten liegt hier bei 126 N (DIN 33411-5 1999). Zudem liefert die Berechnung nach
DIN 1005-2 eine empfohlene Massegrenze unter 10 kg für eine Zweihandbedienung.

Anhand der Zellkonzepte nach Kapitel 2, den aktuellen Batterieabmessungen und
der ermittelten Gewichtsempfehlungen folgen die optimalen Abmessungen für den
Akkupack. Um eine Zweihandbedienung an der Akkuoberseite zu ermöglichen ergibt
sich damit eine Bodenfläche von 300 mm x 175 mm und die Höhe von 140 mm bei
ca. 10 kg Akkugewicht. Bei einem geringeren Akkugewicht von 7 kg verringert sich
die Länge auf 230 mm. Die Griffe addieren sich auf die Akkuhöhe und werden form-
stabil mit ergonomischem Griffdurchmesser und ergonomischer Griffhöhe ausgelegt.

6. Handlungstudie mit Probanden (Phase 2)

Zur detaillierten Untersuchung der Einbausituationen und der beiden ermittelten
Akkugeometrien und -gewichte wird eine Probandenstudie durchgeführt.

6.1 Vorgehen und Ablauf der Probandenuntersuchung

Für die Studie wird ein Handlingprototyp mit variablem Gewicht (7 kg / 10 kg) er-
stellt. Die Außenabmessungen entsprechen 10 kg Akkugewicht nach Kapitel 4 mit
anpassbarer Griffanordnung (Zweihandbedienung) entsprechend der Gewichtsvari-
anten. Der Handlingprototyp wird bei der Studie in Vorrichtungen entsprechend der
Einbaurichtungen nach Tabelle 1 ein- und ausgebaut. Dabei werden drei Höhenab-
stufungen ausgewählt. Die Obergrenze bildet dabei die Schulterhöhe 5-Perzentil-
Frau nach DIN 33402-2 (2005) mit 1260 mm. Die untere Grenze ist die Palettenhöhe
von 150 mm. Dazwischen wird die Schritthöhe der 5-Perzentil-Frau von 710 mm
(DIN 33402-2 2005) gewählt. Die Einzelversuche werden randomisiert, um den Ein-
fluss von Ermüdung und Trainingseffekt zu vermeiden. Der Start- und Endpunkt der
Einzelversuche ist eine zentrale Plattform für den Akkupack. Insgesamt werden in
dem Versuch 10 relevante Einbausituationen mit beiden Gewichtsabstufungen unter-
sucht (siehe Abbildung 1). Einzig „Vertikal-Quer“ und „Vertikal-Kante“ werden nur mit
einem Gewicht analysiert.

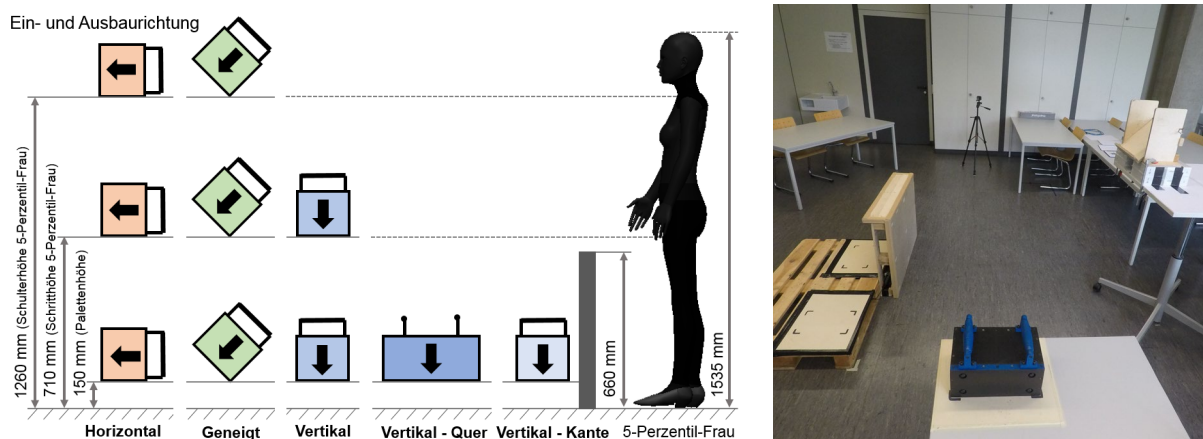


Abbildung 1: Auswahl der Ein- und Ausbaupositionen für die Probandenstudie (links) und Ver-
suchsaufbau (rechts)

An dem Versuch nahmen 30 Testpersonen (12 w, 18 m) im Alter von 20 – 52 Jahren teil. Durch die Große Spanne an Körpergrößen von 157 – 194 cm wurde sowohl die 5-Perzentil-Frau als auch der 95-Perzentil-Mann nach DIN 33402-2 (2005) abgedeckt.

Die Auswertung erfolgt anhand eines Fragebogens, der durch den Probanden auszufüllen ist sowie objektiv durch Kameraaufzeichnungen. Ergänzend wird bei vier Probanden das Motiontracking-System „CAPTIV Motion“ von TEA eingesetzt. Nach jedem Einzelversuch bewertet der Proband die durchgeführte Handlungsaufgabe anhand von sechs Begriffspaaren: niedriger / hoher Komfort, starke / keine Beanspruchung, schlechte / optimale Griffposition, Einbau / Ausbau schwer, starke / keine Ermüdung. Zur Bewertung wird eine bipolare Ratingskala mit einer Abstufung in sieben Kategorien vorgegeben. Angegeben sind dabei nur die Extremwerte, um ein unterschiedliches Verständnis der Probanden in Bezug auf die untersuchten Begriffspaare zu vermeiden. Nach dem Hauptversuch beantwortet der Proband offene Fragen, die den Griff sowie stark beanspruchte Körperteile betrachten.

6.2 Versuchsauswertung und Ergebnisse

Bei dem vorliegenden Fragebogen handelt es sich um eine Rating- oder Likert-Skala mit sieben Punkten. Die Ergebnisse werden dafür in einem Boxplot mit Median und Mittelwert ausgegeben (siehe Abbildung 2).

Auf Basis der verwendeten und ausgewerteten Untersuchungsmethoden werden im Folgenden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Im Bereich Komfort konnte gezeigt werden, dass vor allem die stehend ausgeführten Einbausituationen mit angewinkelten Armen als komfortabel empfunden werden. Unkomfortabel sind vor allem die hohen und tiefen Positionen mit hohem Gewicht. Dies zeigt sich auch bei der wahrgenommenen Beanspruchung: Versuche mit 7 kg werden bis auf zwei Ausnahmen („Tief horizontal“ und „Tief vertikal Kante“) mit geringer Beanspruchung in Verbindung gebracht. Durch eine hohe Beanspruchung zeichnen sich vor allem hohe und tiefe Einbausituationen mit 10 kg aus (siehe Abbildung 2).

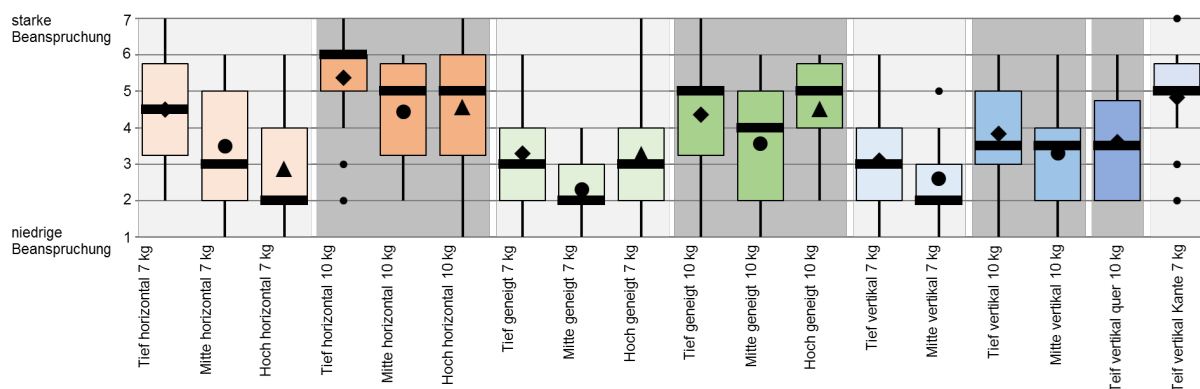


Abbildung 2: Beanspruchung der Probanden bei den Einbausituationen

Die Griffposition wird generell gut bewertet. Eine schlechte Position des Griffs wird allerdings für die horizontalen Einbaupositionen angegeben. Hier greifen die Probanden an dem Akku um. Für alle anderen Einbaurichtungen wird der Griff bestätigt. Tendenziell wird der Ausbau schwieriger als der Einbau empfunden. Das Gewicht muss dabei erst aus der Ruhelage in Bewegung versetzt werden. Körperteile mit hoher Beanspruchung sind nach Probandennennungen beide Handgelenke (vor

allem bei den horizontalen Einbausituation), Arme und Rücken. Dies zeigt auch die Auswertung der Komfortwinkel über Motiontracking. Die Komfortwinkel der Hände sind hier in etwa 40 % der Fälle schlecht. Durch eine Optimierung des Griffs können die Beanspruchungen, vor allem im Handgelenk reduziert werden. Während des Versuchs wurde keine erkennbare Ermüdung beobachtet.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die Analyse der Einbauräume und es hat sich gezeigt, dass der gestaltete Akku mit einem Gewicht von 10 kg über alle möglichen Einbausituationen gesehen handhabbar ist. Allerdings kann die Beanspruchung der Nutzer mit der Gewichtsreduktion deutlich reduziert werden. Für den horizontalen Einbau sollte die Griffposition in jedem Fall angepasst werden.

7. Fazit und Ausblick

Wie das Vorgehen zeigt, kann mittels der Methode die ergonomische Gestalt eines Akkupack-Wechselsystems entwickelt werden. Die Analyse und Recherche wurde in dem Versuch bestätigt. Allerdings können mit der digitalen Auslegung und Orientierung an Richtwerten nicht alle Details zufriedenstellend berücksichtigt werden. Speziell die Belastungen der Hand lassen sich erst mit Probanden bewerten. Anhand der ermittelten Werte kann der Akkupack ausgearbeitet werden. Nachfolgend sollte der serienreife Akku evaluiert werden. Das Verfahren lässt sich auch auf andere Produkte mit vergleichbaren Belastungsarten übertragen.

8. Literatur

- BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2001) Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben und Tragen. Abgerufen 08.12.2018. https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physische-Belastung/Leitmerkmalmethode/pdf/LMM-Heben-Halten-Tragen.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2016) Belastungen für Rücken und Gelenke - was geht mich das an? Nr. 208-033. Berlin: DGUV, Fachbereich „Handel und Logistik“.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (1999) Körperkräfte des Menschen. Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte. DIN 33411-5.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2005) Ergonomie - Körpermaße des Menschen. Teil 2: Werte. DIN 33402-2.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2009) Sicherheit von Maschinen - Menschliche Körperliche Leistung. Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen. DIN EN 1005-2.
- Hettesheimer T, Thielmann A, Neef C, Möller K-C, Wolter M, Lorentz V, Gepp M, Wenger M, Prill T, Zausch J, Kitzler P, Montnacher J, Miller M, Hagen M, Franz P, Tübke J (2017) Entwicklungsperspektiven für Zellformate von Lithium-Ionen-Batterien in der Elektromobilität. Pfinztal: Fraunhofer-Allianz Batterien (Hrsg.).
- Schmid M, Maier T (2017) Technisches Interface Design – Anforderungen, Bewertung und Gestaltung. Heidelberg: Springer Verlag.
- Steinberg U, Windberg H-J (2011) Heben und Tragen ohne Schaden. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.).

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt allen Probandinnen und Probanden, die an der Studie teilgenommen haben



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