

Ergonomische Arbeitsgestaltung mittels modularer Screening-Verfahren – Erarbeitung der „Neutral-0 Posture Analysis“ Methode

Jonas MIESNER, Martin SCHMAUDER

*Professur für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Dresden
Marschnerstraße 39, D-01307 Dresden*

Kurzfassung: Ergonomische Screening-Verfahren in computergestützter Form sind mittlerweile Stand der Technik. Zur Beurteilung von Körperhaltungen, die meist einen festen Bestandteil dieser Screening-Verfahren bilden, fungieren Schwellenwerte als Klassifikationskriterien für gewichtete Belastungsmerkmale. Das Potential diese Merkmale verfahrensübergreifend zu nutzen kann die Qualität der Risikoanalysen verbessern. Das Ziel ist die Modularisierung von Körperhaltungsanalysen, so dass sich derartige Belastungsmerkmale verfahrensübergreifend gegenseitig ergänzen und als Teil modularer Screening-Verfahren genutzt werden können.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Screening-Verfahren, Körperhaltung, Modularisierung, Open Source

1. Einleitung

Praxisorientierte Ergonomiebewertungsverfahren, wie z.B. Rapid Upper Limb Assessment [RULA] (McAtamney & Corlett 1993), Ovako Working Posture Analysis [OWAS] (Karhu et al. 1977) oder die Leitmerkmalmethoden [LMM] (BAuA 2019) ermöglichen Risikoanalysen hinsichtlich gesundheitlicher Gefährdungen während einer Arbeitstätigkeit. Charakteristisches Merkmal dieser sogen. Screening-Verfahren ist die Balance zwischen Aussagegenauigkeit der Risikoanalysen und geringem Analyseaufwand. Auf diese Weise können eine Vielzahl von Tätigkeiten bei geringem Zeitaufwand in standardisierter Form hinreichend genau beurteilt werden (Schlick et al. 2018).

Die Beurteilung von Körperhaltungen ist häufig fester Bestandteil dieser Risikoanalysen. Die Einschätzung einer Körperhaltung erfolgt meist über Belastungsmerkmale (z.B. Handgelenkstellung, Rumpfhaltung), die in gewichtete Klassen unterteilt sind. Winkelbereiche (z.B. „<15°“), Beschreibungen („geringe Neigung“) oder Piktogramme kennzeichnen die Schwellenwerte dieser Klassen und werden durch die Screening-Verfahren vorgegeben. Auf diese Weise kann eine Arbeitstätigkeit Stück für Stück zugeordnet werden, so dass am Ende ein Risikowert entsteht – so die prinzipielle Struktur. Da jedes dieser Verfahren grundsätzlich für ein bestimmtes Anwendungsgebiet konzipiert ist, welches es eingangs zu prüfen gilt, existieren bzgl. der Bewertung der Körperhaltung Unterschiede: Die Belastungsmerkmale können z.B. unterschiedlich definiert oder gewichtet sein bzw. die Schwellenwerte der Winkelbereiche variieren.

Um derartige Variationen zwischen Bewertungen der Körperhaltung in digitaler Form erfassen und in andere Größen transformieren zu können, bedarf es eines einheitlichen und zugleich adaptiven Fundaments. Mittels einer Modularisierung der Körperhaltungsbewertung können dazugehörige Belastungsmerkmale miteinander kombiniert werden und Risikoanalysen können sich gegenseitig ergänzen.

2. Vorgehensweise und Grundlagen

Der Begriff der „Modularität“ oder „Modularisierung“ ist kontextabhängig definiert (z.B. VDI 2776 Blatt 1 2020 und DIN 69901-1:2009): Die Modularität beschreibt ein System, mit aufeinander abgestimmten Einheiten und Schnittstellen, das sich bausteинweise ausbauen und flexibel anordnen lässt. Mittels einer Modularisierung werden komplexe Sachverhalte überschaubar gestaltet. „LEGO“-Bausteine können diese Definition anschaulich demonstrieren.

Die Bezeichnung „modulare Screening-Verfahren“ ist ein Sammelbegriff für alle Screening-Verfahren, die über eine modulare Struktur zueinander in Beziehung gesetzt werden können und sich gegenseitig ergänzen. Die im Folgenden vorgestellte „Neutral-0 Posture Analysis“ [N0PA] Methode stellt einen Ansatz zur modularen Bewertung von Körperhaltungen vor. Der Fokus richtet sich auf die nachvollziehbare, computergestützte Umsetzung. Fehlerpotentiale werden dadurch vermieden und der Anwender kann bei der Risikoanalyse unterstützt werden. Für den Rahmen dieser Arbeit wurde dazu ein digitales Menschmodell in der Open Source Software Blender (Blender Foundation 2020) i.V.m. MakeHuman erstellt (MakeHuman Community 2020).

3. Neutral-0 Posture Analysis [N0PA]

Die N0PA Methode ist an die „Neutral-Null-Methode“ angelehnt, welche eine standardisierte und reproduzierbare Messung der Gelenkbeweglichkeit und des Bewegungsumfangs beschreibt. Gelenkbewegungen erfolgen über zwei Grundbewegungen: die Translation und die Rotation. Die Translation verfügt über je einen translatorischen Freiheitsgrad entlang der Hauptbewegungsachsen (x-, y-, z-Achse). Die Rotation verfügt über je einen rotatorischen Freiheitsgrad um die Hauptbewegungsachsen. Pro Hauptbewegungsachse existieren folglich zwei Hauptbewegungen.

Bei den Belastungsmerkmalen (i.S.d. Screenings) nach N0PA handelt es sich um die Hauptbewegungen (z.B. Flexion/ Extension) der Gelenke. Demnach erfolgt z.B. die Bewegung der Schulter (drei Freiheitsgrade) um drei Hauptbewegungsachsen zu insgesamt sechs Hauptbewegungen. In diesem Zusammenhang wird auch von funktionellen Einheiten gesprochen (nach N0PA, z.B. Handgelenk, Ellenbogen, Schulter, Hals-, Brust-, Lendenwirbelsäule, Hüftgelenk, Knie, Sprunggelenk). Die Schulter, als funktionelle Einheit, besteht aus verschiedenen biomechanischen Strukturen (z.B. Gelenkverbindungen), die gesamtheitlich zur Bewegung beitragen. Diese Betrachtungsweise lässt sich auf den gesamten Bewegungsapparat ausweiten. (Schünke et al. 2018) Nach N0PA existieren zur Beschreibung der Winkelauslenkung einer funktionellen Einheit zwei quantitative Darstellungsformen, die Gradangabe (nach der Neutral-Null-Methode) sowie die relative Abweichung einer Hauptbewegung von der Neutral-Null-Stellung gegenüber dem maximalen Bewegungsausmaß. Die maximalen Bewegungsausmaße der Hauptbewegungen wurden mittels herangezogener Fachliteratur bestimmt, u.a. Schünke et al. (2018), Spindler & Waschke (2019), Kapandji (2007). Für die maximalen Bewegungsausmaße wurde als Auswahlkriterium die Häufigkeit (Modus) sowie der fachliche Hintergrund der Autoren berücksichtigt.

Die Neutral-Null-Stellung, als einheitliche Bezugsbasis zur Beschreibung der räumlichen Winkelauslenkungen einer funktionellen Einheit, ist wie folgt definiert: „auf-

rechte, gerade Stellung, gestreckte Kniegelenke, Füße zeigen nach vorne, Arme parallel zum Rumpf, Ellbogen- und Handgelenke gestreckt, Handflächen in der Sagittalebene, Finger gestreckt, Daumen an 2. Finger angelegt.“ (Salis-Soglio 2016)

Diese Körperstellung ist in Abbildung 1 mittels des Menschmodells in Blender dargestellt. Hervorgehoben sind außerdem die Hauptebenen und Hauptachsen des menschlichen Körpers. Diese, jeweils drei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen und Achsen, werden zur Orientierungshilfe am menschlichen Körper verwendet (Schünke et al. 2018).

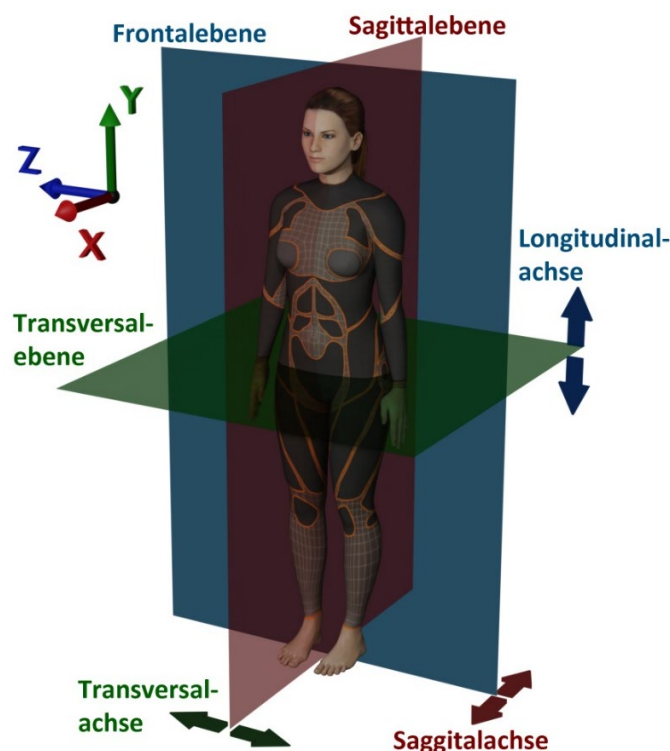


Abbildung 1: Hauptebenen und Hauptachsen in Neutral-Null-Stellung sowie Referenzkoordinatensystem (eigene Darstellung, in Anlehnung an Schünke et al. 2018)

3.1 Umsetzung und Implementierung mittels Referenzkoordinatensystem [RKS]

Dieser Abschnitt thematisiert zunächst den theoretischen Hintergrund der NOPA Methode, um darauf aufbauend ein praktisches Beispiel vorzustellen. Für die mathematische Abbildung der maximal drei Freiheitsgrade je Grundbewegung wird ein einheitliches Referenzkoordinatensystem [RKS] definiert: Gemäß ISB-Empfehlung (International Society of Biomechanics) zeigen die Achsen dieses rechtshändigen, kartesischen RKS in der Neutral-Null-Stellung in folgende Richtungen: x-Achse entlang der Sagittalachse nach vorn, y-Achse entlang der Longitudinalachse nach oben, z-Achse entlang der Transversalachse nach rechts. Das Fußgelenk bildet eine Ausnahme, hier zeigt die x-Achse nach oben und y-Achse nach hinten (Schünke et al. 2018; Wu & Cavanagh 1995). Dieses in Abbildung 1 dargestellte RKS bezieht sich außerdem auf die Verknüpfung der NOPA Methode mit dem Menschmodell in Blender. Über das RKS ergibt sich ein allgemeingültiger Bewegungscode der Form $(x_{(+)} - x_{(-)}, y_{(+)} - y_{(-)}, z_{(+)} - z_{(-)})$, der auf jede funktionelle Einheit von NOPA übertragbar ist. Die Vorzeichen beziehen sich auf die positive/ negative Bewegungsrichtung entlang bzw. um die entsprechende

Hauptbewegungsachse („Rechte-Hand-Regel“). Bedingt durch die einheitliche Festlegung des RKS variiert die positive/ negative Bewegungsrichtung gleicher funktioneller Einheiten zu beiden Seiten der Körpermitte partiell (Abbildung 1). Die Notation „(l.)“ oder „(r.)“ ist einer funktionellen Einheit hinzuzufügen. Die leere Menge des Bewegungs-codes, d.h. keine enthaltenen Elemente, ist als „0“ definiert und gewährleistet die Eindeutigkeit des Codes bei der digitalen Auswertung. Kommt es z.B. zur Innenrotation der Schulter (r.) erhält die Außenrotation den Wert 0. Den fixierten Hauptbewegungsachsen funktioneller Einheiten mit eins bis zwei Freiheitsgraden wird ebenfalls der Wert 0 zugeordnet (d.h. „0-0“).

Nachfolgende Abbildung 2 zeigt diesen theoretischen Hintergrund am Beispiel der Schulter (r.) auf. Nach DGUV (2015) ist ein Ampelschema (DIN EN 614-1:2006) zur Kategorisierung der räumlichen Auslenkung der Schulter (r.) hinterlegt. Dieses Verfahren nimmt über die vorgegebenen Schwellenwerte eine Diskretisierung der stetigen Bewegungsgrößen vor: neutral/ akzeptabel („grün“, 1), mittelgradig/ bedingt akzeptabel („gelb“, 2) und endgradig/ nicht akzeptabel („rot“, 3). Sobald ein Merkmal als „rot“ eingestuft ist, wird die Gesamthaltung der Schulter (r.) als nicht akzeptabel bewertet – weitere analog. Aus den diskretisierten sechs Hauptbewegungen der Schulter (r.) resultiert die Schnittdarstellung eines Quaders. Ebenso wie über das RKS jede räumliche Winkelauslenkung in stetiger Form darstellbar ist, wird jede Kombinationsmöglichkeit der Belastungsmerkmale (hier $4 \times 6 \times 4 = 96$ Kombinations-möglichkeiten) eines Bewertungsverfahrens über diese visuelle Schnittdarstellung in standardisierter Form einmal abgebildet (siehe auch Karhu et al. 1977). Damit einher geht eine systematische Variation der gewichteten Belastungsmerkmale, wodurch rekursiv haltungsbedingte Verbesserung aufgezeigt werden können. Der einheitliche Bewegungscode dieser Schnittdarstellung zur beispielhaften räumlichen Winkelauslenkung der Schulter (r.) könnte z.B. folgendermaßen lauten: (0-15°, 0-10°, 15°-0) und wird mit Hinterlegung des Ampelschemas nach DGUV (2015) zum Belastungscode (0-grün, 0-grün, grün-0) d.h. „grün, 1“.

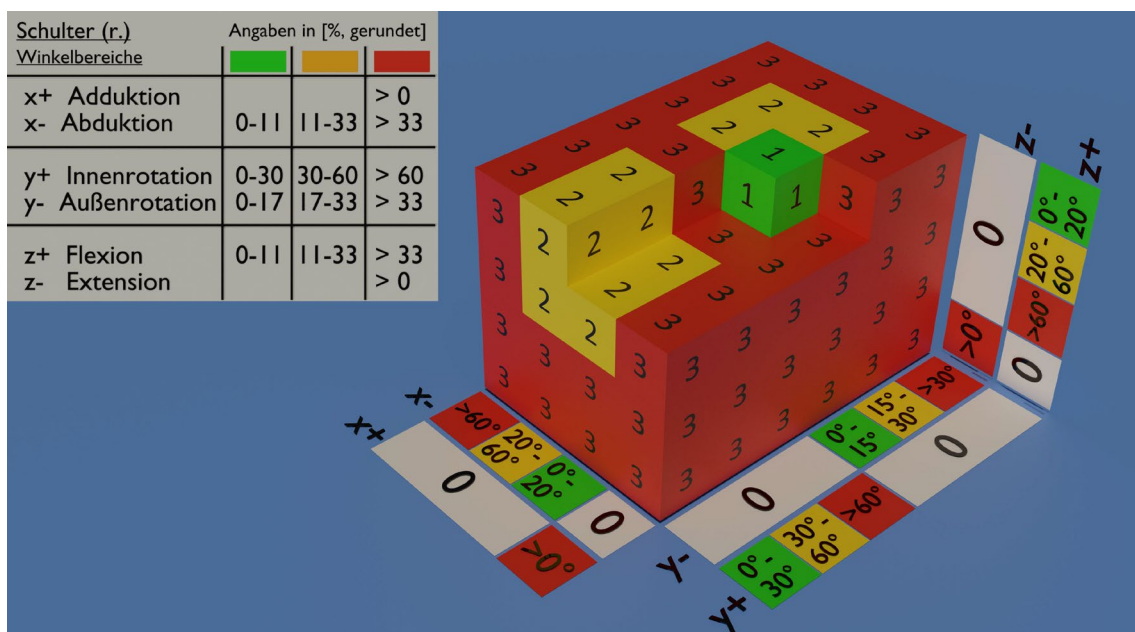


Abbildung 2: Visuelle Schnittdarstellung des NOPA-Modul Schulter (r.) – Kategorisierung der Winkelbereiche nach DGUV (2015) (eigene Darstellung)

Aufgrund dieser atomaren Struktur können die funktionellen Einheiten nach NOPA als ein bis dreidimensionale „Module“ angesehen werden, die mit Hinterlegung eines Bewertungsverfahrens über einen „intramodularen Bewertungscharakter“ verfügen, d.h. die Belastungsmerkmale eines Moduls sind über eine Bewertungsvorschrift miteinander verbunden. Da Bewertungsverfahren grundsätzlich für einen bestimmten Anwendungskontext konzipiert sind, färbt dieser mit Hinterlegung eines Bewertungsverfahrens auf die Module ab.

3.2 Relative Abweichung von der Neutral-Null-Stellung

Die Winkelauslenkung eines Moduls kann quantitativ auch als relative Abweichung von der Neutral-Null-Stellung ausgedrückt werden. Nachfolgendes Beispiel zeigt die relative Abweichung des Handgelenks (l.) i.V.m. dem Menschmodell in Blender auf. In einigen Fällen sind Winkelauslenkungen als Gradangabe nicht immer leicht einzuschätzen. Die relative Abweichung kann in solchen Fällen ergänzend herangezogen werden und eine Beurteilung erleichtern. Der Bewegungscode dieses Beispiels lautet gerundet (0-36°, 0-0, 26°-0) bzw. (0-45%, 0-0, 87%-0). Diese Darstellungsform ermöglicht außerdem die einfache Verrechnung von Hauptbewegungen gleicher Module. Die gemittelte Abweichung beträgt ca. 66,27 Prozent. Derartige Angaben können für Orientierungszwecke verwendet werden. Das Bewertungsverfahren nach DGUV (2015) stuft diese Handgelenkstellung (l.) als „rot“ bzw. (0-gelb, 0-0, rot-0) ein.

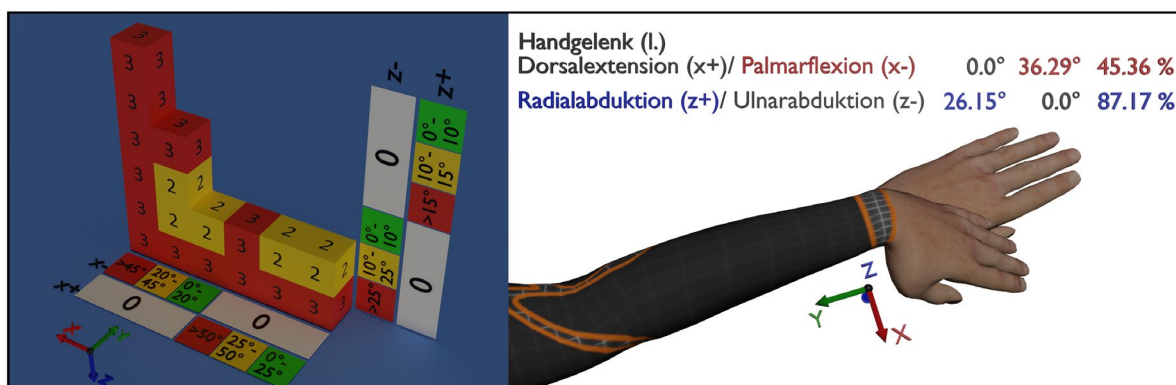


Abbildung 3: NOPA-Modul Handgelenk (l.) sowie Verknüpfung mit Menschmodell in Blender – Kategorisierung der Winkelbereiche nach DGUV (2015) (eigene Darstellung)

4. Diskussion und Ausblick

Die aufgezeigte Modularisierung der Körperhaltungsbewertung durch die NOPA-Methode (in Anlehnung an die Neutral-Null-Methode) ermöglicht die digitale Betrachtung von funktionellen Einheiten über ein RKS nach ISB-Empfehlung. Es kann unterschieden werden in den quantitativen Bewegungs- bzw. Belastungscode sowie die ein bis dreidimensionale visuelle Schnittdarstellung. Im Rahmen dieses Beitrags wurde die Open Source Software Blender und MakeHuman zur beispielhaften Implementierung verwendet, wobei sich die bekannten Vorteile von Open Source für Forschungszwecke als kennzeichnendes Merkmal erwiesen.

Die quantitative Darstellung der Winkelauslenkung eines NOPA-Moduls erfolgt als Gradangabe sowie ergänzend als relative Abweichung von der Neutral-Null-Stellung. Die vorgenommene Modellierung der Zielpopulation unter dem Gesichtspunkt des ma-

ximalen Bewegungsausmaß stellt lediglich eine von vielen Möglichkeiten dar. Aus diesem Grund ist relative Abweichung ergänzend heranzuziehen. Die Grandangabe ist weiterhin zwingend erforderlich. Synergieeffekte zwischen beiden quantitativen Darstellungsformen können eine Einschätzung der Körperhaltung erleichtern. Festzuhalten ist, dass es sich bei NOPA um ein modulares Analysewerkzeug handelt. Um Risikoanalysen hinsichtlich der Körperhaltung vornehmen zu können, bedarf es immer eines Bewertungsverfahrens, das Informationen zu Schwellenwerten bereitstellt. An dieser Stelle bietet NOPA die Basis systematische Variationen von charakteristischen Belastungsmerkmale bzgl. der Körperhaltung vornehmen zu können, wie sie in ähnlicher Form bereits Anwendung finden (Karhu et al. 1977). Insbesondere dreidimensionale visuelle Schnittdarstellungen (drei Freiheitsgrade) bieten die Möglichkeit eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten gleichzeitig darzustellen und unterstützen bei der Beurteilung.

In Zukunft könnte eine derartige Modularisierung der Körperhaltungsbewertung als mobile Applikation für Smartphone und Tablet erarbeitet werden, um den Benutzer mittels visueller Schnittdarstellungen und Belastungscodes bei der Beurteilung zu unterstützen. Außerdem könnte insbesondere die dreidimensionale Schnittdarstellung („Quader“) in der virtuellen Ergonomie für immersive Ergonomiebewertungen (d.h. mittels virtueller Realität) verwendet werden. Den Transfer dieser Form der visuellen Schnittdarstellung zur Modularisierung von ergonomischen Screening-Verfahren gilt es weiter zu untersuchen.

5. Literaturverzeichnis

- BAuA (2019). MEGAPHYS - Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz: Forschung Projekt F 2333 (1. Auflage). Dortmund/Berlin/Dresden.
- Blender Foundation (2020). Blender Website Content. Zugriff am: 13.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.blender.org/>.
- DGUV (2015). Information 208-033: Bewertung physischer Belastungen gemäß DGUV.
- DIN 69901-1:2009. Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 1. Berlin: Beuth.
- DIN EN 614-1:2006. Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. Berlin: Beuth.
- Kapandji, I. A. (2007). The physiology of the joints: Vol 1 (6th ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Karhu, O.; Kansil, P.; Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 8 (4), S. 199–201.
- MakeHuman Community (2020). MakeHuman Website Content. Zugriff am: 13.11.2020. Verfügbar unter: <http://www.makehumancommunity.org>.
- McAtamney, L.; Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* 24 (2), S. 91–99.
- Salis-Soglio, G. F. von (2016). Die Neutral-0-Methode: Mit Längen- und Umfangsmessung. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H. (2018). Arbeitswissenschaft (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- Schünke, M.; Schulte, E.; Schumacher, U.; Voll, M.; Wesker, K. (2018). Prometheus - LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem (5. Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Spindler, V; Waschke, J. (2019). Obere Extremität In: Waschke, J.; Böckers, T. M.; Paulsen, F.; Arnold (Hrsg.). Anatomie: Das Lehrbuch : Sobotta (2. Auflage). München: Elsevier, S. 149-205.
- VDI 2776 Blatt 1. Verfahrenstechnische Anlagen - Modulare Anlagen - Grundlagen und Planung modularer Anlagen .
- Wu, Ge; Cavanagh, Peter R. (1995). ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics* 28 (10), S. 1257–1261.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

GfA-Press

Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2021
ISBN 978-3-936804-29-4

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,
- den Kongressband 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

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de