

Entwicklung eines ergonomischen Bewertungstools für gesundheitsförderliche physische Arbeit

Pablo THEISSEN¹, Manfred DANGELMAIER²

¹Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement

²Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Deutschland

Kurzfassung: Der Beitrag beschreibt die Entwicklung eines ergonomischen Bewertungssystems für die Arbeitsplatzgestaltung. Es ist für den Einsatz mit digitalen Menschmodellen im Rahmen der konzeptiven Ergonomie als auch mit physiologischen Messsystemen für die korrektive Ergonomie vorgesehen. Neben klassischen, protektiven Bewertungsmethoden zur Vermeidung von Überforderung werden zusätzlich Methoden zur Vermeidung von Unterforderung eingeführt. Durch die Förderung ausgewogener Arbeitsabläufe wird ein salutogener Effekt erzielt.

Schlüsselwörter: Ergonomische Bewertung, Biomechanik, Gesundheitsförderung, Arbeitsplatzgestaltung

1. Problemstellung

Ergonomische Bewertungsverfahren sind in der Arbeitswissenschaft und der betrieblichen Praxis gut eingeführt und werden in vielen Betrieben zur Planung und Gestaltung von Arbeitsplätzen vor allem in der Fertigung eingesetzt. Die meisten dieser Verfahren wurden zunächst für die Analyse existierender Arbeitsplätze im Sinne einer korrektiven Ergonomie entwickelt (Schaub et al. 2013; Steinberg 2012). Häufig wurden sie auch auf anthropometrische digitale Menschmodelle übertragen. Typischerweise wird die Körperhaltung sowie das Heben und Handhaben von Lasten bzw. teilweise das Aufbringen von Kräften bewertet (Spanner-Ulmer und Mühlstedt 2010). Den Verfahren gemeinsam ist aus praktischen Gründen die Beschränkung auf von außen beobachtbaren bzw. einfach messbaren Belastungsgrößen. Etablierte Bewertungsverfahren für interne Größen wie Muskel- oder Sehnenkräfte existieren bislang nicht.

Zudem berücksichtigen die herkömmlichen ergonomischen Bewertungsverfahren die wissenschaftlichen Erkenntnisse (Owen et al. 2010; Varo et al. 2003; Reimer et al. 2015; Froböse und Wallmann-Sperlich 2016) und Experteneinschätzungen (Bauer und Vocke 2016) zu den gesundheitlichen Risiken aus unserer sitzenden Lebens- bzw. Arbeitsweise nur unzureichend. Damit steht die Ergonomie zunehmend im Widerspruch zur betrieblichen Gesundheitsförderung. Während die Arbeitswissenschaft die physische Belastung typischerweise zum Schutz des arbeitenden Menschen nach oben begrenzt, fordert die Sportmedizin mehr physische Aktivität, um den Risiken einer sitzenden Lebensweise entgegenzuwirken. In der ergonomischen Bewertung wird dieses Schutzziel aber bislang übersehen.

Dieser Beitrag präsentiert daher die Entwicklung eines ergonomischen Bewertungssystems aus bekannten Komponenten, das zusätzlich zu Anthropometrie, Körperhaltungen, handzuhabenden Lasten und eingepprägten Kräften auch

die inneren Kräfte im muskuloskelettalen System berücksichtigt. Ferner soll das Verfahren neben der Überforderung auch die physische Unterforderung aufdecken, um bei der Arbeitsplatzgestaltung einer passiven, sitzenden Arbeitsweise entgegenzuwirken. Die Arbeiten sind Teil des Fraunhofer-Forschungsprojektes EMMA-CC zur Entwicklung eines kognitiv gesteuerten biomechanischen Menschmodells.

2. Vorgehensweise

Basierend auf einer Literaturrecherche und Vorarbeiten im Projekt EMMA-CC wird zunächst ein Bandbreitenmodell der Belastung bzw. Beanspruchung entwickelt, das sowohl Über- als auch Unterforderung berücksichtigt und diese zu vermeiden helfen soll (Dangelmaier et al. 2015). Basierend auf der Literatur werden in einem diskursiven Prozess die zu überwachenden Belastungs- bzw. Beanspruchungsgrößen und die zu implementierenden Verfahren festgelegt. In einem weiteren Schritt wird eine Mensch-Maschine-Schnittstelle für Planungsingenieure entworfen, die das Bandbreitenmodell in Form eines Live-Cockpits umsetzt. Im Rapid-Prototyping-Verfahren wird das Bewertungssystem realisiert und für einen exemplarischen Anwendungsfall umgesetzt.

3. Ergebnisse

Nach dem Top-Down-Prinzip wurden Ergebnisse auf drei verschiedenen Abstraktionsebenen ermittelt. Zunächst werden übergeordnete Anforderungen an alle Bewertungsmethoden gestellt. Diese werden im Einzelnen vorgestellt und abschließend für den Nutzer verständlich in einem User Interface aufbereitet.

Den Input für die Bewertungsmethoden liefert im Rahmen des EMMA-CC Projekts ein digitales, muskuloskeletales Menschmodell. Da Bewertungsmethoden und -tool vom Menschmodell entkoppelt sind, kann die Dateneingabe auch mittels Motion Tracking und EMG erfolgen.

3.1 Bandbreitenmodell

Zentrales Element dieses Bewertungstools ist das Bandbreitenmodell, welches im Gegensatz zum klassischen Beanspruchungsmodell nicht nur Schädigung durch Überforderung verhindert, sondern zusätzlich auch Schädigung durch Unterforderung betrachtet (vgl. Abbildung 1). Die Bewertungsmethoden werden derart gestaltet, dass Arbeitsabläufe im optimalen, schädigungsfreien Band bevorzugt werden und so eine gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung unterstützt wird. Die exakte Breite und Position dieses optimalen Bandes hängt von individuellen Faktoren des Menschen ab und wird in den Bewertungsmethoden durch verschiedene Personas berücksichtigt.

3.2 Bewertungsmethoden

Der Arbeitsablauf wird in den Kategorien »Haltung«, »muskuläre Belastung«, »metabolische Belastung«, »Kognition« und »Fitness« jeweils separat bewertet. Es wurden diese fünf Kategorien gewählt, um einen Kompromiss aus Verständlichkeit für ergonomisch nicht versierte Nutzer und Genauigkeit der Auswertung zu erhalten. Ferner erlaubt die Aufteilung in verschiedene Kategorien, einen Arbeitsablauf nur

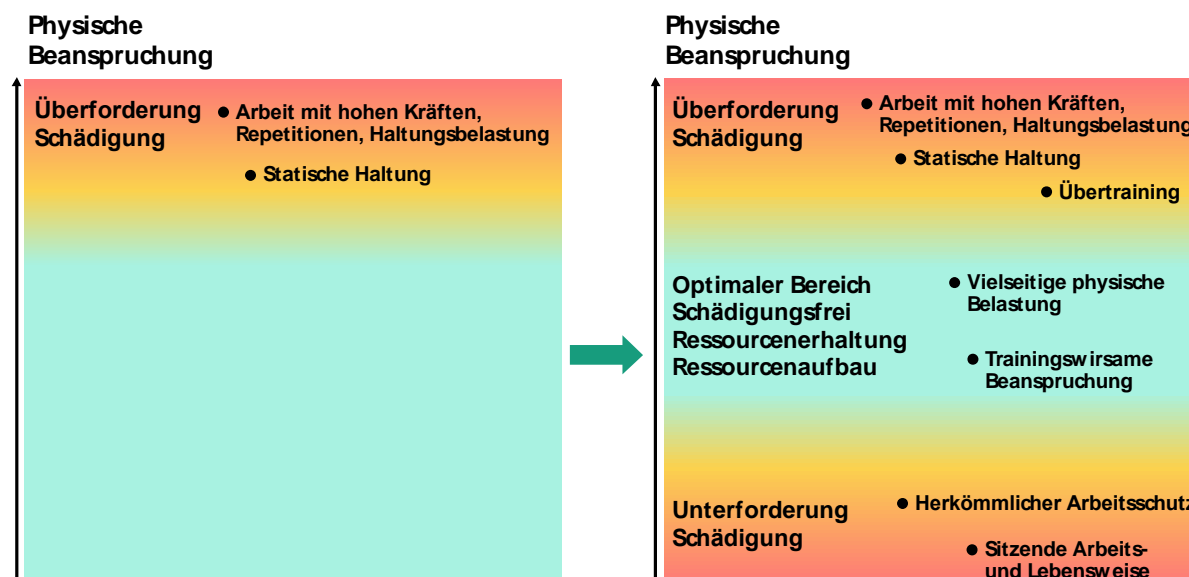


Abbildung 1: Links: Überlastungsmodell, rechts: Bandbreitenmodell

punktuell zu optimieren, etwa den Fitness-Level zu erhöhen, ohne dabei eine ergonomisch schlechtere Körperhaltungen zu verursachen.

Mit einem Fokus auf den Oberkörper und das Hand-Arm-System wurde für dieses Bewertungstool als Haltungsbewertung RULA («Rapid Upper Limb Assessment»: McAtamney und Nigel Corlett 1993) gewählt. Es wurde lediglich die Haltungskomponente der RULA-Methode verwendet, da die Kraftbewertung in RULA nur rudimentär ausgeführt ist und durch die wesentlich genauere Auswertung der Muskelkräfte in diesem Tool bereits abgedeckt ist.

Die durch Simulation von Hill-Muskeln oder durch EMG bereitgestellten muskulären Daten werden als Verhältnis von aufgebrachtener zu maximaler Muskelkraft F/F_{\max} (auch »% MVC«, Prozent der *Maximum Voluntary Contraction*) bewertet. Die Muskelkraftbewertung geschieht sowohl momentan (Abgleich von F/F_{\max} mit definierten Grenzwerten) als auch summarisch über den gesamten Arbeitsablauf. Die summarische Bewertung betrachtet, ob notwendige Erholzeiten eingehalten werden, bevor ein Muskel erneut belastet wird.

Zur metabolischen Bewertung wird der Ansatz von Garg et al. (1978) herangezogen, welcher die metabolische Belastung bei körperlicher Arbeit anhand der Arbeitsbeschreibung und verschiedener persönlicher Parameter des Menschen ermittelt. Anhand der Arbeitsbeschreibung wird zunächst die metabolische Grundlast ermittelt, anschließend eine Anpassung anhand von Tätigkeits-Parametern (Dauer, Bewegung des Arbeitsstücks, Arbeitshöhen, Körperhaltung, etc.) und persönlichen Parametern (Geschlecht, Körpergewicht, Gehgeschwindigkeit) vorgenommen. Für eine Abfolge von mehreren Tätigkeiten werden die einzelnen metabolischen Belastungen separat berechnet und anschließend über die Zeit gewichtet summiert.

Neben den im Vorigen behandelten, protektiven arbeitswissenschaftlichen Methoden verarbeitet dieses Tool Forderungen der Sport- und Gesundheitswissenschaften (Riebe et al. 2015). Diese Fitness-Bewertung beinhaltet unter anderem – ist aber nicht begrenzt auf – die Forderung nach 10000 Schritten pro Tag (angepasst an die Tätigkeitsdauer; Le Masurier et al. 2003) sowie stündlichen Bewegungen des gesamten Körpers zur Vermeidung einseitiger Belastung.

3.3 User Interface

Der Nutzer des Bewertungstools erhält eine Liveauswertung mit grafischer Oberfläche sowie eine Gesamtauswertung in Berichtform. Diese beiden Auswertungen ergänzen sich gegenseitig und sollen auch für einen Ingenieur ohne tiefgehende ergonomische und menschmodell-bezogene Kenntnisse verständlich sein. Die Gesamtauswertung wird hier nicht vorgestellt.

Die Liveauswertung verlangt zunächst die Auswahl der Simulation (z. B. verschiedene Ausführungen der gleichen Aufgabe) und der Persona (z. B. männlich, 30 Jahre, 85 kg, 185 cm) und spielt diese in der linken Fensterhälfte ab (**Abbildung 2**). Parallel zur graphischen Darstellung der Simulation werden in Balkenform (**Abbildung 2**, mittig) die Kriterien zur Überlastung angezeigt. Rechts werden in Ringform die Fitness-Parameter angezeigt. Ist ein Ring vollständig geschlossen, ist das Fitnessziel für dieses Zeitfenster erfüllt. Die Simulation kann entweder vollständig abgespielt werden oder es können in einer punktuellen Wiederholung kritische Abläufe genauer analysiert werden und zum Beispiel überlastete Muskeln farblich am Modell hervorgehoben werden. Das Auswertungstool macht selbstständig Vorschläge, welche Wiederholungen von welcher Dauer für den Nutzer von Interesse sein können. Das Tool wird in Unity und C# entwickelt.

4. Diskussion

Während die oberen Belastungsgrenzen in der arbeitswissenschaftlichen Praxis erprobt sind und als arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse gelten, ist dies für die unteren Grenzen noch nicht der Fall. Zwar ist das Risikopotential einer sitzenden



Abbildung 2: Live-Cockpit der ergonomischen Bewertung; abgebildet ist ein noch nicht voll funktionsfähiger Prototyp

Lebensweise inzwischen allgemein anerkannt, nicht aber die empfohlenen Minimaldosen. Empfehlungen wie zum Beispiel »10.000 Schritte am Tag« sind wissenschaftlich noch nicht hinreichend gesichert. Insbesondere fehlen noch Langzeiterfahrungen zur Auswirkung der Aktivitätsförderung, wie sie heute durch Aktivitätstracker geleistet wird. Insofern sind die im Verfahren implementierten Empfehlungen für körperliche Aktivitäten noch vorläufig.

Die im Bewertungsverfahren implementierte Zweigleisigkeit, einerseits Überlastung mit konventionellen Methoden sicher zu verhindern und andererseits Bewegung zu fördern, führt zu einer Widersprüchlichkeit in der Darstellung. Manche Arbeiten erscheinen einerseits gesundheitsförderlich, da die geforderten Minimalaktivitäten erbracht wurden, auf der anderen Seite kann aber eine Überforderung aus herkömmlicher ergonomischer Sicht vorliegen. Es bleibt abzuklären wie Planer mit der Interpretation zurecht kommen.

Die Bewertung der kognitiven Belastung wurde bislang noch nicht implementiert.

5. Literatur

- Bauer, Wilhelm; Vocke, Christian (2016): Implications of sedentary lifestyle for designing dynamic work in times of digital selfness. In: *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors*. Cham: Springer International Publishing, S. 675–685.
- Dangelmaier, Manfred; Bauer, Wilhelm; Vocke, Christian; Melcher, Vivien (2015): Work and Workout - How to Introduce Healthy Workload at Workplaces. In: *Procedia Manufacturing* 3, S. 4971–4977. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.644.
- Froböse, Inge; Wallmann-Sperlich, Birgit (2016): Der DKV Report „Wie gesund lebt Deutschland?“ 2016. Hg. v. DKV Deutsche Krankenversicherung.
- Garg, Arun; Chaffin, Don B.; Herrin, Gary D. (1978): Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs.
- Le Masurier, Guy C.; Sidman, Cara L.; Corbin, Charles B. (2003): Accumulating 10,000 steps: does this meet current physical activity guidelines? In: *Research quarterly for exercise and sport* 74 (4), S. 389–394. DOI: 10.1080/02701367.2003.10609109.
- McAtamney, L.; Nigell Corlett, E. (1993): RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. In: *Applied Ergonomics* 24 (2), S. 91–99.
- Owen, Neville; Sparling, Phillip B.; Healy, Geneviève N.; Dunstan, David W.; Matthews, Charles E. (2010): Sedentary behavior: Emerging evidence for a new health risk. In: *Mayo Clinic Proceedings* 85 (12), S. 1138–1141. DOI: 10.4065/mcp.2010.0444.
- Reimer, Jenny; Wallmann-Sperlich, Birgit; Froböse, Ingo (2015): Die körperliche Aktivität, das Sitzverhalten und der Medienkonsum von Kindern in Deutschland. Ergebnisse und Erkenntnisse der DKV-Befragung "Wie gesund lebt Deutschland" 2015. In: *Deutsche Jugend : Zeitschrift für die Jugendarbeit* 63 (9), S. 383–390.
- Riebe, Deborah; Franklin, Barry A.; Thompson, Paul D.; Garber, Carol Ewing; Whitfield, Geoffrey P.; Magal, Meir; Pescatello, Linda S. (2015): Updating ACSM's Recommendations for Exercise Preparticipation Health Screening. In: *Medicine and science in sports and exercise* 47 (11), S. 2473–2479. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000664.
- Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B.; Bruder, R. (2013): The European Assembly Worksheet. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 14 (6), S. 616–639. DOI: 10.1080/1463922X.2012.678283.
- Spanner-Ulmer, Birgit; Mühlstedt, Jens (2010): Digitale Menschmodelle als Werkzeuge virtueller Ergonomie. Ergebnisse einer empirischen Studie. In: *Industrie-Management : Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse* 26 (4), S. 69–72.
- Steinberg, Ulf (2012): Leitmerkmalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision; Forschung Projekt F2195. Dortmund, Berlin, Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, zuletzt geprüft am 01.03.2016.
- Varo, Jose J.; Martinez Gonzales, Miguel A. [Author Reprint Author; Irala Estevez, Jokin de; Kearney, John; Gibney, Michael; Martinez, J. Alfredo (2003): Distribution and determinants of sedentary lifestyles in the European Union. In: *International Journal of Epidemiology* 32 (1), S. 138–146.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de