

Einfluss einer Optimierungsfunktion bei der Personaleinsatzplanung auf die Verteilung von Belastungen und Durchführung von systematischen Arbeitsplatzwechseln

Christopher BRANDL, Sönke DUCKWITZ, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER,
Christopher M. SCHLICK

*Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Im ergonomischen Interventionsprozess birgt die Optimierung der täglichen Personaleinsatzplanung nach der Arbeitsbelastung Potentiale zur Reduzierung von Muskel- und Skeletterkrankungen. Hierzu wurde Optimierungsproblem aufgestellt und implementiert. Die Optimierungsfunktion wurde auf Grundlage einer ergonomischen Analyse von Belastungen in einer Simulationsstudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen die Wirksamkeit der Optimierung hinsichtlich ergonomischer Ziele, jedoch nicht für die Durchführung von systematischen Arbeitsplatzwechseln. Der bestehende Ansatz bietet Erweiterungspotenzial, bspw. bei der Identifikation von Einschränkungen der Rotationsmöglichkeiten.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Job Rotation, Körperhaltung, lineare Optimierung, Personaleinsatzplanung, Transportproblem

1. Einleitung

Sind die Möglichkeiten der ergonomischen Intervention durch technische Maßnahmen beschränkt oder nicht ausreichend, sind nach dem TOP-Modell der Arbeitssicherheit (z.B. Schlick et al. 2010) arbeitsorganisatorische Maßnahmen, wie z.B. systematische Arbeitsplatzwechsel (Job Rotation) anzuwenden. Job Rotation wurde in Grundzügen bereits von Trist & Bamforth (1951) beschrieben und zählt heute zu den sog. klassischen Arbeitsstrukturierungsmaßnahmen, die als geeignet gelten, die Nachteile monotoner Arbeitstätigkeiten infolge hochgradiger Arbeitsteilung (Demotivation, Dequalifizierung, einseitige Belastungen etc.) zu reduzieren. Nicht zuletzt im Kontext der demografischen Entwicklung hat der Erhalt der Gesundheit respektive der Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten einen erhöhten Stellenwert für Unternehmen erlangt. Auf der Suche nach Konzepten zur Reduzierung von besonders häufig auftretenden Muskel- und Skeletterkrankungen werden dem systematischen Arbeitsplatzwechsel durchaus große Potenziale zugeschrieben. Positive Effekte durch Job Rotation sind allerdings nur dann zu erwarten, wenn der zugrunde liegende Rotationsplan tatsächlich einen Ausgleich von arbeitsbedingten Belastungen vorsieht. Dies wiederum setzt jedoch eine möglichst genaue Kenntnis von Art und Umfang der Belastungen voraus. Vor diesem Hintergrund wurde eine ergonomische Analyse am Beispiel von Belastungen durch Körperhaltungen bei der Montage von Sattelauflegern durchgeführt. Job Rotation stellt zunächst ein Personalzuordnungsproblem dar, welches unter mathematischer Betrachtung in den Bereich des Operations Research einzuordnen ist und mittels Methoden der linearen Optimierung gelöst werden kann. Die Zuordnung von Arbeitspersonen zu Arbeitstätigkeiten lässt sich als klassisches Transportproblem formulieren, bei dem das zu optimierende

Kriterium minimiert wird (Burkard & Zimmermann 2012). Dies wurde für verschiedene Kriterien, wie z.B. den Energieumsatz, den Job Severity Index und den European Assembly Worksheet, bereits vorgenommen und für geringe Umfänge von zumeist vier Arbeitspersonen und vier Arbeitstätigkeiten getestet (Otto & Scholl 2013; Yaoyuenyong & Nathavaniy 2008; Tharmmaphonphilas & Norman 2007; Carnahan et al. 2000). Dieses Vorgehen erscheint für Belastungen durch arbeitsbedingte Körperhaltungen zunächst ebenfalls zielführend, denn der gegenwärtige Kenntnisstand gestattet nur teilweise quantitative Bewertungen, weshalb nach DIN EN 1005-4 dringend empfohlen wird, „eine maximale Verbesserung der Körperhaltungen anzustreben, auch dann, wenn das Bewertungsergebnis bereits „akzeptabel“ ist“.

Schlussfolgernd werden deshalb mit dem vorliegenden Beitrag die Ziele verfolgt, anhand von vorhandenen personenbezogenen Belastungsanalysen den Einfluss der Optimierungsfunktion (1) auf die Verteilung von Belastungen sowie (2) auf die Durchführung von Job Rotation durch eine Simulationsstudie zu untersuchen.

2. Methodik der Simulationsstudie

Für die Simulationsstudie wurde eine ergonomische Analyse von Körperhaltungen bei der Montage von Sattelauflegern durchgeführt. Für die neun Arbeitstätigkeiten der Achsmontage wurden mit dem Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) nach Karhu et al. (1977) die individuellen Belastungen durch Körperhaltungen für neun qualifizierte Arbeitspersonen erhoben. Als Ergebnis konnten in Abhängigkeit der Qualifikation der Arbeitsperson für insgesamt 74 zulässige der 81 möglichen Arbeitstätigkeit-Versuchsperson-Kombinationen individuelle Belastungsanalysen ($n = 24.198$ Beobachtungen) erstellt werden, welche als Grundlage für die vorliegende Simulationsstudie genutzt wurden. Auf die Herleitung des untersuchten Optimierungsproblems mit der Optimierungsfunktion F für die Optimierungskriterien o_{ij} und die binären Zuordnungsmöglichkeiten z_{ij} musste aus Platzgründen verzichtet werden. Es lässt sich zusammenfassend nach Gleichung 1 unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen nach Gleichung 2 und Gleichung 3 definieren. Dabei wurde das klassische Transportproblem (z.B. Burkard & Zimmermann 2012) um den Verteilungsexponenten e und die Berücksichtigung der bisherigen Belastungsexposition durch die Anzahl n der zu optimierenden Personaleinsatzpläne eines Betrachtungszeitraumes erweitert. Diese beiden Parameter der Optimierungsfunktion sind Gegenstand der nachfolgenden Simulationsstudie. Hierbei wird untersucht, welchen Einfluss die Variation dieser Parameter auf die Belastungsverteilung und die Job Rotation hat. Dabei wurden als Optimierungskriterien o_{ij} die prozentualen Anteile der Rückenhaltung „gebeugt“ an der Gesamtzeit genutzt. Als unabhängige Variable wurde der Verteilungsexponenten e zwischen eins und 100 und die Anzahl n der optimierten Personaleinsatzpläne zwischen eins und 40 variiert. Für jeden Personaleinsatzplan wurden die nachfolgenden abhängigen Variablen berechnet: die Gruppenbelastung (B_{Mw}) als Mittelwert der prozentualen Zeitanteile der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Personen (Belastungsverteilung), die Belastungsvarianz (B_{SD}) als Standardabweichung der prozentualen Zeitanteile der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Personen (Belastungsverteilung), die Arbeitstätigkeitsvarianz (n_{Mw}) als durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Arbeitstätigkeiten der Versuchspersonen (Durchführung von Job Rotation) und die Arbeitstätigkeitshäufigkeit (n_{fmax}) als durchschnittlicher prozentualer Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit der Versuchspersonen (Durchführung von Job Rotation).

$$F(o, z, b) = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{k} \left(o_{ij0} + \sum_{n=1}^k b_{ij(n-1)} \right) \cdot z_{ij} \right)^e \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} = 1 \quad z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m z_{ij} = 1 \quad z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (3)$$

3. Ergebnisse

Die Simulationsstudie wurde aufgrund intervallskalierter Variablen mit Regressionsanalysen auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ ausgewertet.

- Gruppenbelastung der Rückenhaltung "gebeugt"
- ▲ Belastungsvarianz der Rückenhaltung "gebeugt"

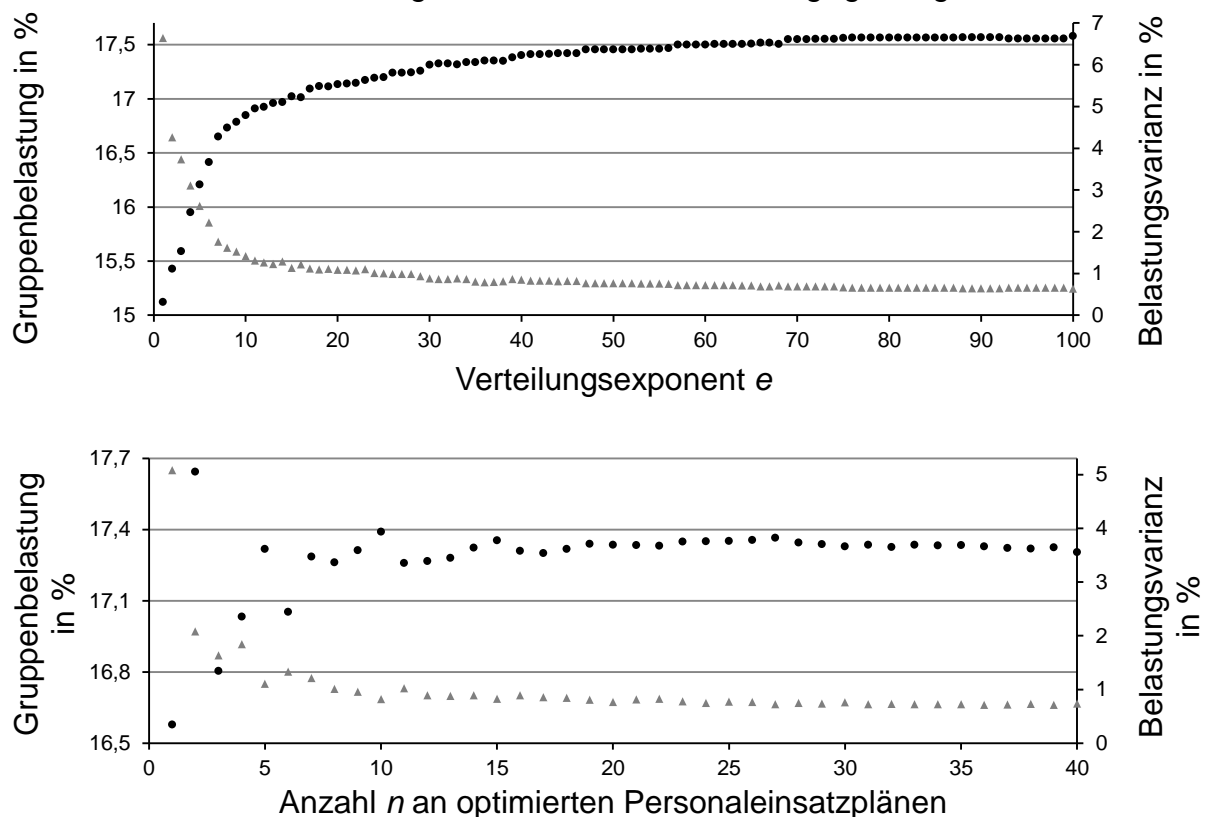


Abbildung 1: Gruppenbelastung der Rückenhaltung „gebeugt“ (B_{Mw}) und Belastungsvarianz der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Versuchspersonen (B_{SD}) für den Verteilungsexponent e (oben) und die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen (unten).

Dabei wurden verschiedene Anpassungsfunktionen zugrunde gelegt. In Tabelle 1 sind für die jeweils größten Bestimmtheitsmaße die standardisierten Regressionskoeffizienten und der Typ der Anpassungsfunktion dargestellt. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen, dass alle abhängigen Variablen signifikant durch den Verteilungsexponenten e und die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen beeinflusst werden. Für eine übersichtliche Darstellung der Simulationsergebnisse wird in Abbildung 1 und in Abbildung 2 jede abhängige Variable bezüglich des Verteilungsexponenten e und der Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen dargestellt.

Tabelle 1: Typ der Anpassungsfunktion der Regressionsanalysen, standardisierter Regressionskoeffizient β_e des Verteilungsexponenten e , standardisierter Regressionskoeffizient β_n der Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen und Bestimmtheitsmaß R^2 für alle abhängigen Variablen der 4.000 belastungsoptimierten Personaleinsatzpläne.

	B_{Mw}	B_{SD}	n_{Mw}	n_{fmax}
Typ der Anpassungsfunktion	logarithmische Funktion	Potenzfunktion	logarithmische Funktion	Potenzfunktion
stand. Regr.koeff. β_e	0,876**	-0,699**	0,403**	-0,477**
stand. Regr.koeff. β_n	0,187**	-0,608**	0,795**	-0,358**
Bestimmtheitsmaß R^2	0,802	0,859	0,794	0,355

** $p < 0,001$

Abbildung 1 zeigt, dass ein (logarithmisches) Ansteigen der Gruppenbelastung (B_{Mw}) sowie ein Absinken (nach Potenzfunktion) der Belastungsvarianz (B_{SD}) sowohl durch einen steigenden Verteilungsexponenten e als auch durch eine steigende Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen erreicht wird. Mit steigendem Verteilungsexponent e und steigender Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen wird die Arbeitstätigkeitsvarianz der Versuchspersonen (n_{Mw}) erhöht und der Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit (n_{fmax}) gesenkt (Abbildung 2).

- Arbeitstätigkeitsvarianz der Versuchspersonen
- ▲ Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit

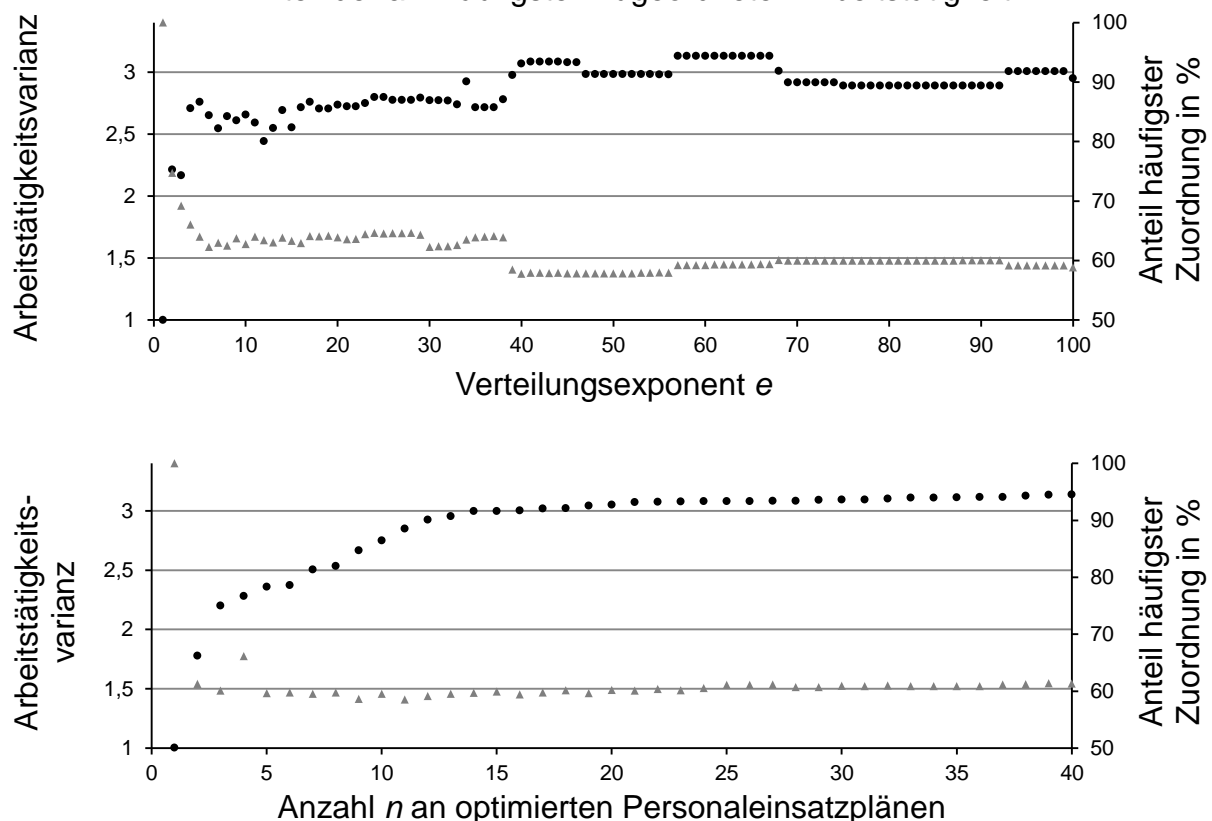


Abbildung 2: Arbeitstätigkeitsvarianz der Versuchspersonen (n_{Mw}) und Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit (n_{fmax}) für den Verteilungsexponent e (oben) und die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen (unten).

4. Diskussion

Die Simulationsergebnisse zeigen für das formulierte Optimierungsproblem hinsichtlich der Belastungsoptimierung durchweg positive Auswirkungen. Die Anwendung einer belastungsoptimalen Personaleinsatzplanung führt zu einer Gruppenbelastung (prozentualer Anteil der Rückenhaltung „gebeugt“) zwischen 15,12% und 17,77% und einer Belastungsvarianz zwischen 0,18% und 6,64%. Eine „ideale“ Job Rotation, d.h. jede Arbeitsperson führt jede Arbeitstätigkeit genau einmal aus, würde eine Gruppenbelastung von 24,8% mit einer Belastungsvarianz von 9,43% erwirken. Durch die Anwendung der linearen Optimierung können ergonomische Potenziale sowohl im Hinblick auf die Reduzierung der Belastungsexposition als auch auf eine gleichmäßigere Verteilung der Belastung zwischen den Arbeitspersonen erschlossen werden. Dabei wird jedoch die Durchführung von Job Rotation eingeschränkt, denn es werden durchschnittlich 2,86 unterschiedliche von durchschnittlich acht möglichen Arbeitstätigkeiten zugeordnet, wobei der Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit im Mittelwert 61,42% beträgt.

Bei der Anwendung einer belastungsoptimierten Personaleinsatzplanung wird bei steigenden Verteilungsexponenten e und steigender Anzahl n der optimierten Personaleinsatzpläne die Gruppenbelastung erhöht, die Belastungsvarianz reduziert, die Arbeitstätigkeitsvarianz erhöht und der Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit reduziert. Die Simulationsergebnisse zeigen für den Verteilungsexponenten e ab einem Wert von ca. 70 einen sehr geringen Einfluss auf die abhängigen Variablen. Für die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen zeigt sich dieses Verhalten bereits ab einem Wert von ca. 15. Hierbei darf ohne weitere Untersuchungen diesbezüglich nicht generalisiert werden, da bisher unklar ist, ob das Verhalten durch die Ergebnisse der ergonomischen Belastungsanalyse zustande kommt oder auf der linearen Optimierung basiert. Beim zweiten Personaleinsatzplan in einem Betrachtungszeitraum hat die Gruppenbelastung ihr Maximum, ohne dass die Belastungsvarianz entsprechend ihr Minimum hat. Dieses Verhalten der linearen Optimierung wäre bei der Anwendung von zwei optimierten Personaleinsatzplänen während eines Betrachtungszeitraumes, bspw. bei einem Arbeitsplatzwechsel pro Tag, nicht vorteilhaft.

5. Fazit und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag konnte ein Optimierungsproblem für die belastungsoptimale Personaleinsatzplanung formuliert werden. Es basiert auf dem klassischen Transportproblem und wurde anhand grundlegender Anforderungen der betrieblichen Praxis erweitert. So wird durch zwei Nebenbedingungen sichergestellt, dass jede Arbeitsperson nur einer Arbeitstätigkeit zugeordnet wird. Die Einschränkungen der Zuordnungsmöglichkeiten werden berücksichtigt und reduziert, mathematisch betrachtet, den zu optimierenden Lösungsraum. Es wurde ein Verteilungsexponent implementiert, der für eine gleichmäßigere Verteilung der Belastung zwischen den Arbeitspersonen sorgen kann. Damit sich Arbeitsplatzwechsel nicht ausschließlich durch die Variation der Zuordnungsmöglichkeiten oder Ergebnisse der ergonomischen Belastungsanalyse ergeben, wurde zusätzlich auch die bisherige Belastungsexposition der Arbeitspersonen in die Optimierung einbezogen.

Für eine Fokussierung auf die Belastungsoptimierung der Personaleinsatzplanung ist für die Optimierungsfunktion ein hoher Verteilungsexponenten e festzulegen, wobei die Anzahl n an zu optimierenden Personaleinsatzplänen für einen Betrachtungszeitraum auf zirka 15 beschränkt werden kann. D.h. bei täglich einem Arbeitsplatzwechsel sollte der Betrachtungszeitraum für die Optimierung ca. zwei Wochen betragen.

In zukünftigen Forschungsarbeiten ist das Optimierungsproblem für andere Belastungen zugänglich zu machen bzw. für die Ergebnisse von ergonomischen Bewertungsmethoden. Zudem ist die Anwendung des formulierten Optimierungsproblems für eine Multikriterienoptimierung zu untersuchen, um eine Verteilung verschiedener Belastungen erwirken zu können. Die Erweiterung des Optimierungsproblems um sogenannte Prüfkriterien könnten systematische Arbeitsplatzwechsel erzwingen, was jedoch die ergonomischen Potenziale reduziert. Die Stärke dieser Reduzierung ist im Vergleich zu den anderen Potenzialen von Job Rotation in nachfolgenden Studien zu untersuchen. Weiter werden ergonomische Empfehlungen hinsichtlich des Betrachtungszeitraumes benötigt, d.h. den Zeitraum über den die Belastungsexposition kumuliert wird. Die möglichen Einschränkungen der Rotationsmöglichkeiten können den Ansatz der belastungsoptimierten Personaleinsatzplanung einschränken. Die Erfassung der Zuordnungsmöglichkeiten bietet dabei die Chance zur Bewertung dieser Einschränkung und zur systematischen Identifizierung deren Haupteinflussgrößen. Für die Durchführung von Job Rotation unter ergonomischen Zielsetzungen bedarf es zukünftig der Erforschung weiterer wissenschaftlicher Grundlagen, z.B. hinsichtlich der Interaktion zwischen verschiedenen Belastungstypen und -intensitäten sowie den zeitlichen Merkmalen der Belastung.

6. Literatur

- Burkard RE, Zimmermann UT (2012) Einführung in die mathematische Optimierung. Berlin: Springer.
- Carnahan BJ, Redfern MS, Norman B (2000) Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. *Ergonomics* 43:543-560.
- Karhu O, Kansilä P, Kuorinka I (1977) Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 8:199-201.
- Otto A, Scholl A (2013) Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. *OR spectrum* 35:711-733.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.
- Tharmmaphornphila W, Norman BA (2007) A methodology to create robust job rotation schedules. *Annals of operations research* 155_339-360.
- Trist EL, Bamforth KW (1951) Some social and psychological consequences of the Longwall method of Coal-Getting: An Examination of the Psychological Situation and Defences of a Work Group in Relation to the Social Structure and Technological Content of the Work System. *Human relations* 4:3-38.
- Yaoyuanyong S, Nanthavanij S. (2008) Heuristic job rotation procedures for reducing daily exposure to occupational hazards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 14:195-206.

Danksagung: Das diesem Beitrag zugrundeliegende Forschungsvorhaben „ENGAGE4PRO – Ergonomie-Navigator für die alters- und altersgerechte Produktion“ wird mit Mitteln des BMBF (FKZ: 16SV6143) gefördert. Projektträger ist der VDI/VDE-IT.