

Erschließen ergonomischer Potenziale durch die Optimierung der täglichen Personaleinsatzplanung

Christopher M. Schlick, Christopher Brandl

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University

Die Optimierung der täglichen Personaleinsatzplanung nach der Arbeitsbelastung birgt ergonomische Potentiale hinsichtlich der Reduzierung von Muskel- und Skeletterkrankungen. Hierzu wurde das klassische Transportproblem erweitert und rechnergestützt implementiert. Die Variationsmöglichkeiten der Optimierungsfunktion wurden auf Grundlage einer ergonomischen Analyse von Belastungen durch Rückenhaltungen in einer Simulationsstudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine durchgängige Wirksamkeit der Optimierung hinsichtlich ergonomischer Ziele, jedoch wird dadurch die Durchführung von Job Rotation gehemmt. Der bestehende Ansatz bietet Erweiterungspotenzial, bspw. bei der Identifikation von Einschränkungen der Rotationsmöglichkeiten.

1 Einleitung

Arbeit bildet als elementarer Bestandteil der Gesellschaft sowohl die Grundlage für Lebensqualität und Wohlstand als auch für den gesellschaftlichen Fortschritt. Durch die Folgen von arbeitsbedingten Erkrankungen werden sowohl das individuelle und gesellschaftliche Wohlbefinden also auch die Leistungsfähigkeit, Produktivität und das wirtschaftliche Wachstum gehemmt. Hierbei stehen vor allem arbeitsbedingte Muskel- und Skeletterkrankungen im Fokus, die mit einem Anteil von ca. 25% die häufigste Ursache von Arbeitsunfähigkeitstagen sind und die mit zunehmendem Alter der Menschen noch deutlich häufiger auftreten (Robert Koch-Institut 2015). Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und der damit einhergehenden Alterung der Erwerbsbevölkerung muss die Verringerung von Muskel- und Skeletterkrankungen mit hoher Priorität verfolgt werden. In der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie von Bund, Ländern und Unfallversicherungsträgern wurde dies auch als eines von drei primären Arbeitsschutzzielen sowohl für den abgelaufenen Zeitraum von 2008 bis 2012 als auch für den laufenden Zeitraum von 2013 bis 2018 festgelegt.

Die Automobilindustrie, am Umsatz gemessen der bedeutendste Industriezweig Deutschlands, beschäftigt einen hohen Anteil von Arbeitspersonen in Arbeitssystem mit manuellen Tätigkeiten, bei denen die Prävalenz von Muskel- und Skeletterkrankungen am höchsten ist (Liebers et al. 2013). Die hohe Prävalenz von arbeitsbedingten Muskel- und Skeletterkrankungen veranlassen die Unternehmen, neben den gesetzlichen Regelungen zum Arbeitsschutz, ergonomischer Analysen von Belastungen bzw. Gefährdungen für die Gesundheit von Beschäftigten durchzuführen. Im anschließenden ergonomischen Interventionsprozess müssen Maßnahmen entwickelt werden, welche diversen Anforderungen, bspw. Arbeitsschutzziele, Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit, gerecht werden. Die betriebliche Praxis sucht dabei stets nach einfach zu implementierenden und kostengünstigen Maßnahmen, welche die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen auch langfristig sicherstellen. Durch die Anwendung von systematischen Arbeitsplatzwechseln (engl. Job Rotation) können diese Anforderungen erreicht werden. Job Rotation ist eine klassische Arbeitsstrukturierungsmaßnahme, mit der die Nachteile monotoner Arbeitstätigkeiten infolge hochgradiger Arbeitsteilung (Dequalifizierung, einseitige Belastungen etc.) reduziert werden können. 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 wird dem systematischen Arbeitsplatzwechsel durchaus großes Potenzial zugeschrieben und demzufolge in der betrieblichen Praxis auch angewendet.

2 Grundlagen

Die ergonomischen Potenziale bei der Anwendung von Job Rotation wurden durch arbeitswissenschaftliche Studien, übersichtlich dargestellt bspw. in den jüngsten systematischen Literaturübersichten von Leider et al. (2014) und Luger et al. (2014), bestätigt. Aus diesem Grund ist Job Rotation auch in der betrieblichen Praxis als effektive Maßnahme zur Prävention von arbeitsbedingten Muskel- und Skeletterkrankungen anerkannt. Denn durch Job Rotation kann die Reduktion von hohen oder einseitigen Belastungsexpositionen durch einen wechselnden Einsatz an verschiedenartig belastenden Arbeitsplätzen erzielt werden (Bhadury & Radovitsky 2006). Es können vor allem extreme Überbelastungen einzelner Arbeitspersonen vermieden und eine gezielte Gleichverteilung der Belastung in einer Arbeitsgruppe sichergestellt werden, wodurch sich das Risiko von Muskel- und Skeletterkrankungen reduziert. Zudem wirkt sich der Belastungsausgleich durch Job Rotation positiv auf die Gruppenleistung, die Arbeitszufriedenheit, die Flexibilität und die Qualität aus (Stranzenbach et al. 2016).

Positive Effekte hinsichtlich Muskel- und Skeletterkrankungen durch Job Rotation sind allerdings nur dann zu erwarten, wenn der zugrunde liegende Rotationsplan tatsächlich einen Ausgleich von arbeitsbedingten Belastungen vorsieht bzw. berücksichtigt. Aufgrund der zahlreichen Belastungstypen und weiteren Rahmenbedingungen (z.B. Qualifikation und medizinische Einschränkungen) in Arbeitssystemen kann diese Bedingung nur bedingt

adressiert werden. Verstärkt wird dies durch eine eigenständige und menschliche Planung der Job Rotation in teilautonomen Arbeitsgruppen, wie sie in der gegenwärtigen betrieblichen Praxis der Automobilproduktion erfolgt. Bei mathematischer Betrachtung stellt Job Rotation zunächst einmal ein Personalzuordnungsproblem dar, welches mittels Methoden der linearen Optimierung gelöst werden kann. Die Zuordnung von Arbeitspersonen zu Arbeitstätigkeiten lässt sich bspw. 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; Yaoyuanyong & Nathavaniy 2008; Tharmmaphonphilas & Norman 2007; Carnahan et al. 2000). Dieses Vorgehen erscheint für das Beispiel von 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“. Sowohl Stanic (2010) als auch Jorgensen et al. (2005) beschreiben hinsichtlich der erfolgreichen Implementierung von Job Rotation, die Entwicklung einer Methode für den regelbasierten Arbeitsplatzwechsel auf Basis der vorherrschenden Rahmenbedingungen in der betrieblichen Praxis, den auftretenden Belastungen und der Qualifikation der Arbeitspersonen als interessante Aufgabe zukünftiger Forschung bzw. sehen dies als hauptsächliche Beschränkung an.

3 Definition eines Optimierungsproblems für die belastungsoptimale Personaleinsatzplanung

Das klassische Transportproblem lässt sich nach Burkard & Zimmermann (2012) mit der Optimierungsfunktion F für die Optimierungskriterien o_{ij} und die binären Zuordnungsmöglichkeiten z_{ij} formulieren (Gleichung 1). Als Optimierungskriterien werden die individuellen Ergebnisse der Belastungsanalysen genutzt. Die Zuordnungsmöglichkeit $z_{ij} = 1$ ermöglicht die Zuordnung der Arbeitsperson i zur Arbeitstätigkeit j , wohingegen $z_{ij} = 0$ diese ausschließt. Es ergeben sich damit insgesamt 2^j Zuordnungsmatrizen $\mathbf{Z} = (z_{ij})$. Ein gültiger Personaleinsatzplan liegt jedoch nur dann vor, wenn jeder Arbeitstätigkeit j genau eine Arbeitsperson i zugeordnet ist. Dies lässt sich durch die Formulierung der zwei Nebenbedingungen nach Gleichung 2 und Gleichung 3 realisieren, welche überprüfen, dass sowohl die Spalten- als auch die Zeilensummen der Zuordnungsmatrizen \mathbf{Z} gleich Eins sind.

$$F(o, z) = \min \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y (o_{ij} z_{ij}) \quad (1)$$

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

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

Die Zuordnungsmatrizen \mathbf{Z} reduzieren sich dadurch auf insgesamt $i!$ gültige Personaleinsatzpläne, welche sich ggf. in der betrieblichen Praxis aufgrund von Einschränkungen weiter reduzieren. Hierbei sind insbesondere Personalverfügbarkeit, Qualifikation und betriebsärztlich-diagnostizierte, aber auch latente Einschränkungen von Arbeitspersonen zu berücksichtigen. Die Zuordnungsmöglichkeiten z_{ij} lassen sich folglich vorab durch die Rahmenbedingungen der betrieblichen Praxis bestimmen. In Gleichung 4 ist dies beispielhaft für die Qualifikation q_{ij} dargestellt.

$$q_{ij} \in \begin{cases} 1 \text{ wenn Person } i \text{ für Tätigkeit } j \text{ qualifiziert} \rightarrow z_{ij} \in \{0,1\} \\ 0 \text{ wenn Person } i \text{ für Tätigkeit } j \text{ nicht qualifiziert} \rightarrow z_{ij} \in \{0\} \end{cases} \quad \forall i, j \quad (4)$$

Die arbeitspersonenbezogene Belastungsexposition B bildet einen Vektor ab und wird für das Minimum der Optimierung nach Gleichung 5 berechnet. Dafür wird das elementweise Produkt (Hadamard-Produkt) zwischen der Matrix der Optimierungskriterien $\mathbf{O} = (o_{ij})$ und der bestimmten Zuordnungsmatrix \mathbf{Z} mit einem Vektor $\mathbf{V} = (v_j = 1)$ der Dimension j multipliziert. Der Mittelwert aller Elemente b_i des Vektors \mathbf{B} ergibt die durchschnittliche Belastung der Person.

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_i \end{pmatrix} = (\mathbf{O} \circ \mathbf{Z})\mathbf{V} = \begin{pmatrix} o_{11}z_{11} & \cdots & o_{1j}z_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ o_{i1}z_{i1} & \cdots & o_{ij}z_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_j \end{pmatrix} \quad (5)$$

Durch die Anwendung des klassischen Transportproblems wird so die Gruppenbelastung minimiert. Dadurch bleibt das Ziel einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Belastungen zwischen den Arbeitspersonen zunächst noch unberücksichtigt. Um auch dieses Ziel zu adressieren, kann das klassische Transportproblem erweitert werden. Eine gleichmäßigere Verteilung der Belastungen zwischen Arbeitspersonen soll durch die Einführung eines Verteilungsexponenten e erreicht werden (Gleichung 6). Bei zwei Personaleinsatzplänen mit gleicher durchschnittlicher Gruppenbelastung wird hierdurch jener ausgewählt, der geringere maximale Einzelbelastungen enthält.

$$F(o, z) = \min \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y (o_{ij} z_{ij})^e \quad (6)$$

Eine weitere Möglichkeit zur gleichmäßigeren Verteilung von Belastungen zwischen Arbeitspersonen ist die Durchführung der Arbeitsplatzwechsel. Das bislang formulierte Optimierungsproblem führt Arbeitsplatzwechsel nur in Abhängigkeit der Variation von Optimierungskriterien oder Zuordnungsmöglichkeiten durch. Als Optimierungskriterium wird die Arbeitsbelastung, welche das Ergebnis von ergonomischen Analysen ist, genutzt. Dies ist für die Personaleinsatzplanung kurzfristig nicht veränderbar, außer es wird eine echtzeitfähig-kontinuierliche ergonomische Analyse durchgeführt. Die Zuordnungsmöglichkeiten unterliegen auch nur bedingt einer kurzfristigen Variation durch die betrieblichen Rahmenbedingungen. Für die Realisierung einer möglichst gleichmäßigen Verteilung der Belastung durch Arbeitsplatzwechsel soll deshalb für jeden zu optimierenden Personaleinsatzplan die Belastungsexposition der bisherigen Personaleinsatzpläne in die Optimierung einbezogen werden. Hierfür wird die Anzahl n der zu optimierenden Personaleinsatzpläne eines Betrachtungszeitraumes vorab festgelegt. Für jeden optimierten Personaleinsatzplan wird nach Gleichung 7 eine Matrix der Belastungsexposition \mathbf{B}_n berechnet. Die Optimierungskriterien o_{ijn} des k -ten Personaleinsatzplanes lassen sich dann durch die anteilige Kumulierung der bisherigen Belastungsexpositionen b_{ijn} und der zukünftigen Belastungsexposition o_{ij0} berechnen (Gleichung 8). Dabei sind alle o_{ij0} durch die Ergebnisse der ergonomischen Analyse bestimmt.

$$\mathbf{B}_n = (b_{ijn}) = \begin{pmatrix} b_{1n} \\ \vdots \\ b_{in} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 & \dots & v_j \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{O}_n = (o_{ijn}) = \frac{1}{k} \left(o_{ij0} + \sum_{n=1}^k b_{ij(n-1)} \right) \quad \text{mit } b_{ij0} = 0 \quad (8)$$

Das Optimierungsproblem lässt sich nun zusammenfassend nach Gleichung 9 unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen nach Gleichung 2 und Gleichung 3 definieren.

$$F(o, z, b) = \min \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \left(\frac{1}{k} \left(o_{ij0} + \sum_{n=1}^k b_{ij(n-1)} \right) z_{ij} \right)^e \quad (9)$$

4 Simulationsstudie

Das klassische Transportproblem wurde 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 Durchführung von Job Rotation hat.

4.1 Methodik

Für die Simulationsstudie wurde eine ergonomische Analyse von Körperhaltungen bei der Montage von Sattelauflegern durchgeführt. Die neun Arbeitstätigkeiten der Achsmontage wurden mit dem Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) nach Karhu et al. (1977) analysiert und 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. 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 der 4.000 berechneten Personaleinsatzpläne wurden die nachfolgenden abhängigen Variablen für die statistische Analyse berechnet.

- B_{Mw} : Gruppenbelastung als Mittelwert der prozentualen Zeitanteile der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Personen (Belastungsverteilung)
- B_{SD} : Belastungsvarianz als Standardabweichung der prozentualen Zeitanteile der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Personen (Belastungsverteilung)
- n_{Mw} : Arbeitstätigkeitsvarianz als durchschnittliche Anzahl der zugeordneten Arbeitstätigkeiten der Versuchspersonen (Durchführung von Job Rotation)
- n_{fmax} : Arbeitstätigkeitshäufigkeit als durchschnittlicher prozentualer Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit der Versuchspersonen (Durchführung von Job Rotation)

4.2 Ergebnisse

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

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	log. Funktion	Potenzfunktion	log. Funktion	Potenzfunktion
stand. Repr.koeff. β_e	0,876**	-0,699**	0,403**	-0,477**
stand. Repr.koeff. β_n	0,187**	-0,608**	0,795**	-0,358**
Bestimmtheitsmaß R^2	0,802	0,859	0,794	0,355

** $p < 0,001$

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. 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.

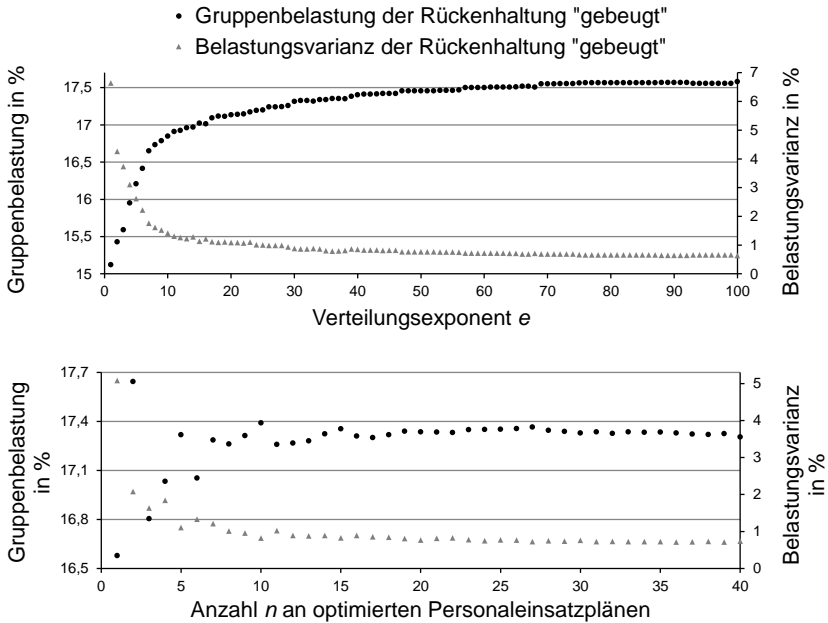


Abbildung 1: Gruppenbelastung der Rückenhaltung „gebeugt“ (B_{Mw}) und Belastungsvarianz der Rückenhaltung „gebeugt“ über alle Versuchspersonen (B_{SD}) für den Verteilungsexponent e (oben) und die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen (unten).

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).

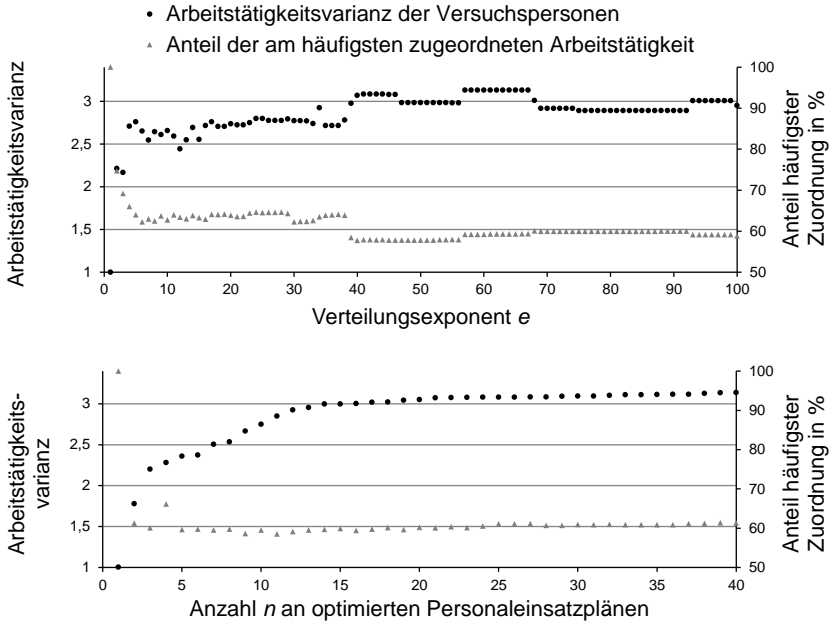


Abbildung 2: Arbeitstätigkeitsvarianz der Versuchspersonen (n_{Mn}) und Anteil der am häufigsten zugeordneten Arbeitstätigkeit (n_{fmax}) für den Verteilungsexponent e (oben) und die Anzahl n an optimierten Personaleinsatzplänen (unten).

5 Diskussion

Die Simulationsergebnisse zeigen für das formulierte Optimierungsproblem hinsichtlich der Belastungsoptimierung positive Effekte. Die Anwendung einer belastungsoptimierten 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. 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. 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. 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.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag konnte ein Optimierungsproblem für die belastungs-optimale Personaleinsatzplanung mathematisch 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 reduzieren, mathematisch betrachtet, den zu optimierenden Lösungsraum. Es wurde ein Verteilungsexponent implementiert, der für eine gleichmäßigere Verteilung der Belastung zwischen den Arbeitspersonen sorgt. 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 Emp-

fehlungen hinsichtlich des Betrachtungszeitraumes benötigt, d.h. den Zeitraum über den die Belastungsexposition kumuliert wird. Weiterhin können die möglichen Einschränkungen der Rotationsmöglichkeiten 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 Anwendung von Job Rotation unter ergonomischen Zielsetzungen bedarf es weiter Forschung zur Schaffung notwendiger Grundlagen, z.B. hinsichtlich der Interaktion zwischen verschiedenen Belastungstypen und -intensitäten sowie mit den zeitlichen Merkmalen einer Belastung.

Die Implementierung des Optimierungsproblems als bspw. Tablet-gestütztes Assistenzsystem für die tägliche Personaleinsatzplanung (Abbildung 3) und damit zwangsläufig die Verknüpfung von Personaldaten stellt bezüglich der technischen Realisierung keinen unmöglichen Aufwand dar.

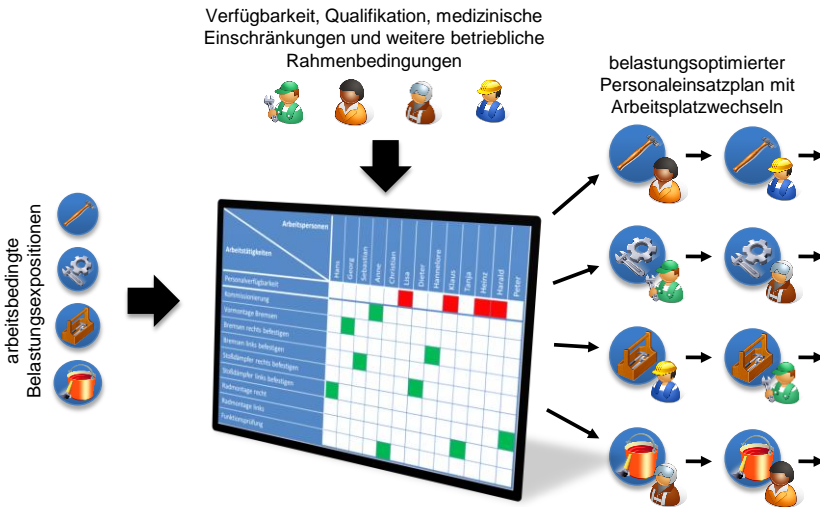


Abbildung 3: Gestaltungsentwurf eines Tablet-gestützten Assistenzsystems für die belastungsoptimierte Personaleinsatzplanung.

Vielmehr sind als Herausforderung bestehende Gruppenstrukturen oder latente Einschränkungen bei der Personaleinsatzplanung zu berücksichtigen, wodurch sich u.a. die Notwendigkeit ergibt, eine menschliche Partizipation durch die Arbeitsgruppe als Input für die Optimierung zu berücksichtigen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der Optimierung der täglichen Personaleinsatzplanung eine arbeitsorganisatorische Maßnahme zur ergonomischen Intervention zur Verfügung steht, welche durch die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung der Produktion erst genutzt werden kann. Hierfür müssen echtzeitfähige Assistenzsysteme entwickelt und in unter den realen Rahmenbedingungen der Produktion erprobt werden.

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.

Literatur

- Bhadury, J., Radovilsky, Z., 2006.
Job rotation using the multi-period assignment model. *International Journal of Production Research*. 44(20). 4431-4444.
- Burkard, R. E., Zimmermann, U., 2012.
Einführung in die mathematische Optimierung. Springer-Verlag.
- Carnahan, B. J., Redfern, M. S., Norman, B., 2000.
Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. *Ergonomics*. 43(4). 543-560.
- Jorgensen, M., Davis, K., Kotowski, S., Aedla, P., Dunning, K., 2005.
Characteristics of job rotation in the Midwest US manufacturing sector. *Ergonomics*. 48(15). 1721-1733.
- Karhu, O., Kansi, P., Kuorinka, I., 1977.
Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Applied ergonomics*. 8(4). 199-201.
- Leider, P. C., Boschman, J. S., Frings-Dresen, M. H., van der Molen, H. F., 2014.
Effects of job rotation on musculoskeletal complaints and related work exposures: a systematic literature review. *Ergonomics*. 58(1). 18-32.
- Liebers, F., Brendler, C., Latza, U., 2013.
Alters- und berufsgruppenabhängige Unterschiede in der Arbeitsunfähigkeit durch häufige Muskel-Skelett-Erkrankungen. *Bundesgesundheitsblatt*. 56(3). 367-380.
- Luger, T., Bosch, T., Veeger, D., de Looze, M., 2014.
The influence of task variation on manifestation of fatigue is ambiguous—a literature review. *Ergonomics*. 57(2). 162-174.
- Otto, A., Scholl, A., 2013.
Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. *OR spectrum* 35(3). 711-733.
- Robert Koch-Institut, 2015.
Gesundheit in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes.

Stanic, J., 2010.

Fahrzeugendmontage - Herausforderung für den demografischen Wandel. Dissertation Universität Kassel.

Stranzenbach, R., Mütze-Niewöhner, S., Przybysz, P., Schlick, C., 2016.

Studie zur Effektivität von Gruppenarbeit. GfA-Press.

Tharmaphonphilas, W., Norman, B. A., 2007.

A methodology to create robust job rotation schedules. *Annals of operations research*. 155(1). 339-360.

Yaoyuenyong, S., Nathavaniy, S., 2008.

Heuristic job rotation procedures for reducing daily exposure to occupational hazards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 14(2). 195-206.