

Ganzheitlicher Ansatz zur Erstellung von belastungsoptimierten Rotationsplänen

Myriam KOCH, Willibald A. GÜNTNER

*Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml)
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching*

Kurzfassung: Jobrotation ist eine Form der Arbeitsgestaltung, mit der gezielt hohe Gefährdungen einzelner Arbeitspersonen reduziert werden können. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Erstellung von ergonomischen Rotationsplänen vorgestellt, der das entstehende Gesundheitsrisiko durch unterschiedliche Belastungsarten möglichst gleichmäßig auf alle Arbeitspersonen verteilt und bei der Zuordnung von Arbeitsaufgaben zu Arbeitspersonen die sich ergebenden Restriktionen aus Qualifikationen sowie Einschränkungen berücksichtigt. Dazu wurde das Problem der Rotationsplanerstellung als Optimierungsproblem formuliert und genetische Algorithmen zur Suche eines möglichst guten Rotationsplans eingesetzt. Der Ansatz wurde als Software implementiert, um so die aufwandsarme Anwendung in der Praxis zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Jobrotation, Logistik, physische Belastung, Optimierung

1. Einleitung

Nach Untersuchungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ergaben sich im Jahr 2012 bei durchschnittlich 14,1 Arbeitsunfähigkeitstagen je Arbeitnehmer volkswirtschaftliche Produktionsausfälle von 53 Milliarden Euro bzw. ein Ausfall an Bruttowertschöpfung von 92 Milliarden Euro (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2014). Vor allem ältere Personen sind von Erkrankungen betroffen, die Arbeitsunfähigkeit verursachen (Bauer et al. 2012). Folglich ist vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in den kommenden Jahren mit einem weiteren Anstieg der Arbeitsunfähigkeitstage zu rechnen. Des Weiteren führen temporäre oder dauerhafte Erkrankungen, die ebenso überwiegend bei älteren Personen auftreten, zu einer eingeschränkten Arbeitsfähigkeit (Bauer et al. 2012). In Zukunft ist somit ein steigender Anteil an Arbeitspersonen zu erwarten, die, bedingt durch vorhandene Erkrankungen, nur für bestimmte Arbeitsaufgaben eingesetzt werden können. Unternehmen stehen aktuell vor der Herausforderung geeignete Maßnahmen für die entstehenden Veränderungen zu finden und umzusetzen.

Um den Anstieg der Arbeitsunfähigkeitstage zu reduzieren ist, eignen sich Maßnahmen zur Primärprävention. Diese setzen vor dem Eintreten einer Erkrankung an und haben den Erhalt der Gesundheit zum Ziel (Löllgen 2010). Der Präventionsauftrag von Arbeitgebern ist im Arbeitsschutzgesetz verankert (§ 3 ArbSchG). Die Fokussierung des Gesetzes auf Arbeitsbedingungen und nicht auf individuelle Personen erfordert die Vermeidung einer zu hohen auf die Arbeitspersonen wirkenden Belastung.

Hinsichtlich des steigenden Anteils an Arbeitspersonen mit eingeschränkter Arbeitsfähigkeit wird der adäquate Einsatz von Arbeitspersonen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Jobrotation ist eine Form der Arbeitsgestaltung, die durch gezielte Zuordnung von Arbeitspersonen zu Arbeitsaufgaben ein hohes Gefährdungsrisiko einzelner Personen vermeiden kann. Bei der Zuordnung können Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen berücksichtigt werden, so dass ein adäquater Einsatz sichergestellt ist.

2. Jobrotation

Jobrotation erlaubt den Arbeitnehmern, nach vorgegebenen Rhythmen die Arbeitsaufgaben zu tauschen (Lindner-Lohmann 2008). Erhoffte positive Auswirkungen der Jobrotation sind beispielsweise eine Prävention von arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen (Asensio et al. 2012b), eine Steigerung der Qualifikationen des Arbeitnehmers (Costa und Miralles 2009) sowie die Vermeidung von Demotivation (Azizi et al. 2010).

Das Problem der Rotationsplanerstellung ist mathematisch formuliert ein klassisches Transportproblem. In den meisten Fällen wird es als ein Spezialfall des klassischen Transportproblems, als Zuordnungsproblem, ausgedrückt. Arbeitspersonen, Arbeitsaufgaben sowie die Zeitpunkte des Aufgabenwechsels, die für alle Arbeitspersonen identisch sind, werden dabei als gegeben angenommen. Es wird zudem vorausgesetzt, dass die Anzahl der verfügbaren Arbeitspersonen und die Anzahl benötigter Arbeitspersonen identisch sind.

Eine zulässige Lösung des Problems wird Rotationsplan genannt. Er gibt an, welche Arbeitspersonen in welchem Zeitintervall welcher Arbeitsaufgabe zugeordnet werden. Gesucht wird ein Rotationsplan, der den Wert der Zielfunktion, je nach zu optimierendem Kriterium, minimiert oder maximiert.

Die Berücksichtigung von Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen führt zu zusätzlichen Restriktionen des Transportproblems. Dadurch wird die Anzahl der zulässigen Lösungen verringert und die Güte der optimalen Lösung kann sich verschlechtern.

3. Literatur zum Thema Erstellung von Rotationsplänen

Der überwiegende Teil der veröffentlichten Forschungsarbeiten zum Thema Erstellung von Rotationsplänen fokussiert die Beurteilung einer Belastungsart. Häufig ist dies die entstehende Belastung durch Hebetätigkeiten, wofür der „Job Severity Index“ zur Beurteilung verwendet wird. Dieser wurde von Liles et al. 1984 vorgestellt. Beispiele für solche Forschungsarbeiten sind von Carnahan et al. 2000, von Tharmmaphornphilas und Norman 2004 sowie von Tharmmaphornphilas und Norman 2007. Eine ganzheitliche Bewertung der Belastung, die unterschiedliche Belastungsarten für die Zuordnung berücksichtigt, hat bisher für die Rotationsplanerstellung nicht stattgefunden und wurde von Autoren häufig empfohlen (Carnahan et al. 2000, Diego-Mas et al. 2009, Asensio-Cuesta et al. 2012a, Asensio-Cuesta et al. 2012b).

Zudem wurden Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen bisher kaum betrachtet. Aryanezhad et al. (2009) integrierten als einzige Qualifikationen bei

der Erstellung von Rotationsplänen. Einschränkungen werden nur bei Asensio-Cuesta et al. 2012a, Asensio-Cuesta et al. 2012b sowie Diego-Mas et al. 2009 berücksichtigt.

Bisher existieren keine Methoden, die eine ganzheitliche Bewertung der Belastung ermöglichen sowie Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen berücksichtigen. Bedingt durch den demografischen Wandel gewinnen die Vermeidung von hohen Belastungen sowie der adäquate Einsatz von Arbeitspersonen an Bedeutung.

4. Ganzheitlicher Ansatz zur Erstellung von Rotationsplänen

Das auf das Problem der Rotationsplanerstellung angepasste klassische Transportproblem, das verschiedene Belastungsarten sowie Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen berücksichtigt, lautet:

Notationen

i – Index für Arbeitspersonen mit $i = 1, \dots, i_{max}$

j – Index für Arbeitsaufgaben mit $j = 1, \dots, j_{max}$

k – Index für Qualifikationen $k = 1, \dots, k_{max}$

l – Index für Einschränkungen mit $l = 1, \dots, l_{max}$

t – Index für Zeitintervalle mit $t = 1, \dots, t_{max}$

m_j – Anzahl identischer Arbeitsaufgaben mit $m_j \in \bullet^*$

$a_{i,k}$ – binäre Variable: gleich 1, falls Arbeitsperson i Qualifikation k besitzt, sonst 0

$b_{j,k}$ – binäre Variable: gleich 1, falls Arbeitsaufgabe j Qualifikation k erfordert, sonst 0

$c_{i,l}$ – binäre Variable: gleich 1, falls Arbeitsperson i Einschränkung l nicht besitzt, sonst 0

$d_{j,l}$ – binäre Variable: gleich 1, falls Arbeitsaufgabe j nicht mit Einschränkung l durchgeführt werden kann, sonst 0

Entscheidungsvariablen

x_{ijt} – binäre Variable: gleich 1, falls Arbeitsaufgabe j Arbeitsperson i in Zeitintervall t zugeordnet wird, sonst 0

Optimierungsproblem

minimiere die Zielfunktion

$$z(X) \tag{1}$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1}^{j_{max}} x_{ijt} = 1 \quad \forall i, t \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{ijt} = m_j \quad \forall j, t \tag{3}$$

$$x_{i,j,t} \cdot (a_{i,k} - b_{j,k}) \geq 0 \quad \forall i, j, k, t \tag{4}$$

$$x_{i,j,t} \cdot (c_{j,l} - d_{i,l}) \geq 0 \quad \forall i, j, l, t \tag{5}$$

$$x_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t \tag{6}$$

Gleichung (2) beschreibt, dass jeder Arbeitsperson in jedem Zeitintervall genau eine Arbeitsaufgabe zugeordnet wird. Gleichung (3) garantiert, dass jeder Arbeitsaufgabe in jedem Zeitintervall genau eine Arbeitsperson zugeordnet wird. Gleichung (4) stellt sicher, dass Arbeitspersonen nur Arbeitsaufgaben zugeordnet werden, für die sie die erforderlichen Qualifikationen besitzen. Gleichung (5) garantiert, dass Arbeitspersonen nur Arbeitsaufgaben zugeordnet werden, die sie mit vorhandenen Einschränkungen durchführen können. Gleichung (6) legt fest, dass alle Entscheidungsvariablen binäre Variablen sind, die nur die Werte 0 oder 1 annehmen dürfen.

Bei einem Zuordnungsproblem ist i_{max} gleich j_{max} und $m_j = 1, j = 1, \dots, j_{max}$. Das hier vorgestellte Problem ist daher nur im Spezialfall ein Zuordnungsproblem. Es ist kein Zuordnungsproblem, wenn i_{max} kleiner als j_{max} ist. Dies ist der Fall, wenn identische Arbeitsaufgaben vorliegen und dadurch mindestens ein m_j größer als 1 ist.

In der Zielfunktion $z(X)$ wird die Höhe der Belastung je Belastungsart und Arbeitsperson berücksichtigt:

$$z(X) = \sum_{i=1}^{i_{max}} (f_{i,LH}^n + f_{i,KH}^n + f_{i,GKV}^n + f_{i,HAV}^n + f_{i,L}^n) \quad (7)$$

Die Variable $f_{i,BA}$ ist das normierte Ergebnis der Risikobewertung einer Belastungsart (BA) für Arbeitsperson i . Die Abkürzungen in den Indizes der Variablen stehen für die beurteilte Belastungsart: LH steht für Lastenhandhabung, KH für erzwungene Körperhaltungen, GKV für Ganzkörper-Vibrationen, HAV für Hand-Arm-Vibrationen und L für Lärm. In Abhängigkeit der zu beurteilenden Belastungsart und des gewünschten Detaillierungsgrads ist für jede Belastungsart ein geeignetes Bewertungsverfahren, wie z. B. das Multiple-Lasten-Tool für die Lastenhandhabung, oder Berechnungsformeln, z. B. zur Ermittlung der Tagesexposition bei Ganzkörper-Vibrationen, auszuwählen.

Die Ergebnisse der Risikobewertung werden normiert, damit die Werte von $f_{i,BA}$ vergleichbar sind. Liefert die Bewertung einer Belastungsart nur ein Ergebnis für eine Arbeitsperson und einen Rotationsplan, wird der Quotient aus dem Ergebnis der Risikobewertung $E_{i,BA}(X)$ und dem Wert R_{BA} , ab dem das Ergebnis der roten Ampelfarbe zugeordnet wird, gebildet. Liefert die Bewertung einer Belastungsart mehr als ein Ergebnis, wird für jeden Aspekt A der Quotient aus $E_{i,BA,A}(X)$ und $R_{BA,A}$ gebildet und anschließend das Maximum aller Quotienten als $f_{i,BA}$ gesetzt:

$$f_{i,BA} := \max_A \{Q_{i,BA,A}(X)\} \quad \forall i, BA \quad (8)$$

wobei

$$Q_{i,BA,A}(X) := \frac{E_{i,BA,A}(X)}{R_{BA,A}} \quad \forall i, BA, A \quad (9)$$

Um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Belastung auf alle Arbeitspersonen und Belastungsarten zu erreichen, muss der Exponent n in der Zielfunktion eine Zahl größer 1 sein. Je größer n gewählt wird, desto eher werden hohe Werte der Belastung vermieden.

5. Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt wird ein Anwendungsbeispiel vorgestellt, um die Ermittlung des Zielfunktionswerts und die Bedeutung der Variable n zu veranschaulichen.

Zwei Personen sind zwei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben zuzuordnen. Als zulässige Lösungen liegen zwei Rotationspläne vor: Bei Rotationsplan 1 findet keine Jobrotation statt, d. h. jede Person wird über eine Dauer von acht Stunden genau einer Arbeitsaufgabe zugeordnet. Bei Rotationsplan 2 findet ein Wechsel der Arbeitsaufgaben nach vier Stunden statt.

Für jeden Rotationsplan wird die entstehende Belastung aus vorhandenen Daten zu den Arbeitsaufgaben rechnerisch ermittelt. Betrachtete Belastungsarten sind die Lastenhandhabung sowie erzwungene Körperhaltungen. Für die Bewertung der Lastenhandhabung wird das Multiple-Lasten-Tool eingesetzt, für die Bewertung der erzwungenen Körperhaltungen das „Ovako Working Posture Analysing System“ (OWAS, Stoffert 1985). Die Bewertungsergebnisse des OWAS werden unter Verwendung des Lundqvist-Index aggregiert (Lundqvist 1988). Tabelle 1 zeigt das Vorgehen bis zur Bestimmung von $f_{i,BA}$.

Tabelle 1: Bewertung von zwei unterschiedlichen Rotationsplänen

Rotationsplan	Arbeitsperson	Belastungsart	Aspekt	$E_{i,BA,A}(X)$	$R_{BA,A}$	$Q_{i,BA,A}(X)$	$f_{i,BA}$			
1	i = 1	LH		40	50	0,8	0,8			
		KH	Rücken	1	4	0,25				
		KH	Arme/Schultern	1	4	0,25				
		KH	Beine	1	4	0,25				
	i = 2	LH		10	50	0,2	0,2			
		KH	Rücken	1	4	0,25				
		KH	Arme/Schultern	1,15	4	0,29				
		KH	Beine	2	4	0,5				
		2	i = 1	LH		30,11		50	0,6	0,6
				KH	Rücken	1		4	0,25	
KH	Arme/Schultern			1	4	0,25				
KH	Beine			1	4	0,25				
i = 2	LH			30,11	50	0,6	0,6			
	KH		Rücken	1	4	0,25				
	KH		Arme/Schultern	1	4	0,25				
	KH		Beine	1	4	0,25				

Auf Basis der bestimmten $f_{i,BA}$ werden die Zielfunktionswerte berechnet. Es werden vier unterschiedliche Zielfunktionen untersucht, die sich jeweils nur durch den Wert von n unterscheiden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Sie zeigen, dass mit steigendem n der Rotationsplan 2, welcher die Belastung gleichmäßig auf beide Arbeitspersonen verteilt, besser bewertet wird.

Tabelle 2: Wert der Zielfunktion für beide Rotationspläne und unterschiedliche Werte von n

Rotationsplan	$z(X)$			
	$n = 0,3$	$n = 1$	$n = 3$	$n = 9$
1	3,02	1,75	0,66	0,14
2	3,04	1,70	0,47	0,02

6. Fazit und Ausblick

Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz zeigt, wie gezielt belastungsoptimierte Rotationspläne erstellt werden können, die Qualifikationen und Einschränkungen der Arbeitspersonen bei der Zuordnung berücksichtigen. Der Anwender kann dafür Methoden auswählen, die in der Zielfunktion für die Bewertung eines Rotationsplans verwendet werden. Bisher wurde nicht untersucht, welche Methoden sich für die Bewertung von Rotationsplänen eignen. Für weitere Forschungsarbeiten wird daher empfohlen, die Eignung der Bewertungsverfahren für das Vorhaben zu prüfen.

7. Literatur

- Aryanezhad MB, Kheirkhah AS, Deljoo V, Mirzapour Al-e-hashem SMJ (2009) Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 41:193-199.
- Asensio-Cuesta S, Diego-Mas JA, Canós-Darós L, Andrés-Romano C (2012a) A genetic algorithm for the design of job rotation schedules considering ergonomic and competence criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 60:1161-1174.
- Asensio-Cuesta S, Diego-Mas JA, Cremades-Oliver L, González-Cruz M (2012b) A method to design job rotation schedules to prevent work-related musculoskeletal disorders in repetitive work. *International Journal of Production Research* 50:7467-7478.
- Azizi N, Zolfaghari S, Liang M (2010) Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations. *International Journal of Production Economics* 123:69-85.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2014) Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2012. Accessed December, 2014. <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Arbeitsunfaehigkeit/Kosten.html>.
- Bauer V, Bungard S, Hertle D, Kliner K, Tewes C, Trümner A (2012) BKK Gesundheitsreport 2012. Herausgegeben von: BKK Bundesverband, 2012.
- Carnahan BJ, Redfern MS, Norman B (2000) Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. *Ergonomics* 43:543-560.
- Costa AM, Miralles C (2009) Job rotation in assembly lines employing disabled workers. *International Journal of Production Economics* 120:625-632.
- Diego-Mas JA, Asensio-Cuesta S, Sanchez-Romero MA, Artacho-Ramirez M (2009) A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39:23-33.
- Liles DH, Deivanayagam S, Ayoub MM, Mahajan P (1984) A Job Severity Index for the Evaluation and Control of Lifting Injury. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 26:683-693.
- Lindner-Lohmann D, Lohmann F, Schirmer U (2008) Personalmanagement. Heidelberg: Physica.
- Löllgen H, Gitt AK, Erdmann E (2010): Ergometrie - Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. 3. Auflage. Berlin: Springer.
- Lundqvist P (1988) Working environment in farm buildings - Results of studies in livestock buildings and greenhouses. Lund: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Avdelningen för byggnadsfunktion och miljö.
- Stoffert G (1985) Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 39:31-38.
- Tharmaphornphilas W, Norman BA (2004) A Quantitative Method for Determining Proper Job Rotation Intervals. *Annals of Operations Research* 128:251-266.
- Tharmaphornphilas W, Norman BA (2007) A methodology to create robust job rotation schedules. *Annals of Operations Research* 155:339-360.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 18025 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.