

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problem	1
1.2	Ziel und Ergebnisse	2
1.3	Lösungsweg zur Erreichung der Ziele	3
1.4	Aufbau der Arbeit	3
<b>2</b>	<b>Belastung und Beanspruchung</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Expertenbefragungen</b>	<b>7</b>
3.1	Methodisches Vorgehen	7
3.2	Ergebnisse	9
3.2.1	Stichprobenbeschreibung	9
3.2.2	Rahmenbedingungen in der Intralogistik	10
3.2.3	Aktuelles Vorgehen bei oder Vorstellungen von Jobrotation	14
3.3	Zusammenfassung	18
<b>4</b>	<b>Vorgehen zur Rotationsplanerstellung</b>	<b>21</b>
4.1	Anforderungen	21
4.2	Beurteilung der körperlichen Belastung	24
4.3	Modellbildung	28
4.3.1	Grundlagen	28
4.3.2	Entscheidungen	30
4.3.3	Annahmen und Anmerkungen	30
4.3.4	Datenerfassung	31
4.3.5	Datenmodifikationen und Vorberechnungen	32
4.3.6	Optimierungsproblem	38
4.3.7	Beispiel Entgelterhalt	40
4.4	Lösung des Optimierungsproblems	40
4.5	Sicherstellung der Akzeptanz	43
<b>5</b>	<b>Umsetzung in ein Rechnerwerkzeug</b>	<b>45</b>
5.1	Aufbau des Rechnerwerkzeugs	45

5.2 Grafische Benutzerschnittstelle	46
5.2.1 Nutzereingaben	46
5.2.2 Ausgaben	51
5.3 Datenbankschema	53
<b>6 Anwendung</b>	<b>55</b>
6.1 Einsetzbarkeit in der Praxis	55
6.1.1 Beschreibung und Erweiterung des Optimierungsproblems	55
6.1.2 Datenerfassung	56
6.1.3 Fazit	59
6.2 Beispielhaftes Bewerten von Arbeitsplatzwechseln	59
6.3 Analyse erstellter Rotationspläne hinsichtlich der ergonomischen Zielstellung	61
6.4 Laufzeitanalyse des Rechnerwerkzeugs	62
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>65</b>
7.1 Zusammenfassung	65
7.2 Ausblick	66
7.3 Nutzen für industrielle Anwendungsmöglichkeiten	67
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>77</b>
<b>Anhang A Expertenbefragungen</b>	<b>A-1</b>

# 1 Einleitung

Im Forschungsprojekt „Ergo-Jobrotation - Planungsmethodik für eine ergonomisch optimale Jobrotation in der Intralogistik“ steht der Belastungswechsel, der durch eine Jobrotation in der Intralogistik erreicht werden kann, im Fokus. Zentrale Aspekte des Forschungsprojekts waren die Entwicklung eines Vorgehens für die Zuordnung von Mitarbeitern zu Logistikarbeitsplätzen sowie die Umsetzung des Vorgehens als Rechnerwerkzeug.

## 1.1 Problem

Der Begriff „demografischer Wandel“ bezeichnet die Veränderung der Größe und der Zusammensetzung der Bevölkerung [Bun-2014a]. Abbildung 1-1 veranschaulicht die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2010 und als Schätzung für das Jahr 2030: Es zeigt sich ein Rückgang der jungen sowie mittleren Jahrgänge und ein Anstieg der älteren Jahrgänge. In Summe werden im Jahr 2030 über 6 Millionen Personen weniger im Alter von 20 bis 64 Jahren sein als im Jahr 2010.

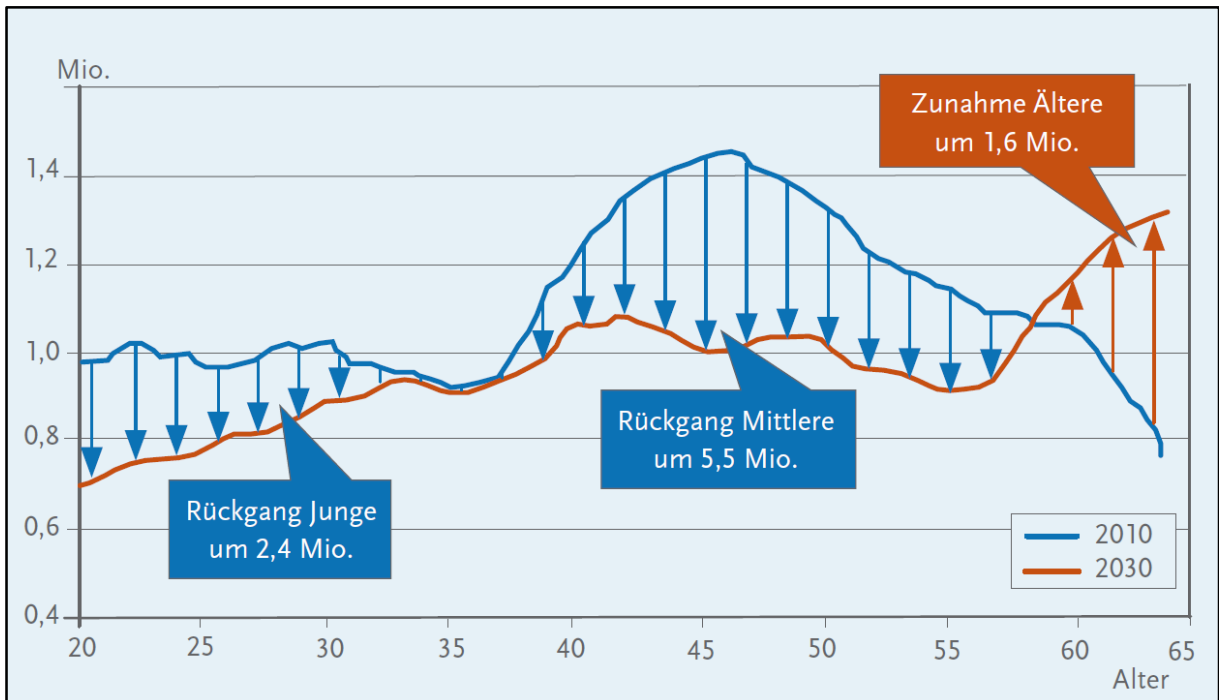


Abbildung 1-1: Bevölkerung in Deutschland nach Alter für die Jahre 2010 und 2030  
(Quelle: [Sta-2009, Variante 1-W2], graphische Darstellung: [Bun-2014a])

Muskel-Skelett-Erkrankungen sind in Deutschland für rund ein Viertel der Arbeitsunfähigkeitstage verantwortlich [Bun-2015, S. 43], treten vergleichsweise häufig bei älteren Jahrgängen auf [Kni-2015, S. 174] und werden in direkten Zusammenhang mit einer arbeitsbedingten körperlichen Belastung gebracht [Bun-2014b, S. 109]. Tätigkeiten der operativen Intralogistik sind geprägt von einer körperlichen Belastung: Mitarbeiter müssen zahlreiche Güter handhaben, die teilweise ein sehr hohes Gewicht besitzen. Sie sind aufgrund ihrer Arbeit besonders gefährdet von Muskel-Skelett-Erkrankungen betroffen zu sein.

Der demografische Wandel führt zu einem knappen Angebot an Personen im erwerbsfähigen Alter und damit, bedingt durch den Anstieg der älteren Jahrgänge, zu einer Alterung der Belegschaft. Der Erhalt der Arbeitsfähigkeit bis ins hohe Alter gewinnt dadurch an Bedeutung, um zum einen eine Knappheit der Ressource Mitarbeiter zu vermeiden und zum anderen hohe Opportunitätskosten, zum Beispiel durch Krankheit entstehende Produktionsausfallkosten, zu vermeiden. Um die Arbeitsfähigkeit von Arbeitnehmern zu erhalten, ist eine Arbeitsgestaltung, bei der verstärkt ergonomische Aspekte berücksichtigt werden, erforderlich.

Maßnahmen zur Primärprävention sollen verhindern, dass Krankheiten bei noch Gesunden eintreten [Löl-2010, S. 356]. Eine Maßnahme der Primärprävention ist Jobrotation. Durch eine Jobrotation kann das Risiko für das Ausbrechen einer Krankheit des Muskel-Skelett-Systems reduziert werden. Doch obwohl Mitarbeiter in der Logistik häufig einer hohen körperlichen Belastung ausgesetzt sind, wird in Unternehmen bisher keine Jobrotation zur bestmöglichen Reduzierung dieses Risikos praktiziert.

## **1.2 Ziel und Ergebnisse**

Ziel des Forschungsprojekts „Ergo-Jobrotation“ ist es, eine ergonomische Jobrotation für Beschäftigte in der operativen Intralogistik zu ermöglichen. Um dieses Ziel zu erreichen, soll ein Vorgehen zur Erstellung von belastungsoptimierten Rotationsplänen entwickelt werden. Ein Rotationsplan gibt für eine Schicht an, welche Mitarbeiter wann welchen Arbeitsplatztypen zugeordnet werden. Durch eine ergonomische Zuordnung mittels eines Rotationsplans soll das Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen reduziert werden. Die angestrebten Ergebnisse in dieser Arbeit sind die Identifikation von Anforderungen aus der Praxis, ein Vorgehen zur Rotationsplanerstellung, die Umsetzung des Vorgehens in ein Rechnerwerkzeug, die Bewertung des Vorgehens und der Umsetzung hinsichtlich der Einsetzbarkeit in der Praxis, die Analyse der erstellten Rotationspläne hinsichtlich der Zielstellung sowie eine Laufzeitanalyse.

## 1.3 Lösungsweg zur Erreichung der Ziele

Neun aufeinander abgestimmte Arbeitspakete dienen zur Erreichung des in Abschnitt 1.2 beschriebenen Ziels. Diese sind:

- Identifikation typischer Arbeitsplätze in der Intralogistik
- Auswahl eines Arbeitsanalyseverfahrens zur ergonomischen Bewertung
- Bewertung der typischen Arbeitsplätze
- Klassifizierung der Arbeitsplätze
- Entwicklung einer Planungsmethodik zur ergonomischen Jobrotation
- Bestimmung der Ein- und Ausgangsgrößen des Planungstools
- Umsetzung einer Planungsmethodik in ein rechnergestütztes Planungstool
- Validierung der Planungsmethodik
- Dokumentation

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Der Hauptteil dieser Arbeit gliedert sich in fünf Kapitel. In Kapitel 2 werden die Begriffe Belastung und Beanspruchung erläutert. Das Vorgehen und die Ergebnisse von Expertenbefragungen sind in Kapitel 3 dargestellt. Die durch die Expertenbefragungen gewonnenen Erkenntnisse fließen in das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung ein, welches in Kapitel 4 beschrieben wird. Eine exemplarische Umsetzung des Vorgehens in ein Rechnerwerkzeug wird in Kapitel 5 vorgestellt, dabei wird insbesondere auf den Aufbau des Werkzeugs, die grafische Benutzerschnittstelle und das Datenbankschema eingegangen. In Kapitel 6 werden ein Anwendungsbeispiel sowie exemplarische Arbeitsplatzwechselbewertungen vorgestellt, erstellte Rotationspläne werden hinsichtlich der Zielstellung analysiert und Ergebnisse einer Laufzeitanalyse werden präsentiert.



## 2 Belastung und Beanspruchung

---

Die Arbeitsbelastung ist nach DIN EN ISO 6385 die „Gesamtheit der äußeren Bedingungen und Anforderungen im Arbeitssystem, die auf den physiologischen und/oder psychologischen Zustand einer Person einwirken“ [DIN EN ISO 6385]. Die Arbeitsbeanspruchung ist die „innere Reaktion des Arbeitenden/Benutzers auf die Arbeitsbelastung, der er ausgesetzt ist“ [DIN EN ISO 6385]. Obwohl die Belastung nach dieser Definition unabhängig von der Person ist, findet bei gängigen Verfahren, wie zum Beispiel der Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen, eine Unterscheidung zwischen Männern und Frauen für die Ermittlung der Höhe der Belastung statt.

Die Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 [Deu-2009] unterscheidet verschiedene arbeitsbedingte Belastungsarten, die eine Gefährdung für das Muskel-Skelett-System darstellen können:

1. Manuelle Lastenhandhabung
  - a. Heben, Halten, Tragen
  - b. Ziehen, Schieben
2. Erzwungene Körperhaltungen
  - a. Sitzen
  - b. Stehen
  - c. Rumpfbeuge
  - d. Hocken, Knien, Fersensitz, Kriechgang, Liegen
  - e. Arme über Schulterniveau
3. Arbeit mit erhöhter Kraftanstrengung und/oder Krafteinwirkung
  - a. Schwer zugängliche Arbeitsstellen (Steigen, Klettern)
  - b. Einsatz des Hand-Arm-Systems als Werkzeug (Klopfen, Hämmern, Drehen, Drücken)
  - c. Kraft- oder Druckeinwirkung bei der Bedienung von Arbeitsmitteln
4. Repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen
5. Vibrationen
  - a. Ganzkörper-Vibrationen
  - b. Hand-Arm-Vibrationen

Verfahren zur Beurteilung der Belastung stufen die Höhe einer Belastung ein. Dazu werden in der Regel äußere Bedingungen und Anforderungen quantifiziert, um einen

Risikowert zu berechnen. Bei der manuellen Lastenhandhabung sind dies beispielsweise Gewicht und eingenommene Körperhaltung.

Eine Beanspruchung wird in der betrieblichen Praxis meist mit physiologischen Methoden erfasst [REF-1993, S. 36]. So eignet sich beispielweise eine Messung der Arbeitspulsfrequenz oder der elektrischen Muskelaktivität als Indikator für die Beanspruchung [REF-1993, S. 36ff.]. Zudem eignen sich auch „subjektive Verfahren“, wie zum Beispiel Fragebögen oder Interviews, zum Erfassen der Beanspruchung [REF-1993, S. 36]. Diese werden jedoch seltener eingesetzt, da die Ergebnisse dieser Verfahren stark von der Empfindung der befragten Person abhängen [REF-1993, S. 36].



## 3 Expertenbefragungen

---

Ziel der vorliegenden Expertenbefragungen ist es, Rahmenbedingungen, die in der Intralogistik anzutreffen sind, zu identifizieren sowie das aktuelle Vorgehen bei Jobrotation oder Vorstellungen von Jobrotation zu erfassen. Erfahrungen und Ansichten der befragten Personen sollen in dieser Untersuchung im Vordergrund stehen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in das zu entwickelnde Vorgehen zur Rotationsplanerstellung im Logistikbereich einfließen (siehe Kapitel 3).

Frühere Arbeiten, die die im Rahmen dieser Untersuchung adressierten Fragestellungen behandeln, sind nicht bekannt. Bisher wurde Jobrotation nicht für die Anwendungsdomäne operative Intralogistik betrachtet, sondern vor allem für Arbeitsplätze in der Produktion [Ase-2012; Cos-2009; Ott-2013].

In diesem Kapitel wird zuerst das methodische Vorgehen vorgestellt (Abschnitt 3.1) und anschließend auf die Ergebnisse eingegangen (Abschnitt 3.2). Inhalte dieses Kapitels wurden bereits in einem Zeitschriftenaufsatz [Koc-2016] veröffentlicht.

### 3.1 Methodisches Vorgehen

In diesem Abschnitt wird auf die Erhebungsmethode, die Festlegung der Grundgesamtheit, die Konstruktion des Fragebogens und die Datenerhebung sowie -analyse eingegangen.

#### **Erhebungsmethode**

Für die geplante Untersuchung wurde das telefonische Interview als Erhebungsmethode ausgewählt. Das telefonische Interview ermöglicht eine umfassende Erhebung bei einer hohen Datenqualität durch den direkten Kontakt des Interviewers mit dem Befragten. Kommentare des Befragten können während des Interviews zusätzlich zu den Antworten dokumentiert werden. Zugleich ist der Aufwand des telefonischen Interviews niedriger als beim persönlichen Interview. Die Befragten können ortsunabhängig interviewt werden, wodurch kein Anreiz entsteht Experten aus einer bestimmten Region zu interviewen.

Um eine Vergleichbarkeit der Antworten aller Befragten zu gewährleisten, wurde zudem entschieden, ein standardisiertes Interview durchzuführen. Das heißt, dass die Befragten die gleichen Fragen inklusive gegebenenfalls vorhandener Antwortmöglichkeiten in einer festgelegten Reihenfolge beantworten.

## **Festlegung der Grundgesamtheit**

Um die Fragen beantworten können, sollten die befragten Personen eine gute Kenntnis der Arbeitsabläufe an operativen Intralogistikarbeitsplätzen besitzen. Erfahrungen mit Jobrotation sind keine Voraussetzung für die Beantwortung der Fragen. Die Grundgesamtheit dieser Untersuchung umfasst somit alle Personen, die im Befragungszeitraum im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit in einem Unternehmen mit den Arbeitsabläufen im operativen Intralogistikbereich vertraut waren. Es wurde keine Einschränkung hinsichtlich der Größenklasse oder der Branchen der betrachteten Unternehmen getroffen. Ebenso wurde keine Einschränkung bezüglich der Hierarchiestufe der befragten Person festgelegt.

Während bei der Stichprobenbildung in der quantitativen Forschung die statistische Repräsentativität im Vordergrund steht, ist bei der qualitativen Forschung die Relevanz der befragten Personen für die Fragestellung entscheidend [May-2013, S. 39]. Die Ergebnisse dieser qualitativen Forschung dienen primär dazu Erklärungen und Meinungen der befragten Personen zu gewinnen.

## **Konstruktion des Fragebogens**

Zur Durchführung des Interviews wurde ein Fragebogen erstellt (siehe Anhang A.1). Dieser umfasst die folgenden vier Themenkomplexe:

1. Allgemeine Angaben
2. Arbeitsplätze in der Intralogistik
3. Bereich mit Jobrotation in Planung oder Umsetzung
4. Bereich ohne Jobrotation

Im ersten Themenkomplex des Fragebogens werden allgemeine Angaben zum Unternehmen sowie zum aktuellen Tätigkeitsbereich des Befragten erhoben. Der zweite Themenkomplex des Fragebogens widmet sich den Arbeitsplätzen in der Intralogistik. In diesem Themenkomplex wird erfasst, welche Arbeitsplätze in der operativen Intralogistik im Unternehmen des Befragten vorhanden sind und auf Grund welcher Belastungsarten an den jeweiligen Arbeitsplätzen eine erhöhte Belastung vorliegt. Im dritten Themenkomplex des Fragebogens wird ein Bereich, in dem eine methodische Jobrotation in Planung ist oder praktiziert wird, genauer untersucht. Dieser Themenkomplex hat zum Ziel, einen Überblick über die aktuelle Gestaltung des Arbeitsplatzwechsels zu geben. Im vierten Themenkomplex des Fragebogens wird für einen existierenden Bereich, in dem keine methodische Jobrotation geplant ist oder praktiziert wird, erfragt, wie sich die befragte Person eine Jobrotation in diesem Bereich vorstellen könnte. Im Interview beantwortete die befragte Person stets den ersten und zweiten Themenkomplex sowie entweder den dritten oder den vierten Themenkomplex. Die Fragen des Interviews wurden überwiegend offen formuliert. Der

Befragte soll durch vorgegebene Antwortmöglichkeiten nicht beeinflusst werden und durch offene Fragen motiviert werden, von seinen Erfahrungen zu berichten.

In einem Hinweisblatt zum Fragebogen (siehe Anhang A.2) wird erklärt, wann die jeweiligen Belastungsarten zu einer erhöhten Belastung führen. Dies ist für den zweiten Themenkomplex des Fragebogens relevant. Die genannten Belastungsarten (außer Lärm, Temperatur, Informationsangebot und Zeitdruck) sowie zugehörigen Orientierungsfragen stammen aus der Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel-Skelettsystems einschließlich Vibrationen“ [Deu-2009, S. 12ff]. Die Belastungsarten Lärm, Temperatur, Informationsangebot und Zeitdruck wurden der Liste hinzugefügt, um zu prüfen, ob eine erhöhte Belastung durch diese Belastungsarten in der Intralogistik häufig auftritt.

### **Datenerhebung und -analyse**

Die Interviewerin extrahierte während des Gesprächs relevante Einzelinformationen und notierte diese im Fragebogen. Kommentare, die nicht direkt eine Antwort auf eine gestellte Frage darstellten, wurden ebenso festgehalten. Ein Interview dauerte im Durchschnitt etwa 60 Minuten. Die Interviews fanden von Oktober 2014 bis März 2015 statt. Für explorative Untersuchungen, wie die hier vorliegende, werden Methoden der deskriptiven Statistik für eine Auswertung angewendet [Bor-2006, S. 65(82)]. Für Antworten auf offene oder halboffene Fragen wurden Kategorien gebildet, um diesen die gegebenen Antworten zuzuordnen.

## **3.2 Ergebnisse**

Wesentliche Ergebnisse der Expertenbefragungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Prozentzahlen wurden für die Darstellung auf ganze Werte gerundet.

### **3.2.1 Stichprobenbeschreibung**

Die Stichprobe dieser Untersuchung umfasst 30 Personen. Diese waren zum Zeitpunkt der Befragung bei Unternehmen der Automobilindustrie (53 %), des Handels (23 %), des Maschinen- und Anlagenbaus (17 %) sowie bei anderen Branchen (7 %) beschäftigt. Die Tätigkeitsbereiche der befragten Personen umfasste die Logistik (80 %), die Produktion (10 %) sowie andere Bereiche (10 %).

### 3.2.2 Rahmenbedingungen in der Intralogistik

Das erste Ziel der Expertenbefragungen ist die Identifikation der in der operativen Intralogistik anzutreffenden Rahmenbedingungen. Die dieses Ziel betreffenden Untersuchungsergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

#### **Arbeitsplatztypen in der Intralogistik sowie Ursachen einer erhöhten Belastung** Frage 2.1.1 und 2.1.2

Die Befragten gaben insgesamt 188 Arbeitsplatztypen an, die bei Ihrem Unternehmen in der Intralogistik vorkommen und über eine charakteristische Belastung verfügen. Die durchschnittliche Anzahl von Arbeitsplatztypen pro Befragtem liegt damit bei 6,3 (Standardabweichung 1,9). Auf Basis der genannten Arbeitsplatztypen wurde ein Kategoriensystem erstellt, dazu wurden Kategorien formuliert, denen die genannten Arbeitsplatztypen zugeordnet werden können (siehe Anhang A.3). Zur Erstellung des Kategoriensystems wurden zuerst Hauptkategorien gebildet, die die erste Ebene des Kategoriensystems darstellen (Bsp. für Ebene 1: Transport). Diese wurden anschließend bis zur maximal dritten Ebene ausdifferenziert (Bsp. für Ebene 2: Routenzug, Bsp. für Ebene 3: KLT-Routenzug).

Durch die Zuordnung der Arbeitsplatztypen zu den gebildeten Kategorien wurden die Arbeitsplatztypen nach durchzuführenden Tätigkeiten geordnet, so dass ein Überblick über das Spektrum an unterschiedlichen Arbeitsplatztypen geschaffen wurde. Das gebildete Kategoriensystem besteht aus 8 Kategorien der Ebene 1, 44 Kategorien der Ebene 2 und 13 Kategorien der Ebene 3. Die hohe Anzahl der unterschiedlichen Kategorien zeigt, dass Arbeitsplatztypen in der Intralogistik sehr vielfältig sind.

Die Kategorien auf Ebene 1, im Folgenden als Hauptkategorien bezeichnet, sind Transport (73 Nennungen), Kommissionierung (42 Nennungen), Warenausgang (25 Nennungen), Wareneingang (24 Nennungen), Lager (8 Nennungen), kombinierte Arbeitsplatztypen (6 Nennungen), Handhabung (6 Nennungen) sowie Überwachung und Leitung (4 Nennungen). Die Angaben in den Klammern geben die Anzahl an Nennungen wider, die der Kategorie oder einer der Unterkategorien zugeordnet wurden.

Am häufigsten wurden Arbeitsplatztypen der Hauptkategorie Transport oder einer ihrer Unterkategorien zugeordnet. Die meisten Nennungen (37 Nennungen) zählt die Kategorie Stapler (Ebene 2), gefolgt von der Kategorie Routenzug (Ebene 2) inklusive deren Unterkategorien (20 Nennungen). In der Hauptkategorie Kommissionierung wurden sehr viele Arbeitsplatztypen direkt der Hauptkategorie zugeordnet (14 Nennungen). Des Weiteren wurden der Kategorie Sequenzierung (10 Nennungen) und der Kategorie Person-zur-Ware-Kommissionierung

(9 Nennungen) viele Arbeitsplatztypen zugewiesen. Beide sind Kategorien der Ebene 2. In der Hauptkategorie Warenausgang sind vor allem der Packerei (9 Nennungen) und dem Versand (7 Nennungen) häufig Arbeitsplatztypen zugeordnet worden. In der Hauptkategorie Wareneingang zählen die meisten Arbeitsplatztypen zur Kategorie Wareneingang (6 Nennungen), zur Kategorie Buchen (5 Nennungen) und zur Kategorie Entpacken (3 Nennungen). In der Hauptkategorie Lager ist die Einlagerung mit 5 Nennungen die bedeutendste Kategorie. Zudem gab es noch Arbeitsplatztypen, die sich nicht eindeutig zu einer Hauptkategorie zählen ließen. Zum Beispiel wurde der Arbeitsplatztyp „Kommissionierung und Packerei“ genannt, der sowohl zur Hauptkategorie Kommissionierung als auch zur Hauptkategorie Warenausgang zählen würde. Diese Arbeitsplatztypen wurden in die Hauptkategorie kombinierte Arbeitsplatztypen eingeordnet. Besonders relevante Arbeitsplatztypen sind folglich das Staplerfahren, das Routenzugfahren, das Kommissionieren bzw. Sequenzieren, die Packerei, der Versand, der Wareneingang, das Buchen im Wareneingang, das Entpacken im Wareneingang und die Einlagerung.

Für jeden von ihnen genannten Arbeitsplatztyp gaben die Befragten an, durch welche Belastungsarten eine erhöhte Belastung vorliegt. Die Einstufung fand auf Basis von Orientierungsfragen statt (siehe Anhang A.2). Abbildung 3.1 zeigt, welche Belastungsarten in der Intralogistik am häufigsten zu einem erhöhten Risiko für das Muskel-Skelett-System führen. Insbesondere manuelle Lastenhandhabungen in Form von Heben, Tragen oder Ziehen, Schieben, sowie erzwungene Körperhaltungen in Form von dauerhaftem Stehen oder erzwungenem Sitzen sind demnach relevant.

Die an einem Arbeitsplatztyp auftretende Belastung ist dabei von den jeweiligen Arbeitsinhalten und dem Arbeitsablauf abhängig. Beispielsweise kann ein Kleinladungsträger-Routenzugfahrer oder aber ein anderer Mitarbeiter für die Entladung der Kleinladungsträger zuständig sein. Folglich tritt beim Fahrer ein Umsetzen der Kleinladungsträger auf bzw. nicht auf. Ein weiteres Beispiel ist der Staplerfahrer. „Erzwungenes Sitzen“ nach der Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 [Deu-2009] tritt bei einer erzwungenen Sitzhaltung über längere Zeitabschnitte, das heißt ab zwei Stunden ohne wirksame Pause, auf. Nebentätigkeiten eines Staplerfahrers, bei denen er eine Abwechslung seiner Körperhaltung erfährt, oder Pausen können dazu führen, dass kein erhöhtes Risiko durch diese Belastungsart vorliegt. Den gebildeten Kategorien können daher nicht pauschal Belastungsarten zugewiesen werden, die ein erhöhtes Risiko verursachen.

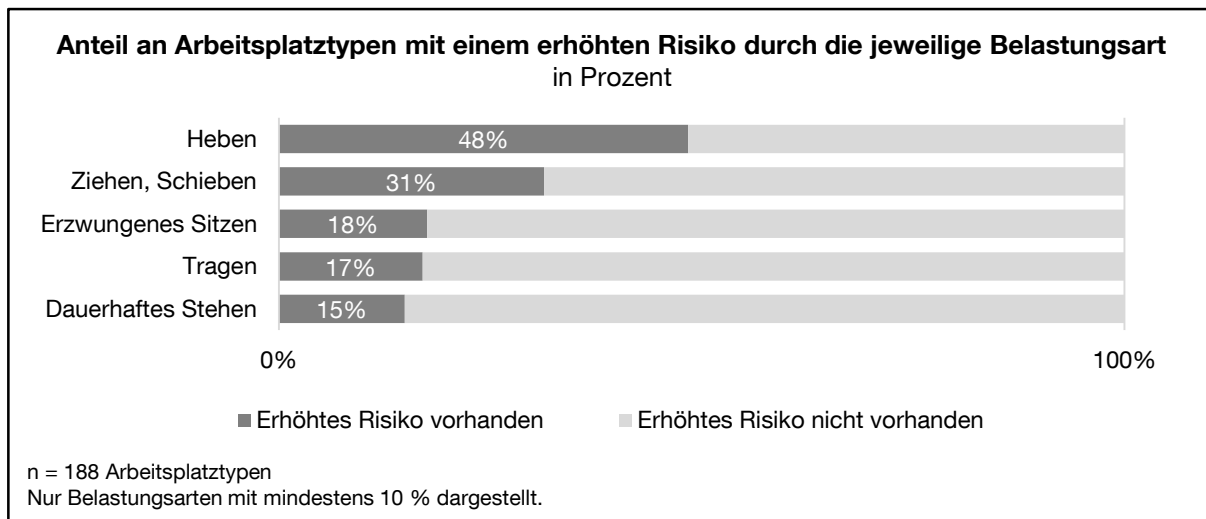


Abbildung 3-1: Anteil an Arbeitsplatztypen mit einem erhöhten Risiko für das Muskel-Skelett-System durch die jeweilige Belastungsart

## Einarbeitung und Erwerben von Qualifikationen

### Frage 2.2.1

Bei allen genannten Arbeitsplatztypen ist eine Einarbeitung des Mitarbeiters erforderlich. Die Dauer der Einarbeitung ist sehr unterschiedlich. Die befragten Personen gaben Einarbeitungszeiten an Intralogistikarbeitsplätzen zwischen 30 Minuten und mehreren Monaten an. Eine in der Intralogistik sehr bedeutende Qualifikation ist der Gabelstaplerführerschein. 28 der 30 befragten Personen gaben an, dass in ihrem Unternehmen Stapler im Einsatz sind und daher der Führerschein zum Führen der Fahrzeuge erforderlich ist. Häufig befähigt der Gabelstaplerführerschein auch zum Führen von Routenzügen. In einigen Unternehmen erfolgte eine separate Ausbildung für das Führen von Routenzügen. Routenzüge sind deutlich weniger verbreitet als Gabelstapler: 17 von 30 Personen gaben an, dass in ihrem Unternehmen Routenzüge eingesetzt werden. Sonstige genannte Qualifikationen sind spezielle Software-, System- oder PC-Kenntnisse, eine bestimmte Berufsausbildung, die Bedienung von Maschinen, Sonderqualifikationen (zum Beispiele eine Sicherheitsausbildung), Logistikgrundkenntnisse (zum Beispiel FiFo) sowie das Bestehen arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen.

## Kategorien für Einschränkungen der Mitarbeiter

### Frage 2.2.2 und 2.2.3

Kategorien, in denen Einschränkungen der Mitarbeiter hinsichtlich der auszuführenden Tätigkeiten vermerkt sind, existieren bei circa der Hälfte der befragten Personen im Unternehmen (16 der 30 befragten Personen). Gängige Kategorien zur Beschreibung von Einschränkungen sind:

- kein schweres Heben, Halten und Tragen von Lasten / Heben nicht über x kg;
- kein schweres Ziehen, Schieben von Lasten;
- kein Sitzarbeitsplatz;
- kein Steharbeitsplatz;
- Drehen des Rumpfes nicht über x Grad;
- keine Arbeit über Schulterhöhe;
- Arbeit mit Wechsel von Stehen, Gehen und Sitzen;
- keine Arbeit mit Ganzkörper-Vibrationen;
- keine Fahr- und Steuertätigkeit sowie
- keine Taktbindung, kein Zeitdruck.

### **Kopplung von Entgelt und Aufgabenbefähigung**

#### **Frage 2.4**

Die Antworten der befragten Personen zur Kopplung von Entgelt und Aufgabenbefähigung eines Mitarbeiters sind vielfältig. Bei einem Teil der Unternehmen steigt das Entgelt eines Mitarbeiters, wenn die Anzahl an Arbeitsplätzen, die er beherrscht, steigt. Bei anderen Unternehmen hängt das Entgelt von der höchsten Arbeitsplatzqualifikation eines Mitarbeiters ab. Ist beispielsweise das Entgelt eines Staplerfahrers höher als das eines Kommissionierers, hat ein Mitarbeiter, der als Kommissionierer und Staplerfahrer qualifiziert ist, ein Anrecht auf das Entgelt eines Staplerfahrers. In einigen Unternehmen existiert keine Kopplung zwischen der Anzahl der beherrschten Arbeitsplätze und dem Entgelt. Zwei der 30 befragten Personen erwähnten, dass ein höheres Entgelt für rotierende Mitarbeiter über eine Erhöhung der Leistungszulage erreicht werden könne. Der zugehörige Leistungsfaktor werde in beiden Unternehmen vom Meister festgelegt. Ist das Unternehmen an einen Tarifvertrag gebunden, so ist dessen Inhalt ausschlaggebend für eine mögliche Entgelterhöhung. Jobrotation führt somit nicht zwangsläufig zu einer Steigerung des Entgelts.

### **Aktueller Stand Jobrotation in der Logistik**

#### **Frage 2.5**

In 50 % der Unternehmen gibt es Bereiche in der Logistik, in denen Jobrotation praktiziert wird. In 45 % der praktizierenden Unternehmen wird eine andere Zielstellung als die Reduzierung der körperlichen Belastung angestrebt, insbesondere die durch Jobrotation erzielbare Personalflexibilität hat hier hohe Bedeutung. Bei 40 % hiervon wechseln Mitarbeiter bedarfsbedingt die Arbeitsaufgabe, tauschen aber nicht mit einem anderen Mitarbeiter die Aufgabe. In 18 % der praktizierenden Unternehmen tauscht ein hoch belasteter Mitarbeiter mit einem fixen Wechselpartner nach vier Stunden den Arbeitsplatz. Hier wurde ein offensichtlich niedrig belasteter Kollege als Wechselpartner ausgewählt. Zum Beispiel wechselt ein Mitarbeiter mit

einer hohen Belastung durch manuelle Lastenhandhabungen mit einem Mitarbeiter, der Aufkleber aufbringt. Bei 9 % der praktizierenden Unternehmen wurden über alle Mitarbeiter der operativen Logistik kleine Mitarbeitergruppen gebildet, die eigengesteuert und ohne ergonomische Empfehlungen erhalten zu haben ihre Arbeitsplätze tauschen. Bei 27 % der praktizierenden Unternehmen sind ebenso möglichst alle Logistikmitarbeiter an der Rotation beteiligt. Der Wechsel wird mit einem offensichtlich niedrig belasteten Mitarbeiter oder ohne Berücksichtigung der Belastung geplant. Bei 5 % der Unternehmen wird Jobrotation nicht praktiziert, die Einführung von Jobrotation in der Logistik ist aber geplant. In 45 % der Unternehmen wird Jobrotation in der Logistik weder praktiziert noch ist die Einführung geplant.

Die Befragung zeigt, dass Jobrotation mit dem Ziel das entstehende Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen bestmöglichst zu reduzieren bisher nicht praktiziert wird. Bei Unternehmen, die Jobrotation praktizieren damit die aus dem Arbeitsplatz resultierenden Bedingungen und Anforderungen auf das Muskel-Skelett-System mehrerer Mitarbeiter einwirken, wird die Jobrotation entweder intuitiv oder willkürlich geplant. Ein methodischer Ansatz, der das entstehende Risiko bestmöglichst reduziert wurde nicht identifiziert.

#### **Leistungsgewandelte Mitarbeiter**

##### **Keine Antwort auf eine Frage, Kommentare der befragten Personen**

Ein Thema, das in vielen Interviews von den befragten Personen angesprochen wurde, ist die Schwierigkeit geeignete Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter zu finden. Leistungsgewandelte Mitarbeiter sind Mitarbeiter, die aufgrund von physischen oder psychischen Einschränkungen nicht an jedem Arbeitsplatz eingesetzt werden können. Beispielsweise soll ein Mitarbeiter mit einer Erkrankung der Bandscheiben keine schweren Hebetätigkeiten ausüben. Geeignete Arbeitsplätze müssen folglich mit ihren Einschränkungen vereinbar sein. Einige befragte Personen erwähnten, dass dies ein Problem darstelle, da die dafür erforderlichen Schonarbeitsplätze Mangelware in Produktion und Logistik seien. Eine geringe Anzahl an Arbeitsplätzen mit einer niedrigen Belastung stellt somit ein Hindernis bei der Durchführung von Jobrotation dar, da diese für Leistungsgewandelte benötigt und somit von diesen „blockiert“ werden. Um dieses Problem zu beheben, ist eine ergonomischen Gestaltung einzelner Arbeitsplätze erforderlich.

#### **3.2.3 Aktuelles Vorgehen bei oder Vorstellungen von Jobrotation**

Das zweite Ziel der Expertenbefragungen ist die Erfassung des aktuellen Vorgehens bei Jobrotation oder der Vorstellungen von Jobrotation. Untersuchungsergebnisse, die dieses Ziel betreffen, werden im Folgenden beschrieben.



Von den 30 befragten Personen beantworteten 15 Personen den Themenkomplex 3 und 15 Personen den Themenkomplex 4. In jeder Gruppe wurde von einer Person über einen Bereich in der Montage berichtet, alle anderen trafen Aussagen über einen Bereich in der Logistik. Um die Vergleichbarkeit der Antworten zu ermöglichen, werden im Folgenden nur die Ergebnisse zu den Bereichen in der Logistik dargestellt. In 13 der 14 Logistikbereiche, die in Themenkomplex 3 behandelt wurden, wird Jobrotation praktiziert, in einem der 14 Logistikbereiche ist Jobrotation aktuell in Planung.

### Nichtbeteiligung von Arbeitsplätzen an der Rotation

#### Frage 3.5.3 und 4.4.3

An einer Rotation werden nicht immer alle Arbeitsplätze im betrachteten Bereich beteiligt. Der Hauptgrund bestimmte Arbeitsplätze nicht an der Rotation zu beteiligen ist eine hohe Einarbeitungszeit oder spezielle zusätzliche Qualifikationen, die für einen Arbeitsplatz benötigt werden. Arbeitsplätze werden zudem nicht in die Rotation miteinbezogen, wenn dies zu einer Steigerung des Entgelts der Mitarbeiter führt, deren Belastung ähnlich zu der an den rotierenden Arbeitsplätzen ist, es sich um eine Leitungsfunktion handelt oder der Arbeitsplatz ein anderes Schichtmodell hat.

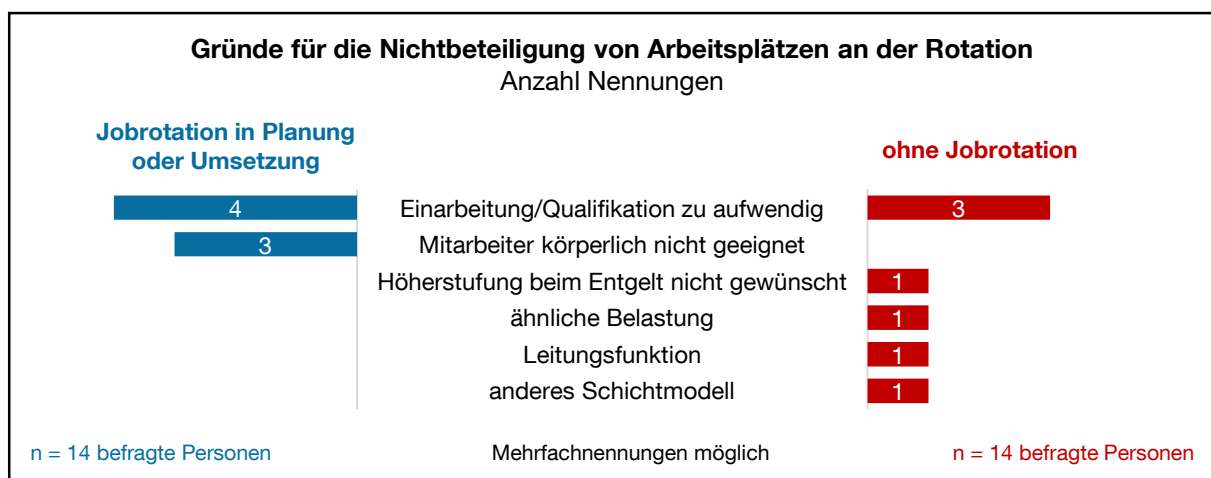


Abbildung 3-2: Gründe für die Nichtbeteiligung von Arbeitsplätzen an der Rotation

Unternehmen, die bisher keine Jobrotation praktizieren, sehen als weiteren wichtigen Grund, dass Mitarbeiter, die an nicht rotierenden Arbeitsplätzen tätig sind, körperlich nicht für andere Arbeitsplätze geeignet sind. Zum Beispiel gibt es Schonarbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeiter, die nicht in die Rotation einbezogen werden.

### Aufenthaltsdauer eines Mitarbeiters an einem Arbeitsplatz

#### Frage 3.6.1, 3.6.2, 4.5.1 und 4.5.2

Sehr unterschiedlich sind die Einschätzungen der Befragten, wie hoch die Aufenthaltsdauer an einem Arbeitsplatz sein soll. Abbildung 3.3 zeigt die Antworten der befragten Personen. Sehr häufig als geeignete Aufenthaltsdauer genannt wurden vier Stunden (5 Personen), ein Tag (4 Personen), mindestens ein Tag (3 Personen) sowie eine Woche (4 Personen).

Eine kürzere als die angegebene Dauer wurde wegen einem zu hohen Planungsaufwand, einer höheren Fehlerquote, einem sinkenden Verantwortungsbewusstsein, einer Unruhe im Prozess, der unproduktiven Zeit, die durch den Wechsel entsteht, sowie Schwierigkeiten bei der Umsetzbarkeit abgelehnt. Als Nachteile einer höheren als der angegebenen Dauer nannten die befragten Personen das Vergessen von Arbeitsinhalten und -ablauf sowie eine zu hohe Belastung einzelner Mitarbeiter.

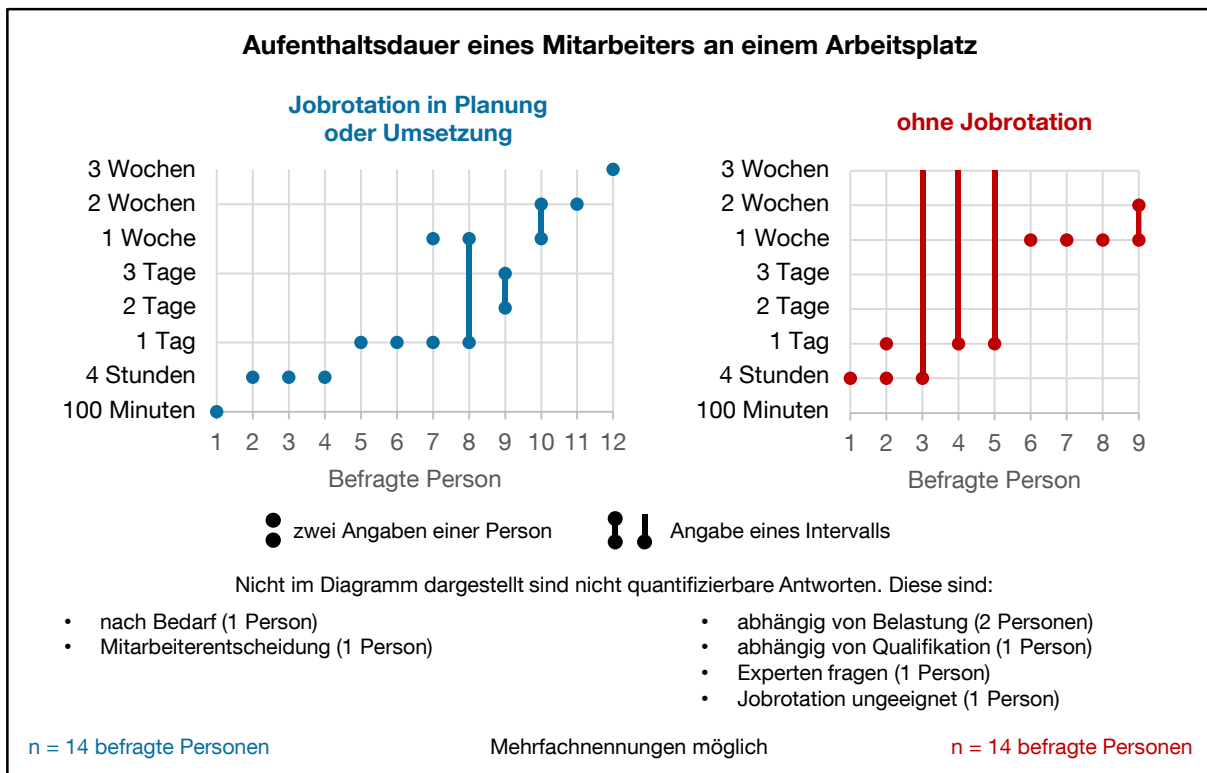


Abbildung 3-3: Aufenthaltsdauer eines Mitarbeiters an einem Arbeitsplatz

Bei allen drei Personen, die von einem Wechsel nach vier Stunden berichteten, ist der untertätige Wechsel aufgrund einer sehr hohen Belastung notwendig. Zwei Personen, in deren Bereich aktuell keine Jobrotation praktiziert wird, würden die Aufenthaltsdauer eines Mitarbeiters an einem Arbeitsplatz von der auftretenden Belastung abhängig machen.

## Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatz

### Frage 3.6.3 und 4.5.3

Für die Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatz sind unterschiedliche Aspekte zu berücksichtigen. Bedingungen für eine Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatz, die mindestens von zwei Befragten genannt wurden, sind: das Können des Arbeitsplatzes, die Einarbeitung, die Qualifikation, die psychische und physische Eignung sowie das Einverständnis des Mitarbeiters.



Abbildung 3-4: Bedingungen für eine Zuordnung von einem Mitarbeiter zu einem Arbeitsplatz

## Anzahl Arbeitsplätze pro Mitarbeiter

### Keine Antwort auf eine Frage, Kommentar der befragten Personen

Um Jobrotation praktizieren zu können, ist es erforderlich, dass ein rotierender Mitarbeiter mindestens zwei unterschiedliche Arbeitsplätze beherrscht. Die Interviews zeigen, dass in vielen Unternehmen gewünscht wird, dass ein Mitarbeiter nicht an zu vielen unterschiedlichen Arbeitsplätzen tätig ist. Eine befragte Person empfiehlt maximal drei unterschiedliche Arbeitsplätze. Die befragten Personen erwarten bei einer hohen Anzahl an Arbeitsplatztypen eine fehlende Routine und dadurch eine sinkende Produktivität und steigende Fehlerquote des Mitarbeiters.

## Steigerung des Entgelts nicht gewünscht

### Keine Antwort auf eine Frage, Kommentare der befragten Personen

Die Untersuchung zeigt ferner, dass von Unternehmensseite eine Steigerung des Entgelts durch die Einführung von Jobrotation häufig nicht gewünscht wird. Dies kann dazu führen, dass Jobrotation nicht eingeführt wird oder dass im Rahmen der Rotation Mitarbeiter nur Arbeitsplätzen mit dem gleichen Entgeltniveau wie dem des Stammarbeitsplatzes zugeordnet werden.

### 3.3 Zusammenfassung

In der durchgeführten Untersuchung wurden 30 Experten, die mit dem operativen Intralogistikbereich von Unternehmen vertraut sind, zu Rahmenbedingungen, die in der Intralogistik anzutreffen sind, sowie zum aktuellen Vorgehen bei Jobrotation oder zu Vorstellungen von Jobrotation interviewt.

Die Einzelbefragung fand als telefonisches, standardisiertes Interview statt, in dem Erklärungen und Meinungen der befragten Personen gewonnen werden sollten. Der Fragebogen behandelte vier Themenkomplexe: allgemeine Angaben, Arbeitsplätze in der Intralogistik, Bereich mit Jobrotation in Planung oder Umsetzung, Bereich ohne Jobrotation. Die Befragung bestand vor allem aus offenen und halboffenen Fragen.

Die Untersuchung zeigte, dass Arbeitsplatztypen in der Intralogistik vielfältig sind (siehe Anhang A.3 für Kategoriensystem der genannten Arbeitsplatztypen). Um zu bestimmen, welche Belastungsarten bei einem Arbeitsplatztyp zu einer erhöhten Belastung führen, ist eine genaue Kenntnis der Arbeitsinhalte und des Arbeitsablaufs erforderlich. Typische Logistikarbeitsplätze konnten folglich nicht identifiziert werden. Eine beispielhafte Bewertung von Logistikarbeitsplätzen wird in Abschnitt 6.1 vorgestellt. Relevante Belastungsarten an Intralogistikarbeitsplätzen sind die manuelle Lastenhandhabungen in Form von Heben; Tragen; Ziehen, Schieben sowie die erzwungenen Körperhaltungen in Form von dauerhaftem Stehen und erzwungenem Sitzen. Bevor ein Mitarbeiter einen Arbeitsplatz selbstständig durchführen kann, ist eine Einarbeitung und gegebenenfalls das Erwerben von Qualifikationen erforderlich. Eine in der Intralogistik sehr bedeutende Qualifikation ist der Gabelstaplerführerschein. Kategorien, in denen Einschränkungen der Mitarbeiter hinsichtlich der auszuführenden Tätigkeiten vermerkt sind, existieren bei circa der Hälfte der befragten Personen im Unternehmen. Die Gestaltung von Entgelt in Unternehmen ist sehr vielfältig. Jobrotation kann zu einer Steigerung des Entgelts führen. Ob das Entgelt steigt, ist vom jeweiligen Unternehmen bzw. dem für das Unternehmen geltenden Tarifvertrag abhängig. Leistungsgewandelte Mitarbeiter können nur Schonarbeitsplätzen zugeordnet werden. Somit stehen diese Arbeitsplätze unter Umständen nicht mehr für eine Jobrotation zur Verfügung. Eine hohe Anzahl leistungsgewandelter Mitarbeiter oder eine geringe Anzahl an Schonarbeitsplätzen sind somit ein Hindernis für eine wirkungsvolle Jobrotation.

Bei einer Jobrotation im Logistikbereich würden die befragten Personen ausgewählte Arbeitsplätze nicht beteiligen, beispielsweise falls die Einarbeitung oder Qualifizierung für einen Arbeitsplatz zu aufwendig ist. Als praktizierte oder geeignete Aufenthaltsdauer an einem Arbeitsplatz wurden vier Stunden, ein Tag, mindestens ein Tag

sowie eine Woche häufig genannt. Für die Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatz ist vor allem dessen Qualifikation sowie dessen psychische und physische Eignung relevant. Mehrere befragte Personen wiesen darauf hin, dass aus betriebswirtschaftlichen Gründen jeder Mitarbeiter nur eine geringe Anzahl an Arbeitsplätzen regelmäßig durchführen sollte. Eine Steigerung des Entgelts durch die Einführung von Jobrotation wird von Unternehmensseite für gewöhnlich nicht gewünscht.



## 4 Vorgehen zur Rotationsplanerstellung

---

In diesem Kapitel wird das Vorgehen zur Erstellung von Rotationsplänen dargestellt. Zuerst wird dazu auf Anforderungen an das Vorgehen eingegangen (Abschnitt 4.1), anschließend wird der Ansatz zur Beurteilung der körperlichen Belastung erläutert (Abschnitt 4.2). Der Kern dieses Kapitels ist Abschnitt 4.3, in dem das Optimierungsproblem der Rotationsplanerstellung sowie erforderliche Datenmodifikationen und Vorberechnungen präsentiert werden. In Abschnitt 4.4 wird beschrieben wie das Optimierungsproblem gelöst werden kann. Auf Maßnahmen zur Sicherstellung der Akzeptanz wird in Abschnitt 4.5 kurz eingegangen.

### 4.1 Anforderungen

Das in diesem Kapitel zu entwickelnde Vorgehen zur Erstellung von Rotationsplänen für Logistikarbeitsplätze soll bestimmte Anforderungen erfüllen.

Die zentrale Anforderung an das Vorgehen ist, dass die erstellten Rotationspläne ergonomisch optimiert sind. Hier stellt sich die Frage, was eine gute Arbeitsplatzzuordnung eines Mitarbeiters während einer Arbeitschicht aus ergonomischer Sicht kennzeichnet. Telefonate mit Experten haben gezeigt, dass insbesondere die Erholung einer Körperregion nach deren (dynamischer oder statischer) Beanspruchung von Bedeutung ist [Bar-2015; Erk-2015; Jäg-2015; Rau-2015]. Es könnte zusätzlich zwischen dynamischer und statischer Belastung unterschieden werden, da diese unterschiedliche Reaktionen im Körper hervorrufen [Sch-2010, S. 232]. Das erhöht jedoch den Erfassungsaufwand und führt zu einer komplizierteren Logik. Daher wird von dieser Unterscheidung abgesehen.

Eine zweite wesentliche Anforderung ist, dass ein möglichst geringer Aufwand durch das Vorgehen erzeugt wird. Aufwände entstehen beispielsweise durch Datenerfassung oder durch Produktivitätsverluste bei der Umsetzung.

Weitere Anforderungen ergeben sich aus den in der Logistik anzutreffenden Rahmenbedingungen, die im Rahmen der Expertenbefragungen ermittelt wurden (siehe Abbildung 4.1). Arbeitsplatztypen in der Intralogistik sind sehr unterschiedlich. Um dieser Vielfalt gerecht zu werden, soll der Nutzer Daten zu Arbeitsplatztypen sowie deren Belastung eingeben können. Belastungsarten, die in der Logistik häufig ein erhöhtes Risiko verursachen, sind manuelle Lastenhandhabungen sowie die Körperhaltungen Stehen und Sitzen. Aufgrund der Relevanz sollen diese Belastungsarten bei einer belastungsoptimierten Jobrotation fokussiert werden. Bevor Mitarbeiter

einen Arbeitsplatz selbständig durchführen können, ist stets eine Einarbeitung sowie gegebenenfalls das Erwerben von Qualifikationen erforderlich. Kategorien, in denen die Einschränkungen der Mitarbeiter hinsichtlich der auszuführenden Tätigkeiten vermerkt sind, existieren bei circa der Hälfte der befragten Personen im Unternehmen. Ein reiner Abgleich zwischen Einschränkungen und Qualifikationen soll daher nicht stattfinden, da dieser nur in bestimmten Unternehmen möglich ist. Stattdessen soll jeder rotierende Mitarbeiter ein Set an Arbeitsplatztypen besitzen, dem er zugeordnet werden kann. Die Freigabe eines Mitarbeiters für einen Arbeitsplatztyp setzt eine Einarbeitung, den Besitz der erforderlichen Qualifikationen und eine Überprüfung auf Eignung voraus. Die Gestaltung von Entgelt in Unternehmen ist sehr vielfältig. Jobrotation kann zu einer Steigerung des Entgelts führen. Ob das Entgelt steigt, ist vom jeweiligen Unternehmen bzw. dem für das Unternehmen geltenden Tarifvertrag abhängig. Auswirkungen auf die Entgelte der Mitarbeiter sollen in dieser Arbeit anhand eines Beispieltarifvertrags betrachtet werden. Leistungsgewandelte Mitarbeiter können aufgrund vorhandener Einschränkungen oft nur Schonarbeitsplätzen zugeordnet werden. Diese werden nicht durch Jobrotation, sondern durch technische Maßnahmen geschaffen. Dieses Ergebnis der Expertenbefragungen hat damit keine Auswirkung auf das zu entwickelnde Vorgehen.

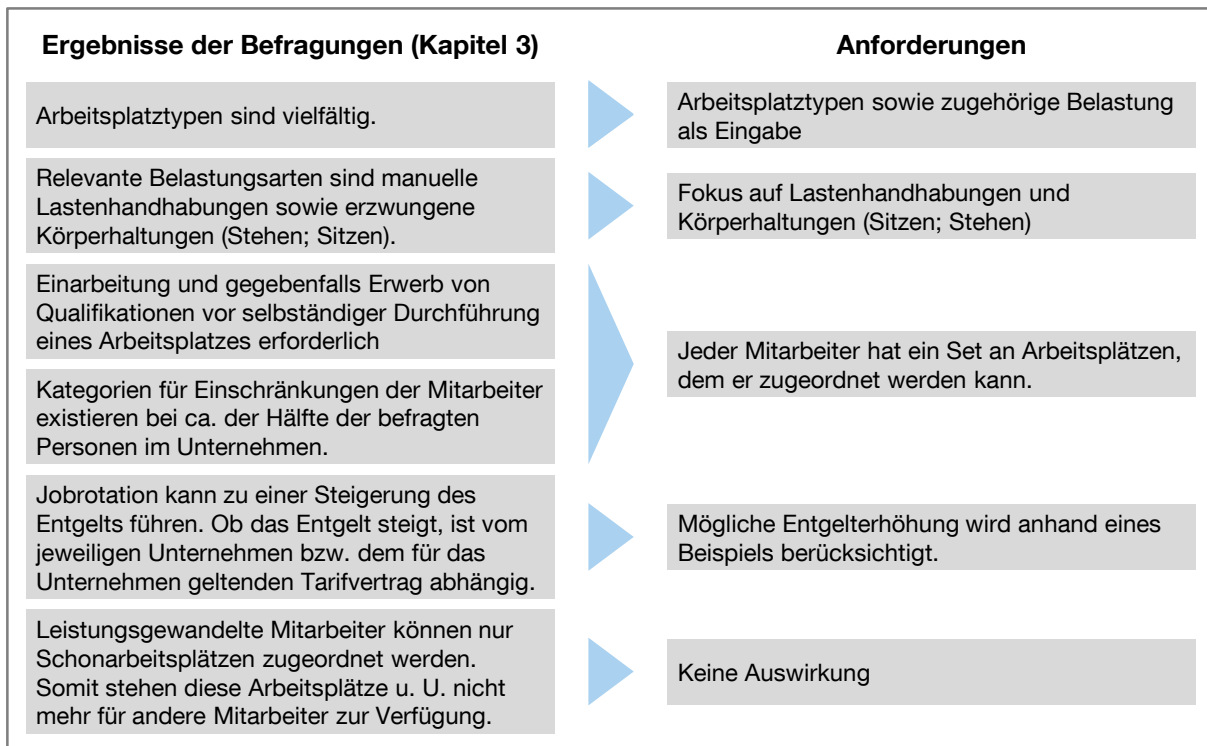


Abbildung 4-1: Anforderungen durch Rahmenbedingungen in der Intralogistik

Ergebnisse der Expertenbefragungen, die sich im Gespräch über das aktuelle Vorgehen bei oder Vorstellungen von Jobrotation ergaben, sowie daraus abgeleitete Anforderungen zeigt Abbildung 4.2. Ausgewählte Arbeitsplätze sollen nicht an der



Jobrotation beteiligt werden, wenn beispielsweise die Einarbeitung oder Qualifikation zu aufwendig ist. Folglich sollen bestimmte Arbeitsplatztypen von der Rotation ausgeschlossen werden können. Als geeignete Aufenthaltsdauer wurden besonders häufig vier Stunden, ein Tag, mindestens ein Tag und eine Woche genannt. Ergonomisch gesehen ist eine kürzere Aufenthaltsdauer besser, da ein Belastungswechsel häufiger erfolgt. Dieser stehen aber wirtschaftliche Ziele gegenüber. Die Aufenthaltsdauer soll daher vom Nutzer eingegeben werden können. Für die Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatz ist beispielsweise dessen Qualifikation sowie dessen psychische und physische Eignung relevant. Jeder Mitarbeiter soll daher ein Set an Arbeitsplatztypen besitzen, dem er zuordenbar ist. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen sollen in diesem Set nicht zu viele Arbeitsplatztypen enthalten sein. Eine Obergrenze für die Anzahl an unterschiedlichen Arbeitsplatztypen pro Mitarbeiter soll dies sicherstellen. Eine Steigerung des Entgelts, das durch Jobrotation verursacht wird, wird von Unternehmen meist nicht gewünscht. Der Entgelterhalt soll daher angestrebt werden.

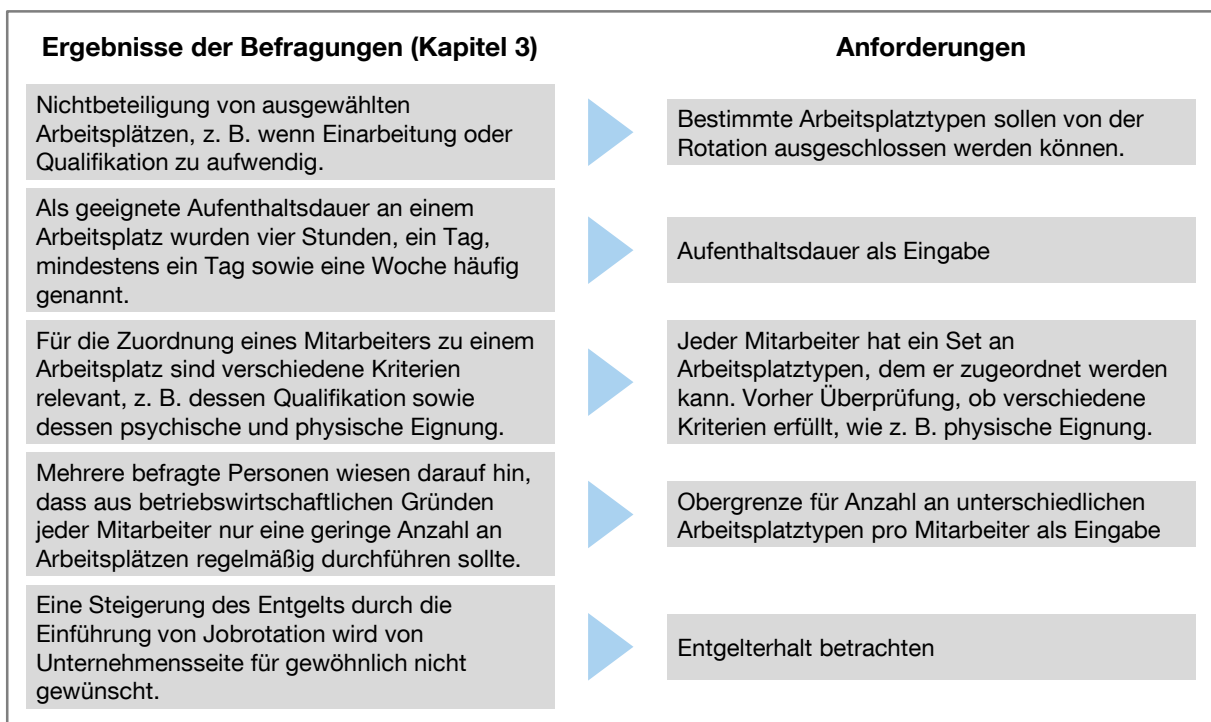


Abbildung 4-2: Anforderungen von Unternehmen an eine Jobrotation

Der Persönlichkeitsschutz des Mitarbeiters ist im Grundgesetz verankert und steht einer Speicherung personenbezogener Daten im Wege [Thü-2014, S. 20]. Folglich sollen möglichst wenige Daten mitarbeiterspezifisch erfasst, gespeichert und verwendet werden.

## 4.2 Beurteilung der körperlichen Belastung

Während die Belastung durch einen Arbeitsplatz von der Person unabhängig ist, ist die resultierende Beanspruchung personenabhängig. Eine Erfassung der Beanspruchung durch einen Arbeitsplatz müsste folglich für jeden gegebenenfalls auf diesem Arbeitsplatz tätigen Mitarbeiter erfolgen. Sie wird in der Regel über eine Messung erfasst (siehe Kapitel 2). Da anzunehmen ist, dass der Aufwand für die Erfassung der Beanspruchung pro Person mindestens so hoch ist wie der Aufwand für die Beurteilung der Belastung durch einen Arbeitsplatz, verursacht die Erfassung der Beanspruchung für eine gewisse Anzahl an Arbeitsplätzen ein Vielfaches an Aufwand. Zudem ist es sehr wahrscheinlich, dass Betriebsräte die Messungen ablehnen, da personenspezifische Daten aufgenommen werden. Damit wäre das Vorgehen nicht in jedem Unternehmen anwendbar. Aus diesen Gründen wird in dieser Arbeit die Belastung fokussiert und nicht die Beanspruchung.

Verfahren zur Bewertung der physischen Belastung unterscheiden sich hinsichtlich der Präzisionsstufe der Analyse sowie den Belastungsarten, die im Verfahren beurteilt werden (in Anlehnung an [Kug-2010, S. 16f.]). Die Präzisionsstufe der Analyse spiegelt sowohl den Detaillierungsgrad der Ergebnisse als auch den Aufwand für die Durchführung der Analyse und den erforderlichen Qualifizierungsgrad des analysierenden Personals wider [Gün-2014, S. 20]. Nach *Kugler et al.* [Kug-2010] lassen sich je nach Präzisionsstufe vier Verfahrenstypen unterscheiden: Grob-Screeningverfahren, Screening-Verfahren, Detailverfahren (auch als Expertenverfahren bezeichnet) sowie Messverfahren. Während Grob-Screeningverfahren einen schnellen Überblick liefern, von welchen Belastungsarten eine erhöhtes Risiko ausgehen kann, liefern Screening-Verfahren meist einen Risikowert über alle betrachteten Belastungsarten [Kug-2010]. Dieser wird im Rahmen der Beurteilung einer Ampelfarbe des 3-Zonen-Bewertungssystems (siehe [DIN EN 614-1]) zugeordnet, welche das Krankheitsrisiko widerspiegelt.

Sehr bedeutende Belastungsarten in der Logistik sind die Ausprägungen der manuellen Lastenhandhabung. Verfahren, die unter anderem oder ausschließlich die manuelle Lastenhandhabung betrachten, wie beispielsweise die Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen; die Leitmerkmalmethode Ziehen, Schieben; das Multiple-Lasten-Tool oder das Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS), liefern als Ergebnis stets einen Risikowert und keine Aussage über betroffene Körperregionen. Eine gezielte Erholung hoch beanspruchter Körperregionen, wie sie Experten aus dem wissenschaftlichen Bereich empfehlen, ist durch alleinigen Einsatz dieser Verfahren daher nicht unmittelbar möglich.

Ein Zusammenhang zwischen Belastungsart und betroffener Körperregion wird in der Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 [Deu-2009] vorgestellt. Nach der Handlungsanleitung wirkt sich das Heben, Halten, Tragen auf das gesamte Muskel-Skelett-System, große Muskelgruppen und große Gelenke, insbesondere aber auf die Wirbelsäule aus. Das Ziehen, Schieben führt zu einer Belastung des gesamten Muskel-Skelett-Systems, großer Muskelgruppen und großer Gelenke, insbesondere aber der Wirbelsäule und des Schulter-Arm-Hand-Bereichs. Bei einem dauerhaften Stehen ist das gesamte Muskel-Skelett-System durch erhöhte Haltungsarbeit, insbesondere aber die Lendenwirbelsäule sowie Hüftgelenke, Knie und Füße, betroffen. Erzwungenes Sitzen belastet das gesamte Muskel-Skelett-System durch erhöhte Haltungsarbeit, insbesondere aber Nacken, Schulter und Arm. Tabelle 4.1 visualisiert, welche Körperregionen bei welchen Belastungsarten belastet werden. [Deu-2009]

Tabelle 4-1: Betroffene Körperregionen nach Belastungsarten

Belastungsarten	Betroffene Körperregionen					
	Gesamtes Muskel-Skelett-System	Einzelregionen				
		Wirbelsäule	Nacken	Schulter	Arme	Hände
Heben, Halten, Tragen	X	X				
Ziehen, Schieben	X	X		X	X	X
Dauerhaftes Stehen	X	X				X
Erzwungenes Sitzen	X		X	X	X	

Eine Beurteilung der Belastung nach der ebenso in der Handlungsanleitung enthaltenen Checkliste der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung [Deu-2009] würde dazu führen, dass bei Arbeitsplätzen entweder eine erhöhte Belastung durch eine Belastungsart vorliegt oder nicht. Aus diesem Grund sollen zudem Bewertungsverfahren eingesetzt werden, die die Höhe der Belastung durch jede Belastungsart ermitteln. Idealerweise werden Belastungsarten, die bereits in der Checkliste zusammengefasst werden, bei der Bewertung ebenfalls zusammengefasst. Tabelle 4.2 zeigt gängige Verfahren zur Beurteilung der relevanten Belastungsarten.

Tabelle 4-2: Bewertungsverfahren gruppiert nach relevanten Belastungsarten (in Anlehnung an [Kug-2010])

		Beurteilbare Belastungsarten				
		Manuelle Lastenhandhabung <sup>1</sup>		Körperhaltung <sup>2</sup>	Aktionskräfte <sup>3</sup>	Repetitive Tätigkeiten <sup>4</sup>
		HHT	ZS			
Bewertungsverfahren	Heben, Halten, Tragen					
	NIOSH-Verfahren	X				
	ISO 11228-1, DIN EN 1005-2	X				
	Leitmerkmalmethode HHT	X				
	Ergonomic Assessment Worksheet	X	X	X	X	X
	Ziehen, Schieben					
	ISO 11228-2, DIN EN 1005-3		X			
	Leitmerkmalmethode ZS		X			
	Ergonomic Assessment Worksheet	X	X	X	X	X
	Dauerhaftes Stehen					
	Checkliste des LASI			X		
	Ovako Working Posture Analysis System			X		
	Ergonomic Assessment Worksheet	X	X	X	X	X
	Erzwungenes Sitzen					
	Ergo-Test			X		
	Ovako Working Posture Analysis System			X		
Ergonomic Assessment Worksheet	X	X	X	X	X	
1 HHT steht für Heben, Halten, Tragen; ZS für Ziehen, Schieben 2 durch die Tätigkeit erzwungene Körperhaltung mit geringem äußeren Kraftaufwand 3 erhöhte Kraftanstrengungen und/oder Kräfteinwirkungen (Ganzkörper oder Hand-Arm) 4 Finger-Hand-Arm-Belastungen durch repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen						

Verfahren zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen sind das NIOSH-Verfahren [Wat-1993], die Normen ISO 11228-1 [ISO 11228-1] sowie DIN EN 1005-2 [DIN EN 1005-2], die Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen [Ste-2011] sowie das EAWS [Sch-2007; Sch-2012]. Das NIOSH-Verfahren sowie die daraus entstandenen Normen ISO 11228-1 und DIN EN 1005-2 leiten aus bestimmten Eingaben, wie beispielsweise der Handhabungshäufigkeit, eine empfohlene Grenzlast ab. Sie liefern somit keinen Wert zur Beschreibung der Höhe der Belastung. Die Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen ermittelt für eine der drei Belastungsarten einen Punktwert. Im EAWS stellt die dritte Sektion eine Weiterentwicklung der Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen und der Leitmerkmalmethode Ziehen, Schieben dar. Das EAWS lässt die Addition der Ergebnisse für Heben, Halten, Tragen zu. Es liefert damit als einziges der betrachteten Verfahren, wie gefordert, einen Risikowert, der die Höhe der Belastung kumuliert widerspiegelt.

Zur Beurteilung von Ziehen, Schieben existieren die Normen ISO 11228-2 [ISO 11228-2] und DIN EN 1005-3 [DIN EN 1005-3], die Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben [Ste-2008] und das EAWS [Sch-2007; Sch-2012]. Die Normen liefern jeweils eine Grenzkraft, die von bestimmten Eingaben, wie beispielsweise der Ausübungsfrequenz, abhängt. Die Leitmerkmalmethode Ziehen, Schieben liefert zur Beurteilung von Zieh- oder Schiebevorgängen einen Risikowert. Gegebenfalls müssen Vorgänge jedoch getrennt bewertet werden, weshalb als Ergebnis nicht stets nur genau ein Wert vorliegt. Das EAWS hat auch hier den Vorteil, dass alle Zieh- oder Schiebevorgänge im Rahmen einer Beurteilung bewertet werden und es daher als Ergebnis stets genau einen Risikowert für das Ziehen, Schieben ausgibt.

Verfahren, die das Stehen betrachten, sind der Fragebogen des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) [Ber-2009], das Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) [Kar-1977; Sto-1985] sowie das EAWS [Sch-2007; Sch-2012]. Beim Fragebogen des LASI und beim OWAS wird die Belastung durch andauernde Steharbeit auf Basis der Dauer ohne Entlastung in einem von vier Risikointervallen zugeordnet. Die Zeitanteil der statischen Stellungen kann bei beiden Verfahren als Risikowert interpretiert werden, der die Höhe der Belastung widerspiegelt. Beim EAWS wird ein Zahlenwert auf Basis des Zeitanteils im Stehen vergeben. Eine erhöhte Belastung durch dauerhaftes Stehen führt beim EAWS maximal zu einem Zahlenwert von dreizehn Punkten. Das alleinige Vorliegen dieser Belastung wird dadurch in der Gesamtbewertung nicht als mögliches Risiko (gelbe Ampelfarbe) oder hohes Risiko (rote Ampelfarbe) eingestuft.

Zur Bewertung des erzwungenen Sitzens gibt es den Ergo-Test der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt [Sch-2005], das OWAS [Kar-1977; Sto-1985] und das EAWS [Sch-2007; Sch-2012]. Der Ergo-Test ist ein sehr detailliertes Verfahren zur Bewertung des Sitzens, das für verschiedene Körperregionen je einen Risikowert als Ergebnis liefert. Die Bewertung mittels Ergo-Test ist vergleichsweise aufwendig und daher weniger für das Vorhaben geeignet. Beim OWAS und beim EAWS erfolgt die Bewertung analog dem dauerhaften Stehen. Auch beim Sitzen beurteilt das EAWS erzwungenes Sitzen nur mit einem geringen Zahlenwert. Dadurch wird erzwungenes Sitzen bei alleinigem Auftreten nicht als gefährdend eingestuft.

Sowohl beim Heben, Halten, Tragen als auch beim Ziehen, Schieben ist das EAWS geeignet, da es jeweils ein Ergebnis als Risikowert ausgibt, der für die Höhe der Belastung steht. Beim Stehen sind sowohl die Checkliste der LASI als auch das OWAS geeignet. Beim Sitzen ist ebenfalls das OWAS geeignet. Um möglichst wenige unterschiedliche Verfahren auszuwählen, wurde deshalb das EAWS für das Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben und das OWAS zur Beurteilung des Stehens

und Sitzens bestimmt. Ein Nachteil beider Verfahren ist die Verwendung von Durchschnittswerten als Eingabe. Die Verteilung der Belastung im zeitlichen Verlauf wird nicht beachtet. Es ist jedoch auch kein aufwandsarmes Verfahren bekannt, bei dem dies Beachtung findet.

## 4.3 Modellbildung

In diesem Abschnitt wird ein mathematisches Modell für das Problem der Rotationsplanerstellung entwickelt. Eine wesentliche Vorarbeit hierfür ist die Ableitung einer Arbeitsplatzwechselbewertung aus den Risikowerten der Bewertungsverfahren (siehe Abschnitt 4.3.5).

### 4.3.1 Grundlagen

Mathematische Optimierung wird in vielen betrieblichen Anwendungen eingesetzt, beispielsweise bei der Reihenfolgeplanung in der Produktion, bei der Umlaufplanung für Flugzeuge oder bei der Portfolioanalyse in der Finanzplanung [Suh-2013, S. 20ff.]. Ein Optimierungsproblem ist nach *Kruse et al.* wie folgt definiert [Kru-2011, S. 158]:

„Das Dreitupel  $(\Omega, f, >)$  beschreibt ein Optimierungsproblem, das gegeben ist durch einen Suchraum  $\Omega$ , eine Bewertungsfunktion  $f: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ , die jedem Lösungskandidaten einen Gütwert zuweist, sowie einer Vergleichsrelation  $> \in \{<, >\}$ . Dann ist die Menge der globalen Optima  $\mathcal{H} \subseteq \Omega$  definiert als

$$\mathcal{H} = \{x \in \Omega \mid \forall x' \in \Omega: f(x) \succ f(x')\}.$$

Probleme werden bevorzugt als lineare Optimierungsprobleme formuliert, da für diese gute Lösungsmethoden und hoch entwickelte Standardsoftware verfügbar sind [Suh-2013, S. 31]. Ein lineares Optimierungsproblem besteht aus drei Bestandteilen [Suh-2013, S. 32]:

- Entscheidungsvariablen,
- einer entweder zu minimierenden oder maximierenden linearen Zielfunktion (auch Bewertungsfunktion genannt) und
- linearen Restriktionen (auch Nebenbedingungen genannt), die als Vergleichszeichen ein Kleiner-Gleich-Zeichen, ein Größer-Gleich-Zeichen oder ein Gleichheitszeichen besitzen.

Eine allgemeine Schreibweise des linearen Optimierungsproblem lautet [Jar-2004, S. 9]:

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \{c^T x \mid (\underline{b} \leq Ax \leq \bar{b}) \wedge (l \leq x \leq u)\} \quad (4-1)$$

wobei für die Eingabedaten gilt:  $A$  ist eine reelle  $m \times n$ -Matrix, die Vektoren  $\underline{b}, \bar{b}$  besitzen Dimension  $m$  und die Vektoren  $c, l, u$  Dimension  $n$ . Die Komponenten von  $c$  liegen in  $\mathbb{R}$ , die Komponenten von  $\underline{b}$  und  $l$  in  $\mathbb{R} \cup \{-\infty\}$ , die Komponenten von  $\bar{b}$  sowie  $u$  in  $\mathbb{R} \cup \{\infty\}$ .

Entscheidungsvariablen sind die Komponenten des Vektors  $x$ . Die zu minimierende Zielfunktion ist  $c^T x$ . Restriktionen sind die Ungleichungen  $\underline{b} \leq Ax$ ,  $Ax \leq \bar{b}$ ,  $l \leq x$  und  $x \leq u$ . Eine zulässige Lösung ist ein Vektor  $x$ , der die Restriktionen erfüllt.

Die Suche nach einer möglichst guten Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen kann als Zuordnungsproblem formuliert werden. Bei dem Zuordnungsproblem handelt es sich um ein spezielles klassisches Transportproblem. Verbal kann das Zuordnungsproblem wie folgt ausgedrückt werden [Dom-2011, S. 93f.]:  $n$  Mitarbeitern sollen  $n$  Arbeitsplätze bei bekannten Kosten  $c_{i,j}$  zugeordnet werden, so dass jeder Mitarbeiter genau einem Arbeitsplatz und jeder Arbeitsplatz genau einem Mitarbeiter zugeordnet ist und der ermittelte Arbeitsplan kostenminimal unter allen sich somit ergebenden Plänen ist.

Das lineare Zuordnungsproblem, bei dem Mitarbeiter Arbeitsplätzen zugeordnet werden sollen, kann mathematisch wie folgt formuliert werden. Als Entscheidungsvariablen werden binäre Variablen eingeführt:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{falls Mitarbeiter } MA_i \text{ Arbeitsplatz } APT_j \text{ zugeordnet wird} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4-2)$$

Das Optimierungsproblem, bestehend aus der zu minimierenden Zielfunktion sowie Restriktionen, lautet:

$$\min z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{i,j} x_{i,j} \quad (4-3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall i \in \{1; \dots; n\} \quad (4-4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \quad \forall j \in \{1; \dots; n\} \quad (4-5)$$

$$x_{i,j} \in \{0; 1\} \quad \forall i, j \in \{1; \dots; n\} \quad (4-6)$$

Das Ziel des Optimierungsproblems ist durch eine Zuordnung von Mitarbeitern zur Arbeitsplätzen entstehende Gesamtkosten zu minimieren (Formel 4-3). Restriktion 4-4 stellt sicher, dass jeder Mitarbeiter genau einem Arbeitsplatz zugeordnet wird. Restriktion 4-5 sorgt dafür, dass jedem Arbeitsplatz genau ein Mitarbeiter zugeordnet wird. Restriktion 4-6 ist erforderlich, damit die Entscheidungsvariablen nur die Werte null oder eins annehmen.

### **4.3.2 Entscheidungen**

Bevor das Optimierungsproblem zur Bestimmung eines belastungsoptimierten Rotationsplans für eine Schicht erstellt werden kann, sind einige Entscheidungen zum Rotationskonzept zu treffen. Zum einen ist festzulegen, welche Mitarbeiter und welche Arbeitsplatztypen an der Rotation beteiligt werden sollen. Die Arbeitsplätze sollen räumlich nahe beieinander liegen und die Mitarbeiter die gleiche Führungskraft besitzen. Nach Bedarf sind Mitarbeiter für Arbeitsplätze einzulernen und gegebenenfalls zu qualifizieren. Zum anderen sind die Rotationsintervalle festzulegen. Ergonomisch gesehen ist ein häufigerer Wechsel besser, jeder Wechsel führt jedoch zu einem Aufwand.

### **4.3.3 Annahmen und Anmerkungen**

Für das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung werden folgende Annahmen getroffen. Es wird davon ausgegangen, dass die Dauer der einzelnen Rotationsintervalle identisch ist. Die Einführung von Jobrotation findet für ein bestehendes System statt, dadurch sind Daten, beispielsweise zu Arbeitsplätzen oder Mitarbeitern, ermittelbar. Die einzelnen Körperregionen werden als gleichwertig angesehen, weshalb keine Gewichtung von diesen vorgenommen wird. Die Wirkung untätiger Pausen wird nicht betrachtet. Zudem wird angenommen, dass die Mitte zweier Risikointervalle unterschiedlicher Bewertungsverfahren, die der gleichen Risikostufe zugeordnet sind, eine gleich hohe Belastung einer betroffenen Körperregion hervorrufen.

Aufgrund der sehr hohen Zahl an Bezeichnungen für mathematische Objekte werden neben einstelligen Bezeichnungen auch mehrstellige Bezeichnungen eingeführt. Um eine Verwechslung mit einem Produkt zu vermeiden, wird bei einem Produkt stets das Produktzeichen geschrieben. Es wird außerdem angemerkt, dass Belastungsdaten zu Arbeitsplätzen gegeben sind. Die Reduzierung des Risikowerts eines Arbeitsplatzes ist durch Jobrotation nicht möglich.



### 4.3.4 Datenerfassung

Die benötigten Daten lassen sich in konstante und vom Anwendungsfall abhängige Daten unterscheiden. Die  $b_{max} \times k_{max}$ -Matrix  $BK$  ist konstant. Sie ist eine mathematische Formulierung der Tabelle 4.1, wobei  $b_{max} = 4$  und  $k_{max} = 7$ :

$$BK := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4-7)$$

Zeilenüberschriften sind das Heben, Halten, Tragen; das Ziehen, Schieben; das dauerhafte Stehen und das erzwungene Sitzen. Spaltenüberschriften sind das gesamte Muskel-Skelett-System, die Wirbelsäule, der Nacken, die Schulter, die Arme, die Hände und die Beine. Nimmt ein Eintrag  $bk_{b,k}$  den Wert eins an, ist die Körperregion  $KR_k$  mit  $k = 1; \dots; k_{max}$  von einem Auftreten der Belastungsart  $BA_b$  mit  $b = 1; \dots; b_{max}$  betroffen (siehe Abschnitt 4.2). Der Wert null bedeutet, dass dies nicht der Fall ist.

Alle weiteren Daten sind vom Anwendungsfall abhängig. Die Variable  $t_{max}$  gibt an, aus wie vielen Rotationsintervallen  $RI_t$  mit  $t = 1; \dots; t_{max}$  sich eine Schicht zusammensetzt.

Des Weiteren müssen Daten zu den Arbeitsplatztypen bekannt sein. Es muss ermittelt werden, wie viele unterschiedliche Arbeitsplatztypen  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max}$  an der Rotation beteiligt sein sollen und welche Belastung an den einzelnen Arbeitsplatztypen auf männliche und weibliche Personen wirkt. Die Einträge  $rb_{1,j,b}$  und  $rb_{2,j,b}$  der  $j_{max} \times b_{max}$ -Matrizen  $RB_1$  bzw.  $RB_2$  geben an, wie hoch der ermittelte Risikowert bei Arbeitsplatztyp  $APT_j$  durch Belastungsart  $BA_b$  für Männer bzw. für Frauen ist. Zeilenüberschriften der Matrizen sind die einzelnen Arbeitsplatztypen, Spaltenüberschriften sind das Heben, Halten, Tragen; das Ziehen, Schieben; das dauerhafte Stehen und das erzwungene Sitzen. In den Spalten für das Heben, Halten, Tragen und das Ziehen, Schieben werden Ergebnisse des EAWS eingetragen. Die Ergebnisse unterscheiden sich für Männer und Frauen. In beiden Fällen sind die Ergebnisse reelle Zahlen größer oder gleich null. In den Spalten für das dauerhafte Stehen und das erzwungene Sitzen werden die Zeitanteile der statischen Stellungen eingegeben. Diese sind identisch für Mann und Frau und nehmen Werte im Intervall  $[0; 1]$  an. Eine weitere Information zu den Arbeitsplatztypen  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max}$  ist die erforderliche Mindestproduktivität  $\underline{p}_j$  eines Mitarbeiters am jeweiligen Arbeitsplatztyp mit  $p_j \in (0; 2]$ . Der Wert der Variable kann je nach Auftragslage für eine zu planende Schicht angepasst werden. Für jedes zu planende Rotationsintervall  $RI_t$  mit  $t = 1; \dots; t_{max}$  wird zudem der erforderliche Mindestpersonalbedarf  $\underline{d}_{j,t}$  und der erforder-

liche Maximalpersonalbedarf  $\bar{a}_{j,t}$  für Arbeitsplatztyp  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max}$  benötigt. Die Bezeichnung der Variablen leitet sich aus dem englischen Ausdruck *demand* ab.

Neben den Daten zu den Arbeitsplatztypen sind Daten zu den rotierenden Mitarbeitern erforderlich. Die Anzahl der rotierenden Mitarbeiter  $i_{max}$  sowie das Geschlecht  $g_i$  jedes rotierenden Mitarbeiters  $MA_i$  mit  $i = 1; \dots; i_{max}$  muss bekannt sein. Dabei gilt:

$$g_i := \begin{cases} 0 & \text{falls } MA_i \text{ männlich ist} \\ 1 & \text{falls } MA_i \text{ weiblich ist} \end{cases} \quad (4-8)$$

Für jeden Arbeitsplatztyp  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max}$  ist zudem für jeden Mitarbeiter  $MA_i$  mit  $i = 1; \dots; i_{max}$  die Produktivität  $p_{i,j}$  des Mitarbeiters  $MA_i$  am Arbeitsplatztyp  $ATP_j$  zu erfassen. Soll ein Mitarbeiter einem Arbeitsplatztyp nicht zugeordnet werden, wird der Eintrag null gesetzt. Ein Wert größer null setzt voraus, dass der Mitarbeiter geeignet, das heißt der Arbeitsplatztyp auch zu gegebenenfalls vorhandenen Einschränkungen des Mitarbeiters passt, sowie ausreichend eingearbeitet und qualifiziert ist. Auch die Anzahl an unterschiedlichen dem Mitarbeiter zuordenbaren Arbeitsplatztypen wird durch die Eingabe bestimmt und kann somit begrenzt werden. Falls die Produktivität der Mitarbeiter nicht in die Rotationsplanerstellung eingehen soll, kann wie folgt verfahren werden. Die Werte der Variablen  $p_{i,j}$  werden entweder eins oder null und die Variable  $p_j$  wird stets eins gesetzt. Beträgt  $p_{i,j}$  eins, ist Mitarbeiter  $MA_i$  Arbeitsplatztyp  $ATP_j$  zuordenbar. Beträgt  $p_{i,j}$  null, darf Mitarbeiter  $MA_i$  Arbeitsplatztyp  $APT_j$  nicht zugeordnet werden. Für jedes zu planende Rotationsintervall  $RI_t$  mit  $t = 1; \dots; t_{max}$  ist die Verfügbarkeit  $v_{i,t}$  jedes Mitarbeiters  $MA_i$  mit  $i = 1; \dots; i_{max}$  anzugeben. Die Variable  $v_{i,t}$  nimmt den Wert eins an, wenn Mitarbeiter  $MA_i$  in Rotationsintervall  $RI_t$  verfügbar ist, und sonst den Wert null. Tabelle 4.3 zeigt zusammenfassend, welche Daten erfasst werden müssen.

#### 4.3.5 Datenmodifikationen und Vorberechnungen

Bevor das Problem der Suche nach einer möglichst guten Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen im zeitlichen Verlauf einer Arbeitsschicht als Optimierungsproblem formuliert wird, werden einige Daten modifiziert sowie Berechnungen durchgeführt, um einen Arbeitsplatzwechsel für einen Mitarbeiter bewerten zu können. Ein wesentlicher Schritt hierbei ist die Ableitung des Risikowerts einer Körperregion aus den Ergebnissen der Bewertungsverfahren.

Tabelle 4-3: Benötigte Daten für Vorberechnungen und für das Optimierungsproblem

Daten	Beschreibung
$bk_{b,k}$	Betroffenheit von Körperregion $KR_k$ mit $k = 1; \dots; k_{max}$ bei Auftreten von Belastungsart $BA_b$ mit $b \in B$ und $B := \{1; \dots; b_{max}\}$
$t_{max}$	Anzahl an Rotationsintervallen pro Schicht, $T := \{1; \dots; t_{max}\}$
$j_{max}$	Anzahl an der der Rotation beteiligten Arbeitsplatztypen, $J := \{1; \dots; j_{max}\}$
$rb_{1,j,b}$	Risikowert bei Arbeitsplatztyp $APT_j$ durch Belastungsart $BA_b$ für Männer mit $j \in J$ und $b \in B$
$rb_{2,j,b}$	Risikowert bei Arbeitsplatztyp $APT_j$ durch Belastungsart $BA_b$ für Frauen mit $j \in J$ und $b \in B$
$\underline{p}_j$	Erforderliche Mindestproduktivität eines Mitarbeiters am Arbeitsplatztyp $APT_j$ mit $j \in J$ und $\underline{p}_j \in (0; 2]$
$\underline{d}_{j,t}$	Mindestbedarf an Personal für Arbeitsplatztyp $APT_j$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $j \in J$ , $t \in T$ und $\underline{d}_{j,t} \in \mathbb{N}_0$
$\bar{d}_{j,t}$	Maximalbedarf an Personal für Arbeitsplatztyp $APT_j$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $j \in J$ , $t \in T$ , $\bar{d}_{j,t} \in \mathbb{N}_0$ und $\underline{d}_{j,t} \leq \bar{d}_{j,t}$
$i_{max}$	Anzahl an rotierenden Mitarbeitern, $I := \{1; \dots; i_{max}\}$
$g_i$	Geschlecht des Mitarbeiters $MA_i$ mit $i \in I$ und $g_i \in \{1; 2\}$
$p_{i,j}$	Produktivität des Mitarbeiters $MA_i$ am Arbeitsplatztyp $APT_j$ mit $i \in I$ , $j \in J$ und $p_{i,j} \in [0; 2]$
$v_{i,t}$	Verfügbarkeit von Mitarbeiter $MA_i$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $i \in I$ und $t \in T$ $v_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } RI_t \text{ verfügbar} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$

### Zuordenbarkeit eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatztyp ermitteln

Die Zuordenbarkeit eines Mitarbeiters  $MA_i$  zu einem Arbeitsplatztyp  $APT_j$  ergibt sich aus der Produktivität  $p_{i,j}$  des Mitarbeiters  $MA_i$  am Arbeitsplatztyp  $APT_j$  und der erforderlichen Mindestproduktivität  $\underline{p}_j$  eines Mitarbeiters am Arbeitsplatztyp  $APT_j$ . Die Zuordenbarkeit  $z_{i,j}$  für alle  $i = 1; \dots; i_{max}$  und  $j = 1; \dots; j_{max}$  lautet:

$$z_{i,j} := \begin{cases} 1 & \text{falls } p_{i,j} \geq \underline{p}_j \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4-9)$$

### Fiktiven Arbeitsplatztyp erstellen

Für die Nicht-Verfügbarkeit eines Mitarbeiters in bestimmten Intervallen, zum Beispiel bei Teilzeitarbeit, wird ein fiktiver Arbeitsplatztyp  $APT_{j_{max}+1}$  eingeführt, welchem jeder nicht verfügbare Mitarbeiter zugeordnet wird. Ein Mitarbeiter ist zum Beispiel in bestimmten Rotationsintervallen nicht verfügbar, falls er in Teilzeit arbeitet. Für den fiktiven Arbeitsplatztyp  $APT_{j_{max}+1}$  werden alle Risikowerte gleich null gesetzt. Die Matrizen  $RB_1$  und  $RB_2$  werden daher jeweils um eine Zeile erweitert. Die hinzugefügten Einträge nehmen alle den Wert null an.

### Risikowerte je Arbeitsplatztyp und Belastungsart normieren

Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Risikowerte zu erreichen, werden die Einträge der Matrizen  $RB_1$  und  $RB_2$  normiert.

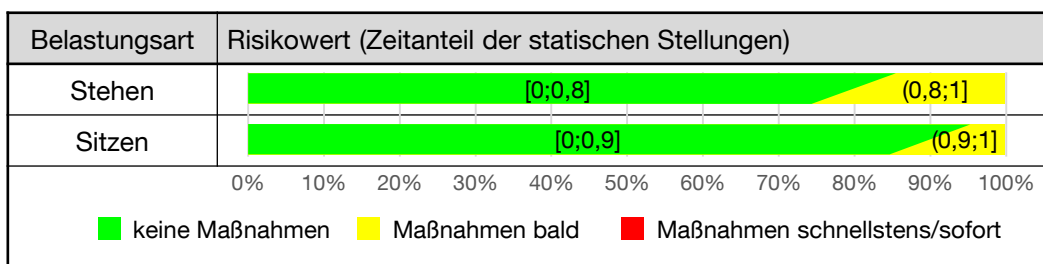
Für die Normalisierung werden die Risikointervalle der in Abschnitt 4.2 ausgewählten Bewertungsverfahren betrachtet. Beim EAWS [Sch-2007; Sch-2012] liegt das Gesamtergebnis der Analyse, der Risikowert, in einem von drei Risikointervallen und wird dadurch den Ampelfarben Grün, Gelb oder Rot zugeordnet. Die Ampelfarben treffen Aussagen zur Höhe des Risikos, zur Bewertung des Arbeitsplatzes und zur Notwendigkeit von Maßnahmen (siehe Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Risikointervalle des EAWS (eigene Darstellung nach [Sch-2012])

Risiko-intervall	Ampelfarbe	Höhe des Risikos, Bewertung des Arbeitsplatzes und Notwendigkeit von Maßnahmen
[0;25]	Grün	Niedriges Risiko: empfehlenswert; Maßnahmen nicht erforderlich
(25;50]	Gelb	Mögliches Risiko: nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten Gestaltung/Risikobeherrschung ergreifen
(50;∞)	Rot	Hohes Risiko: vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung erforderlich

Beim OWAS [Kar-1977; Sto-1985] werden ebenso Maßnahmenklassen gebildet. Tabelle 4-5 zeigt den Zusammenhang zwischen Risikowert und Maßnahmenklasse beim Stehen und Sitzen. Der Übergang zwischen zwei Maßnahmenklassen ist fließend, für die folgenden Berechnungen wird die Mitte des Übergangs als Intervallgrenze festgelegt. Diese ist beim Stehen 80 % und beim Sitzen 90 %.

Tabelle 4-5: Risikointervalle des OWAS (eigene Darstellung nach [Sto-1985])



Um die Ergebnisse zu normieren, wird jedem Risikointervall eine Risikostufe zugeordnet (siehe Tabelle 4-6). Es wird angenommen, dass die Mitte zweier Risikointervalle, die der gleichen Risikostufe zugeordnet sind, eine gleich hohe Belastung einer betroffenen Körperregion hervorrufen.

Tabelle 4-6: Zuordnung jedes Risikointervalls zu einer Risikostufe

Risikointervall EAWS	Risikointervall OWAS Stehen	Risikointervall OWAS Sitzen	Risikostufe
[0;25]	[0;0,8]	[0;0,9]	0,5
(25;50]	(0,8;1]	(0,9;1]	1,5
(50;∞)			2,5

Um für EAWS, OWAS Stehen und OWAS Sitzen jeweils eine stetige Funktion zu erhalten, die einen Risikowert bezüglich der Risikostufen normiert, wird wie folgt vorgegangen. Für jeden Verfahrenstyp werden die niedrigste Intervallgrenze, doppelte Intervallgrenzen und die Mitte des höchsten Intervalls als Stützstellen verwendet, zwischen welchen linear interpoliert wird. Bei der niedrigsten Intervallgrenze ist der Stützwert 0. Bei einer doppelten Intervallgrenze als Stützstelle ist der Stützwert der Mittelwert der Risikostufen der angrenzenden Intervalle. Bei der Mitte des höchsten Intervalls ist die Risikostufe des Intervalls der Stützwert. Die sich daraus ergebenden Stützpunkte zeigt Tabelle 4-7. Da für das Risikointervall (50; ∞) keine reelle Intervallmitte existiert, wird diese auf 62,5 gesetzt. Werte, die größer als die Mitte des höchsten Intervalls sind werden auf den Funktionswert der höchsten Intervallmitte abgebildet.

Tabelle 4-7: Stützpunkte zur Bildung der Normierungsfunktion

Stützpunkte EAWS	Stützpunkte OWAS Stehen	Stützpunkte OWAS Sitzen
(0;0)	(0;0)	(0;0)
(25;1)	(0,8;1)	(0,9;1)
(50;2)	(0,9;1,5)	(0,95;1,5)
(62,5;2,5)		

Die EAWS-Bewertungen für das Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben sind die Werte der Variablen  $rb_{1,j,1}$  und  $rb_{2,j,1}$  bzw.  $rb_{1,j,2}$  und  $rb_{2,j,2}$  für alle Arbeitsplatztypen  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max} + 1$ . Die sich daraus ergebende Normierungsfunktion für alle  $rb_{1,j,1}$  und  $rb_{2,j,1}$  bzw.  $rb_{1,j,2}$  und  $rb_{2,j,2}$  mit  $j = 1; \dots; j_{max} + 1$  lautet:

$$f_{N1}(x) = \begin{cases} 25^{-1} \cdot x & \text{falls } x \in [0; 62,5] \\ 2,5 & \text{falls } x > 62,5 \end{cases} \quad (4-10)$$

Die OWAS-Bewertung für das Stehen und Sitzen sind die Werte der Variablen  $rb_{1,j,3}$  und  $rb_{2,j,3}$  bzw.  $rb_{1,j,4}$  und  $rb_{2,j,4}$  für alle Arbeitsplatztypen  $APT_j$  mit  $j = 1; \dots; j_{max} + 1$ . Die Normierungsfunktion für die OWAS-Risikowerte Stehen  $rb_{1,j,3}$  und  $rb_{2,j,3}$  mit  $j = 1; \dots; j_{max} + 1$  ist:

$$f_{N2}(x) = \begin{cases} 0,8^{-1} \cdot x & \text{falls } x \in [0; 0,8] \\ 1 + 5 \cdot (x - 0,8) & \text{falls } x \in (0,8; 1] \\ 1,5 & \text{falls } x > 0,9 \end{cases} \quad (4-11)$$

Für die OWAS-Risikowerte Sitzen  $rb_{1,j,4}$  und  $rb_{2,j,4}$  mit  $j = 1; \dots; j_{max} + 1$  lautet die Normierungsfunktion:

$$f_{N3}(x) = \begin{cases} 0,9^{-1} \cdot x & \text{falls } x \in [0; 0,9] \\ 1 + 10 \cdot (x - 0,9) & \text{falls } x \in (0,9; 0,95] \\ 1,5 & \text{falls } x > 0,95 \end{cases} \quad (4-12)$$

Der dem Eintrag  $rb_{1,j,b}$  oder  $rb_{2,j,b}$  der Matrix  $RB_1$  bzw.  $RB_2$  zugeordnete Funktionswert ergibt den Wert der Einträge  $rbn_{1,j,b}$  bzw.  $rbn_{2,j,b}$  der Matrix  $RBN_1$  bzw.  $RBN_2$ .

### Risikowert je Arbeitsplatztyp und Körperregion ermitteln

Um einen Risikowert je Arbeitsplatztyp und Körperregion zu ermitteln, wird für männliche Mitarbeiter das Produkt der Matrizen  $RBN_1$  und  $BK$  sowie für weibliche Mitarbeiter das Produkt der Matrizen  $RBN_2$  und  $BK$  gebildet:

$$RK_{g_i} = RBN_{g_i} \cdot BK \quad \forall g_i \in \{1; 2\} \quad (4-13)$$

Die Zeilenüberschriften der Matrizen  $RK_1$  und  $RK_2$  sind wie bei Matrix  $RBN_1$  bzw.  $RBN_2$  die einzelnen Arbeitsplatztypen. Die Spaltenüberschriften sind analog zur Matrix  $BK$  die einzelnen Körperregionen. Die Einträge der Matrizen sind  $rk_{1,j,k}$  und  $rk_{2,j,k}$ .

### Veränderung eines Risikowerts

Die Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplatztypen je Rotationsintervall beschreibt die Variable  $x_{i,j,t}$ . Sie ist wie folgt definiert:

$$x_{i,j,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } RI_t \text{ } APT_j \text{ zugeordnet wird} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4-14)$$

Wird ein Mitarbeiter  $MA_i$  im Rotationsintervall  $RI_t$  einem Arbeitsplatztyp  $APT_j$  zugeordnet, ergibt sich im Intervall  $RI_t$  in Abhängigkeit seines Geschlechts  $g_i$  und des zugeordneten Arbeitsplatztyps  $APT_j$  für jede Körperregion  $KR_k$  ein Risikowert  $r_{i,t,k}$ :

$$r_{i,t,k} := \sum_{j=1}^{j_{max}+1} x_{i,j,t} \cdot rk_{g_i,j,k} \quad (4-15)$$

Ein Mitarbeiter wird in einem Rotationsintervall genau einem Arbeitsplatztyp zugeordnet. Wird Mitarbeiter  $MA_i$  in Rotationsintervall  $R_t$  Arbeitsplatztyp  $APT_j$  zugeordnet, nimmt der Risikowert  $r_{i,t,k}$  für Männer den Wert des Eintrags  $rk_{1,j,k}$  und für Frauen den Wert des Eintrags  $rk_{2,j,k}$  an. Wechselt ein Mann oder eine Frau von Arbeitsplatztyp  $APT_{j_1}$  zu Arbeitsplatztyp  $APT_{j_2}$  mit  $j_1, j_2 \in \{1; \dots; j_{max} + 1\}$ , verändert sich somit der Risikowert von  $rk_{1,j_1,k}$  zu  $rk_{1,j_2,k}$  bzw. von  $rk_{2,j_1,k}$  zu  $rk_{2,j_2,k}$ .

### Arbeitsplatzwechsel bewerten

Die zentrale Anforderung an die zu erstellenden Rotationspläne ist, dass eine Körperregion nach einer Belastung erholen soll. Um dies zu erreichen, wird bei einem Wechsel die Veränderung des Risikowerts für jede Körperregion bewertet. Die Bewertung ist dabei das Minimum der beiden Risikowerte:

$$f_V(r_{i,t,k}; r_{i,t+1,k}) := \min\{r_{i,t,k}; r_{i,t+1,k}\} \quad (4-16)$$

Durch die Verwendung des Minimums wird erreicht, dass eine ungünstige Veränderung des Risikowerts, das heißt von einer erhöhten Belastung zu einer erhöhten Belastung, schlecht bewertet wird. Eine günstige Veränderung des Risikowerts, das heißt von niedriger Belastung zu niedriger Belastung, von niedriger Belastung zu erhöhter Belastung oder von erhöhter Belastung zu niedriger Belastung, wird gut bewertet. Je höher die Bewertung ist, desto ungünstiger ist die Veränderung des Risikowerts der betrachteten Körperregion von einem Rotationsintervall zum nächsten.

Der Risikowert verändert sich bei einem Mann stets von  $rk_{1,j_1,k}$  zu  $rk_{1,j_2,k}$  und bei einer Frau stets von  $rk_{2,j_1,k}$  zu  $rk_{2,j_2,k}$ , wobei in beiden Fällen  $j_1, j_2 \in \{1; \dots; j_{max} + 1\}$  und  $k \in \{1; \dots; k_{max}\}$ . Die Werte von  $j_1$  und  $j_2$  können dabei identisch sein, das heißt es kann auch ein nicht stattfindender Wechsel beurteilt werden. Um den Wechsel eines Arbeitsplatztyps über alle Körperregionen zu bewerten, wird die Summe über alle Körperregionen gebildet. Es ergibt sich somit für die Bewertung eines Wechsels von Arbeitsplatztyp  $APT_{j_1}$  zu Arbeitsplatztyp  $APT_{j_2}$  in Abhängigkeit des Geschlechts:

$$w_{g_i,j_1,j_2} := \sum_{k=1}^{k_{max}} f_V(rk_{g_i,j_1,k}; rk_{g_i,j_2,k}) \quad (4-17)$$

Diese Arbeitsplatzwechselbewertung ist die wesentliche Größe zur Beschreibung der Güte eines Wechsels, dabei ist eine hohe Bewertung schlecht und eine niedrige Bewertung gut.

### 4.3.6 Optimierungsproblem

Das betrachtete Problem in dieser Arbeit ist die Suche nach einem möglichst guten Rotationsplan für eine Schicht. Der Rotationsplan gibt an, welcher Mitarbeiter in welchem Rotationsintervall welchem Arbeitsplatztyp zugeordnet werden soll. In dieser Arbeit wurde ein mathematisches Modell zur Beschreibung des Problems entwickelt. Bezeichnungen des Modells werden in Tabelle 4-8 beschrieben.

Tabelle 4-8: Beschreibung der Bezeichnungen

Bezeichnung	Beschreibung
$i$	Index für Mitarbeiter $MA_i$ mit $i \in I$ und $I := \{1; \dots; i_{max}\}$
$j$	Index für Arbeitsplatztyp $APT_j$ mit $j \in J$ , $J := \{1; \dots; j_{max}\}$ und $J^* := \{1; \dots; j_{max} + 1\}$
$t$	Index für Rotationsintervall $RI_t$ mit $t \in T$ und $T := \{1; \dots; t_{max}\}$
$w_{g_i, j_1, j_2}$	Bewertung eines Wechsels des Mitarbeiters $MA_i$ mit Geschlecht $g_i$ von Arbeitsplatztyp $APT_{j_1}$ zu Arbeitsplatztyp $APT_{j_2}$ mit $i \in I$ , $j_1 \in J^*$ , $j_2 \in J^*$ und $w_{g_i, j_1, j_2} \in \mathbb{R}^{\geq 0}$
$v_{i,t}$	Verfügbarkeit von Mitarbeiter $MA_i$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $i \in I$ und $t \in T$ $v_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } RI_t \text{ verfügbar} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$
$\underline{d}_{j,t}$	Mindestbedarf an Personal für Arbeitsplatztyp $APT_j$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $j \in J$ , $t \in T$ und $\underline{d}_{j,t} \in \mathbb{N}_0$
$\bar{d}_{j,t}$	Maximalbedarf an Personal für Arbeitsplatztyp $APT_j$ in Rotationsintervall $RI_t$ mit $j \in J$ , $t \in T$ , $\bar{d}_{j,t} \in \mathbb{N}_0$ und $\underline{d}_{j,t} \leq \bar{d}_{j,t}$
$z_{i,j}$	Zuordenbarkeit des Mitarbeiters $MA_i$ zu Arbeitsplatztyp $APT_j$ mit $i \in I$ und $j \in J$ $z_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ } APT_j \text{ zuordenbar} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$

Entscheidungsvariablen sind die Variablen  $x_{i,j,t}$ :

$$x_{i,j,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } RI_t \text{ } APT_j \text{ zugeordnet wird} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4-18)$$

Das Optimierungsproblem lautet:

$$f_{ZF}(x) = \max_{i \in I} \sum_{t=1}^{t_{max}-1} \sum_{j_1=1}^{j_{max}+1} \sum_{j_2=1}^{j_{max}+1} x_{i,j_1,t} \cdot x_{i,j_2,t+1} \cdot w_{g_i, j_1, j_2} \rightarrow \min \quad (4-19)$$

$$\sum_{j=1}^{j_{max}} x_{i,j,t} = v_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4-20)$$

$$x_{i, j_{max}+1, t} = 1 - v_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4-21)$$



$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{i,j,t} \geq \underline{d}_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-22)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{i,j,t} \leq \bar{d}_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-23)$$

$$x_{i,j,t} \leq z_{i,j} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-24)$$

$$x_{i,j,t} \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-25)$$

In der Zielfunktion des Optimierungsproblems wird für jeden Mitarbeiter die Summe aller seiner Arbeitsplatzwechselbewertungen gebildet und davon über alle Mitarbeiter das Maximum ermittelt. Diese Zielfunktion soll minimiert werden. Restriktion 4-20 stellt sicher, dass wenn ein Mitarbeiter in einem Rotationsintervall verfügbar ist, dieser genau einem existierenden Arbeitsplatztyp zugeordnet wird. Ist ein Mitarbeiter in einem Rotationsintervall nicht verfügbar, wird er einem fiktiven Arbeitsplatztyp zugeordnet (Restriktion 4-21). Restriktion 4-22 und Restriktion 4-23 gewährleisten, dass der Minimal- und Maximalpersonalbedarf für jeden existierenden Arbeitsplatztyp und jedes Rotationsintervall nicht unter- bzw. überschritten wird. Restriktion 4-24 sorgt dafür, dass ein Mitarbeiter nur einem Arbeitsplatztyp zugeordnet werden darf, wenn er diesem zuordenbar ist. Restriktion 4-25 gewährleistet, dass die Entscheidungsvariablen nur die Werte null oder eins annehmen.

Das vorgestellte Optimierungsproblem kann je nach Anwendungsfall weiter spezifiziert werden. Beispielsweise kann es sinnvoll sein, dass Mitarbeiter, die in einem Rotationsintervall dem gleichen Arbeitsplatztyp zugeordnet werden, sich hinsichtlich ihrer Kompetenzen, wie beispielsweise SAP-Kompetenz, ergänzen. Auch eine eventuell auftretende Entgelterhöhung der Mitarbeiter, Präferenzen der Mitarbeiter (zum Beispiel hinsichtlich der Arbeitsplatztypen oder der unmittelbaren Kollegen) oder eine Mindestaufenthaltsdauer an einem Arbeitsplatztyp können im Optimierungsproblem berücksichtigt werden. Es können auch die vergangenen Arbeitsplatztypzuordnungen gespeichert werden und mittels zusätzlicher Restriktionen sichergestellt werden, dass ein Mitarbeiter jeden Arbeitsplatztyp, dem er zugeordnet werden kann, spätestens nach einer maximalen Anzahl an Rotationsintervallen erneut zugeordnet werden muss (siehe Abschnitt 6.1).

Spezielle gesetzliche Rahmenbedingungen für die Rotationsplanerstellung sind nicht bekannt. Der Arbeitgeber hat gemäß Arbeitsschutzgesetz § 7 Aufgaben auf dafür geeignete Beschäftigte zu übertragen. Insbesondere bei der Übertragung von Aufgaben der manuellen Lastenhandhabung hat der Arbeitgeber deren körperliche Eignung zu berücksichtigen (Lastenhandhabungsverordnung § 3). Diese Forderungen

sind bei der Zuordenbarkeit eines Mitarbeiters zu einem Arbeitsplatztyp zu beachten.

#### 4.3.7 Beispiel Entgelterhalt

In den Expertenbefragungen hat sich gezeigt, dass von Unternehmensseite eine Steigerung des Entgelts durch die Einführung von Jobrotation häufig nicht gewünscht ist. Eine Reduzierung des Entgelts eines Mitarbeiters sollte ebenso nicht erfolgen, da dies zu Akzeptanzproblemen bei den betroffenen Mitarbeitern führt. Folglich wird der Entgelterhalt jedes Mitarbeiters angestrebt.

Eine Betrachtung des Entgelterhalts erfolgt im Folgenden am Beispiel des Lohn- und Gehaltsrahmen-Tarifvertrags I der IG Metall Baden-Württemberg. Grundlage für das Entgelt ist demnach die Eingruppierung der Arbeitsaufgaben eines Beschäftigten in eine Lohngruppe. Die Eingruppierung basiert auf der Bewertung der Anforderungen nach bestimmten Kriterien, dabei gilt: „Übt ein Beschäftigter nach Gehaltsgruppen verschiedene Tätigkeiten aus, so erfolgt die Eingruppierung in diejenige Gruppe, welche seiner überwiegenden Tätigkeit entspricht. Bei der Gehaltsbemessung sind die übrigen Tätigkeiten, soweit sie höherwertig sind, angemessen zu berücksichtigen“ [Ind-2001].

Ein Entgelterhalt kann somit erreicht werden, indem ein Mitarbeiter nur Arbeitsplätzen zugeordnet werden darf, die gleich eingruppiert wurden. Das Optimierungsproblem muss hierfür nicht angepasst werden. Durch die Festlegung der Werte von  $p_{i,j}$  mit  $i = 1, \dots, i_{max}$  und  $j = 1, \dots, j_{max}$ , die die Produktivität eines Mitarbeiters  $MA_i$  am Arbeitsplatztyp  $APT_j$  angeben, wird gesteuert, welchen Arbeitsplatztypen ein Mitarbeiter zugeordnet werden darf. Soll sich das Entgelt eines Mitarbeiters weder erhöhen noch verringern, so sollte er nur Arbeitsplatztypen zuordenbar sein, die die selbe Lohngruppe besitzen wie der Arbeitsplatz, den er vor der Einführung von Jobrotation durchgeführt hat.

## 4.4 Lösung des Optimierungsproblems

Optimierungssoftware ermöglicht die Lösung eines Optimierungsproblems, dazu wird dieses nach der mathematischen Formulierung über standardisierte Datenstrukturen in die Optimierungssoftware eingegeben [Suh-2013, S. 77f.]. Der Vorteil eines linearen Optimierungsproblems ist die Verfügbarkeit hoch entwickelter Standardsoftware zur Lösung des Problems [Suh-2013, S. 78]. Bekannte Löser für lineare Optimierungsprobleme (engl. *linear programming*, LP) sind IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (auch als CPLEX bezeichnet), Gurobi Optimizer (auch als Gurobi

bezeichnet) und FICO® Xpress Optimization Suite (auch als Xpress bezeichnet) [Suh-2013, S. 78f.]. Diese drei kommerziellen Löser unterscheiden sich beim Leistungsvergleich kaum und sind dabei derzeit am leistungsfähigsten [Mei-2012]. Für das Vorhaben wurde in einem ersten Schritt Gurobi ausgewählt, um zu prüfen, ob sich das vorgestellte Optimierungsproblem mit diesem lösen lässt.

Gurobi kann lineare, gemischt-ganzzahlige lineare, quadratische, gemischt-ganzzahlige quadratische Optimierungsprobleme, Optimierungsprobleme mit quadratischen Restriktionen und gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme mit quadratischen Restriktionen lösen [Gur-2015a].

Lineare Optimierungsprobleme haben eine lineare Zielfunktion und lineare Restriktionen [Gur-2015b; Suh-2013, S. 32]. Quadratische Optimierungsprobleme besitzen eine quadratische Zielfunktion und lineare Restriktionen [Gur-2015c]. Optimierungsprobleme mit quadratischen Restriktionen besitzen eine lineare oder eine quadratische Zielfunktion sowie mindestens eine quadratische Restriktion, alle weiteren Restriktionen sind linear [Gur-2015c]

Die Werte, die die Entscheidungsvariablen bei diesen drei Problemtypen annehmen dürfen, werden nur durch lineare Gleichungen oder Ungleichungen bestimmt. Dadurch ist es beispielsweise nicht möglich, den Wertebereich einer Entscheidungsvariable nur auf ganzzahlige Werte zu begrenzen. Soll mindestens eine Entscheidungsvariable nur ganzzahlige Werte annehmen, handelt es sich um ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem.

Um mit Gurobi lösbar zu sein, muss die Zielfunktion linear oder quadratisch sein, die Restriktionen müssen jeweils linear oder quadratisch sein und die Entscheidungsvariablen können jeweils auf ganzzahlige Werte eingegrenzt werden. Das im vorherigen Abschnitt formulierte Optimierungsproblem ist somit nicht mit Gurobi lösbar. Die Zielfunktion des Optimierungsproblems ist eine Maximierungsfunktion, die Restriktionen sind linear und die Entscheidungsvariablen dürfen nur ganzzahlige Werte annehmen. Damit ist das Problem, abgesehen von der Zielfunktion, ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem. Um das Problem mit Gurobi lösen zu können, wird die mathematische Formulierung des Problems angepasst. Die zu minimierende Zielfunktion wird dafür durch eine neue Restriktion und eine veränderte Zielfunktion ersetzt. Die neue Restriktion stellt sicher, dass die Summe über alle Bewertungen der Arbeitsplatzwechsel für jeden Mitarbeiter unter einer Obergrenze liegt. Diese Restriktion ist quadratisch. Als Zielfunktion wird diese Obergrenze gesetzt. Die Zielfunktion ist damit linear. Die veränderte Zielfunktion und die neue Restriktion lauten wie folgt:

$$f_{ZF}(x) = n \rightarrow \min \quad (4-26)$$

$$\sum_{t=1}^{t_{max}-1} \sum_{j_1=1}^{j_{max}+1} \sum_{j_2=1}^{j_{max}+1} x_{i,j_1,t} \cdot x_{i,j_2,t+1} \cdot w_{g_{i,j_1,j_2}} \leq n \quad \forall i \in I \quad (4-27)$$

Entscheidungsvariablen sind nun die Variablen  $x_{i,j,t}$  und die Variable  $n \in \mathbb{R}$  mit:

$$x_{i,j,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } RI_t \text{ APT}_j \text{ zugeordnet wird} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases} \quad (4-28)$$

Das angepasste Optimierungsproblem lautet:

$$\min f_{ZF}(x) = n \quad (4-29)$$

$$\sum_{t=1}^{t_{max}-1} \sum_{j_1=1}^{j_{max}+1} \sum_{j_2=1}^{j_{max}+1} x_{i,j_1,t} \cdot x_{i,j_2,t+1} \cdot w_{g_{i,j_1,j_2}} \leq n \quad \forall i \in I \quad (4-30)$$

$$\sum_{j=1}^{j_{max}} x_{i,j,t} = v_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4-31)$$

$$x_{i,j_{max}+1,t} = 1 - v_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (4-32)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{i,j,t} \geq \underline{d}_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-33)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{i,j,t} \leq \bar{d}_{j,t} \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-34)$$

$$x_{i,j,t} \leq z_{i,j} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-35)$$

$$x_{i,j,t} \in \{0; 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (4-36)$$

Die Bezeichnungen wurden in Abschnitt 4.3.6 bereits erläutert. Das Problem ist nun ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem mit quadratischen Restriktionen und daher mit Gurobi lösbar. Bei Gurobi eingesetzte Verfahren zur Lösung von gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen werden auf der Webseite des Herstellers erläutert [Gur-2015c].

Gelingt die Lösung, stellt die gefundene optimale Lösung den gesuchten Rotationsplan dar. Wird keine zulässige Lösung gefunden, das heißt es gibt keinen Rotationsplan, der alle Restriktionen erfüllt, gibt es zwei Möglichkeiten vorzugehen: Entweder

sind die Eingaben anzupassen oder das Problem ist zu relaxieren. Relaxierung bedeutet, dass der zulässige Bereich des Problems vergrößert wird, indem auf mindestens eine Restriktion verzichtet wird. Um eine zulässige Lösung zu erhalten, wird empfohlen, die Eingabedaten zu kontrollieren und anzupassen.

Gurobi findet bei gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsproblemen mit quadratischen Restriktionen, bei denen alle Funktionen, wie in unserem Fall, konvex sind, entweder eine optimale Lösung oder zeigt, dass das Problem keine zulässige Lösung besitzt [Ach-2015]. Damit ist die Software Heuristiken vorzuziehen. Heuristiken, wie beispielsweise die „feasibility pump“, können nicht garantieren, in endlicher Laufzeit eine zulässige Lösung zu finden, auch wenn diese existiert, und sie liefern keine Aussagen zur Güte der gefundenen Lösung [Ach-2015]. Somit ist auch nicht bekannt, ob eine gefundene Lösung eine optimale Lösung ist.

## 4.5 Sicherstellung der Akzeptanz

Mitarbeiter sind Betroffene einer geplanten Jobrotation. Ob eine organisatorische Lösung, wie Jobrotation, funktioniert, setzt voraus, dass die betroffenen Personen die Maßnahme akzeptieren [Sch-2009, S. 27]. Der Begriff „Change Management“ wird nach *Schmidt* [Sch-2009, S. 28] wie folgt definiert: „Unter dem Begriff Change Management werden alle Strategien und Maßnahmen verstanden, die dazu beitragen können, Akzeptanz zu fördern bzw. Widerstände abzubauen, die Motivation der Beteiligten und Betroffenen zu erhalten oder auszubauen, Konflikte konstruktiv zu nutzen, vorhandene Machtstrukturen zugunsten des Projekts einzusetzen und möglichst störungsfrei miteinander zu kommunizieren [...]“. Nach *Schmidt* kann Change Management nicht durch Techniken unterstützt werden, sondern erfordert soziale Fähigkeiten sowie einen bewussten Umgang mit den Betroffenen [Sch-2009, S. 28]. Mögliche Maßnahmen, um eine Akzeptanz bei den Mitarbeitern sicherzustellen, sind die Beteiligung der Betroffenen, beispielsweise in Form von Interviews, die Information der Betroffenen sowie eine sorgfältige Einführungsvorbereitung [Sch-2009, S. 30f.].

Das Praktizieren von Jobrotation mit Hilfe von Rotationsplänen birgt die Gefahr, dass die Mitarbeiter sich fremdbestimmt fühlen und die Jobrotation ablehnen. Eine Alternative zur Jobrotation mit Rotationsplänen ist daher eine Jobrotation, bei der Mitarbeitergruppen gebildet werden und die Mitarbeiter einer Gruppe selbstgesteuert ihre Arbeitsplätze miteinander tauschen. Bei dieser Variante ist aufgrund des höheren Selbstbestimmungsrechts eine höhere Akzeptanz zu erwarten.



## 5 Umsetzung in ein Rechnerwerkzeug

Das in Kapitel 4 vorgestellte Vorgehen zur Rotationsplanerstellung wurde in ein Rechnerwerkzeug als Demonstrator umgesetzt, so dass auf Basis von Nutzereingaben automatisiert ein Rotationsplan erstellt werden kann. In diesem Kapitel wird der Aufbau des Werkzeugs (Abschnitt 5.1), die grafische Benutzerschnittstelle (Abschnitt 5.2) und das Datenbankschema (Abschnitt 5.3) vorgestellt.

### 5.1 Aufbau des Rechnerwerkzeugs

Das in Kapitel 4 vorgestellte Vorgehen wurde als Rechnerwerkzeug „ErgoRot“ umgesetzt. Das Java-Programm ist nach dem Drei-Schichtenmodell strukturiert. Die Präsentationsschicht beinhaltet die grafische Benutzerschnittstelle. Die Logikschicht enthält die Anwendungslogik. Hierzu zählen insbesondere die in Abschnitt 4.3.5 vorgestellten Formeln. Sie kommuniziert zudem mit der Optimierungssoftware Gurobi über deren Java-Schnittstelle `gurobi.jar`. Die Datenbankschicht ist für die Kommunikation mit einem relationalen Datenbankmanagementsystem zuständig. Dazu wird die Datenbanksprache *Structured Query Language* (SQL) eingesetzt.

Voraussetzung für den Einsatz des Rechnerwerkzeugs ist daher die Installation von PostgreSQL, Java und Gurobi. Für den Einsatz von Gurobi ist eine Lizenz erforderlich. Eine andere Optimierungssoftware kann auch eingesetzt werden, hierzu sind allerdings Anpassungen in ErgoRot erforderlich.

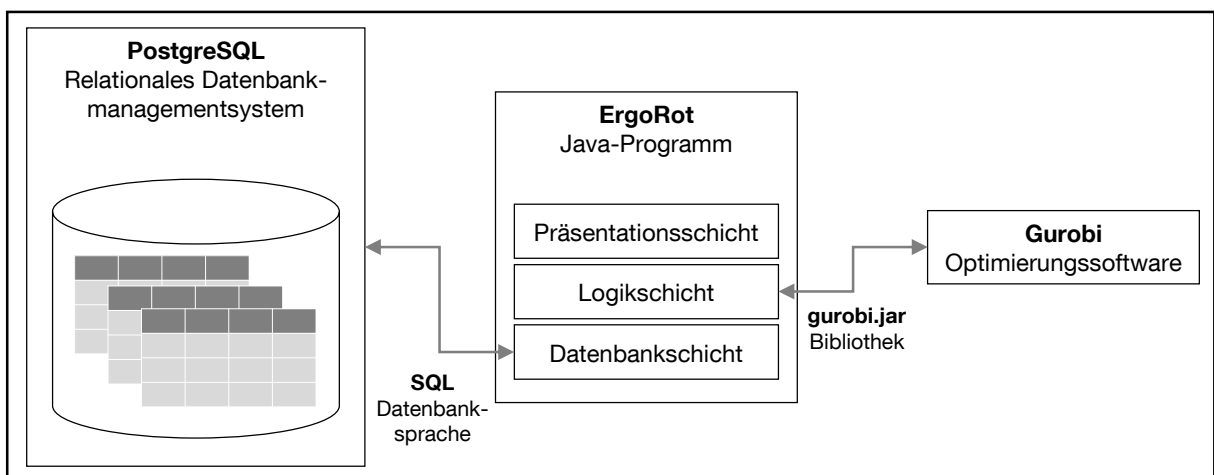


Abbildung 5-1: Aufbau des Rechnerwerkzeugs ErgoRot und Kommunikation mit anderen Anwendungen

## 5.2 Grafische Benutzerschnittstelle

Die Menüleiste untergliedert sich in die Schlüsselbegriffe *Ansicht*, *Auswertung* und *Einstellungen*. Unter dem Schlüsselbegriff *Ansicht* finden sich die Menüpunkte *Arbeitsplatztypen*, *Mitarbeiter* und *Optimierung*. Das Fenster zur Optimierung untergliedert sich weiter in die Registerkarten *Eingabe*, *Rotationsplan-Arbeitsplatztyp-Slot*, *Rotationsplan Slot-Mitarbeiter* und *Belastungsdetails je Mitarbeiter*. Unter dem Schlüsselbegriff *Auswertung* finden sich die Menüpunkte *Zwischenergebnisse*, *Testdaten* und *Güte der Ergebnisse*. Alle diese Punkte dienen dem Durchführen von Untersuchungen und sind nicht für den Nutzer im Unternehmen implementiert worden. Im Folgenden wird auf die einzelnen Menüpunkte und Registerkarten eingegangen.

Tabelle 5-1: Schlüsselbegriffe und Menüpunkte des Menüs

Schlüsselbegriffe	Ansicht	Auswertung	Einstellungen
Menüpunkte	Arbeitsplatztypen	Zwischenergebnisse	Einstellungen
	Mitarbeiter	Testdaten	
	Optimierung	Güte der Ergebnisse	

### 5.2.1 Nutzereingaben

Nutzereingaben, die zur Erstellung eines Rotationsplans in ErgoRot erforderlich sind, sind Daten zu den Arbeitsplatztypen, Daten zu den Mitarbeitern, Auswahl der zu beachtenden Restriktionen sowie die Beauftragung zur Erstellung des Rotationsplans.

In ErgoRot wird von vier Rotationsintervallen pro Schicht ausgegangen, daher ist diese Eingabe nicht mehr erforderlich. ErgoRot kann ebenso bei weniger Rotationsintervallen in einer Schicht eingesetzt werden. Dazu müssen die Verfügbarkeit der Mitarbeiter sowie der Mindestpersonalbedarf jedes Arbeitsplatztyps für die nicht benötigten Rotationsintervalle auf null gesetzt werden. Die Expertenbefragungen haben gezeigt, dass mehr als vier Rotationsintervalle in einer Schicht für die Praxis nicht relevant sind (siehe Abschnitt 3.2), weshalb ErgoRot hierfür nicht ausgelegt wurde.

Die Betroffenheit einer Körperregion beim Auftreten einer Belastungsart ist nicht über die grafische Benutzerschnittstelle veränderbar. Die Eingaben sind vom Anwendungsfall unabhängig und sollen daher nicht vom Nutzer modifiziert werden.

Die Eingaben des Nutzers werden nicht geprüft. Der Nutzer sollte daher auf eine korrekte Eingabe achten.



### **Menüpunkt „Ansicht > Arbeitsplatztypen“**

Daten, die zu einem Arbeitsplatztyp eingegeben werden können, sind die Beachtung bei der Erstellung eines Rotationsplans, die Bezeichnung, die Risikowerte, der Mindest- und Maximalpersonalbedarf je Rotationsintervall sowie die erforderliche Mindestproduktivität. Zudem wird je Arbeitsplatztyp beim Erstellen automatisch eine Nummer als Identifikator vergeben. Tabelle 5-2 stellt dar, wie die Bezeichnung in ErgoRot ist, welchen Wert ein Datum annimmt, woher die Daten stammen und ob eine Information für die Rotationsplanerstellung benötigt wird. Abbildung 5-2 zeigt einen Screenshot der Informationen in ErgoRot.

Ein Arbeitsplatztyp wird beim Erstellen eines Rotationsplans nur beachtet, wenn das Häkchen in der Spalte „Rotationsplan“ aktiviert ist. Die Bezeichnung des Arbeitsplatztyps wird beim Erstellen des Rotationsplans nicht benötigt. Sie dient aber der benutzerfreundlicheren Darstellung der Ergebnisse. Die Risikowerte zum Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben sind geschlechtsspezifisch, daher wird bei der Eingabe zwischen männlich und weiblich unterschieden. Die Risikowerte für das Stehen und Sitzen sind einheitlich für Mann und Frau, daher gilt die Eingabe für beide Geschlechter.

### **Menüpunkt „Ansicht > Mitarbeiter“**

Daten, die in ErgoRot zu einem Mitarbeiter eingegeben werden können, sind die Beachtung bei der Erstellung eines Rotationsplans, ein Identifikator, Nachname, Vorname, Geschlecht, Verfügbarkeit in den einzelnen Rotationsintervallen und Informationen zur Produktivität je Arbeitsplatztyp. Tabelle 5-3 gibt einen Überblick über diese Daten, deren Bezeichnung bei der Benutzung von ErgoRot, welche Werte die Daten annehmen, deren Quelle sowie ob die Daten für die Rotationsplanerstellung erforderlich sind. Abbildung 5-3 zeigt einen Screenshot dieser Daten, wie sie im Programm ErgoRot dargestellt werden.

Ein Mitarbeiter wird beim Erstellen eines Rotationsplans nur beachtet, wenn das Häkchen in der Spalte „Rotationsplan“ aktiviert ist. Der Identifikator dient zum eindeutigen Identifizieren des Mitarbeiters und kann beispielsweise dessen Personalnummer sein. Der Nachname und der Vorname sind für die Rotationsplanerstellung nicht erforderlich, sie ermöglichen jedoch eine benutzerfreundlichere Darstellung des Rotationsplans. Die Eingabe des Geschlechts wird für die Auswahl des entsprechenden EAWS-Risikowerts benötigt. Slot 1 bis Slot 4 geben Aufschluss darüber, in welchen zu planenden Rotationsintervallen der Mitarbeiter verfügbar ist. Die Verfügbarkeit eines Mitarbeiters in einem Rotationsintervall bedeutet, dass dieser in diesem Intervall genau einem existierenden Arbeitsplatztyp zugeordnet wird. In der

Spalte „Produktivität“ wird für jeden Arbeitsplatztyp eine Zahl gespeichert, die die Produktivität des Mitarbeiters an diesem Arbeitsplatztyp angibt.

Tabelle 5-2: Arbeitsplatztypdaten

Beschreibung	Bezeichnung in ergoRot	Wert	Quelle	Notwendigkeit
Beachtung bei der Erstellung eines Rotationsplans	Rotationsplan	ja/nein	Eingabe	ja
Identifikator des Arbeitsplatztyps	APT-ID	ganze Zahl	Automatische Vergabe	ja
Bezeichnung des Arbeitsplatztyps	APT-Bezeichnung	Text	Eingabe	nein
EAWS-Risikowert durch Heben, Halten, Tragen für Männer	HHTm	Gleitkommazahl	Eingabe	ja
EAWS-Risikowert durch Heben, Halten, Tragen für Frauen	HHTw	Gleitkommazahl	Eingabe	ja
EAWS-Risikowert durch Ziehen, Schieben für Männer	ZSm	Gleitkommazahl	Eingabe	ja
EAWS-Risikowert durch Ziehen, Schieben für Frauen	ZSw	Gleitkommazahl	Eingabe	ja
Stehen: Zeitanteil der statischen Stellungen in Prozent	Stehen	ganze Zahl	Eingabe	ja
Sitzen: Zeitanteil der statischen Stellungen in Prozent	Sitzen	ganze Zahl	Eingabe	ja
Mindestbedarf an Personal in Rotationsintervall 1	Slot 1 min	ganze Zahl	Eingabe	ja
Maximalbedarf an Personal in Rotationsintervall 1	Slot 1 max	ganze Zahl	Eingabe	ja
Mindestbedarf an Personal in Rotationsintervall 2	Slot 2 min	ganze Zahl	Eingabe	ja
Maximalbedarf an Personal in Rotationsintervall 2	Slot 2 max	ganze Zahl	Eingabe	ja
Mindestbedarf an Personal in Rotationsintervall 3	Slot 3 min	ganze Zahl	Eingabe	ja
Maximalbedarf an Personal in Rotationsintervall 3	Slot 3 max	ganze Zahl	Eingabe	ja
Mindestbedarf an Personal in Rotationsintervall 4	Slot 4 min	ganze Zahl	Eingabe	ja
Maximalbedarf an Personal in Rotationsintervall 4	Slot 4 max	ganze Zahl	Eingabe	ja
Erforderliche Mindestproduktivität eines Mitarbeiters in Prozent	Mindestproduktivität	ganze Zahl	Eingabe	ja

Rotation...	APT-ID	APT-Bezeichnung	HHTm	HHTw	ZSm	ZSw	Stehen	Sitzen	Slot 1 min	Slot 1 max	Slot 2 min	Slot 2 max	Slot 3 min	Slot 3...	Slot 4...	Slot 4 max	Mindest...
<input checked="" type="checkbox"/>	4	PzW hohe Gewichte	44,5	62,5	7,12	10	0	0	1	2	1	2	1	2	1	2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	3	PzW niedrige Gewichte	17,8	25	7,12	10	0	0	1	2	1	2	1	2	1	2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	2	WzP	0	0	0	0	90	0	1	2	1	2	1	2	1	2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1	Wareneingang	0	0	0	0	40	45	1	2	1	2	1	2	1	2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	0	Stapler	0	0	0	0	0	95	1	2	1	2	1	2	1	2	0

Abbildung 5-2: Screenshot „Arbeitsplatztypen“

Tabelle 5-3: Mitarbeiterdaten

Beschreibung	Bezeichnung in ergoRot	Wert	Quelle	Notwendigkeit
Beachtung bei der Erstellung eines Rotationsplans	Rotationsplan	ja/nein	Eingabe	ja
Identifikator des Mitarbeiters	MA-ID	Text	Eingabe	ja
Nachname	Nachname	Text	Eingabe	nein
Vorname	Vorname	Text	Eingabe	nein
Geschlecht	Geschlecht	männlich/weiblich	Eingabe	ja
Verfügbarkeit in Rotationsintervall 1	Slot 1	ja/nein	Eingabe	ja
Verfügbarkeit in Rotationsintervall 2	Slot 2	ja/nein	Eingabe	ja
Verfügbarkeit in Rotationsintervall 3	Slot 3	ja/nein	Eingabe	ja
Verfügbarkeit in Rotationsintervall 4	Slot 4	ja/nein	Eingabe	ja
Produktivität des Mitarbeiters an den einzelnen Arbeitsplatztypen	Produktivität	ganze Zahl	Eingabe	ja

Rotationsplan	MA-ID	Nachname	Vorname	Geschlecht	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Produktivität
<input checked="" type="checkbox"/>	9	MA9	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	8	MA8	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	7	MA7	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	6	MA6	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	5	MA5	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	4	MA4	Test	weiblich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	3	MA3	Test	männlich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	2	MA2	Test	männlich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	1	MA1	Test	männlich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...
<input checked="" type="checkbox"/>	0	MA0	Test	männlich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0=100, 1=1...

Abbildung 5-3: Screenshot „Mitarbeiter“

### Registerkarte „Ansicht > Optimierung > Eingabe“

In der Registerkarte „Eingabe“ des Menüpunkts „Ansicht > Optimierung“ werden alle eingegebenen Daten, die an die Optimierungssoftware zum Finden des bestmöglichen Rotationsplans übergeben werden, dargestellt. Die Ansicht umfasst die Identifikatoren der beachteten Mitarbeiter, die Identifikatoren der beachteten Arbeitsplatztypen, die Verfügbarkeit der beachteten Mitarbeiter je Rotationsintervall, die Zuordenbarkeit der beachteten Mitarbeiter zu den beachteten Arbeitsplatztypen, die Arbeitsplatzwechselbewertungen für die beachteten Arbeitsplatztypen, den Mindestpersonalbedarf je beachtetem Arbeitsplatztyp und Rotationsintervall sowie den Maximalpersonalbedarf je beachtetem Arbeitsplatztyp und Rotationsintervall. Zudem kann der Nutzer in dieser Ansicht auswählen, welche Restriktionen beim Lösen des Optimierungsproblems eingehalten werden müssen. Außerdem kann er die Optimierung starten und vorzeitig beenden.

Während der Optimierung wird im unteren Bereich der Karte der aktuelle Fortschritt angezeigt. Sobald der Nutzer die Optimierung beendet oder Gurobi die Lösungssu-

che beendet, werden die Ergebnisse im selben Bereich angezeigt. Der farbliche Hintergrund gibt Aufschluss über den Wert des Gurobi Optimization Status Codes. Dessen Bedeutung ist auf der Webseite von Gurobi erläutert [Gur-2016]. Ein grüner Hintergrund wird angezeigt, wenn Gurobi den Optimization Status Code 2 ausgibt: Das Modell wurde (gemäß der angegebenen Toleranzen) optimal gelöst und eine optimale Lösung ist verfügbar. Ein gelber Hintergrund indiziert, dass die Optimierung vom Nutzer beendet wurde. Der Gurobi Optimization Status Code nimmt in diesem Fall den Wert 11 an. Ein roter Hintergrund erscheint, wenn gezeigt wurde, dass das Modell unlösbar ist. Der Gurobi Optimization Status Code hat hier den Wert 3. Die Nutzereingaben sind folglich anzupassen. Für alle anderen Werte des Gurobi Optimization Status Codes erscheint ein orangener Hintergrund.

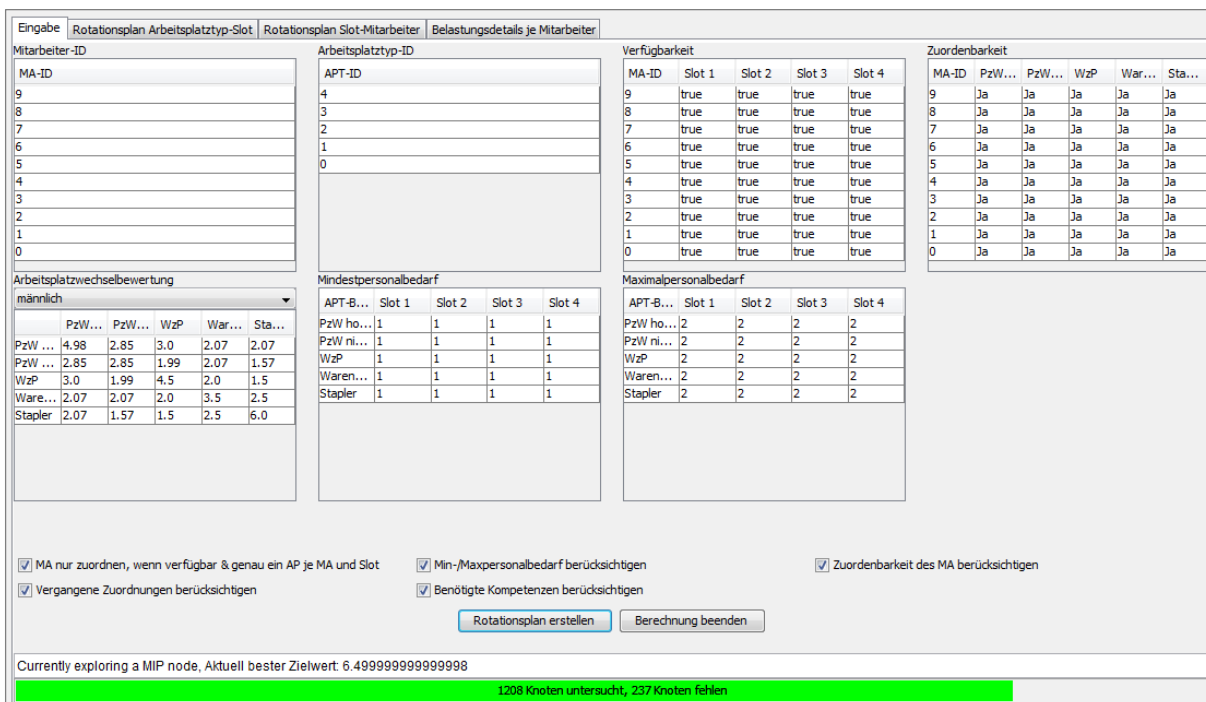


Abbildung 5-4: Screenshot „Optimierung > Eingabe“

### Menüpunkt „Auswertung > Testdaten“

Unter dem Menüpunkt „Auswertung > Testdaten“ können Testdaten erstellt oder gelöscht werden. Diese Funktionalität wurde in das Rechnerwerkzeug integriert, um sehr große Datensätze für die Laufzeitanalyse erstellen und diese wieder löschen zu können. Die Testdaten werden in einem separaten Datenbankschema gespeichert, so dass die manuellen Eingaben des Nutzers von der Testdatengenerierung nicht betroffen sind. Diese Funktionalität ist nicht für den Nutzer in der Praxis vorgesehen, sondern dient ausschließlich der Laufzeitanalyse.

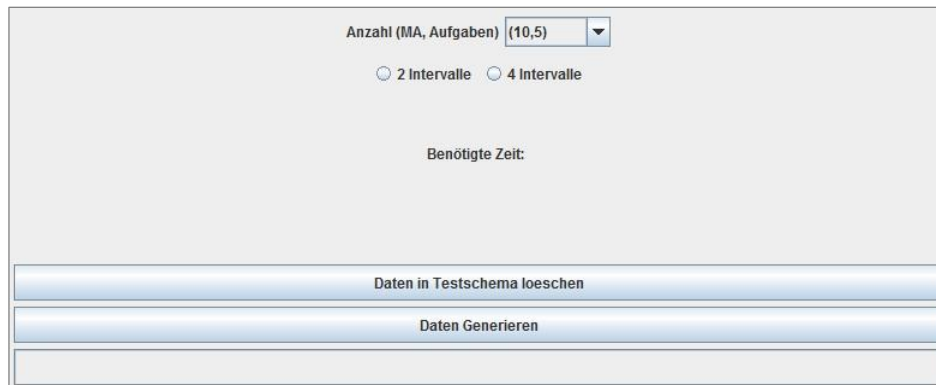


Abbildung 5-5: Screenshot „Testdaten“

### Menüpunkt „Auswertung > Güte der Ergebnisse“

Der Menüpunkt „Auswertung > Güte der Ergebnisse“ ist ebenso nicht als Funktionalität für den Nutzer vorgesehen. Die Buttons „Aktuelle Loesung exportieren“, „Optimale Loesung exportieren“, „Beliebige Loesung exportieren“ und „Ohne Rotation Loesung exportieren“ dienen dem Export unterschiedlicher Lösungen, um die Güte der Ergebnisse zu analysieren (siehe Abschnitt 6.3). Da beim Export der optimalen Lösung auch die Optimierung durchgeführt werden muss, kann der Export unter Umständen sehr lange dauern. Der Button „Berechnung abbrechen“ dient daher zum Abbruch der Optimierung.

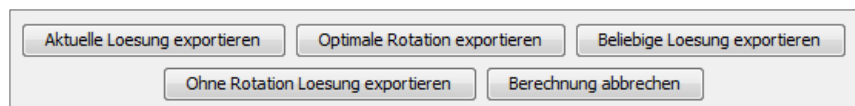


Abbildung 5-6: Screenshot „Güte der Ergebnisse“

### 5.2.2 Ausgaben

Ausgaben des Werkzeugs werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Diese sind Zwischenergebnisse, Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Mitarbeiter, Rotationsplan Slot-Mitarbeiter und Belastungsdetails je Mitarbeiter.

### Menüpunkt „Auswertung > Zwischenergebnisse“

Unter dem Menüpunkt „Auswertung > Zwischenergebnisse“ werden die Ergebnisse der Datenmodifikationen und Vorberechnungen angezeigt (siehe Abschnitt 4.3.5). Die Zuordenbarkeit gibt an, welcher Mitarbeiter welchem Arbeitsplatztyp zugeordnet werden darf. Die normierten Risikowerte je Belastungsart ergeben sich aus den vom Nutzer eingegebenen Risikowerten für die Belastungsarten Heben, Halten, Tragen; Ziehen, Schieben; Stehen und Sitzen. Aus den normierten Risikowerten und der Betroffenheit der Körperregionen werden die Risikowerte je Körperregion und Arbeits-

platztyp bestimmt. Die Arbeitsplatzwechselbewertungen ergeben sich aus den Risikowerten je Körperregion.

Die Risikowerte von Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben und folglich auch die Risikowerte je Körperregion und die Arbeitsplatzwechselbewertungen unterscheiden sich für Mann und Frau, daher gibt es für die Auswahl des Geschlechts eine Dropdown-Liste.

weiblich							Normierte Risikowerte je Belastungsart				
Zuordenbarkeit							APT-Bezeichnung	HHT	ZS	Stehen	Sitzen
MA-ID	PzW hohe Ge...	PzW niedrige ...	WzP	Wareneingang	Stapler		PzW hohe Gewichte	PzW niedrige Gewi...	WzP	Wareneingang	Stapler
9	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		2.5	0.4	0.0	0.0	
8	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		1.0	0.4	0.0	0.0	
7	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		0.0	0.0	1.5	0.0	
6	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		0.0	0.0	0.5	0.5	
5	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		0.0	0.0	0.0	1.5	
4	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
3	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
2	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
1	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
0	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						

Risikowerte je Körperregion							Arbeitsplatzwechselbewertungen					
APT-Bez...	Muskel-S...	Wirbelsäule	Nacken	Schultern	Arme	Hände	Beine	PzW hohe Gewi...	PzW niedrige ...	WzP	Wareneingang	Stapler
PzW hohe ...	2.9	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	7.0	4.0	3.0	2.3	2.3
PzW niedri...	1.4	1.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.0	4.0	4.0	2.8	2.3	2.2
WzP	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.0	2.8	4.5	2.0	1.5
Warenein...	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	2.3	2.3	2.0	3.5	2.5
Stapler	1.5	0.0	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0	2.3	2.2	1.5	2.5	6.0

Abbildung 5-7: Screenshot „Zwischenergebnisse“

### Registerkarte „Ansicht > Optimierung > Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot“

In der Registerkarte „Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot“ des Menüpunkts „Ansicht > Optimierung“ wird nur ein Rotationsplan angezeigt, falls dieser zuvor in der Registerkarte „Eingabe“ des gleichen Menüpunkts erstellt wurde. Der Rotationsplan gibt für jeden Arbeitsplatz an, welche Mitarbeiter diesem in welchem Rotationsintervall zugeordnet sind. Diese Ansicht des Rotationsplans ist beispielweise für einen Vorgesetzten relevant.

Eingabe	Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot	Rotationsplan Slot-Mitarbeiter	Belastungsdetails je Mitarbeiter	
APT-Bezeichnung	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4
PzW hohe Gewichte	MA8, MA6	MA2, MA0	MA5, MA3	MA2, MA0
PzW niedrige Gewichte	MA7, MA3	MA4, MA1	MA9, MA1	MA7, MA3
WzP	MA5, MA4	MA9, MA7	MA8, MA6	MA1
Wareneingang	MA2, MA0	MA8, MA6	MA2, MA0	MA8, MA6
Stapler	MA9, MA1	MA5, MA3	MA7, MA4	MA9, MA5

Abbildung 5-8: Screenshot „Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot“

### Registerkarte „Ansicht > Optimierung > Rotationsplan Slot-Mitarbeiter“

Die Registerkarte „Rotationsplan Slot-Mitarbeiter“ des Menüpunkts „Ansicht > Optimierung“ stellt eine Ansicht des Rotationsplans dar, die den einzelnen Mitarbeiter

fokussiert. Sie enthält auch die Arbeitsplatzwechselbewertungen zu jedem Mitarbeiter und Wechsel.

Eingabe		Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot				Rotationsplan Slot-Mitarbeiter				Belastungsdetails je Mitarbeiter																	
Slot	MA9 (9)	MA8 (8)	MA7 (7)	MA6 (6)	MA5 (5)	MA4 (4)	MA3 (3)	MA2 (2)	MA1 (1)	MA0 (0)																	
Slot 1	Stapler	1.5	PzW ho...	2.3	PzW ni...	2.8	PzW ho...	2.3	WzP	1.5	WzP	2.8	PzW ni...	1.6	Waren...	2.1	Stapler	1.6	Waren...	2.1							
Slot 2	WzP	2.8	Waren...	2.0	WzP	1.5	Waren...	2.0	Stapler	2.3	PzW ni...	2.2	Stapler	2.1	PzW ho...	2.1	PzW ni...	2.8	PzW ho...	2.1							
Slot 3	PzW ni...	2.2	WzP	2.0	Stapler	2.2	WzP	2.0	PzW ho...	2.3	Stapler	0.0	PzW ho...	2.8	Waren...	2.1	PzW ni...	2.0	Waren...	2.1							
Slot 4	Stapler		Waren...		PzW ni...		Waren...		Stapler	6.1			5.0		PzW ni...		PzW ho...		WzP		PzW ho...		6.2		6.4		6.2

Abbildung 5-9: Screenshot „Rotationsplan Slot-Mitarbeiter“

### Registerkarte „Ansicht > Optimierung > Belastungsdetails je Mitarbeiter“

In der Registerkarte „Belastungsdetails je Mitarbeiter“ des Menüpunkts „Ansicht > Optimierung“ kann vom Nutzer ein Mitarbeiter über eine Dropdown-Liste ausgewählt werden. Für diesen Mitarbeiter werden in der darunter befindlichen Tabelle die Risikowerte je Körperregion im zeitlichen Verlauf dargestellt.

Eingabe		Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot				Rotationsplan Slot-Mitarbeiter				Belastungsdetails je Mitarbeiter			
MA9 (9)		Muskel-Skelett...	Wirbelsäule	Nacken	Schultern	Arme	Hände	Beine					
Slot 1 (Stapler)		1.5	0.0	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0					
Slot 2 (WzP)		1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5					
Slot 3 (PzW niedri...)		1.4	1.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.0					
Slot 4 (Stapler)		1.5	0.0	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0					

Abbildung 5-10: Screenshot „Belastungsdetails je Mitarbeiter“

## 5.3 Datenbankschema

Das für das Programm eingesetzte Datenbankschema zeigt Abbildung 5-11. In ErgoRot wurden Daten entweder manuell eingegeben oder im Fall von Testdaten automatisch generiert. Beim Einsatz im Unternehmen empfiehlt sich der Import von Daten zum Beispiel aus der Mitarbeiteranwesenheitsplanung.

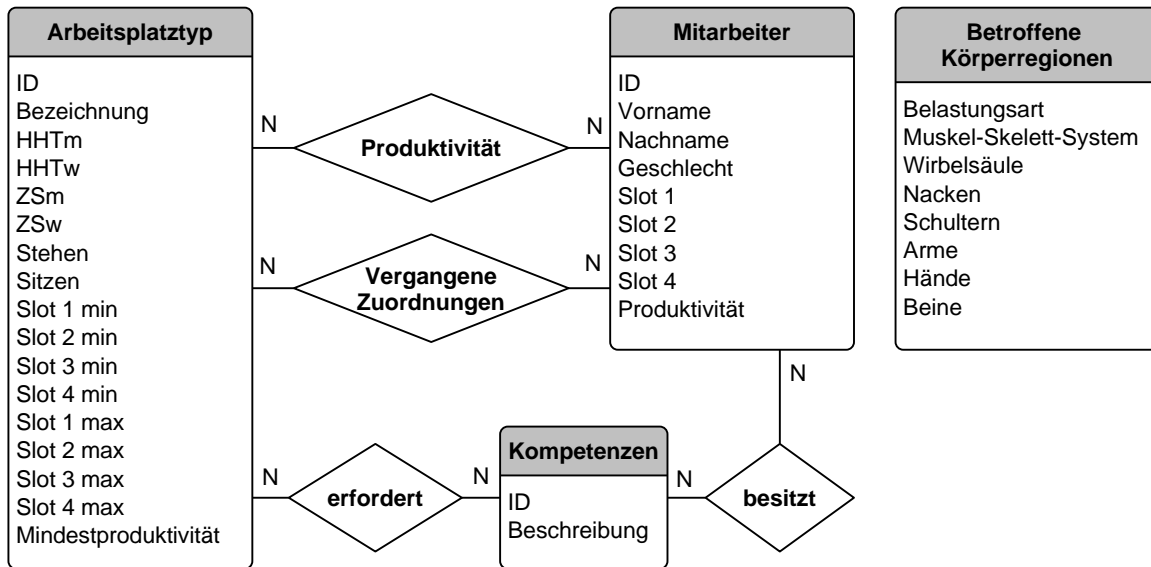


Abbildung 5-11: Datenbankschema



## 6 Anwendung

---

Zur Bewertung des Vorgehens zur Rotationsplanerstellung wird in diesem Kapitel geprüft, ob das Vorgehen in der Praxis einsetzbar ist (Abschnitt 6.1). In Abschnitt 6.2 werden beispielhaft für fünf von den auftretenden Belastungsarten her sehr unterschiedliche Arbeitsplatztypen die Arbeitsplatzwechselbewertungen ermittelt. Abschnitt 6.3 zeigt, ob die erstellten Rotationspläne zur angestrebten Entlastung einer Körperregion im Anschluss an eine erhöhte Belastung führen. In Abschnitt 6.4 wird untersucht, wie hoch die Laufzeit in Abhängigkeit von den verwendeten Daten ist.

### 6.1 Einsetzbarkeit in der Praxis

Um das Rechnerwerkzeug in der Praxis zu testen, wurde es bei einem Projektpartner angewendet. Dafür wurden zuvor dessen Änderungswünsche für das Optimierungsproblem identifiziert und das Rechnerwerkzeug entsprechend angepasst.

#### 6.1.1 Beschreibung und Erweiterung des Optimierungsproblems

Relevante Aspekte für das in Abschnitt 4.3.6 vorgestellte Optimierungsproblem werden im Folgenden beschrieben. Zudem wird das Optimierungsproblem für den betrachteten Anwendungsfall weiter spezifiziert.

Das vorgestellte Optimierungsproblem deckt sich mit den Anforderungen im Anwendungstest. Die Mitarbeiter sollen belastungsoptimiert die Arbeitsplatztypen wechseln. Dabei soll jeder in einem Rotationsintervall verfügbare Mitarbeiter genau einem Arbeitsplatztyp zugeordnet werden. Der Mindest- und Maximalpersonalbedarf soll in jedem Rotationsintervall nicht unter- bzw. überschritten werden.

Im betrachteten Anwendungsfall wurden weitere Forderungen an den Rotationsplan gestellt. Jeder Mitarbeiter soll jedem Arbeitsplatztyp zuordenbar sein. Ausgehend von der letzten Zuweisung zu einem zuordenbaren Arbeitsplatztyp soll ein Mitarbeiter diesem nach spätestens fünf Schichten erneut zugeordnet werden. Alle Arbeitsplätze eines Arbeitsplatztyps sind räumlich sehr nahe beieinander. Es soll bei bestimmten Qualifikationen darauf geachtet werden, dass stets mindestens ein Mitarbeiter dieser Arbeitsplatztypgruppe eine für den Arbeitsplatztyp notwendige Qualifikation erfüllt und den anderen Mitarbeitern bei Bedarf helfen kann.

Das Optimierungsproblem muss erweitert werden, um die spezifischen Forderungen für diesen Anwendungsfall zu integrieren. Die Änderungen werden ebenso im Rechnerwerkzeug ErgoRot vorgenommen.

Die zusätzlich zu erfassenden Daten zeigt Tabelle 6-1. Um diese zu erhalten, sind in ErgoRot zusätzliche Eingaben des Nutzers erforderlich.

Tabelle 6-1: Benötigte Daten für die Erweiterung des Optimierungsproblems

Daten	Beschreibung
$y_{i,j,t}$	Zuordnung von Mitarbeiter $MA_i$ zu Arbeitsplatztyp $APT_j$ in Schicht $S_t$ mit $i \in I, j \in J$ und $t \in \{-1, \dots, -5\}$ $y_{i,j,t} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ in } S_t \text{ } APT_j \text{ zugeordnet war} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$
$q$	Index für Qualifikation $QU_q$ mit $q \in Q$ und $Q := \{1, \dots, q_{max}\}$
$mq_{i,q}$	Erfüllung der Qualifikation $QU_q$ von Mitarbeiter $MA_i$ mit $q \in Q$ und $i \in I$ $mq_{i,q} = \begin{cases} 1 & \text{falls } MA_i \text{ } QU_q \text{ erfüllt} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$
$aq_{j,q}$	Notwendigkeit der Qualifikation $QU_q$ für Arbeitsplatztyp $APT_j$ mit $q \in Q$ und $j \in J$ $aq_{j,q} = \begin{cases} 1 & \text{falls für } APT_j \text{ } QU_q \text{ benötigt wird} \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$

Das in Abschnitt 4.3.6 vorgestellte Optimierungsproblem wird um folgende Restriktionen erweitert:

$$\sum_{t=-1}^{-5} y_{i,j,t} + \sum_{t=1}^{t_{max}} x_{i,j,t} \geq z_{i,j} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (6-1)$$

$$\sum_{i=1}^{i_{max}} x_{i,j,t} \cdot mq_{i,q} \geq aq_{j,q} \quad \forall j \in J, \forall t \in T, \forall q \in Q \quad (6-2)$$

Restriktion 6-1 stellt sicher, dass jeder Mitarbeiter jedem Arbeitsplatztyp, dem er zuordenbar ist, spätestens nach fünf Schichten erneut zugeordnet wird. Restriktion 6-2 sorgt dafür, dass wenn eine Qualifikation für einen Arbeitsplatztyp erforderlich ist, in jedem Rotationsintervall mindestens einer der diesem Arbeitsplatztyp zugeordneten Mitarbeiter über diese verfügt.

### 6.1.2 Datenerfassung

Es wurden vier Rotationsintervalle pro Schicht festgelegt:

$$t_{max} := 4 \quad (6-3)$$

An der Rotation sollen drei unterschiedliche Arbeitsplatztypen beteiligt werden:

$$j_{max} := 3 \quad (6-4)$$

Die ermittelten Risikowerte des Arbeitsplatztyps  $APT_j$  für Belastungsart  $BA_b$  sind die Einträge  $rb_{1,j,b}$  und  $rb_{2,j,b}$  der Matrizen  $RB_1$  bzw.  $RB_2$ :

$$RB_1 := \begin{pmatrix} 11,5 & 2,8 & 0,4 & 0,4 \\ 6,9 & 9,4 & 0,1 & 0 \\ 6,8 & 6,4 & 0,1 & 0,1 \end{pmatrix} \quad (6-5)$$

$$RB_2 := \begin{pmatrix} 14,9 & 3,0 & 0,4 & 0,4 \\ 7,4 & 9,6 & 0,1 & 0 \\ 8,4 & 6,9 & 0,1 & 0,1 \end{pmatrix} \quad (6-6)$$

Die Produktivität der Mitarbeiter soll für die Erstellung eines Rotationsplans nicht verwendet werden, daher wird in diesem Anwendungsfall die erforderliche Mindestproduktivität  $\underline{p}_j$  eines Mitarbeiters am Arbeitsplatztyp  $APT_j$  für alle Arbeitsplatztypen, das heißt  $j = 1, \dots, 3$ , auf den Wert eins gesetzt:

$$\underline{p} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6-7)$$

Der Mindestbedarf  $\underline{d}_{j,t}$  an Personal für Arbeitsplatztyp  $APT_j$  in der zu planenden Schicht in Rotationsintervall  $RI_t$  ist:

$$\underline{D} := \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix} \quad (6-8)$$

Der Maximalbedarf  $\overline{d}_{j,t}$  an Personal für Arbeitsplatztyp  $APT_j$  in der zu planenden Schicht in Rotationsintervall  $RI_t$  ist:

$$\overline{D} := \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix} \quad (6-9)$$

Die Anzahl an rotierenden Mitarbeitern beträgt acht:

$$i_{max} := 8 \quad (6-10)$$

Das Geschlecht  $g_i$  des Mitarbeiters  $APT_i$  sind die Einträge des folgenden Vektors:

$$g := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \quad (6-11)$$

Die Produktivität  $p_{i,j}$  eines Mitarbeiters  $MA_i$  an Arbeitsplatztyp  $APT_j$  wird in diesem Anwendungsfall stets eins gesetzt, da jeder Mitarbeiter jedem Arbeitsplatztyp zugeordnet werden darf:

$$P := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6-12)$$

Jeder Mitarbeiter  $MA_i$  ist in der zu planenden Schicht in jedem Rotationsintervall  $RI_t$  verfügbar, weshalb sich für die Variablen  $v_{i,t}$  ergibt:

$$V := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6-13)$$

Jeder Mitarbeiter wurde in jeder der vergangenen fünf Schichten jedem Arbeitsplatztyp zugeordnet, daher ist  $y_{i,j,t}$  stets eins für alle  $i = 1, \dots, i_{max}$ ,  $j = 1, \dots, j_{max}$  und  $t = -1, \dots, -5$ .

Es gibt drei unterschiedliche Qualifikationen, die für die Arbeitsplätze benötigt werden. Ob Mitarbeiter  $MA_i$  über Qualifikation  $QU_q$  verfügt, zeigen die Einträge  $mq_{i,q}$ :

$$MQ := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6-14)$$

In der Gruppe der einem Arbeitsplatztyp  $APT_j$  gleichzeitig zugeordneten Mitarbeiter sollte für jede Qualifikation  $QU_q$  mindestens ein Mitarbeiter sein, der über diese verfügt. Daher ist der Wert der Variablen  $aq_{j,q}$  stets gleich eins:

$$AQ := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6-15)$$

### 6.1.3 Fazit

Die exemplarische Anwendung bei einem Projektpartner hat gezeigt, dass nach einer Anpassung an die spezifische Problemstellung das Rechnerwerkzeug in der Praxis einsetzbar ist.

## 6.2 Beispielhaftes Bewerten von Arbeitsplatzwechseln

Die Arbeitsplatzwechselbewertung gibt an, wie gut oder schlecht ein Arbeitsplatzwechsel ist. Im Folgenden wird diese für fünf mögliche Logistikarbeitsplätze ermittelt, um zu zeigen, welche Wechsel gut und welche weniger gut sind. Die zugehörige Logik wurde in Abschnitt 4.3.5 vorgestellt. Die Betrachtung findet nur für ein Geschlecht statt.

Die betrachteten Logistikarbeitsplätze sind Person-zur-Ware-Kommissionieren hohe Gewichte (hG), Person-zur-Ware-Kommissionieren niedrige Gewichte (nG), Ware-zur-Person-Kommissionieren, Wareneingang und Staplerfahren. Das Person-zur-Ware-Kommissionieren erfolgt in beiden Fällen mit einem Handwagen und ohne Manipulator, daher entsteht eine Belastung durch Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben. Beim Ware-zur-Person-Kommissionieren werden nur Lasten unter drei Kilogramm gehandhabt, weshalb keine Belastung durch Heben, Halten, Tragen auftritt. Beim Wareneingang entlädt der Mitarbeiter Waren aus einem Lastkraftwagen mit einem elektrisch angetriebenen Niederhubfahrzeug, welches eine Standplattform für den Fahrer besitzt. Außerdem bucht er die Eingänge sitzend am Rechner. Die Risikowerte der Arbeitsplatztypen sind in Tabelle 6-2 dargestellt.

Tabelle 6-2: Risikowerte

Arbeitsplatztyp	Risikowert durch Belastungsart			
	HHT	ZS	Stehen	Sitzen
Person-zur-Ware-Kommissionieren hG	62,5	10	0	0
Person-zur-Ware-Kommissionieren nG	25	10	0	0
Ware-zur-Person-Kommissionieren	0	0	0,9	0
Wareneingang	0	0	0,4	0,45
Staplerfahren	0	0	0	0,95

Die sich daraus ergebenden normierten Risikowerte zeigt Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Normierte Risikowerte

Arbeitsplatztyp	Normierter Risikowert durch Belastungsart			
	HHT	ZS	Stehen	Sitzen
Person-zur-Ware-Kommissionieren hG	2,5	0,4	0	0
Person-zur-Ware-Kommissionieren nG	1	0,4	0	0
Ware-zur-Person-Kommissionieren	0	0	1,5	0
Wareneingang	0	0	0,5	0,5
Staplerfahren	0	0	0	1,5

Aus den normierten Risikowerten und der Betroffenheit je Körperregion ergibt sich der Risikowert je Körperregion (siehe Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Risikowerte je Körperregion

Arbeitsplatztyp	Risikowert je Körperregion						
	gesamt	Wirbels.	Nacken	Schulter	Arme	Hände	Beine
Person-zur-Ware-Kommissionieren hG	2,9	2,9	0	0,4	0,4	0,4	0
Person-zur-Ware-Kommissionieren nG	1,4	1,4	0	0,4	0,4	0,4	0
Ware-zur-Person-Kommissionieren	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5
Wareneingang	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5
Staplerfahren	1,5	0	1,5	1,5	1,5	0	0

Aus den Risikowerten je Körperregion ergeben sich die Arbeitsplatzwechselbewertungen. Die Arbeitsplatzwechselbewertungen geben Aufschluss über die Güte eines Arbeitsplatzwechsels. Die kritischsten Wechsel sind in der Tabelle rot hinterlegt.

Tabelle 6-5: Arbeitsplatzwechselbewertungen

Arbeitsplatztyp	Arbeitsplatztyp				
	PzW-K. hG	PzW-K. nG	WzP-Komm.	Wareneingang	Staplerfahren
Person-zur-Ware-Kommissionieren hG	7,0	4,0	3,0	2,3	2,3
Person-zur-Ware-Kommissionieren nG	4,0	4,0	2,8	2,3	2,2
Ware-zur-Person-Kommissionieren	3,0	2,8	4,5	2,0	1,5
Wareneingang	2,3	2,3	2,0	3,5	2,5
Staplerfahren	2,3	2,2	1,5	2,5	6,0

### 6.3 Analyse erstellter Rotationspläne hinsichtlich der ergonomischen Zielstellung

In Abschnitt 4.1 wurde die zentrale Anforderung an das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung vorgestellt: Die erstellten Rotationspläne sollen hinsichtlich der Ergonomie optimiert sein. Dafür wurde der Körper in Körperregionen unterteilt und von einem ergonomisch guten Rotationsplan gefordert, dass bei erhöhten Anforderungen an eine Körperregion im aktuellen Rotationsintervall, diese im nächsten Rotationsintervall erholen soll. Um zu prüfen, wie gut die erstellten Rotationspläne diesem Anspruch genügen, wird für einen Beispielanwendungsfall die Belastungssituation bei Anwendung eines optimalen Rotationsplans mit der ohne Rotation verglichen.

Die gestellte Anforderung an einen Rotationsplan lässt sich mathematisch formuliert wie folgt ausdrücken: Nach einem erhöhten Risikowert einer Körperregion im Intervall  $t$  soll der Risikowert dieser Körperregion im Intervall  $t+1$  niedrig sein. Um unterschiedliche Rotationspläne hinsichtlich dieser Anforderung zu vergleichen, wurde für jeden Mitarbeiter, jede Körperregion und jeden Wechsel das 2-tupel der Risikowerte je Körperregion erfasst. Die Anzahl der Tupel ergibt sich aus dem Produkt der Anzahl Mitarbeiter, der Anzahl Körperregionen und der Anzahl Wechsel. Die Anzahl der Wechsel ist wiederum um eins kleiner als die Anzahl der Rotationsintervalle.

In Abbildung 6-1 sind die 2-tupel der Belastungssituation ohne Rotation als Punkte in einem Diagramm dargestellt. Die Größe eines Punktes spiegelt die Anzahl identischer 2-tupel wider. Ohne Rotation findet keine Veränderung des Risikowerts einer Körperregion statt, wodurch alle Punkte auf der ersten Winkelhalbierenden liegen.

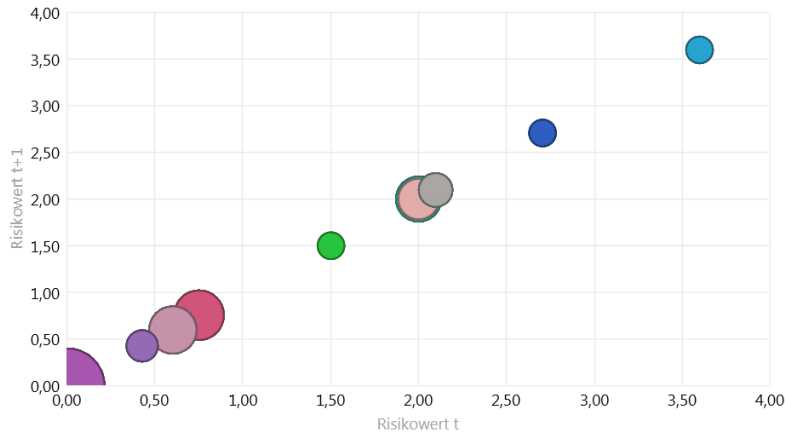


Abbildung 6-1: Veränderung des Risikowerts ohne Rotation

Abbildung 6-2 zeigt die 2-tupel der Belastungssituation bei bestmöglicher Rotation. Das Diagramm zeigt, dass nach einem hohen Risikowert einer Körperregion im Intervall t ein niedriger Risikowert dieser Körperregion im Intervall t+1 angestrebt wurde. Folglich befinden sich im rechten oberen Bereich des Diagramms keine Punkte. Die zentrale Anforderung an das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung wurde somit erfüllt.

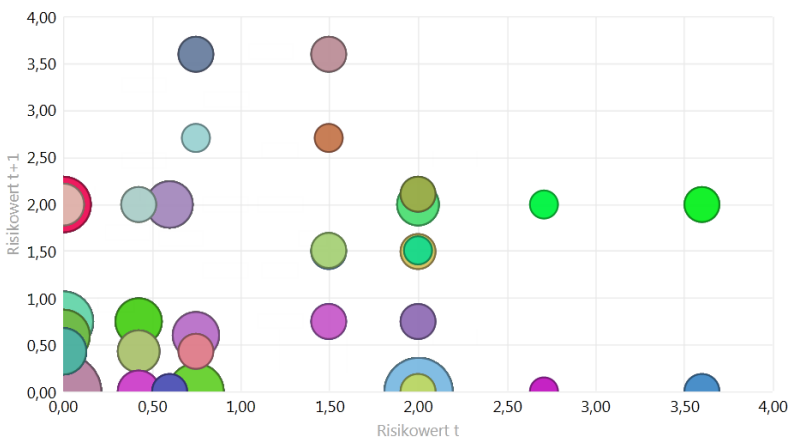


Abbildung 6-2: Veränderung des Risikowerts bei bestmöglicher Rotation

## 6.4 Laufzeitanalyse des Rechnerwerkzeugs

Die Laufzeit bis zum Finden der gesuchten Lösung ist eine wesentliche Größe für den Einsatz in Unternehmen. Ist zum Beispiel ein Mitarbeiter krank, sollte schnell ein neuer Rotationsplan generiert werden können. Die Laufzeit setzt sich zusammen aus der benötigten Zeit für das Java-Programm und der von Gurobi benötigten Zeit für die Lösung des Optimierungsproblems. Die für das Java-Programm benötigte Zeit ist vernachlässigbar, daher wird im Folgenden nur auf die Gurobi-Laufzeit eingegangen. Um diese zu erfassen, wird die Ausgabe „Runtime“ von Gurobi verwendet.



Die verwendeten Testdaten für die Laufzeitanalyse wurden automatisch mit ErgoRot generiert. Eingaben zur Erstellung der Testdaten waren die Anzahl an Arbeitsplatztypen, die Anzahl an Mitarbeitern sowie die Anzahl an zuordenbaren Arbeitsplatztypen je Mitarbeiter. Die Anzahl an Entscheidungsvariablen ist der Haupteinflussfaktor auf die Laufzeit. Diese ergibt sich aus der Anzahl an Mitarbeitern, der Anzahl an Arbeitsplatztypen und der Anzahl an Rotationsintervallen. Erhöht sich eine dieser Größen, erhöht sich die Anzahl an Entscheidungsvariablen, daher wurden die Anzahl an Arbeitsplatztypen und die Anzahl an Mitarbeitern als Eingabe verwendet. Die Anzahl an Rotationsintervallen beeinflusst ebenso die Anzahl an Entscheidungsvariablen, sie kann aber in ErgoRot nicht verändert werden. Je Arbeitsplatztyp wurden die Risikowerte zweier Belastungsarten null gesetzt und die Risikowerte der anderen beiden Belastungsarten zufällig generiert. Für das Heben, Halten, Tragen bei Frauen und das Ziehen, Schieben bei Frauen wurde dazu eine Zufallszahl zwischen 0 und 62,5 generiert. Der zugehörige Risikowert für Männer wurde durch Multiplikation des Risikowerts für Frauen mit 0,712 festgesetzt. Für das Stehen und das Sitzen wurde eine Zufallszahl zwischen 0 und 100 erzeugt. Die zuordenbaren Arbeitsplatztypen je Mitarbeiter wurden zufällig ausgewählt. Es wurde davon ausgegangen, dass jeder Mitarbeiter in jedem Rotationsintervall verfügbar ist. Der Mindestpersonalbedarf jedes Arbeitsplatztyps wurde auf Basis der Anzahl Mitarbeiter und der Anzahl Arbeitsplatztypen bestimmt:

$$\underline{d}_{j,t} = \left\lceil 0,9 \cdot \frac{i_{max}}{j_{max}} \right\rceil \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (6-16)$$

wobei  $i_{max}$  die Anzahl an betrachteten Mitarbeitern und  $j_{max}$  die Anzahl an betrachteten Arbeitsplatztypen ist. Der Maximalpersonalbedarf wurde wie folgt festgelegt:

$$\bar{d}_{j,t} = \left\lceil 1,1 \cdot \frac{i_{max}}{j_{max}} \right\rceil \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (6-17)$$

Für jede betrachtete Kombination aus Anzahl an Arbeitsplatztypen, Anzahl an Mitarbeitern und Anzahl an zuordenbaren Arbeitsplatztypen je Mitarbeiter wurden 10 Testfälle erstellt. Je Testfall wurde eine Optimierung durchgeführt und dabei die von Gurobi ausgegebene Runtime erfasst. Der verwendete Rechner für die Ausführung der Optimierung besitzt einen 2,8 GHz-Prozessor und 8 GB installierten Arbeitsspeicher. Die betrachteten Kombinationen zeigt Tabelle 6-6. Da die Anzahl an Mitarbeitern in der Praxis mindestens so groß ist wie die Anzahl an Arbeitsplatztypen, wurde dieser Zusammenhang bei den untersuchten Kombinationen beachtet. Testdaten wurden zum einen für zwei zuordenbare Arbeitsplatztypen je Mitarbeiter und zum anderen für die Zuordenbarkeit jedes Mitarbeiters zu jedem Arbeitsplatztyp generiert. Dabei wurde bei beiden Varianten die Anzahl an Arbeitsplatztypen und Mitarbeitern systematisch erhöht.

In den Testläufen zeigte sich, dass jeweils ab einer Kombination von 4 Arbeitsplatztypen und 16 Mitarbeitern Gurobi über eine Stunde zur Lösung des Problems benötigt. Die Lösungssuche wurde daher abgebrochen. Für jeden zuvor generierten Testfall wurde das Problem gelöst, indem eine optimale Lösung (Gurobi Optimization Status Code = 2) von Gurobi gefunden wurde. Die sich ergebenden Laufzeiten zeigen bei beiden Varianten einen starken Anstieg der durchschnittlichen Laufzeit ab einer Problemgröße von 4 Arbeitsplatztypen und 8 Mitarbeitern.

Tabelle 6-6: Ergebnisse der Laufzeitanalyse

Betrachtete Kombinationen			Laufzeit Gurobi je Testfall in s <sup>4</sup>										Ø Laufzeit Gurobi <sup>5</sup>
#zAPT <sup>1</sup>	#APT <sup>2</sup>	#MA <sup>3</sup>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	2	4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0 min 0 s
2	2	8	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,1	0 min 0 s
2	2	16	0,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4	0,1	0 min 0 s
2	2	32	1,2	1,3	1,0	1,4	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	0,2	0 min 1 s
2	2	64	3,2	4,0	0,7	4,1	4,2	0,6	2,0	3,4	2,0	0,7	0 min 2 s
2	4	4	8,3	4,9	11,9	2,0	2,7	7,5	5,1	8,1	4,9	14,5	0 min 7 s
2	4	8	67,3	460,3	51,9	1425,2	51,8	1707,2	28120,2	66,8	201,3	304,1	54 min 6 s
alle	2	4	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0 min 0 s
alle	2	8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0 min 0 s
alle	2	16	0,1	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	0,2	0,4	0 min 0 s
alle	2	32	1,1	1,7	1,4	0,2	0,9	1,4	0,2	0,9	1,0	0,6	0 min 1 s
alle	2	64	2,4	0,5	2,5	0,5	0,7	0,5	0,7	2,7	1,8	0,3	0 min 2 s
alle	4	4	1,8	2,9	6,5	4,8	6,5	2,9	5,7	9,4	2,9	9,6	0 min 5 s
alle	4	8	38,8	2517,7	41,9	11,8	28,9	44,2	203,8	56,4	2674,5	109,8	9 min 33 s

1 Anzahl an zuordenbaren Arbeitsplatztypen je Mitarbeiter  
2 Anzahl an Arbeitsplatztypen  
3 Anzahl an Mitarbeitern  
4 gerundet auf 0,1 Sekunden  
5 gerundet auf Sekunden

Die hohe Laufzeit zur Lösung des Problems wird von der mathematischen Formulierung verursacht: Sowohl das Vorhandensein quadratischer Restriktionen als auch die Einschränkung auf größtenteils binäre Entscheidungsvariablen führt zu einem deutlichen Anstieg der Laufzeit. Bei kritischen Problemgrößen kann das Finden einer optimalen Lösung daher zu viel Zeit beanspruchen. In diesem Fall sollte die Lösungssuche vorzeitig beendet werden und die bis dahin beste gefundene Lösung wird als Rotationsplan verwendet werden. Ein automatisiertes vorzeitiges Beenden kann zum Beispiel nach einer maximalen Dauer der Lösungssuche oder nach einer maximalen Dauer der Lösungssuche ohne eine Verbesserung des Zielfunktionswertes durchgeführt werden.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

---

In diesem Kapitel werden zu Beginn die Ergebnisse des Forschungsprojekts zusammengefasst (Abschnitt 7.1) sowie ein Ausblick gegeben (Abschnitt 7.2). Im Anschluss wird der Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten (Abschnitt 7.3) erläutert.

### 7.1 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojekts „Ergo-Jobrotation“ war es, eine ergonomische Jobrotation für Beschäftigte in der operativen Intralogistik zu ermöglichen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde im Forschungsprojekt ein Vorgehen zur Erstellung von belastungsoptimierten Rotationsplänen entwickelt. Durch eine ergonomische Zuordnung mittels eines Rotationsplans wird das Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen reduziert.

Zu Beginn wurden hierfür 30 Experten aus diversen Unternehmen zu Rahmenbedingungen, die in der Intralogistik anzutreffen sind, sowie zum aktuellen Vorgehen bei Jobrotation oder Vorstellungen von Jobrotation in telefonischen, standardisierten Interviews befragt. Die Gespräche zeigten unter anderem, dass Arbeitsplatztypen in der Intralogistik vielfältig sind. Um zu identifizieren, welche Belastungsarten bei einem Arbeitsplatztyp zu einer erhöhten Belastung führen, ist daher eine genaue Kenntnis der Arbeitsinhalte und des Arbeitsablaufs erforderlich. Relevante Belastungsarten an Logistikarbeitsplätzen sind insbesondere manuelle Lastenhandlungen in Form von Heben; Tragen; Ziehen, Schieben, sowie erzwungene Körperhaltungen in Form von dauerhaftem Stehen und erzwungenem Sitzen.

In nächsten Schritt wurde das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung entwickelt. Dazu wurden zuerst Anforderungen an das Vorgehen definiert. Diese wurden zum Teil aus den Ergebnissen der Expertenbefragungen abgeleitet. Anschließend wurden die Verfahren EAWS und OWAS zur Beurteilung der körperlichen Belastung ausgewählt. Das EAWS dient zur Bewertung von Heben, Halten, Tragen und Ziehen, Schieben. Das OWAS wird für die Beurteilung des Stehens und des Sitzens eingesetzt. Das Optimierungsproblem für die Suche nach einem Rotationsplan wurde daraufhin entwickelt. Wesentliche Aspekte der Modellbildung sind zum einen die Ableitung des Risikowerts einer Körperregion aus den Ergebnissen der Belastungsbeurteilung mit EAWS und OWAS und zum anderen die Formulierung des Optimierungsproblems. Für dessen Lösung wurde Gurobi, eine kommerzielle Standardsoftware zur

Optimierung, eingesetzt. Da Gurobi nur bestimmte Arten von Optimierungsproblemen lösen kann, wurde die mathematische Formulierung geringfügig angepasst, ohne dabei das gestellte Problem zu verändern.

Das Vorgehen zur Rotationsplanerstellung wurde daraufhin in dem Rechnerwerkzeug ErgoRot als Demonstrator umgesetzt. Das Programm ermöglicht unter anderem die Eingabe von Arbeitsplatztyp- und Mitarbeiterdaten; generiert aus den Eingaben standardisierte Datenstrukturen, die automatisch an Gurobi übergeben werden; empfängt von Gurobi eine optimale Lösung (oder den Grund, warum diese nicht verfügbar ist) und zeigt dem Nutzer den gefundenen bestmöglichen Rotationsplan (oder den Grund für das Nichtfinden) an inklusive Informationen zur der resultierenden Belastung der Mitarbeiter.

Das Vorgehen und das Rechnerwerkzeug wurden für ein Beispiel aus der Praxis angewendet. Hierfür wurde das Optimierungsproblem erweitert und folglich das Rechnerwerkzeug entsprechend angepasst. Die Anwendung zeigte die Eignung des Vorgehens für die Praxis. Zudem wurden diverse Analysen durchgeführt. Die Analyse der Arbeitsplatzwechselbewertungen zeigt beispielhaft, welche Wechsel ungünstig sind. Die Analyse der erstellten Rotationspläne hinsichtlich der Zielstellung zeigt, dass mittels des Vorgehens die gewünschte ergonomische Zielstellung bei der Mitarbeiterarbeitsplatzzuordnung erreicht wird. Die Laufzeitanalyse hat gezeigt, dass die Laufzeit bei kleinen Problemgrößen schon sehr hoch ist. Ein vorzeitiges Beenden der Optimierung und das Verwenden des bis dahin besten gefundenen Rotationsplans bietet sich an, wenn eine Lösung schnell benötigt wird.

## **7.2 Ausblick**

Die Ergebnisse des Projekts haben gezeigt, dass eine automatisierte belastungsoptimierte Rotationsplanerstellung für Mitarbeiter in der operativen Intralogistik möglich ist und zur Verbesserung der Belastungssituation in Unternehmen genutzt werden kann. Bei einem Einsatz des Vorgehens in einem Unternehmen ist stets zu erfassen, welche Bedingungen das Unternehmen an einen Rotationsplan stellt und das in dieser Arbeit vorgestellte Optimierungsproblem entsprechend zu erweitern.

Für zukünftige Forschung wird empfohlen, die Veränderung der Beanspruchung je Körperregion in Abhängigkeit von Arbeitsaufgaben oder in Abhängigkeit von auftretenden Belastungsarten zu analysieren und mathematisch zu modellieren. Dabei gilt es insbesondere auch die Höhe der Belastung zu berücksichtigen. Die in diesem Projekt durchgeführte Recherche hat ergeben, dass hier ein hohes Maß an Forschungsbedarf besteht.

Es gilt zudem genauer zu analysieren, wie eine veränderte Beanspruchung einer Körperregion aus ergonomischer Sicht bewertet werden soll und ob dabei Wechselwirkungen zu anderen Körperregionen beachtet werden sollten.

### **7.3 Nutzen für industrielle Anwendungsmöglichkeiten**

Die Anwendung des vorgestellten Vorgehens erfordert eine Erfassung der benötigten Daten, den Erwerb einer Optimierungssoftware sowie die Anpassung des entwickelten Rechnerwerkzeugs an die betrieblichen Anforderungen. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) verfügen häufig nicht über das Ergonomiewissen zur Erstellung von guten Arbeitsplatzwechseln, insbesondere wenn unterschiedliche Belastungsarten an den Arbeitsplätzen auftreten. Das entwickelte Vorgehen ermöglicht auch für KMU eine aufwandsarme Identifikation guter Arbeitsplatzwechsel und eine automatisierte Erstellung von ergonomischen Rotationsplänen.

Die Nutzung der im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse ist in zahlreichen Bereichen möglich: Alle Unternehmen, in denen Intralogistikarbeitsplätze vorkommen, profitieren von den Ergebnissen. Da Intralogistikarbeitsplätze in nahezu allen Wirtschaftszweigen eingesetzt werden, können die Ergebnisse entsprechend branchenübergreifend genutzt werden. Das große Interesse von Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen am Forschungsprojekt zeigt die hohe Relevanz des Themas und lässt eine industrielle Anwendung erwarten.

Immer noch gibt es in vielen Unternehmen Arbeitsplätze, die für die Gesundheit der Mitarbeiter eine Gefahr darstellen. Jobrotation ist eine kostengünstige Maßnahme, durch die die auftretende Belastung auf alle durchführenden Personen verteilt wird.

Der im Forschungsprojekt entwickelte Demonstrator steht nach Abschluss des Projekts allen Interessenten aus Lehre, Wissenschaft sowie Wirtschaft diskriminierungsfrei zur Verfügung, so dass er als Basis für eine praxistaugliche Anwendung genutzt werden kann.



## Literaturverzeichnis

---

- [Ach-2015] Achterberg, Tobias: Schriftverkehr mit Herrn Dr. Tobias Achterberg, Senior Software Developer bei Gurobi Optimization. Experten-gespräch am 24.11.2015 und 02.12.2015.
- [Ase-2012] Asensio-Cuesta, S.; Diego-Mas, J. A.; Cremades-Oliver, L.; González-Cruz, M.: A method to design job rotation schedules to prevent work-related musculoskeletal disorders in repetitive work. In: International Journal of Production Research, Jg. 50 (2012) Nr. 24, S. 7467–7478.
- [Bar-2015] Barz, Manfred: Telefonat mit Herrn Barz, Therapeutischer Leiter des Gesundheitszentrums Federsee. Expertengespräch am 30.03.2015.
- [Ber-2009] Berger, H.; Caffier, G.; Schultz, K.; Trippler, D.: Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit, 2009.
- [Bor-2006] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation – Für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer, Heidelberg, 2006.
- [Bun-2014a] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Factsheet 05: Demografischer Wandel in der Arbeit - Körperlich schwere Arbeit belastet Ältere stärker, 2014.
- [Bun-2014b] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2013 – Unfallverhütungsbericht Arbeit, 2014.
- [Bun-2015] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2014 – Unfallverhütungsbericht Arbeit, 2015.
- [Cos-2009] Costa, A. M.; Miralles, C.: Job rotation in assembly lines employing disabled workers. In: International Journal of Production Economics, Jg. 120 (2009) Nr. 2, S. 625–632.
- [Deu-2009] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 46 „Belastungen des Muskel- und Skelettsystems einschließlich Vibrationen“ (BGI/GUV-I 504-46), 2009.

- [DIN EN 1005-2] Deutsches Institut für Normung e. V.: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 2: Manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen. DIN EN Nr. 1005-2, 2009.
- [DIN EN 1005-3] Deutsches Institut für Normung e. V.: Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung. DIN EN Nr. 1005-3, 2009.
- [DIN EN 614-1] Deutsches Institut für Normung e. V.: Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze. DIN EN Nr. 614-1, 2009.
- [DIN EN ISO 6385] Deutsches Institut für Normung e. V.: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. DIN EN ISO Nr. 6385, 2004.
- [Dom-2011] Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [Erk-2015] Erkelenz, Nanette: Telefonat mit Frau Dr. Erkelenz (Diplom-Sportwissenschaftlerin), Leiterin Hochschulsport/Betriebliches Gesundheitsmanagement an der Universität Ulm. Expertengespräch am 23.03.2015.
- [Gün-2014] Günthner, W. A.; Koch, M.: Erstellung einer ergonomischen Lagerstrategie und -organisation durch ein Arbeitslast analysierendes Warehouse-Management-System (ErgoWMS). Lehrstuhl für Förder-technik Materialfluss Logistik an der Technischen Universität München, Garching b. München, 2014.
- [Gur-2015a] Gurobi: Gurobi Optimizer – Der Löser für die mathematische Programmierung auf dem neuesten Stand der Technik.  
<http://www.gurobi.com/products/gurobi-optimizer>, Aufruf am 24.11.2015.
- [Gur-2015b] Gurobi: Linear Programming (LP) - A Primer on the Basics.  
<http://www.gurobi.com/resources/getting-started/lp-basics>, Aufruf am 24.11.2015.
- [Gur-2015c] Gurobi: Mixed-Integer Programming (MIP) - A Primer on the Basics.  
<http://www.gurobi.com/resources/getting-started/mip-basics>, Aufruf am 24.11.2015.



- [Gur-2016] Gurobi: Optimization Status Codes.  
[https://www.gurobi.com/documentation/6.5/refman/optimization\\_status\\_codes.html](https://www.gurobi.com/documentation/6.5/refman/optimization_status_codes.html), Aufruf am 04.03.2016.
- [Ind-2001] Industriegewerkschaft Metall Bezirksleitung Baden-Württemberg  
Bezirk Baden-Württemberg: Lohn- und Gehaltsrahmen-Tarifvertrag I, 2001.
- [ISO 11228-1] International Organization for Standardization: Ergonomics - Manual handling - Part 1: Lifting and carrying. ISO Nr. 11228-1, 2003.
- [ISO 11228-2] International Organization for Standardization: Ergonomics - Manual handling - Part 2: Pushing and pulling. ISO Nr. 11228-2, 2007.
- [Jäg-2015] Jäger, Matthias: Schriftverkehr mit Herrn PD Dr. Jäger, Leiter der Projektgruppe Biodynamik am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der Technischen Universität Dortmund. Expertengespräch am 07.04.2015.
- [Jar-2004] Jarre, F.; Stoer, J.: Optimierung. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- [Kar-1977] Karhu, O.; Kansil, P.; Kuorinka, I.: Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. In: Applied Ergonomics, Jg. 8 (1977) Nr. 4, S. 199–201.
- [Kni-2015] Knieps, F.; Pfaff, H.: Langzeiterkrankungen – Zahlen, Daten, Fakten (BKK Gesundheitsreport 2015). MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Berlin, 2015.
- [Koc-2016] Koch, M.; Günthner, W. A.: Belastungen des Muskel-Skelett-Systems in der Logistik – Expertenbefragungen zu Arbeitsplätzen in der operativen Intralogistik. In: Industrie Management, Jg. 32 (2016) Nr. 3
- [Kru-2011] Kruse, R.: Computational Intelligence – Eine methodische Einführung in Künstliche Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen, Fuzzy-Systeme und Bayes-Netze. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2011.
- [Kug-2010] Kugler, M.; Bierwirth, M.; Schaub, K.; Sinn-Behrendt, A., et al.: Förderschwerpunkt 2007 – Belastungen des Muskel-Skelett-Systems

bei der Arbeit – integrative Präventionsansätze praktisch umsetzen, 2010.

- [Löl-2010] Löllgen, H.; Gitt, A. K.; Erdmann, E.: Ergometrie – Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Springer, Berlin, 2010.
- [May-2013] Mayer, H. O.: Interview und schriftliche Befragung – Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2013.
- [Mei-2012] Meindl, B.; Templ, M.: Analysis of commercial and free and open source solvers for linear optimization problems. Forschungsbericht. Institut für Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie, Technische Universität Wien, Wien, 2012.
- [Ott-2013] Otto, A.; Scholl, A.: Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. In: OR Spectrum, Jg. 35 (2013) Nr. 3, S. 711–733.
- [Rau-2015] Rausch, Herbert: Treffen mit Herrn Dr. Rausch, Wissenschaftler am Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München. Expertengespräch am 20.03.2015.
- [REF-1993] REFA: Grundlagen der Arbeitsgestaltung. Carl Hanser Verlag, München, 1993.
- [Sch-2005] Schmittler, D.: Ergo-Test. Ermitteln der körperlichen Belastung bei Tätigkeiten im Sitzen, 2005.
- [Sch-2007] Schaub, K.; Ghezal-Ahmadi, K.: Vom AAWS zum EAWS - Ein erweitertes Screening-Verfahren für körperliche Belastungen<sup>53</sup>. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V., Dortmund, 2007.
- [Sch-2009] Schmidt, G.: Organisation und Business Analysis – Methoden und Techniken. Schmidt, Giessen, 2009.
- [Sch-2010] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [Sch-2012] Schaub, K.; Caragnano, G.; Britzke, B.; Bruder, R.: The European Assembly Worksheet. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science (2012), S. 1–23.

- [Sta-2009] Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, 2009.
- [Ste-2008] Steinberg, U.; Caffier, G.; Liebers, F.; Behrendt, S.: Ziehen und Schieben ohne Schaden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2008.
- [Ste-2011] Steinberg, U.; Windberg, H.-J.: Heben und Tragen ohne Schaden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2011.
- [Sto-1985] Stoffert, G.: Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Jg. 39 (1985) Nr. 1, S. 31–38.
- [Suh-2013] Suhl, L.; Mellouli, T.: Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [Thü-2014] Thüsing, G.: Ergonomie im Spannungsfeld von Arbeits-, Daten- und Diskriminierungsschutz – Analyse arbeitsrechtlicher Voraussetzungen zur Erfassung individual- oder gruppenbezogener Daten als Grundlage für angepasste Arbeitsplatzgestaltung in Unternehmen am Beispiel von Körpermaßen, 2014.
- [Wat-1993] Waters, T. R.; Putz-Anderson. Vern; Garg, A.; Fine, L. J.: Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. In: Ergonomics, Jg. 36 (1993) Nr. 7, S. 749–776.



# Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1-1: Bevölkerung in Deutschland nach Alter für die Jahre 2010 und 2030 (Quelle: [Sta-2009, Variante 1-W2], graphische Darstellung: [Bun-2014a])	1
Abbildung 3-1: Anteil an Arbeitsplatztypen mit einem erhöhten Risiko für das Muskel-Skelett-System durch die jeweilige Belastungsart	12
Abbildung 3-2: Gründe für die Nichtbeteiligung von Arbeitsplätzen an der Rotation	15
Abbildung 3-3: Aufenthaltsdauer eines Mitarbeiters an einem Arbeitsplatz	16
Abbildung 3-4: Bedingungen für eine Zuordnung von einem Mitarbeiter zu einem Arbeitsplatz	17
Abbildung 4-1: Anforderungen durch Rahmenbedingungen in der Intralogistik	22
Abbildung 4-2: Anforderungen von Unternehmen an eine Jobrotation	23
Abbildung 5-1: Aufbau des Rechnerwerkzeugs ErgoRot und Kommunikation mit anderen Anwendungen	45
Abbildung 5-2: Screenshot „Arbeitsplatztypen“	48
Abbildung 5-3: Screenshot „Mitarbeiter“	49
Abbildung 5-4: Screenshot „Optimierung > Eingabe“	50
Abbildung 5-5: Screenshot „Testdaten“	51
Abbildung 5-6: Screenshot „Güte der Ergebnisse“	51
Abbildung 5-7: Screenshot „Zwischenergebnisse“	52
Abbildung 5-8: Screenshot „Rotationsplan Arbeitsplatztyp-Slot“	52
Abbildung 5-9: Screenshot „Rotationsplan Slot-Mitarbeiter“	53
Abbildung 5-10: Screenshot „Belastungsdetails je Mitarbeiter“	53
Abbildung 5-11: Datenbankschema	54
Abbildung 6-1: Veränderung des Risikowerts ohne Rotation	62
Abbildung 6-2: Veränderung des Risikowerts bei bestmöglicher Rotation	62
Abbildung A-1: Deckblatt des Fragebogens	A-1
Abbildung A-2: Seite 1 des Fragebogens	A-2
Abbildung A-3: Seite 2 des Fragebogens	A-3
Abbildung A-4: Seite 3 des Fragebogens	A-4

Abbildung A-5: Seite 4 des Fragebogens	A-5
Abbildung A-6: Seite 5 des Fragebogens	A-6
Abbildung A-7: Seite 6 des Fragebogens	A-7
Abbildung A-8: Seite 7 des Fragebogens	A-8
Abbildung A-9: Seite 8 des Fragebogens	A-9
Abbildung A-10: Seite 9 des Fragebogens	A-10
Abbildung A-11: Seite 10 des Fragebogens	A-11
Abbildung A-12: Seite 11 des Fragebogens	A-12
Abbildung A-13: Seite 12 des Fragebogens	A-13
Abbildung A-14: Seite 1 des Hinweisblatts	A-14
Abbildung A-15: Seite 2 des Hinweisblatts	A-15
Abbildung A-16: Kategoriensystem für genannte Arbeitsplatztypen	A-16

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 4-1:	Betroffene Körperregionen nach Belastungsarten	25
Tabelle 4-2:	Bewertungsverfahren gruppiert nach relevanten Belastungsarten (in Anlehnung an [Kug-2010])	26
Tabelle 4-3:	Benötigte Daten für Vorberechnungen und für das Optimierungsproblem	33
Tabelle 4-4:	Risikointervalle des EAWS (eigene Darstellung nach [Sch-2012])	34
Tabelle 4-5:	Risikointervalle des OWAS (eigene Darstellung nach [Sto-1985])	34
Tabelle 4-6:	Zuordnung jedes Risikointervalls zu einer Risikostufe	35
Tabelle 4-7:	Stützpunkte zur Bildung der Normierungsfunktion	35
Tabelle 4-8:	Beschreibung der Bezeichnungen	38
Tabelle 5-1:	Schlüsselbegriffe und Menüpunkte des Menüs	46
Tabelle 5-2:	Arbeitsplatztypdaten	48
Tabelle 5-3:	Mitarbeiterdaten	49
Tabelle 6-1:	Benötigte Daten für die Erweiterung des Optimierungsproblems	56
Tabelle 6-2:	Risikowerte	60
Tabelle 6-3:	Normierte Risikowerte	60
Tabelle 6-4:	Risikowerte je Körperregion	60
Tabelle 6-5:	Arbeitsplatzwechselbewertungen	61
Tabelle 6-6:	Ergebnisse der Laufzeitanalyse	64





# Anhang A Expertenbefragungen

## A.1 Fragebogen

			tum	fml
			↻	↕

### Erstellung von ergonomischen Rotationsplänen für Arbeitsplätze in der Intralogistik

#### Fragebogen

Bogennummer	Datum	Analyst
Unternehmen	befragte Person	Position

**Ansprechpartner**  
Dipl.-Wi.-Ing. Myriam Koch  
Tel.: +49 (0)89 289-15918  
Fax: +49 (0)89 289-15922  
E-Mail: [koch@fml.mw.tum.de](mailto:koch@fml.mw.tum.de)

fml – Lehrstuhl für  
Fördertechnik Materialfluss Logistik  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
D-85748 München  
[www.fml.mw.tum.de](http://www.fml.mw.tum.de)




Abbildung A-1: Deckblatt des Fragebogens



## Forschungsvorhaben

In Deutschland führt eine steigende Lebenserwartung sowie eine seit Jahrzehnten niedrige Geburtenziffer zu einem steigenden Anteil der älteren gegenüber den jüngeren Menschen, was für die Wirtschaft starke Veränderungen in der Arbeitskräftestruktur bedeutet.

Arbeitsunfähigkeit aufgrund von degenerativen Muskel-Skelett-Erkrankungen tritt bereits jetzt bei physisch belastenden Berufen überdurchschnittlich häufig auf und wird sich künftig durch diese demografischen Entwicklungen ausweiten, wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen getroffen werden. Eine Prävention dieser Erkrankungen gelingt nur, wenn der arbeitsbedingte Ursachenanteil verringert wird. Um die Wahrscheinlichkeit einer Überbeanspruchung der Mitarbeiter zu senken, ist das Vermeiden hoher Beanspruchungen erforderlich. Die Rotation an unterschiedlich belastenden Arbeitsplätzen erscheint hier als probates und vor allem kostengünstiges Instrument zur Belastungsreduzierung und somit Gesunderhaltung der Belegschaft.

Ziel des Forschungsprojekts „Ergo-Jobrotation“ ist die Entwicklung einer Planungsmethodik zur Bestimmung der ergonomisch optimalen Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen in der Intralogistik, um einseitige Belastungen zu vermeiden. Anforderungen an den Mitarbeiterinsatz sowie Arbeitsplatzanforderungen sollen bei dieser Planungsmethodik berücksichtigt werden.

## Ziele des Fragebogens

- Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung und der Verbreitung von Jobrotation in der Praxis schaffen
- Anforderungen von Unternehmen an eine Planungsmethodik zur belastungsorientierten Rotationsplanung erfassen
- Randbedingungen und Probleme bei der Umsetzung einer Rotationslogik in den Unternehmen ermitteln

## Ihr Nutzen als Teilnehmer

Als Dank für Ihre Teilnahme bieten wir Ihnen an, dass Sie eine Zusammenfassung der Studienergebnisse erhalten.

## Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens

- Bitte beachten Sie, dass manche Fragen nur **eine Antwortmöglichkeit** zulassen. Hier sind die Antwortmöglichkeiten mit einem Quadrat versehen.
- Fragen, bei denen **mehrere Antwortmöglichkeiten** angekreuzt werden dürfen, sind mit einem Kreis versehen.

**Die Ergebnisse aus dieser Umfrage werden anonymisiert und dienen ausschließlich Forschungszwecken.**

**Vielen Dank für Ihre Unterstützung !**

Abbildung A-2: Seite 1 des Fragebogens



## 1 Allgemeine Angaben

### 1.1. Welcher Branche gehört Ihr Unternehmen an?

- Automobilindustrie
- Maschinen- und Anlagenbau
- Handel
- Sonstige: \_\_\_\_\_

### 1.2. Auf welcher Stufe der Wertschöpfungskette befindet sich Ihr Unternehmen (aus Sicht des OEM)?

- OEM
- Lieferant
- Logistkdienstleister

### 1.3. Wie hoch war der Erlös Ihres Unternehmens<sup>1</sup> im vergangenen Jahr?

- bis 50 Mio. EUR
- > 50 Mio. EUR bis 125 Mio. EUR
- > 125 Mio. EUR bis 250 Mio. EUR
- > 250 Mio. EUR bis 500 Mio. EUR
- > 500 Mio. EUR

### 1.4. Wie viele Beschäftigte hat Ihr Unternehmen<sup>1</sup>?

- 10 bis 49
- 50 bis 249
- 250 bis 499
- 500 bis 9 999
- 10 000 bis 49 999
- 50 000 und mehr

### 1.5. In welchem Bereich sind Sie momentan tätig?

- Logistik
- Produktion
- Arbeitssicherheit
- Sonstige: \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> einschließlich verbundener Unternehmen. Ein verbundenes Unternehmen ist ein Unternehmen, das ein oder mehrere Tochterunternehmen, an denen es mit mehr als 50 % beteiligt ist, oder ein Mutterunternehmen, das mit mehr als 50 % an ihm beteiligt ist, hat. Der maßgebliche Jahresumsatz des verbundenen Unternehmens ergibt sich aus der Addition der Einzelumsätze des Unternehmens selbst sowie aller seiner Tochter- und Mutterunternehmen.



## 2 Arbeitsplätze in der Intralogistik

### 2.1. Belastung

2.1.1. Welche Arbeitsplätze gibt es in Ihrem Unternehmen in der Intralogistik?  
Beschreiben Sie jeden Arbeitsplatz mit einem Satz.

	Arbeitsplätze
1.	<i>z. B. PzW-Kommissionierung</i>
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	

2.1.2. Bei welchen Belastungsarten tritt bei den jeweiligen Arbeitsplätzen eine erhöhte Belastung auf? *siehe Hinweisblatt „Erhöhte Belastung“*

Belastungsarten	Arbeitsplatz								
<b>Manuelle Lastenhandhabung</b>									
Heben	X	2	3	4	5	6	7	8	9
Halten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tragen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ziehen, Schieben	X	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Erzwungene Körperhaltungen</b>									
Erzwungenes Sitzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dauerhaftes Stehen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rumpfbeuge	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hocken, Knien, Fersensitz, Kriechgang, Liegen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Arme über Schulterniveau	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Arbeit mit erhöhter Kraftanstrengung und/oder Kraftereinwirkung</b>									
Schwer zugängliche Arbeitsstellen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Einsatz des Hand-Arm-Systems als Werkzeug	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kraft-/Druckeinwirkung bei der Bedienung von Arbeitsmitteln	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen</b>									
Repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Abbildung A-4: Seite 3 des Fragebogens



Vibrationen									
Ganzkörper-Vibrationen									
Auslösewert überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hand-Arm-Vibrationen									
Auslösewert überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Umwelt									
Lärm									
unterer Auslösewert überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
oberer Auslösewert überschritten	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatur									
Lufttemperatur < 15 °C	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lufttemperatur > 26 °C	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Psychisch									
Informationsangebot sehr umfangreich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hoher Zeitdruck	X	2	3	4	5	6	7	8	9
Sonstige									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

2.1.3. Sind Beurteilungen der Belastung durchgeführt worden?

- ja
- nein

2.1.4. Welche Verfahren wurden zur Beurteilung verwendet?

*nur relevant, wenn Sie die vorherige Frage mit „ja“ beantwortet haben*

2.1.5. Welche der in Frage 2.1.2 genannten Belastungsarten würden Sie bei einer belastungsoptimierten Jobrotation in der Intralogistik berücksichtigen?

Abbildung A-5: Seite 4 des Fragebogens



**2.2. Arbeitsplatz- und Mitarbeiterprofile**

2.2.1. Welche Qualifikationen werden für die Arbeitsplätze benötigt?

*mehrere Antworten möglich*

- Einarbeitung in den jeweiligen Arbeitsplatz  
(Bei welchen Arbeitsplätzen? \_\_\_\_\_)
- Gabelstaplerführerschein
- Routenzugführerschein
- Sonstige: \_\_\_\_\_

2.2.2. Existieren Kategorien, in denen Einschränkungen der Mitarbeiter hinsichtlich der auszuführenden Tätigkeiten vermerkt sind?

*Bsp. für Kategorie: „nicht schwerer als 10 kg heben“*

- ja
- nein

2.2.3. In welche Kategorien gliedern sich die Einschränkungen?

*nur relevant, wenn Sie die vorherige Frage mit „ja“ beantwortet haben*

1.	7.
2.	8.
3.	9.
4.	10.
5.	11.
6.	12.

**2.3. Leistungsgewandelte Mitarbeiter**

2.3.1. Wie hoch ist der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Intralogistik?

2.3.2. Wie hoch ist der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter in anderen Bereichen?

**2.4. Koppelung zwischen Entgelt und Aufgabenbefähigung**

Erklären Sie die Kopplung zwischen Entgelt und Aufgabenbefähigung eines Mitarbeiters.

Abbildung A-6: Seite 5 des Fragebogens




		 
		
<p><b>2.5. Aktueller Stand Jobrotation in Produktion und Logistik</b></p>		
2.5.1.	In welchen Bereichen wird eine methodische Jobrotation praktiziert?	<input type="text"/>
2.5.2.	In welchen Bereichen ist die Einführung einer methodischen Jobrotation geplant?	<input type="text"/>
2.5.3.	In welchen Bereichen wird eine methodische Jobrotation nicht praktiziert und ist auch nicht in Planung?	<input type="text"/>

Abbildung A-7: Seite 6 des Fragebogens



### 3 Bereich mit Jobrotation in Planung oder Umsetzung

*Dieser Teil des Fragebogens ist für einen Bereich auszufüllen, in dem eine methodische Jobrotation in Planung ist oder bereits praktiziert wird. Alle Fragen beziehen sich ausschließlich auf den betrachteten Bereich.*

Bezeichnung des betrachteten Bereichs: \_\_\_\_\_

**3.1. Wozu zählt der betrachtete Bereich?**

- Logistik
- Montage
- Sonstige: \_\_\_\_\_

**3.2. In welcher Phase befinden Sie sich aktuell?**

- Jobrotation ist in Planung
- Jobrotation wird praktiziert

**3.3. Welche Probleme ergaben sich bei der Einführung von Jobrotation?**

*mehrere Antworten möglich*

- Skepsis der Belegschaft
- Überzeugung des Betriebsrats erforderlich
- Know-how über Jobrotation fehlte
- gleiche Belastungsarten an den Arbeitsplätzen
- leistungsgewandelte Mitarbeiter nur an wenigen Arbeitsplätzen einsetzbar
- hohe Einarbeitungszeit an den Arbeitsplätzen
- Erstellung eines Tools zur Rotationsplanerstellung sehr aufwendig
- Sonstige: \_\_\_\_\_

**3.4. Welche Vorteile wurden durch die Einführung von Jobrotation erwartet?** *mehrere Antworten möglich*

- Reduzierung der physischen Belastung
- Reduzierung der psychischen Belastung
- Erweiterung des Tätigkeitsspektrums der Mitarbeiter
- Sonstige: \_\_\_\_\_


**3.5. An Rotation beteiligte Arbeitsplätze**

**3.5.1. Welche Arbeitsplätze sind an der Rotation beteiligt?**

**3.5.2. Welche Arbeitsplätze sind nicht an der Rotation beteiligt?**

Abbildung A-8: Seite 7 des Fragebogens





3.5.3. Warum sind diese nicht an der Rotation beteiligt?

**3.6. Logik zur Erstellung des Rotationsplans**

3.6.1. Wie lange befindet sich ein Mitarbeiter an dem selben Arbeitsplatz?

3.6.2. Warum wurden diese Zeitintervalle gewählt?

3.6.3. Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, dass ein Mitarbeiter einem Arbeitsplatz zugeordnet werden kann?

3.6.4. Welche Ziele werden bei der Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen verfolgt?

3.6.5. Würden Sie gerne noch weitere Ziele bei der Zuordnung berücksichtigen?

3.6.6. Werden weitere Rahmenbedingungen bei der Zuordnung beachtet?

Abbildung A-9: Seite 8 des Fragebogens



**3.7. Erstellung des Rotationsplans**

3.7.1. Wie wird der Rotationsplan erstellt?

- manuell durch einen Mitarbeiter
- durch ein von uns erstelltes Excel-Tool
- durch eine von uns entwickelte Software
- durch eine erworbene Software (Welche? \_\_\_\_\_ )
- Sonstige: \_\_\_\_\_

3.7.2. Welche Aufgabe übernimmt das Excel-Tool oder die Software bei der Erstellung des Rotationsplans?

*nur relevant, wenn Sie bei der vorherigen Frage „Excel-Tool“ oder „Software“ ausgewählt haben*

3.7.3. Welche Anforderungen haben Sie an eine Software zur Erstellung des Rotationsplans?

**3.8. Kommunikation des Rotationsplans**

Wie wird den Mitarbeitern die Information zum Wechsel zur Verfügung gestellt?

**3.9. Zufriedenheit**

3.9.1. Mit welchen Aspekten der Jobrotation sind Sie zufrieden?

3.9.2. Wo sehen Sie noch Verbesserungsbedarf bei Ihrem aktuellen Vorgehen?

3.9.3. Mit welchen Maßnahmen wurde die Akzeptanz der Belegschaft erreicht?

Abbildung A-10: Seite 9 des Fragebogens



## 4 Bereich ohne Jobrotation

*Dieser Teil des Fragebogens ist für einen Bereich auszufüllen, in dem keine methodische Jobrotation in Planung ist oder bereits praktiziert wird, Sie sich die Einführung aber vorstellen könnten. Alle Fragen beziehen sich ausschließlich auf den betrachteten Bereich.*

Bezeichnung des betrachteten Bereichs: \_\_\_\_\_

### 4.1. Wozu zählt der betrachtete Bereich?

- Logistik
- Montage
- Sonstige: \_\_\_\_\_

### 4.2. Warum wurde bisher keine Jobrotation eingeführt und diese auch nicht geplant?

*mehrere Antworten möglich*

- Jobrotation war bisher kein Thema
- Skepsis der Belegschaft
- Überzeugung des Betriebsrats erforderlich
- fehlendes Know-how über Jobrotation
- gleiche Belastungsarten an den Arbeitsplätzen
- leistungsgewandelte Mitarbeiter nur an wenigen Arbeitsplätzen einsetzbar
- hohe Einarbeitungszeit an den Arbeitsplätzen
- Erstellung eines Tools zur Rotationsplanerstellung sehr aufwendig
- Sonstige: \_\_\_\_\_

### 4.3. Welche Vorteile würden Sie sich durch die Einführung von Jobrotation erwarten?

*mehrere Antworten möglich*

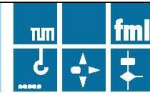
- Reduzierung der physischen Belastung
- Reduzierung der psychischen Belastung
- Erweiterung des Tätigkeitsspektrums der Mitarbeiter
- Sonstige: \_\_\_\_\_

### 4.4. An Rotation beteiligte Arbeitsplätze

#### 4.4.1. Welche Arbeitsplätze würden Sie an der Rotation beteiligen?

#### 4.4.2. Welche Arbeitsplätze würden Sie nicht an der Rotation beteiligen?

Abbildung A-11: Seite 10 des Fragebogens



4.4.3. Warum würden Sie diese nicht an der Rotation beteiligen?

**4.5. Logik zur Erstellung des Rotationsplans**

4.5.1. Wie lange sollte sich ein Mitarbeiter an dem selben Arbeitsplatz befinden?

4.5.2. Warum haben Sie diese Zeitintervalle gewählt?

4.5.3. Welche Bedingungen sollten erfüllt sein, dass ein Mitarbeiter einem Arbeitsplatz zugeordnet werden kann?

4.5.4. Welche Ziele würden Sie bei der Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitsplätzen verfolgen?

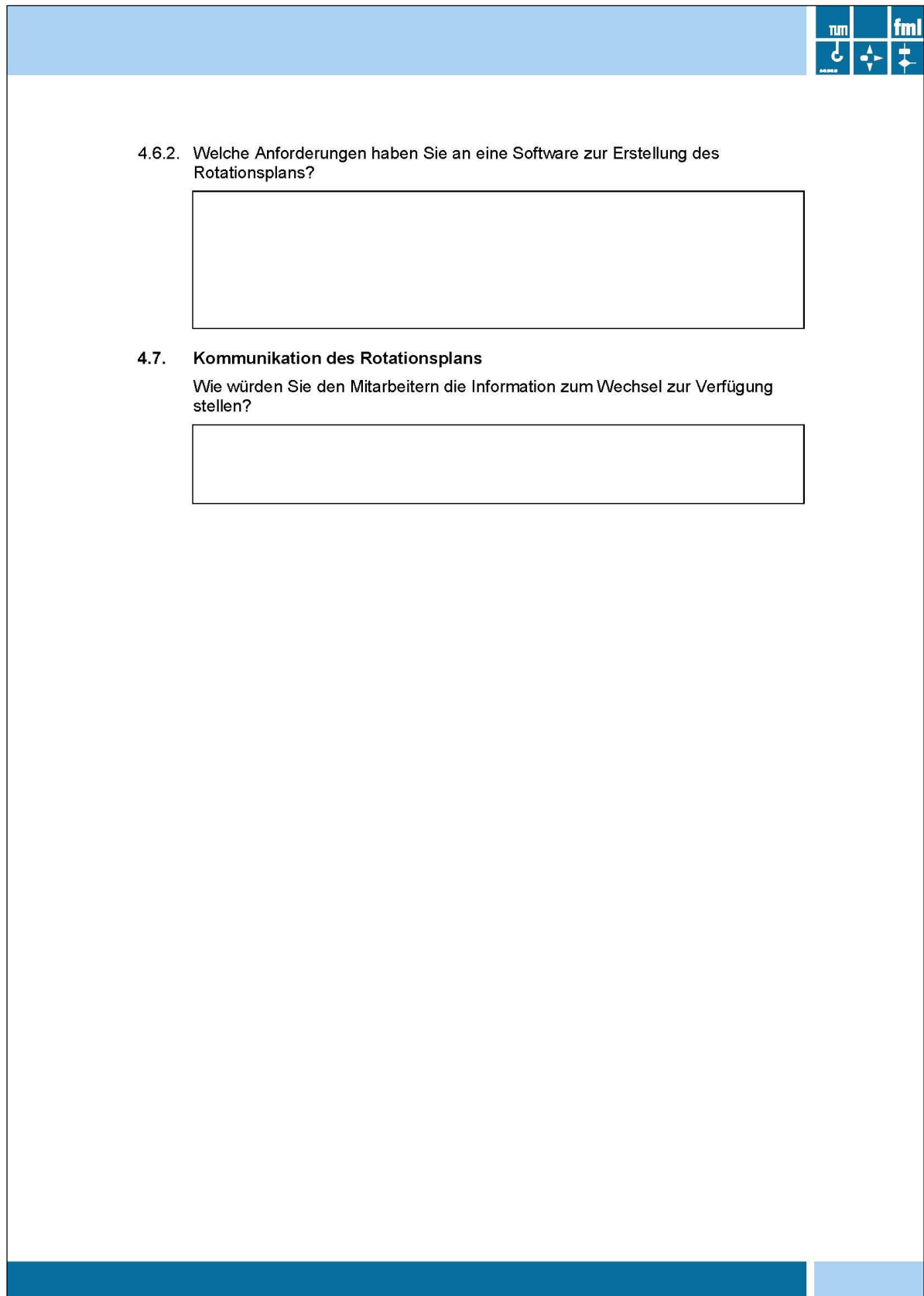
4.5.5. Würden Sie noch weitere Rahmenbedingungen bei der Zuordnung beachten?

**4.6. Erstellung des Rotationsplans**

4.6.1. Wie sollte der Rotationsplan erstellt werden?

- manuell durch einen Mitarbeiter
- durch eine Software
- Sonstige: \_\_\_\_\_

Abbildung A-12: Seite 11 des Fragebogens

The image shows a survey form page with a blue header and footer. The header contains the TUM and fml logos. The main content area is white and contains two questions. The first question is numbered 4.6.2 and asks for requirements for software used for creating a rotation plan. Below the question is a large empty rectangular box for the answer. The second question is numbered 4.7 and is titled 'Kommunikation des Rotationsplans'. It asks how the information about the changeover would be made available to employees. Below this question is a smaller empty rectangular box for the answer.

4.6.2. Welche Anforderungen haben Sie an eine Software zur Erstellung des Rotationsplans?

4.7. **Kommunikation des Rotationsplans**  
Wie würden Sie den Mitarbeitern die Information zum Wechsel zur Verfügung stellen?

Abbildung A-13: Seite 12 des Fragebogens

## A.2 Hinweisblatt zum Fragebogen

Belastungsart	Orientierungsfrage
<b>Manuelle Lastenhandhabung</b>	
Heben, Halten, Tragen	<p>Werden folgende Belastungen erreicht oder überschritten?</p> <p>Heben (Dauer ≤ 5 s und Strecke ≤ 5 m): 5-10 kg 100-mal am Arbeitstag oder 10-15 kg 50-mal am Arbeitstag</p> <p>Halten (Dauer &gt; 5 s und Strecke ≤ 5 m): 5-10 kg 60-mal am Arbeitstag oder 10-15 kg 30-mal am Arbeitstag</p> <p>Tragen (Strecke &gt; 5 m): 5-10 kg 60-mal am Arbeitstag oder 10-15 kg 30-mal am Arbeitstag</p> <p>Ergänzend gilt: Lastenhandhabungen mit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr hoher Häufigkeit niedrigerer Lastgewichte,</li> <li>• höherer Lastgewichte mit einer gewissen Regelmäßigkeit,</li> <li>• sehr ungünstigen Körperhaltungen</li> </ul> <p>sind ebenfalls als erhöhte Belastung einzustufen.</p>
Ziehen, Schieben	<p>Ziehen oder Schieben von Lasten mit großer Kraftanstrengung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• über kürzere Distanzen regelmäßig (ab 40-mal pro Arbeitstag) oder</li> <li>• über längere Distanzen (Gesamstrecke ab 500 m pro Arbeitstag)</li> </ul>
<b>Erzwungene Körperhaltungen</b>	
Erzwungenes Sitzen	<p>Bewegungsarme, erzwungene Sitzhaltung aufgrund der Arbeitsaufgabe bzw. Arbeitsgestaltung (z. B. fixierte Kopfhaltung aufgrund der Sehanforderungen) über längere Zeitabschnitte für den überwiegenden Teil des Arbeitstages: <b>ab 2 Stunden ohne wirksame Pause</b></p>
Dauerhaftes Stehen	<p>Dauerhaftes Stehen ohne wirksame Bewegungsmöglichkeit: <b>ab 4 Stunden pro Arbeitstag</b></p>
Rumpfbeuge	<p>Durch die Arbeitsaufgabe bedingte deutlich erkennbare Rumpfvorbeugungen ab etwa 20°: <b>ab 1 Stunde pro Arbeitstag ohne wirksame Pause</b></p> <p>Bei stärkerer Vorbeugung sind auch geringere Expositionszeiten als erhöhte Belastung einzustufen (z. B. kann bei extremen Rumpfbeugehaltung grundsätzlich von erhöhten Belastungen ausgegangen werden).</p>
Hocken, Knien, Fersensitz, Kriechgang, Liegen	<p>Arbeiten im Hocken, Knien, Fersensitz oder Kriechgang: <b>ab 1 Stunde pro Arbeitstag</b></p> <p>Arbeiten im Liegen (z. B. Behälterbau, Schiffsbau): <b>ab 2 Stunden pro Arbeitstag</b></p>
Arme über Schulterniveau	<p>Arbeiten oberhalb des Schulterniveaus über längere Zeitabschnitte: <b>insgesamt ab 2 Stunden pro Arbeitstag</b></p> <p>Auch bei geringeren Zeitanteilen erhöhte Belastungen gegeben, z. B. bei:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zusätzlichem Handhaben von Lasten,</li> <li>• Überkopparbeit.</li> </ul>

Abbildung A-14: Seite 1 des Hinweisblatts



<b>Arbeit mit erhöhter Kraftanstrengung und/oder Kräfteinwirkung</b>	
Schwer zugängliche Arbeitsstellen	Mehrfach pro Arbeitstag Aufsteigen auf hohe Masten, Türme etc.
Einsatz des Hand-Arm-Systems als Werkzeug	Regelmäßiges Klopfen, Schlagen oder Drücken mit der Hand bedingt durch die Arbeitsaufgabe
Kraft-/Druckeinwirkung bei der Bedienung von Arbeitsmitteln	Regelmäßig erhöhte Kräfte oder erhöhte Druckeinwirkungen bei der Bedienung von Arbeitsmitteln
<b>Repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen</b>	
Repetitive Tätigkeiten mit hohen Handhabungsfrequenzen	Arbeiten <b>ununterbrochen ab 1 Stunde</b> mit ständig wiederkehrenden, gleichartigen Schulter-, Arm-, Hand- Bewegungen mit erhöhter Kräfteinwirkung oder in extremen Gelenkstellungen
<b>Vibrationen</b>	
Ganzkörper-Vibrationen	Auslösewert überschritten: $A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$ Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten: $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$ in x- und y-Richtung und $A(8) = 0,8 \text{ m/s}^2$ in z-Richtung
Hand-Arm-Vibrationen	Auslösewert überschritten: $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ Expositionsgrenzwert erreicht oder überschritten: $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$
<b>Umwelt</b>	
Lärm	unterer Auslösewert überschritten: $L(\text{tief}) \text{ EX},8\text{h} = 80 \text{ dB(A)}$ $L(\text{tief}) \text{ pC,peak} = 135 \text{ dB(C)}$ oberer Auslösewert überschritten: $L(\text{tief}) \text{ EX},8\text{h} = 85 \text{ dB(A)}$ $L(\text{tief}) \text{ pC,peak} = 137 \text{ dB(C)}$
Temperatur	Lufttemperatur $< 15 \text{ }^\circ\text{C}$ : Kältearbeitsplatz Lufttemperatur $> 26 \text{ }^\circ\text{C}$ : Hitzearbeitsplatz
<b>Psychisch</b>	
Informationsangebot sehr umfangreich	Arbeitsaufgabe erfordert von der durchführenden Person eine erhöhte visuelle oder auditive Wahrnehmung.
Hoher Zeitdruck	Durch die Arbeitsaufgabe bedingter hoher Zeitdruck, z. B. durch Taktbindung.

Abbildung A-15: Seite 2 des Hinweisblatts

### A.3 Ergebnisse

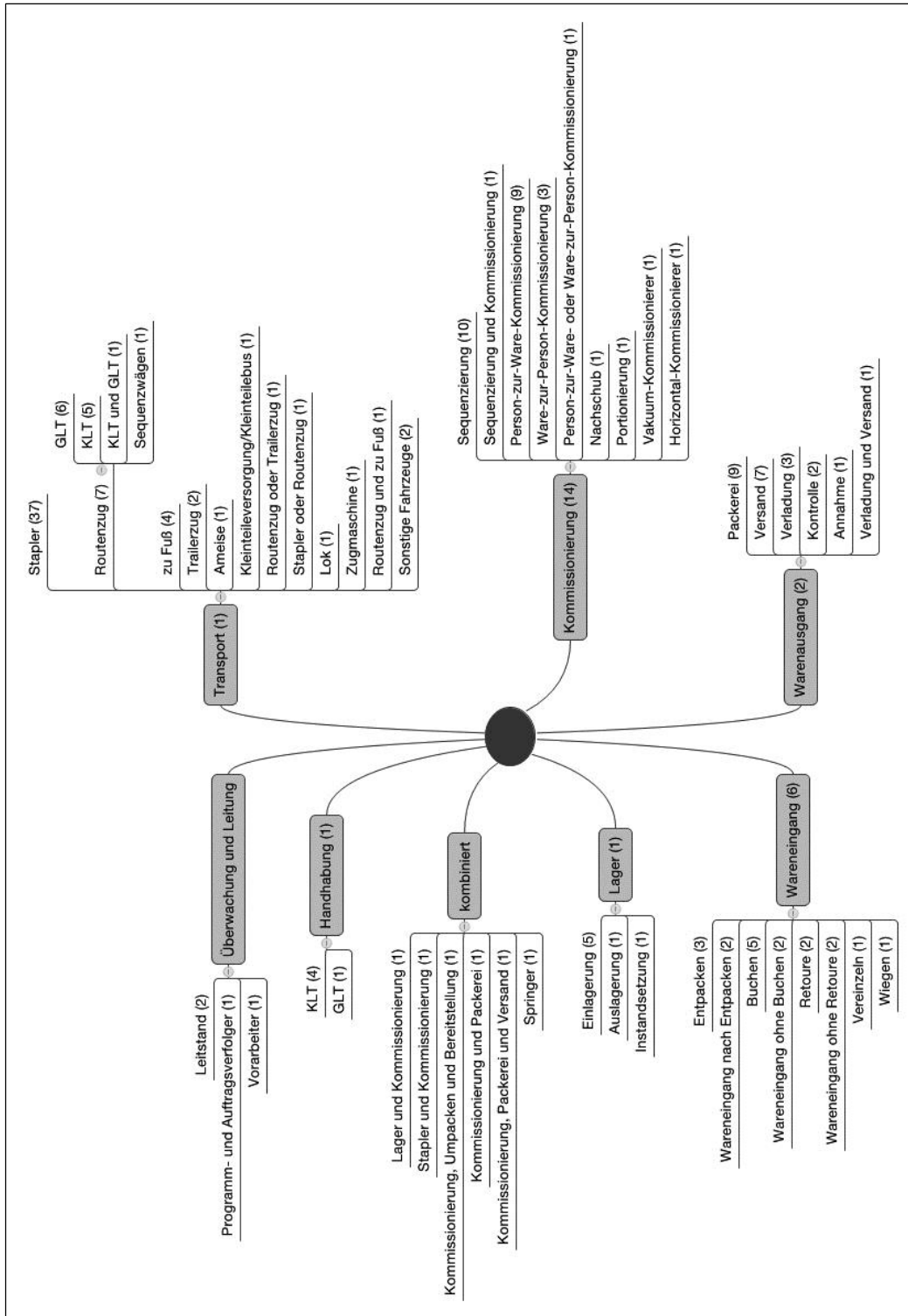


Abbildung A-16: Kategoriensystem für genannte Arbeitsplatztypen